



# LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES

## *FUZZY LOGIC APPLIED IN DEFINING THE MAXIMUM BANDWIDTH OF A COMPUTER NETWORK USER*

Jaime Ribeiro Júnior<sup>1</sup> (PPGMO/UEG)

Carlos Silvio Gomes Júnior<sup>2</sup> (PPGMO/UEG)

José dos Reis V. de Moura Júnior<sup>3</sup> (PPGMO)

**RESUMO:** A lógica nebulosa (fuzzy) é utilizada para modelar sistemas lógicos multivalorados com variáveis linguísticas, capaz de lidar com sistemas que são criados para tratar problemas que possuem algum grau de incerteza. As Redes Definidas Por Software (SDN) provêm mecanismos onde softwares inteligentes possam fazer o controle automático da rede, neste contexto controlar a largura de banda dos usuários é relevante. O problema de designar a largura de banda máxima de um usuário em uma rede de computadores possui variáveis linguísticas com certo grau de incerteza. Este trabalho vai mostrar os principais elementos que constituem a lógica nebulosa, suas origens e mostrar os resultados obtidos em um protótipo de aplicação para a resolução do problema citado utilizando a linguagem Python.  
**Palavras-chave:** Lógica Fuzzy. Incerteza. Largura de Banda. SDN. Redes de Computadores.

**ABSTRACT:** Fuzzy logic is used to model multi-valued logic systems with linguistic variables, capable of dealing with systems that are created to deal with problems that have some degree of uncertainty. Software Defined Networks (SDN) provide mechanisms where intelligent software can automatically control the network, in this context controlling users' bandwidth is relevant. The problem of assigning the maximum bandwidth to a user on a computer network has linguistic variables with a certain degree of uncertainty. This work will show the main elements that constitute fuzzy logic, its origins and show the results obtained in an application prototype to solve the mentioned problem using the Python language.

**Keywords:** Fuzzy Logic. Uncertainty. Bandwidth. SDN. Computer network.

---

1Graduado em Redes de Computadores, pela Universidade Estadual de Goiás, Especialista em Segurança da Informação com Ênfase em Criptografia pela Universidade Federal de Goiás. Mestrando em Modelagem e Otimização pela Universidade Federal de Catalão. E-mail: jaimejr1987@gmail.com

2Graduado em Redes de Computadores, pela Universidade Estadual de Goiás, Especialista em Docência Multidisciplinar, Diversidades Goianas pela Universidade Estadual de Goiás. Mestrando em Modelagem e Otimização pela Universidade Federal de Catalão. E-mail: cadyoba@gmail.com

3Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia, Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Uberlândia, Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia, Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia, Professor Permanente do Programa em Pós-Graduação em Modelagem e Otimização (PPGMO) da Universidade Federal de Catalão. E-mail: zereis@ufcat.edu.br

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

## 1. Introdução

Administrar uma rede de computadores de médio e grande porte não é uma tarefa trivial, pois pode envolver de dezenas a milhares de computadores e usuários, e diversas tarefas como: controle de acesso à rede, gerência de mudanças, auxílio ao usuário, administração de problemas, manter a rede sempre disponível da melhor maneira. (MENEZES e SILVA, 1998).

A lógica fuzzy (lógica nebulosa) é baseada na lógica multivalorada e trabalha com a inserção de variáveis linguísticas e suas incertezas formando os conjuntos difusos (nebulosos). Sistemas computacionais que precisam lidar com incertezas podem utilizar a lógica fuzzy para resolver esse tipo de demanda.

Devido ao grande volume de trabalho na administração de Redes de Computadores, um software que auxilie em alguma das tarefas é desejável. Como o auxílio no controle da velocidade máxima que a conexão de um usuário pode chegar a uma rede de computadores. Essa tarefa possui uma série de variáveis que só podem ser corretamente inseridas no sistema se modeladas com suas incertezas.

Nesse contexto, a lógica fuzzy é uma ferramenta que é capaz de dar provimento à modelagem de tal sistema. Este trabalho irá apresentar os principais fundamentos da lógica nebulosa, suas origens, os detalhes da criação de um protótipo de aplicação feita em Python para a resolução do problema da definição da largura de banda máxima para um usuário de redes de computadores e os resultados obtidos.

## 2. Lógica Binária x Lógica Nebulosa (Fuzzy)

A lógica booleana foi proposta por George Boole no século XIX, consiste em operações que usam apenas 2 tipos de entrada: verdadeiro e falso. Os estudos de Boole fizeram parte da definição da lógica matemática. Nos estudos da primeira metade do século XX que envolveram o desenvolvimento do computador, o sistema numérico binário foi escolhido devido a sua simplicidade de representação simbólica de base 2 (0 e 1). O sistema lógico de Boole se encaixou perfeitamente sendo 0 equivalente a falso e 1 a verdadeiro, as operações da lógica booleana passaram a ser um dos pilares da Computação. (MARTINS, 2009).

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

A lógica booleana possui operações bem definidas com entradas e saídas de valores exatos, podendo ser 0 ou 1. Essas operações binárias são realizadas através das denominadas portas lógicas, sendo as principais operações utilizadas computacionalmente o AND, OR, NOT e XOR. Com a combinação de várias entradas e várias portas lógicas podem-se criar circuitos lógicos que possuem um grande poder de representação. Todavia, mesmo um circuito lógico terá, em sua saída, apenas verdadeiro ou falso. (TOCCI et. al., 2011).

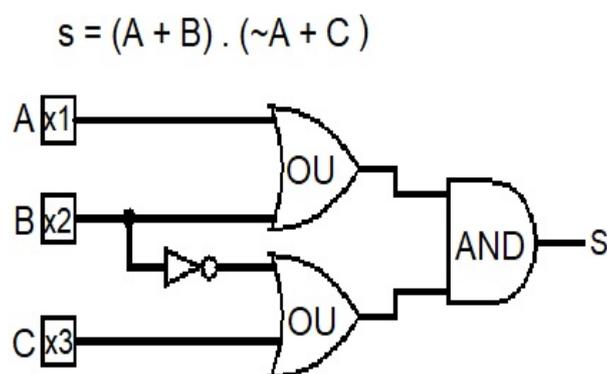


Figura 1: Fonte: RIBEIRO JR, , GOMES JR, MOURA JR (2021)

Na figura 1, tem-se um sistema lógico binário, mesmo com 3 variáveis de entrada e diferentes operações intermediárias ao final S será verdadeiro ou falso. Na figura 2, tem-se a tabela com as principais operações:

O estudo de caso presente na figura 2 remete à permissão de entrada em uma festa com base em dois critérios: ter o ingresso e possuir a idade mínima. Observando a figura, podemos ver como essa situação pode ser representada com operações lógicas booleanas. Mesmo um sistema lógico binário podendo resultar em apenas 0 ou 1, essa resposta pode ter diferentes sentidos de acordo com o contexto, e também pode disparar 1 dentre 2 opções de outros sistemas, criando um sistema encadeado com um forte poder de representação. Todavia, os resultados serão sempre exatos e ao final resultando um verdadeiro ou um falso.

O sistema booleano funciona muito bem com os sistemas computacionais convencionais, mas não é bom o suficiente na solução de problemas onde existe algum grau de incerteza, ou mesmo pode ficar complexo dependendo do tamanho do sistema necessário para representar um grande volume de saídas diferentes. Uma extensão da lógica binária é a

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

lógica multivalorada, desenvolvida por Jan Lukasiewies em 1920, na qual valores que não são binários a partir de sua incerteza podem designar uma distribuição subjetiva que é descrita em uma função que define o grau de pertinência. A lógica nebulosa (LN) é uma lógica multivalorada que pode utilizar entradas vagas e imprecisas, mesmo as descritas em linguagem natural e designar saídas numéricas fáceis de manipular computacionalmente. (SAMPAIO, 2007).

and - e - &&			or - ou -			xor - ^		
X	Y	X and Y	X	Y	X or Y	X	Y	X xor Y
V	V	V	V	V	V	V	V	F
V	F	F	V	F	V	V	F	V
F	V	F	F	V	V	F	V	V
F	F	F	F	F	F	F	F	F

X = TER OU NÃO O INGRESSO  
 Y = POSSUIR OU NÃO AO MENOS 16 ANOS  
 V = POSSUI  
 F = NÃO POSSUI

Resultado: Verdadeiro (entrar na festa)  
 Falso: (não entrar na festa)

O operador and exige que todas as assertivas sejam Verdadeira, se ao menos um for falsa a expressão inteira se torna Falsa.  
 O operador or exige que ao menos 1 elemento das assertivas seja verdadeira para que a expressão seja verdadeira, se todos os elementos forem falsos, a expressão se torna falsa.  
 O operador xor é o ou exclusivo, nele todas as assertivas iguais sejam de V ou F torna a expressão falsa, ao menos um precisa ser diferente para a expressão ser verdadeira.

Not - Não - !	
X	!X
V	F
F	V

O operador not, inverte o resultado de uma assertiva. Se for verdadeiro, o not faz ser falso, se for falso o not faz ser verdadeiro.

Figura 2: Fonte: RIBEIRO JR, GOMES JR, MOURA JR (2021)

A teoria dos conjuntos nebulosos foi desenvolvida por Lotfi Zadeh para tratar de problemas com aspectos vagos de informação. Mais tarde, Zadeh desenvolveu a teoria de possibilidades para tratar de elementos de incertezas em informações, mais adequada ao tratamento de informações repassadas por seres humanos. Por exemplo: um conjunto nebuloso com a teoria de possibilidades pode modelar a informação “idade avançada” para inferir sobre a possibilidade de essa pessoa ser idosa a partir da análise conjunta de outras informações do contexto. Essa combinação das teorias desenvolvidas por Lotfi Zadeh, quando

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

utilizada em um sistema lógico, é conhecido como lógica fuzzy (lógica difusa ou lógica nebulosa). (SANDRI e CORREA, 1999).

Com a utilização da lógica fuzzy variáveis descritas a partir do ponto de vista próximo do pensamento humano, podem ser utilizadas na criação rápida de protótipos de sistemas e simplificando a aquisição da base do conhecimento acerca do problema modelado que trata entradas com certo grau de incerteza. Diferente da lógica binária, a lógica fuzzy é uma técnica de sucesso no desenvolvimento de sistemas para controlar processos que envolvem o processamento de entradas não binárias (SANDRI e CORREA.1999; SAMPAIO, 2007).

### **3. Lógica Fuzzy**

A lógica fuzzy consegue, a partir de entradas subjetivas, produzir saídas numéricas que podem ser usada em tomadas de decisão computacionais. Os conceitos utilizados pela humanidade não são sempre objetivos. Em um sistema de recuperação de informação, por exemplo, precisa-se minerar a informação dos documentos agrupar os documentos relevantes, porém por vezes não se tem a ideia clara e exata da informação que é necessária e o próprio conceito de relevância é subjetivo e altamente dependente do contexto (FERNEDA e DIAS, 2013).

Na tomada de decisões com informações processadas em modelos subjetivos, a lógica fuzzy oferece uma opção de saída que oferece um posicionamento entre um espectro de opções, como, por exemplo, um texto que é 15% irrelevante e 85% relevante, com base nessa informação, podemos classificar os textos por sua relevância média de acordo com a subjetividade da definição do que é relevante para o usuário, e não apenas em relevante e não relevante (binário).

As entradas feitas em um sistema fuzzy precisam passar por um processo chamado de Fuzzificação que será descrito a seguir.

#### **3.1 Fuzzificação**

Uma vez que o usuário faz sua entrada, essa precisa passar por um processo que a converte em assertiva de variável linguística, transformando um valor determinístico em um valor difuso. Esse processo é realizado através da associação de uma entrada  $x$  a um valor

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

difuso. Para tal, a entrada precisa ser submetida a uma função de pertinência para que se tenha como saída os componentes nos termos de uma variável linguística. Esse é o processo de fuzzificação. (ROSS, 2010).

No funcionamento da lógica fuzzy, a definição dos termos de entrada em variáveis linguísticas através do processo de fuzzificação é em si um dos primeiros passos do processamento. Saber diferenciar uma variável linguística de uma variável numérica é importante ao se utilizar a lógica fuzzy.

### 3.1.1 Variável linguística e variáveis numéricas

Uma variável em termos computacionais é um espaço de memória RAM associado a uma aplicação que guarda um valor. Variáveis são tipicamente binárias numéricas, as variáveis do tipo caractere são a representação de um número inteiro com sua referência na Tabela ASCII. Diferentemente de uma variável numérica, uma variável linguística, segundo seu criador Zadeh, possui palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial no lugar de valores numéricos, ela pode ser definida por uma quádrupla  $(X, U, T(X), M)$ , onde  $X$  é o nome da variável,  $U$  é o universo de discurso de  $X$ ,  $T(X)$  é o conjunto de nomes para os valores de  $X$ , e  $M$  é o significado dos termos linguísticos quando representados em  $U$  através da função de pertinência. (SANDRI e CORREA, 1999).

Tendo como exemplo a definição da sensação de calor, que é uma informação subjetiva, e dada uma variável numérica que define a temperatura, na Figura 3 é visto um exemplo de variável difusa (ou linguística) onde é dada uma temperatura de 22°C com um significado linguístico que pode ser determinado como sendo uma sensação térmica média. O eixo  $X$  é o valor de entrada de  $X$  e o eixo  $Y$  é o valor da função de pertinência para o ponto  $X$ .

A definição do ponto  $X = 22$  como temperatura 100% média, vem através de uma associação feita pela função de pertinência que pode ser observada na figura 3.1, nos seguimentos de linhas azul, verde e vermelho como uma função trapezoidal.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

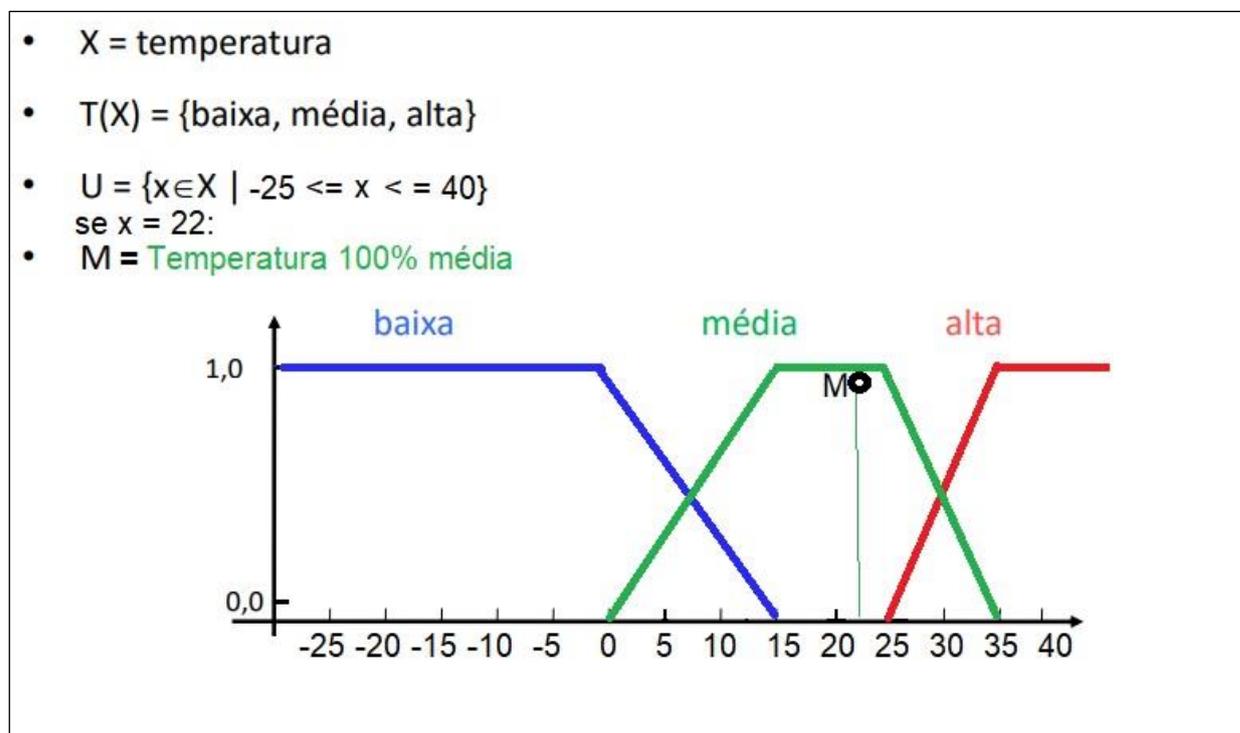


Figura 3: Variável Nebulosa (linguística). Fonte: RIBEIRO JR., GOMES JR, MOURA JR (2021)

### 3.1.2 Função de Pertinência

Na lógica fuzzy, uma função de pertinência é responsável por associar um valor de  $X$  em  $U$  a um nome do conjunto nebuloso  $T(X)$ . As linhas da função de pertinência definem o grau de pertinência, ou seja, associam um valor de 0 até 1, definido a proporção do que  $x$  é em relação aos termos de  $T(X)$ . Onde 0 significa que não pertence a um termo  $T(X)$ , 1 pertence completamente e um valor entre 0 e 1 pertence parcialmente com diferentes níveis de intensidade, quanto mais perto de 1 melhor se encaixa ao termo  $T(X)$  em questão. (SANDRI e CORREA, 1999).

Utilizando a função de pertinência da figura 3 como exemplo, se  $x = 10$ ,  $M$  terá seu grau de pertinência em aproximadamente 30% temperatura fria e 70% temperatura média. Existem vários tipos de funções de pertinência e cada uma deve ser designada de acordo com o problema que está sendo modelado. As funções de pertinência mais conhecidas são:

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

trapezoidal, triangular, gaussiana, singleton e linear por partes, (YILDIZ, 2010). A figura 3.2 mostra cada uma delas.

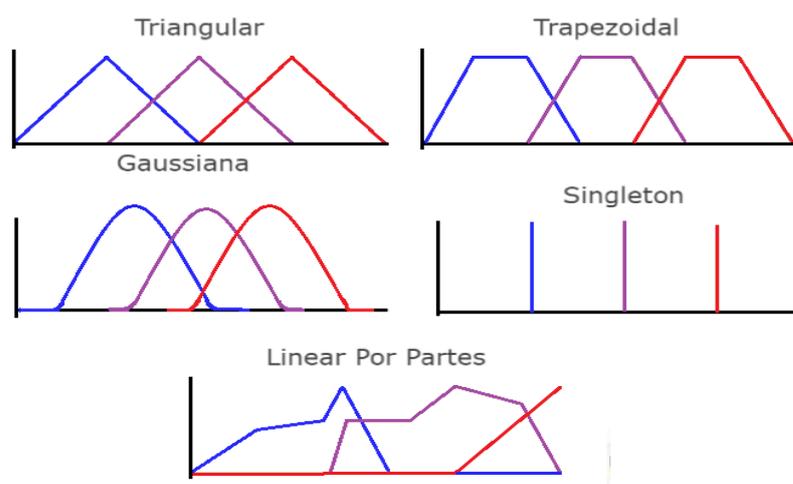


Figura 4: Principais Funções de Pertinência (YILDIZ, 2010)

Ao analisar a figura 4, percebe-se que na função Trapezoidal algum dos valores de  $x$  em  $X$  podem assumir valores absolutos de 100% durante certo intervalo, mantendo uma mescla de grau de intensidade na intercessão. Na função Triangular, sempre que o grau de pertinência de um elemento difuso começar a decair, outro elemento começará a subir, fazendo com que 100% em um elemento difuso sejam de um intervalo bem pequeno. Já na função Gaussiana, os elementos difusos se misturam ao ponto de que nada será 100% alguma coisa, mas podendo chegar muito próximo de 100% em alguns valores de  $x$ . Na função Singleton, os elementos difusos não se misturam, são sempre 100% alguma coisa, e compostos apenas por assertivas  $M$  exatas para um  $x$ . Por fim, uma função do tipo linear por partes é totalmente personalizável de acordo com o problema modelado, mantendo o grau de pertinência dos elementos difusos de em linha lineares, mas sem um padrão de comportamento entre os elementos de  $T(X)$ .

Após a etapa de fuzzificação, os dados difusos estão prontos para serem processados pelo sistema fuzzy. Nesta etapa, inicia-se o processo de preparação para a Inferência.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

### 3.2 Base de conhecimento, Inferências e Defuzzificação

Após realizar o processo de fuzzificação, os conjuntos difusos precisam ser submetidos a base de regras. Essa submissão prepara as variáveis difusas de saída para serem submetidas ao processo de inferência.

O modelo simplificado do sistema fuzzy pode ser compreendido conforme a figura 5:

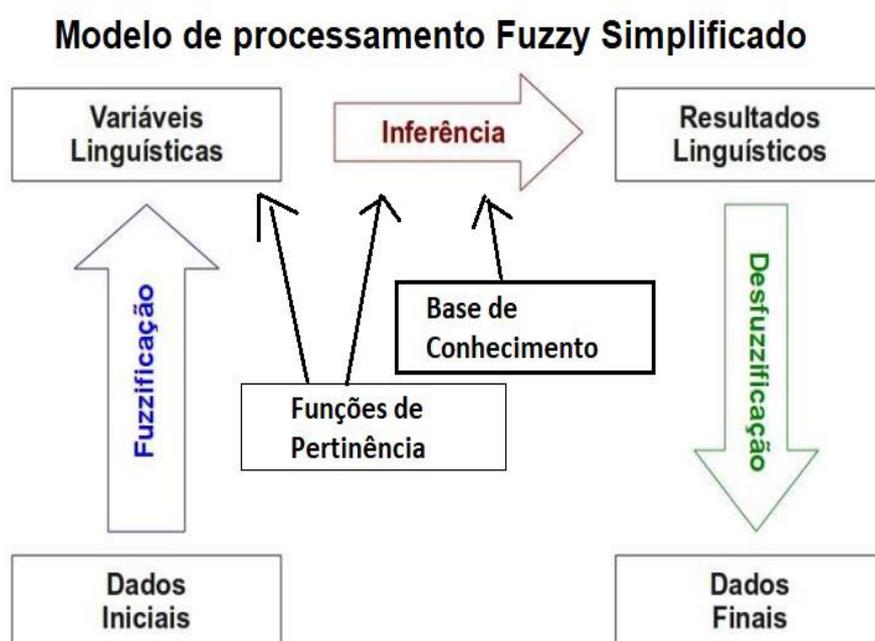


Figura 5: Modelo Simplificado de um Sistema Difuso. (AGUADO e CANTANHEDE, 2010)

#### 3.2.1 Base de Regras

A base de regras define regras do tipo se-então-senão. Por exemplo, se a prioridade do serviço de rede é baixa, a banda máxima disponível é baixa; se a sobrecarga no número de usuário da rede é baixa, a banda máxima disponível é alta.

A base de regras difusas é constituída de operações sob os conjuntos difusos. As operações sob os conjuntos difusos são dados pelos operados AND, OR e NOT. As principais variações dessas operações podem ser vistas na figura 6. (OLIVEIRA et. al., 2003; YILDIZ, 2010).

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

### OU - OR

Máximo	$Max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
Soma probabilística	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
T-conorma de Lukasiewicz	$Min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$

### E - AND

Mínimo	$Min\{\mu_A, \mu_B(x)\}$
Produto	$\mu_A(x)\mu_B(x)$
T-norma de Lukasiewicz	$Max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$

### NOT - NEGAÇÃO

Negação usual	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Negação de Sugeno	$\mu_{\bar{A}}(x) = \frac{1-x}{1+\lambda x}, \lambda \in (-1, +\infty)$
Negação de Yager	$\mu_{\bar{A}}(x) = \sqrt[w]{1 - x^w}, w \in (0, +\infty)$

Figura 6: Principais Operações sob conjuntos difusos. Fonte: (OLIVEIRA et. al., 2003; YILDIZ, 2010)

### 3.2.2 Inferência

Após a aplicação da base de regras a variáveis de entrada, são preparadas as variáveis de saída para o processo de inferência. Os principais métodos de Inferência são o Mamdani e Takagi-Sugeno-Kang.

O modelo desenvolvido por Ebrahin Mamdani, proposto na década de 1970, tornou-se um padrão em sistema nebulosos. Ele possui regras baseadas em linguagem de processamento natural, e suas regras facilitam essa modelagem, permitindo processar sistema com variáveis com graus de incerteza. Segundo Oliveira et. al. (2003), a regra semântica normalmente utilizada no banco de conhecimento Mamdani é a Máx-Min, que utiliza operações de interseção e união entre conjuntos difusos. O método de inferência Máx-Min pode ser descrito por:

$$\text{if } x = A_i \text{ e } y = A_j \text{ e } \dots \text{ e } xp = A_j, \text{ then } w = B_i \text{ e } z = B_m$$

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

Oliveira et. al. (2003) descreve a função acima em  $x$  e  $y$  sendo as entradas do sistema,  $A_1, \dots, A_j$ , são termos primários definidos nas partições fuzzy de cada variável de entrada,  $w$  e  $z$  são variáveis de saída e  $B_1, \dots, B_m$  os termos primários definidos em suas partições fuzzy.

O modelo Takagi-Sugeno-Kang, definido inicialmente em 1985, é conhecido como modelo TSK. Esse modelo funciona como aproximadores de sistemas que podem ser satisfatoriamente representados através de relações de entradas e saídas. O banco de conhecimento TSK tem sua sintaxe implicando em alterações das propriedades semânticas baseadas em uma base de regras condicionais de inferências. Segundo Oliveira et. al. (2003), a tipificação das regras TSK pode ser generalizada por:

$$\text{if } x_1 = A_i \text{ e } x_2 = A_j \text{ e } \dots \text{ e } x_p = A_m \text{ then } y = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$$

O Mamdani e o TSK possuem em comum o processamento das regras de entrada dos conjuntos fuzzy, mas, a partir desse ponto, o processo passa a ser diferente. O Mamdani é descrito próximo à linguagem de processamento natural e sua saída é subjetiva, assim como a entrada; já o TSK é descrito com linguagem matemática e cada uma de suas saídas é dada por uma função. O Mamdani é especializado em capturar situações de compressão humana, já o TSK é bom em encapsular um controlador linear efetivo para modelos cujas funções  $f(x)$  são conhecidas. (OLIVEIRA et. al., 2003; YILDIZ, 2010).

Sabendo sobre as principais formas de inferência, é correto mencionar que, após as variáveis de entrada passarem pelo processamento das regras da base de conhecimento, a variável de saída fica pronta para ser submetida às regras de inferência. Yildiz (2010) mostra que a inferência será a combinação das informações definidas nas variáveis de saída a partir de métodos de acumulação. Esses métodos podem ser vistos na figura 7.

Após o processo de inferência, a variável de saída está pronta para passar pelo processo de defuzzificação e ser transformada de uma variável difusa em uma variável numérica.

### Métodos de Acumulação

Operation	Formula
Maximum	$Max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
Bounded sum	$Min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$
Normalized sum	$\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{Max\{1, Max\{\mu_A(x'), \mu_B(x')\}\}}$

Figura 7: Métodos de Acumulação (YILDIZ, 2010)

### 3.2.3 Defuzzificação

Segundo Cox (1994), a defuzzificação é a etapa final do sistema fuzzy, é nela que os valores fuzzy (nebulosos ou difusos) são novamente convertidos em valores crisp (numéricos determinísticos). Alguns dos métodos de defuzzificação são:

- Centroid é o método onde a saída será considerada como o centro da mediana do conjunto fuzzy. (AGUADO, 2010).
- Maximum Height é o método em que a saída é obtida tomando a média entre os 2 elementos extremos no universo de discurso das variáveis linguísticas que são os elementos de maiores valores da função de pertinência da variável de saída. (AGUADO, 2010).

Yildiz (2010) define matematicamente as principais funções de defuzzificação em suas variações, conforme a figura 8:

Operation	Formula
Center of Gravity	$U = \frac{\int_{min}^{max} u \mu(u) du}{\int_{min}^{max} \mu(u) du}$
Center of Gravity for Singletons	$\frac{\sum_{i=1}^p [u_i \mu_i]}{\sum_{i=1}^p [\mu_i]}$
Left Most Maximum	$U = inf(u'), \mu(u') = sup(\mu(u))$
Right Most Maximum	$U = sup(u'), \mu(u') = sup(\mu(u))$

Figura 8: Principais Operações de defuzzificação. Fonte: (YILDIZ, 2010)

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

#### **4. Estudo de caso: Estimativa de largura de banda máxima destinada a um usuário de uma rede de computadores**

O controle de banda baseado no comportamento dos usuários da rede é interessante do ponto de vista do administrador da rede, uma vez que regras de firewall e proxy não façam a contenção de uso para toda situação que possa ocorrer. Um controle de banda automatizado e inteligente pode ajudar a manter a rede disponível da melhor maneira possível para seus usuários. Pensando nisso, este estudo de caso mostra um protótipo simplificado de controle da banda máxima disponibilizada a um usuário da rede utilizando lógica fuzzy.

Foram designadas 3 variáveis de entrada, com 5 estados possíveis, sendo conjuntos nebulosos baseados em:

Pensando nos requisitos de QoS, como o mostrado por Tanenbaum (2011), e o observado ao longo dos anos de prática dos autores, foram designadas 3 variáveis de entrada, com 5 estados possíveis, sendo conjuntos nebulosos baseados em:

- **Categoria de Serviço ou Web Site:** Liberação parcial da velocidade máxima baseada na classificação da categoria de serviço de rede ou website utilizado. Quanto maior o valor da prioridade, maior deve ser o impacto positivo na largura de banda disponibilizada. Este possui uma função de pertinência distribuída de forma mais uniforme. Sendo 0 a liberação de nenhuma banda nesta categoria de entrada e 100 a liberação total da banda.
- **Necessidade baseadas no tipo de tarefa e intensidade de uso:** Baseado na utilização necessidade de banda, o usuário A que precisa de mais conexão é o que trabalha com um maior volume de dados, ele precisa de mais velocidade para que seu trabalho demore o menos possível. Todavia um usuário B que trabalha com um menor volume de dados deve ter seu trabalho concluído mais rápido que o usuário A, para, por exemplo, poder iniciar um novo trabalho. Este fator visa um equilíbrio de liberação de banda máxima de acordo com a necessidade medida pelo volume de trabalho e para isso a função de pertinência vai ficando com intervalos menores a medida que a classificação da necessidade do usuário vai aumentando, tendo um usuário com menos carga de trabalho um acesso a uma boa parte de velocidade máxima, mas não tão grande quanto o usuário com um volume de trabalho maior. Sendo 0 uma prioridade de necessidade mais baixa e 100 a mais alta. Neste caso a prioridade

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

baixa tem seu efeito até a 50% dos valores possíveis, enquanto a prioridade mais alta tem seu efeito iniciando a 90 %, assim mantendo o equilíbrio citado a cima.

- **Controle da velocidade máxima para se adaptar à sobrecarga:** Percebendo o volume de densidade de usuários na rede como um fator de sobrecarga da mesma, a banda liberada neste fator depende da quantidade de usuários. Neste estudo de caso, o número de usuários pode variar de 0 a 1000, sendo que o fator de sobrecarga é acrescido de forma mais significativa a partir de 500 (50%) usuários simultâneos conectados. Nesta variável, um maior valor significa menos banda disponível e seu efeito é inverso aos das outras duas variáveis.

A variável de saída é um conjunto nebuloso de 5 estados diferentes divididos entre as categorias de velocidade baixa até a velocidade alta e define acerca da velocidade máxima de banda que um usuário poderá fazer uso na rede. As funções de pertinência definidas para este estudo de caso são do tipo triangular e podem ser vistas na figura 9.

Para este estudo de caso, os dados crisp de entrada serão inseridos manualmente para verificar as saídas produzidas pela aplicação, todavia são informações que podem ser obtidas através de relatórios de serviços de rede. A aplicação foi desenvolvida em Python e utiliza as bibliotecas presentes nos pacotes Numpy, Skfuzzy e Matplotlib. A Numpy possui funções matemáticas avançadas e será utilizada para as operações nos conjuntos nebulosos e na definição dos valores de seus intervalos. A Skfuzzy vai ser usada para definir os elementos da lógica fuzzy como as funções de pertinência, a fuzzificação e a defuzzificação. A Matplotlib é utilizada para a visualização dos valores nebulosos em formato gráfico.

O processo de criação do código segue com a instalação das bibliotecas e sua importação. Uma vez prontas para uso, primeiramente se definem os conjuntos nebulosos das variáveis de entrada e suas funções de pertinência. Em seguida, os dados crisp de entrada passam pelo processo de fuzzificação. No terceiro momento, as regras de inferência são definidas e aplicadas em cada variável de entrada, foi utilizada a operação do OU MÁXIMO na definição das regras de cada variável. Neste ponto, as associações entre as variáveis de entrada estão sendo feitas, sendo a Densidade de Usuários Conectados inversamente associadas à Categoria de Serviços e a Necessidade do Usuário, assim definindo o conjunto de regras da variável linguística de saída. No quarto momento, a inferência é realizada e todas as regras são associadas, posteriormente é feita a defuzzificação utilizando o ponto centroide da

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvío; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

variável de saída, retornando um valor em ponto flutuante com o percentual de banda recomendado para o usuário. As regras da base de conhecimento podem ser vistas a seguir:

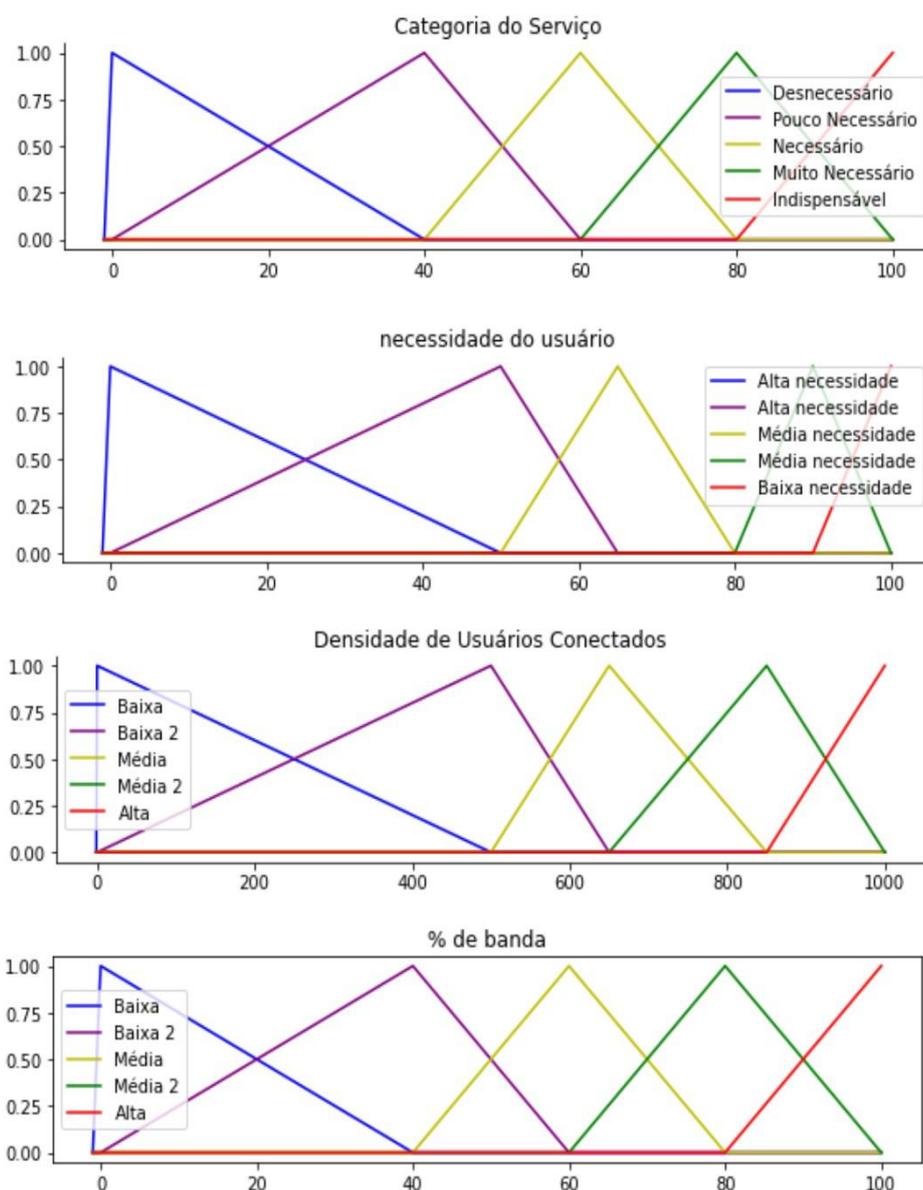


Figura 9: Funções de Pertinências do Protótipo do Sistema Fuzzy. Fonte: RIBEIRO JR, GOMES JR, MOURA JR (2021)

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvío; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

- ✓ Categoria do Serviço
  - Se Categoria do serviço for muito fraca, então, a velocidade máxima de conexão será baixa.
  - Se Categoria do serviço for fraca, então, a velocidade máxima de conexão será média baixa.
  - Se Categoria do serviço for mediana, então, a velocidade máxima de conexão será mediana.
  - Se Categoria do serviço for média alta, então, a velocidade máxima de conexão será média alta.
  - Se Categoria do serviço for alta, então, a velocidade máxima de conexão será alta.
  
- ✓ Necessidade do Usuário
  - Se Necessidade do Usuário for muito fraca, então, a velocidade máxima de conexão será média baixa.
  - Se Necessidade do Usuário for fraca, então, a velocidade máxima de conexão será mediana.
  - Necessidade do Usuário do serviço for mediana, então, a velocidade máxima de conexão será média alta.
  - Se Necessidade do Usuário for média alta, então, a velocidade máxima de conexão será média alta.
  - Se Necessidade do Usuário for alta, então, a velocidade máxima de conexão será muito alta.
  
- ✓ Densidade de Usuários Conectados
  - Se Densidade de Usuários Conectados for muito baixa, então, a velocidade máxima de conexão será muito alta.
  - Se Densidade de Usuários Conectados for baixa, então, a velocidade máxima de conexão será alta.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

- Se Densidade de Usuários Conectados for mediana, então, a velocidade máxima de conexão mediana.
- Se Densidade de Usuários Conectados for média alta, então, a velocidade máxima de conexão mediana baixa.
- Se Densidade de Usuário Conectados for alta, então, a velocidade máxima de conexão baixa.

Do ponto de vista do usuário, o processamento de dados inicia-se na fuzzificação, tendo em vista que as funções de pertinência estão definidas. Todavia, essas funções também podem ser ajustadas pelo usuário. O diagrama de caso de uso ilustrado na figura 10 exibe a dinâmica da execução desse protótipo.

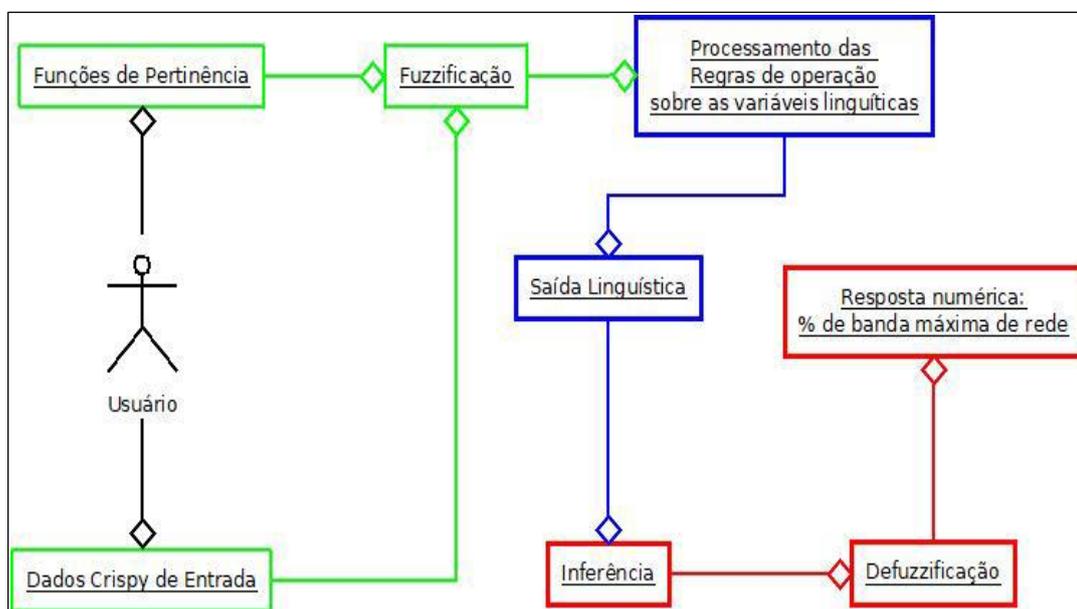


Figura 10: Diagrama de Caso de Uso do Sistema Protótipo. Fonte: RIBEIRO JR, , GOMES JR, MOURA JR (2021)

O código implementado está disponível no Google Colab no link disponível em: [https://colab.research.google.com/drive/13mbAXe3SIsoWqLhMr\\_oXXg6YMtgd83Km?usp=sharing](https://colab.research.google.com/drive/13mbAXe3SIsoWqLhMr_oXXg6YMtgd83Km?usp=sharing)

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

#### 4.1 Saídas e avaliação dos resultados

Foram realizados diferentes experimentos com entradas diversas. A seguir, serão mostrados quatro destes experimentos:

Experimento A: serviços com prioridade baixa de 10%, Usuário de prioridade de uso média com 50% e rede sobrecarregada com 980 usuários ativos. As saídas podem ser vistas na figura 11.

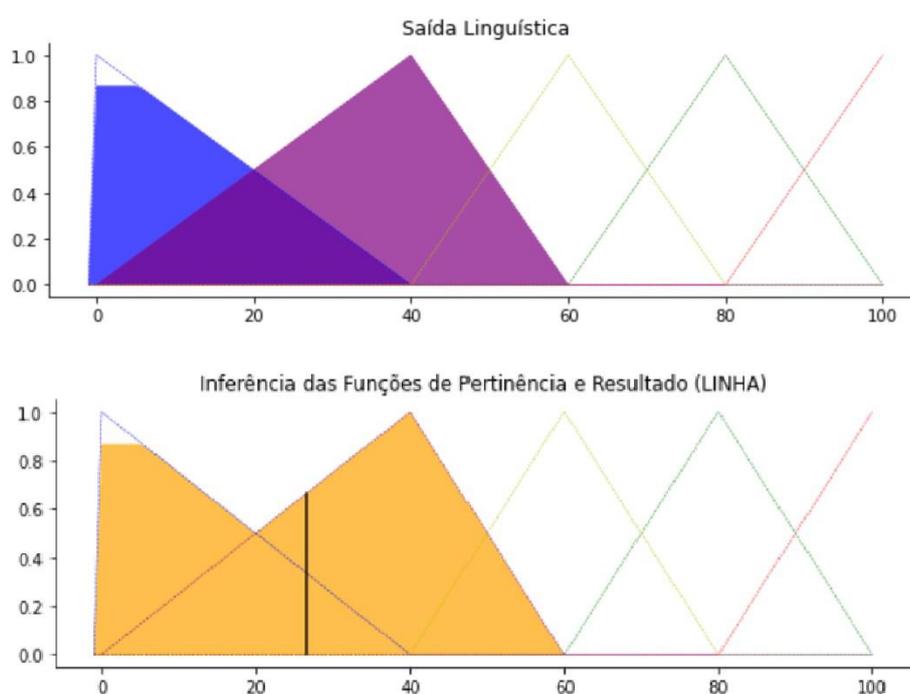


Figura 11: Saídas do Experimento A, Fonte: RIBEIRO JR, , GOMES JR, MOURA JR(2022)

No experimento A, o usuário terá um total de 26.60% da banda de download e upload disponível como velocidade máxima de conexão de rede. Percebe-se que, em uma situação em que o usuário está com pouco privilégio e com a rede sobrecarregada, a velocidade máxima que ele pode atingir é baixa.

Experimento B: tem como base o experimento A, mas sem uma sobrecarga significativa no número de usuários que possui 80 usuários ativos. As saídas podem ser vistas na figura 12.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

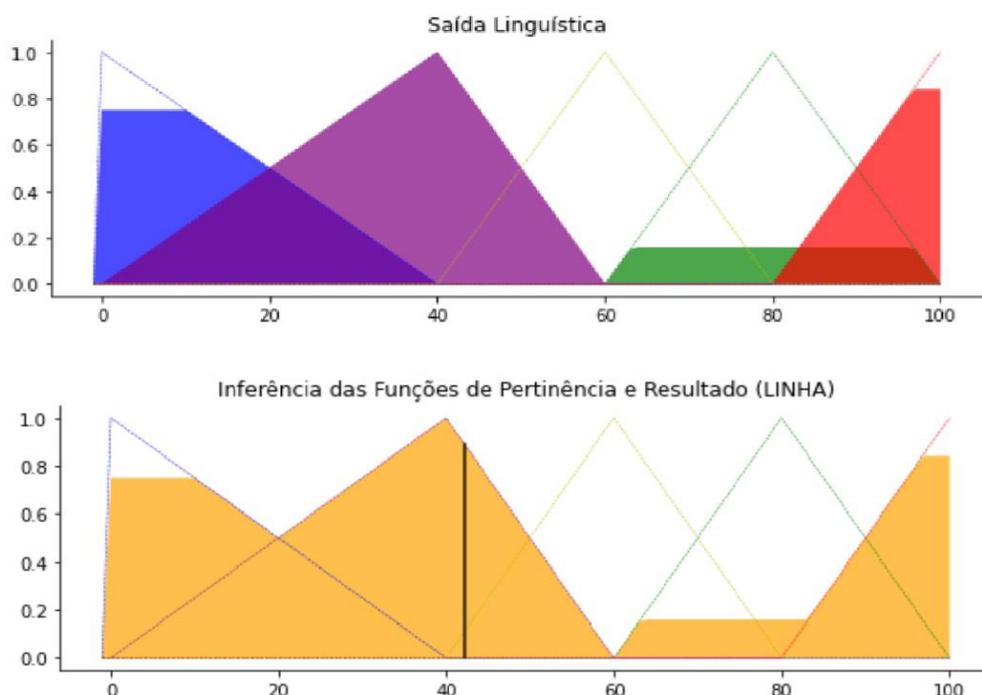


Figura 12: Saídas do Experimento B, Fonte: RIBEIRO JR, , GOMES JR, MOURA JR (2022)

No experimento B, o usuário terá um total de 42.24% da banda de download e upload disponível como velocidade máxima de conexão de rede. Percebe-se que, em uma situação em que o usuário está com pouco privilégio e com a rede livre, a velocidade máxima que ele pode atingir é mediana.

No experimento C, serviços com prioridade alta de 100%, Usuário de prioridade de uso alta com 100% e rede sobrecarregada com 1000 usuários ativos. As saídas podem ser vista na figura 13.

No experimento C, o usuário terá um total de 39.34% da banda de download e upload disponível como velocidade máxima de conexão de rede. Percebe-se que, em uma situação em que o usuário está com privilégio muito alto e com a rede extremamente sobrecarregada, a velocidade máxima que ele pode atingir é mediana baixa. O que mostra o equilíbrio alcançado pela saída do protótipo que, mesmo sendo uma velocidade máxima percentual baixa, mediante o grande número de usuário, é um percentual bom e na prática nem sempre será atingido devido à alta demanda.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

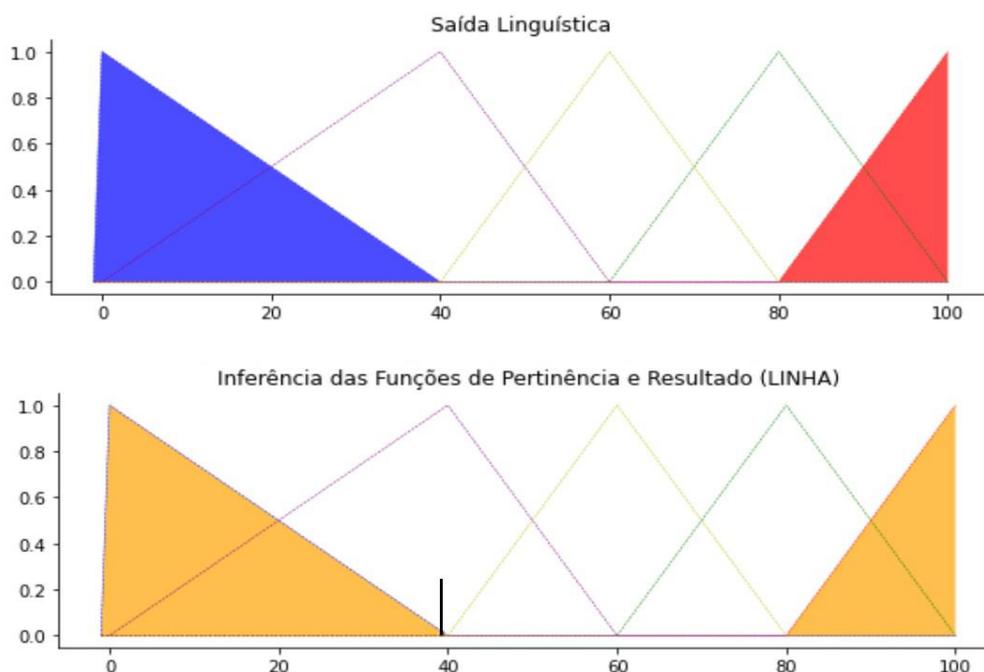


Figura 13: Saídas do Experimento C. Fonte: RIBEIRO JR, , GOMES JR, MOURA JR (2022)

Experimento D: tem como base o experimento C, mas sem uma sobrecarga significativa no número de usuários que possui 50 usuários ativos. As saídas podem ser vistas na figura 14.

No experimento D, o usuário terá um total de 89.61% da banda de download e upload disponível como velocidade máxima de conexão de rede. Percebe-se que, em uma situação em que o usuário está com privilégio muito alto e com a rede com baixa sobrecarga, a velocidade máxima que pode atingir é alta. Considerando que existem outros 49 usuários, dificilmente ele vai atingir esse percentual de velocidade, mas o limite definido é interessante e expressa o equilíbrio alcançado pela saída do sistema ajudando no controle de banda para uma distribuição mais justa de velocidade para todos os usuários.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

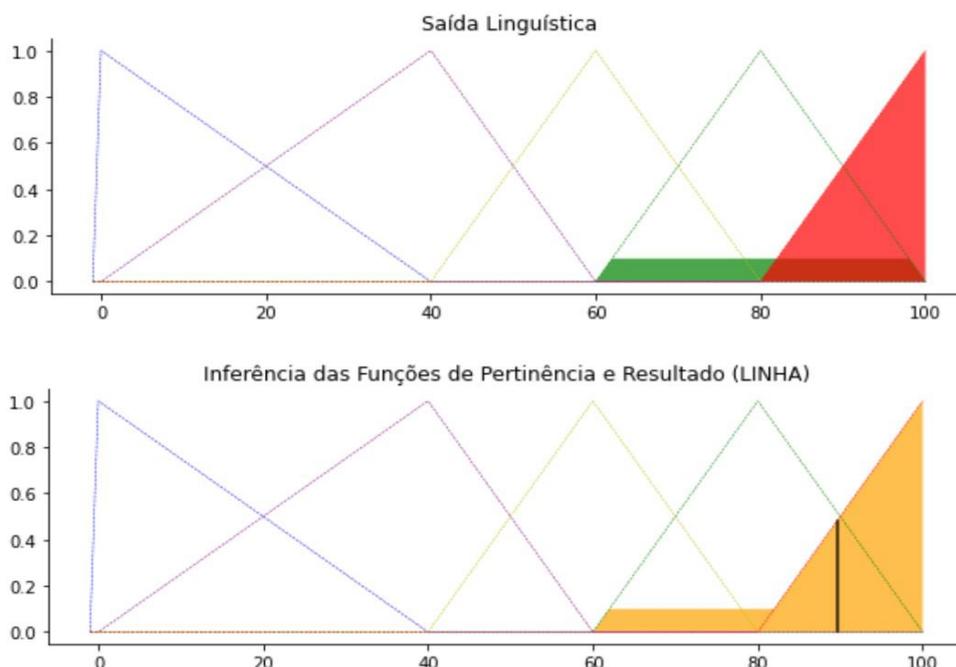


Figura 14. Saídas do Experimento. Fonte: RIBEIRO JR, GOMES JR, MOURA JR (2022)

Com os experimentos demonstrados ficou claro o efeito de cada variável de entrada na saída do sistema e como o sistema está, mesmo com poucas variáveis de entrada, já fazendo uma boa distribuição de velocidade máxima, tendo em vista que a velocidade estimada é a máxima, um limite superior e não necessariamente a velocidade que será atingida, esta podendo ser menor devido a um volume muito grande de demanda da rede. Esse controle de banda máxima auxilia o gerente da rede a manter um controle automatizado e mais justo da rede.

## 5. Considerações finais

A lógica Fuzzy auxilia na criação de sistemas onde o grau de incerteza faz parte do projeto, pois ele não pode ser modelado através da lógica booleana.

Este trabalho apresentou os principais conceitos sobre lógica fuzzy e mostrou esses conceitos aplicados na prática no estudo de caso da definição da velocidade máxima concedida a um usuário de uma rede de computadores.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

O problema da definição da largura de banda máxima que um usuário pode utilizar na rede é mais bem modelada utilizando métodos heurísticos que inserem incertezas no modelo, são muitos os parâmetros de entrada que podem se convertidos em variáveis linguísticas. No protótipo apresentado, foram escolhidos três parâmetros: tipo de serviço, necessidade do usuário e densidade do total de usuários na rede. Cada variável de entrada tem seu impacto individual na variável linguística de saída que é a porcentagem de largura de banda máxima que um usuário poderá usar.

Ao analisar as saídas do protótipo, verificou-se que a coerência entre as entradas e as saídas foi satisfatória. Foi possível ver como um usuário com baixa prioridade tem acesso a velocidades diferentes em meio a uma rede congestionada ou livre, também foi possível verificar o mesmo para um usuário com alta prioridade.

Softwares que auxiliem os administradores de redes de computadores são importantes, pois essa tarefa não é trivial, são muitos dados sendo produzidos em tempo real, muitos relatórios de sistemas gerentes de rede, dos sistemas e dos serviços. Apesar de a entrada do protótipo apresentado ter sido manual, uma expansão para uma aplicação viável é adicionar uma entrada automatizada a partir da mineração em logs dos sistemas de redes de computadores e também incluir a saída numérica em arquivos de configuração de aplicações que limitem a largura de banda de um usuário automaticamente.

Ainda para trabalhos futuros é interessante adicionar mais variáveis de entrada, como o histórico de uso do usuário, e também fazer com que a aplicação proposta execute em segundo plano e gere *logs* das ações realizadas em tempo real. Por fim, criar uma interface amigável para que o usuário possa fazer as entradas e as configurações necessárias.

Existem casos em que todos os auxílios automatizados via software e controles manuais dos administradores da rede são insuficientes para obter a qualidade de conexão desejada. Nesse caso, é inevitável a necessidade de um upgrade do hardware da rede e até uma reestruturação dos enlaces da rede ao observar os principais gargalos.

RIBEIRO JÚNIOR, Jaime; GOMES JÚNIOR, Carlos Silvio; MOURA JÚNIOR, José dos Reis V. de. **LÓGICA FUZZY APLICADA NA DEFINIÇÃO DA LARGURA DE BANDA MÁXIMA DE UM USUÁRIO DE REDE DE COMPUTADORES.**

## REFERÊNCIAS

AGUADO, A. G. e CANTANHEDE, M. A. **Lógica fuzzy.** Faculdade de Tecnologia – Universidade Estadual de Campinas, 2010.

COX, E. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems.** New York: AP Professional; 1994.

DA SILVA Menezes, E. e SILVA, P. L. L. **Gerenciamento de redes: Estudos de protocolos.** Departamento de Informática Universidade Federal de Pernambuco; 1998.

FERNEDA, E. e DIAS, G. A. **A lógica fuzzy aplicada a recuperação de informação.** InterScientia, João Pessoa, 2013, p. 51–65.

MARTINS, E. **Lógica booleana? saiba um pouco mais sobre esta lógica e como ela funciona.** Tecmundo.com.br.; 2009.

OLIVEIRA, S., de Almeida, P. E. M., e EVSUKOFF, A. G. **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações.** Manole, São Paulo, 2003.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications.** Reino Unido: JohnWiley & Sons Ltd, 2010.

SAMPAIO, L. M. D., DE OLIVEIRA, M. J. F., e IGNÁCIO, A. A. V. (2007). **Lógica nebulosa: Aplicações e tendências.** SPOLM2007, ISSN 2175-6295, 2007.

SANDRI, S. e CORREA, C. **Lógica nebulosa.** INPE, CNRN, 1999.

TANENBAUM, A. **Redes de Computadores.** 5. ed. São Paulo: Pearson; 2011.

TOCCI, R. J., WILMER, N., e MOSS, G. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações.** São Paulo: Pearson; 2011.

YILDIZ, Z. C. **A short fuzzy logic tutorial.** Bilkent.edu.br, 2010.

Recebido em 31/05/2022

Aprovado em 11/07/2022