

ALMANAQUE PARA POPULARIZAÇÃO DE  
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

SÉRIE 2 INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL



Volume 11

# Introdução à Lógica Nebulosa – Parte 1



Ricardo Linden  
Maria Augusta Silveira Netto Nunes  
Yolanda Guimarães Bomfim

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

## REITOR

Prof. Dr. Angelo Roberto Antonioli

## VICE-REITOR

Prof. André Maurício Conceição de Souza

## CAPA E EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Yolanda Guimarães Bomfim

## REVISÃO GERAL

Maria Augusta Silveira Netto Nunes

## REVISOR CIENTÍFICO

Silvio César Cazella (UFCSPA)

### FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

L744i Linden, Ricardo  
Introdução à lógica nebulosa : parte1 [recurso eletrônico] /  
Ricardo Linden, Maria Augusta Silveira Netto Nunes. – Porto Alegre  
: SBC ; São Cristóvão : UFS, 2016.  
32 p. : il. – (Almanaque para popularização de ciência da  
computação. Série 2, Inteligência Artificial ; v. 11).

ISBN 978-85-7669-354-3

1. Computação. 2. Lógica difusa. I. Nunes, Maria Augusta  
Silveira Netto. II. Título. IV. Série.

CDU 004.8(059)



ALMANAQUE PARA POPULARIZAÇÃO DE  
**CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**  
SÉRIE 2: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

VOLUME 11 :  
**INTRODUÇÃO À  
LÓGICA NEBULOSA  
PARTE 1**

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO - SBC  
PORTO ALEGRE – RS

**AUTORES**

RICARDO LINDEN  
MARIA AUGUSTA SILVEIRA NETTO NUNES  
YOLANDA GUIMARÃES BOMFIM

REALIZAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
SÃO CRISTÓVÃO – SERGIPE - 2016

# APRESENTAÇÃO

Essa cartilha foi desenvolvida como atividade do projeto de extensão para popularização de Ciência da Computação em Sergipe apoiado pela PROEX-UFS e pelo projeto MCTI/CNPq/SPM-nº 420160/2013-2, intitulado : Popularizando e fomentando o ingresso de meninas sergipanas na área de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Sistema de Informação visando a crescente demanda de profissionais no contexto estadual, nacional e internacional da área de TI. É também vinculado ao projeto da Bolsa de Produtividade CNPq-DTII coordenado pela prof. Maria Augusta Silveira Netto Nunes em desenvolvimento no Departamento de Computação/Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação (PROCC) – UFS. O público alvo das cartilhas são jovens pré-vestibulandos e graduandos em anos iniciais. O objetivo é fomentar no público sergipano e nacional o interesse pela área de Ciência da Computação.

As cartilhas da série de Inteligência Artificial descrevem sobre a área da Ciência da Computação que busca simular e/ou emular a inteligência humana através de mecanismos e software.

Esta cartilha é a primeira de duas cartilhas que introduzirão a lógica nebulosa (também conhecida como lógica fuzzy ou lógica difusa). Nesta, apresentaremos os conjuntos nebulosos (também conhecida como conjuntos fuzzy ou difusos), que são considerados como a base matemática e conceitual sobre a qual a lógica nebulosa se apoia.

A lógica nebulosa é uma ferramenta importante no estabelecimento de um controle gradual usando regras similares ao raciocínio humano, sendo usada por grandes empresas e universidades ao redor do mundo. Entre as múltiplas aplicações da lógica nebulosa incluímos controle de tráfego, regulação de aparelhos de ar condicionado e até mesmo para avaliação e previsão de comportamento de empreendedores.

(OS AUTORES)

# INTRODUÇÃO À LÓGICA NEBULOSA

Que dia agradável!

Pois é, este passeio  
está sendo  
uma  
delícia!

Que cara baixo!

Eu acho que ele  
é um pouco alto

Caramba! Este carro  
estava andando rápido!

Engraçado. Eu acho que ele  
estava um pouco devagar

Gente, que mulher magra!  
Pois eu acho que  
ela é um pouco gorda...



Poxa, Maria!  
Você tirou o dia para  
me contrariar?

Mas eu não  
estou te  
contrariando...



Como assim? Eu falei que o cara era alto,  
você disse que ele era um pouco baixo.  
Eu falei que o carro estava rápido e  
você falou que ele estava um  
pouco devagar.

Depois eu falei que a  
mulher era magra e você  
disse que ela era um  
pouco gorda.



Oh, João, mas que visão  
dicotômica do mundo,  
hein?!

E daí?

E daí que essas  
coisas são o  
contrário umas  
das outras.



Dico o quê?

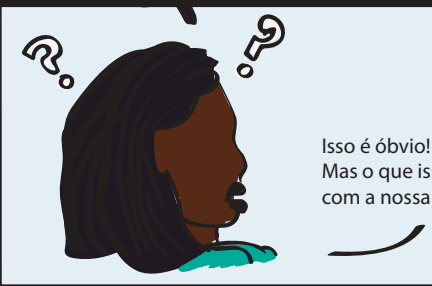



Dicotômica, João.  
Quer dizer que você enxerga  
o mundo como tendo apenas  
dois polos opostos

O mundo não é assim, João.  
Não existem apenas o preto  
e o branco. Entre eles, existe  
um monte de tons de cinza!



Isso é óbvio!  
Mas o que isso tem a ver  
com a nossa conversa?





Olha, João, o cinza é um pouco preto e um pouco branco. Cinza escuro contém muito preto e pouco branco. Já o cinza claro, é o contrário, ou seja, temos muito branco e pouco preto.


Com cores, tudo bem. Mas ninguém pode ser um pouco gordo e um pouco magro ou então estar um pouco rápido e um pouco devagar!

E por que não?

Porque essas coisas são o contrário umas das outras!

Assim como cheio e vazio?

Exatamente!



Quando compramos este coco, ele estava cheio de água, certo?!

Exatamente. Logo, ele não estava vazio!

Mas eu tomei um gole agora. Ele está cheio ou vazio?

Ihhhh, acho que pode?

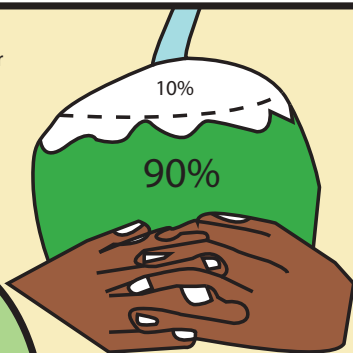
Está praticamente cheio, ora!

Você poderia dizer, então, que ele está 95% cheio?

Se ele está 95% cheio, posso dizer que ele está 5% vazio?

Agora, então, eu posso dizer que meu coco está 90% cheio e 10% vazio?

Acho que pode, mas ninguém diz isso!



Ao contrário! Todo mundo diz isso o tempo todo.

Como assim?

Quando um carro passa e eu pergunto se ele está rápido, às vezes você responde "mais ou menos", "um pouco" ou "meio devagar", não é mesmo?!

É...

Então, podemos dizer que existe um conjunto dos carros rápidos e um conjunto dos carros lentos e este carro pertence um pouquinho a cada um. Entendeu?

Ah, isso não! Eu aprendi conjuntos na escola e não existia nada disso!



Os conjuntos eram que nem o jogo de bola de gude das crianças ali. Tinha uns círculos e o elemento estava dentro ou estava fora deles...  
...não tinha nada dessa história de estar um pouco dentro e um pouco fora!  
É que nem as bolinhas  
– ou estão dentro ou fora do círculo!

Sim, João, na escola você aprendeu isso mesmo. E esses círculos eram chamados de Diagramas de Venn\*, que descreviam graficamente um conjunto.

Assim, quem estava dentro do círculo pertencia ao conjunto e quem estava fora não pertencia!

Viu?! Eu sabia que não tinha esse negócio que você falou!

Não, João. Aquilo que você viu na escola era uma coisa ligeiramente diferente, o que a gente chama de conjuntos tradicionais...

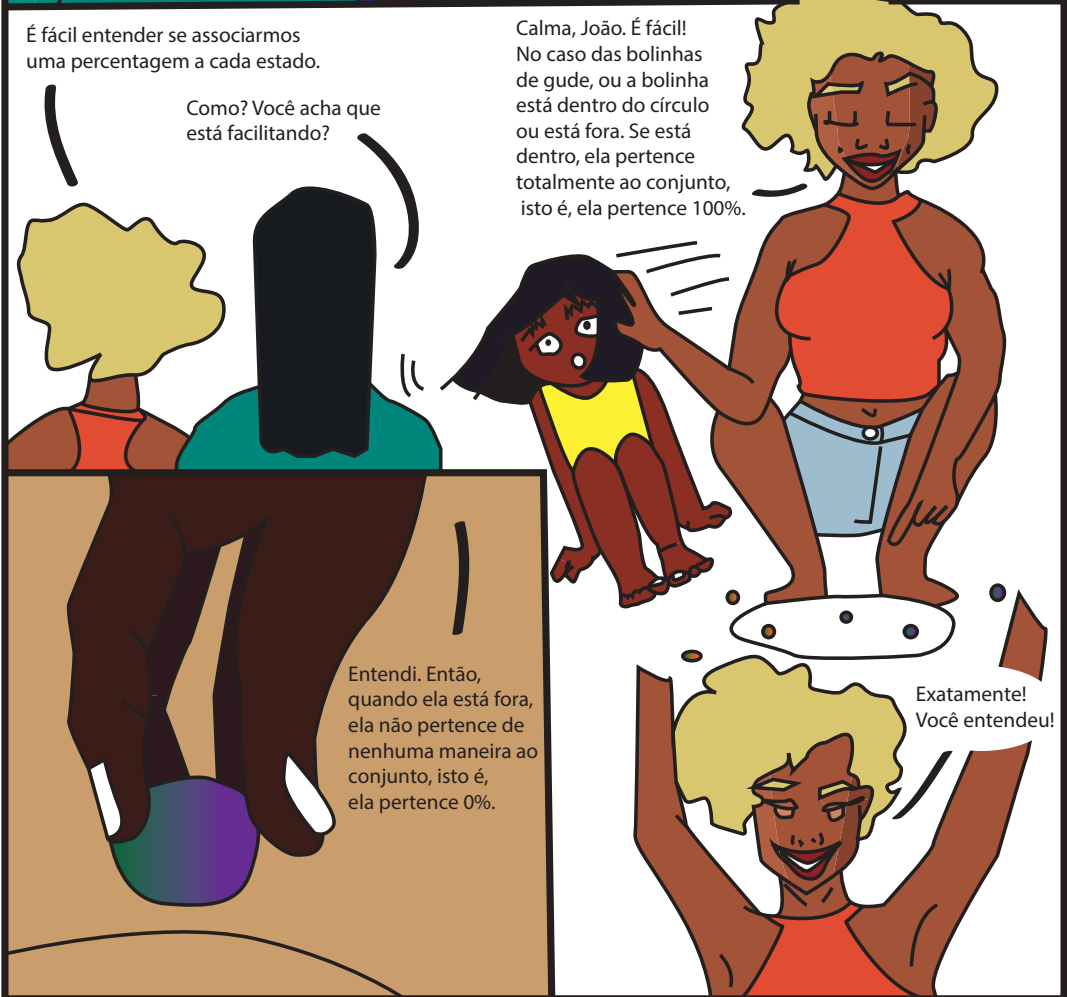
O que eu estou tentando explicar para você são os conjuntos nebulosos.

\* Para lembrar um pouco mais sobre os diagramas de Venn, acesse <http://brasilecola.uol.com.br/matematica/diagrama-de-venn.htm>



Ih, nebuloso é o nome certo, porque eu não estou entendendo nada que você está falando. Está mesmo nebuloso!

Calma, João. Eu sei que os nomes parecem complicados, mas na verdade o conceito é bem simples.



É fácil entender se associarmos uma porcentagem a cada estado.

Como? Você acha que está facilitando?

Calma, João. É fácil! No caso das bolinhas de gude, ou a bolinha está dentro do círculo ou está fora. Se está dentro, ela pertence totalmente ao conjunto, isto é, ela pertence 100%.

Entendi. Então, quando ela está fora, ela não pertence de nenhuma maneira ao conjunto, isto é, ela pertence 0%.

Exatamente! Você entendeu!

Tá bom, mas eu ainda não entendi o que isso tem a ver com o carro “um pouco rápido”?

É exatamente essa a diferença dos conjuntos nebulosos, que também são chamados de conjuntos fuzzy, para os conjuntos tradicionais.

Nos conjuntos nebulosos, é permitido pertencer “um pouco” ao conjunto, isto é, ter uma pertinência entre zero e um.



Parou! Parou! O que é que zero e um tem a ver com a história? A pertinência não era 0% ou 100%?

Essa é uma confusão normal, mas se lembre do que você aprendeu na escola: 0% é 0/100, ou seja, zero. Já 100%, é 100/100, isto é 1\*. Ou seja, são a mesma coisa.

Então por que não usar 0% e 100%?

$$\frac{0}{100} = 0\% \text{ (por cento)}$$

cem ( ou cento)

É uma questão de costume. A comunidade científica que usa conjuntos nebulosos prefere usar zero e um.

Pertinência	Porcentagem
0	0%
1	100%

Entendi. Zero é 0% e um, 100%. E o “um pouco rápido”, onde se encaixa?

Ele se encaixa no fato de que podemos ter uma pertinência de 0,5, por exemplo, de uma velocidade no conjunto dos rápidos.

\* Para lembrar um pouco mais sobre como as frações são porcentagens, acesse <http://www.somatematica.com.br/fundam/porcent.php>

Entendi. Um carro pode pertencer 50%, que é o mesmo que 0,5 a um conjunto. Mas como vou saber o quanto ele pertence?

Normalmente, essa determinação é feita de acordo com a experiência das pessoas envolvidas no trabalho. Por exemplo, olhe aquele carro andando a 40 km/h. Você acha que ele está rápido?

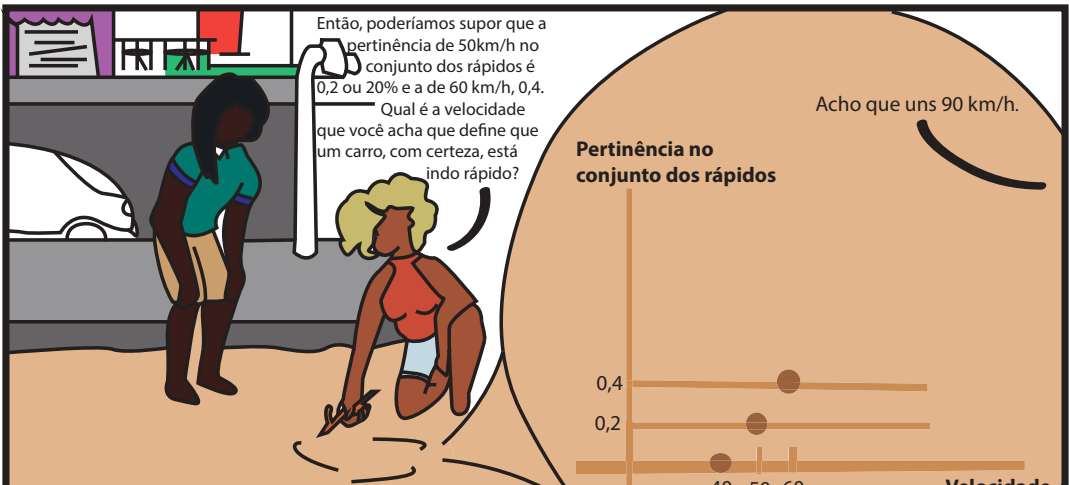
Nem um pouquinho

Certo. Então a pertinência de 40 km/h no conjunto dos rápidos é zero. E a daqueles dois?

40 km

50 km

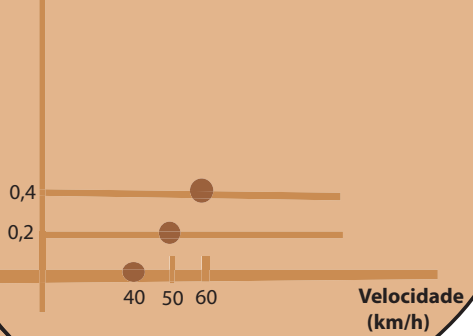
O de 50km/h está bem pouco rápido, e o de 60 km/h já é razoavelmente rápido.



Então, poderíamos supor que a pertinência de 50km/h no conjunto dos rápidos é 0,2 ou 20% e a de 60 km/h, 0,4. Qual é a velocidade que você acha que define que um carro, com certeza, está indo rápido?

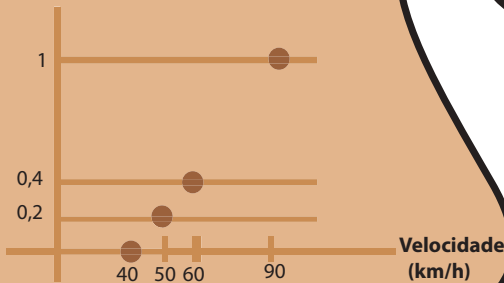
Acho que uns 90 km/h.

**Pertinência no conjunto dos rápidos**



Então vamos dizer que 90 km/h tem pertinência igual a 1 no conjunto dos rápidos. Assim, a gente pode desenhar uma função que define a relação entre a velocidade e sua pertinência no conjunto.

**Pertinência no conjunto dos rápidos**



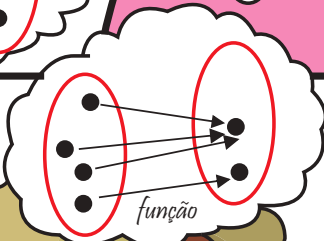
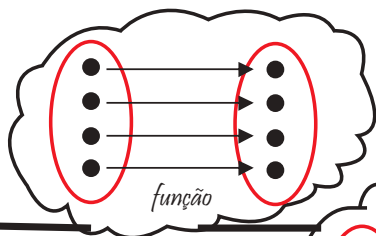
Função\*?



É, João. Você não lembra? Você aprendeu função no ensino médio! Olha que sua professora vai voltar aqui e puxar a sua orelha, hein?

\* Para lembrar os conceitos de função, acesse <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/funcao.htm>.

Função é aquilo que relaciona dois conjuntos?  
Eu lembro que na escola tinha uma história de que  
tinha um conjunto que era o domínio e que cada  
um dos elementos deste conjunto se relacionava  
com um elemento do outro, não é?!

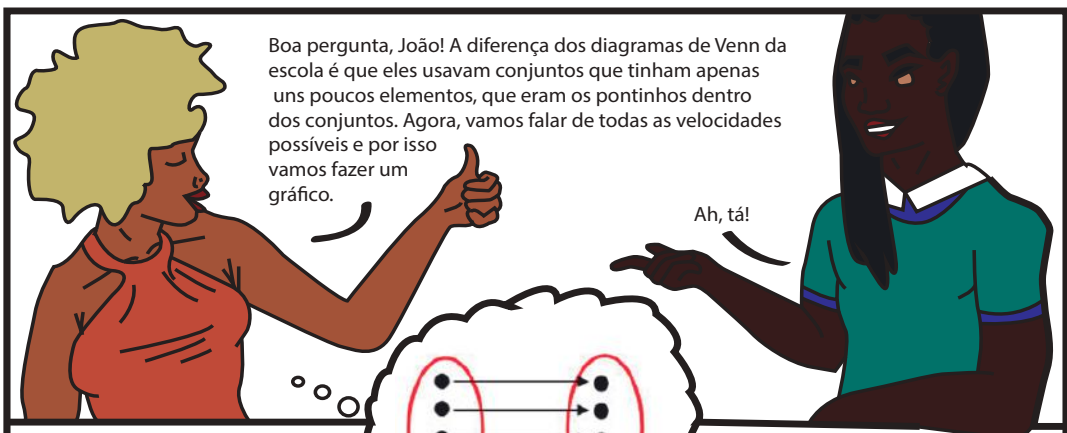


Exatamente! Nesse caso, o conjunto  
velocidade é o domínio e o outro  
conjunto é o conjunto pertinência.  
Assim, para cada velocidade, vamos  
ter uma pertinência!



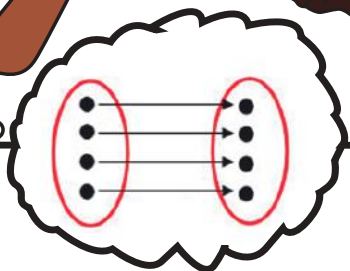
Mas por que na escola eles usavam  
aquelas elipses para os conjuntos  
e você não?





Boa pergunta, João! A diferença dos diagramas de Venn da escola é que eles usavam conjuntos que tinham apenas uns poucos elementos, que eram os pontinhos dentro dos conjuntos. Agora, vamos falar de todas as velocidades possíveis e por isso vamos fazer um gráfico.

Ah, tá!

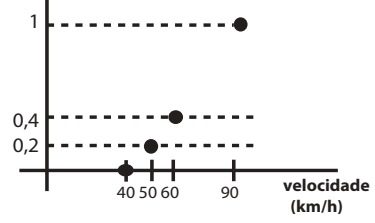


Entendeu? Para cada uma das velocidades que vimos, eu designei uma pertinência e pude assim definir uma função.

Eu entendi, mas por que não tem nenhum valor para as velocidades entre aquelas que falamos?



**Pertinência no conjunto dos rápidos**

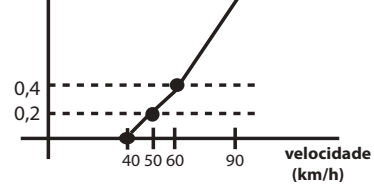


Boa, João! Na verdade, nós podemos criar uma função contínua para todos os pontos se fizermos uma interpolação.

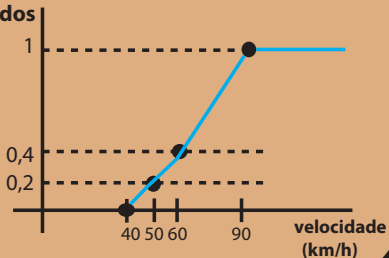
Inter o quê? Você fica falando essas palavras difíceis e aí complica mais o assunto.



**Pertinência no conjunto dos rápidos**



Pertinência no conjunto dos rápidos



É verdade. A palavra é difícil, mas o que eu fiz é fácil. A ideia é construir um gráfico contínuo tendo apenas pontos separados. Olhe o que eu fiz: eu liguei os pontos usando retas. Isso é o que se chama interpolação\* linear.

Quer dizer que quando eu brincava de ligue-ponto na pré-escola eu estava fazendo uma interpolação linear!

Isso, João!

Mas este é apenas o conjunto dos carros rápidos. Como é que eu faço para construir o dos carros lentos?

Ué, da mesma maneira, João. Vamos ver...

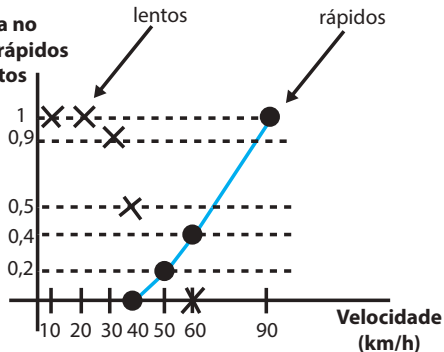
\* Para saber mais sobre interpolação, acesse [http://www1.univap.br/spilling/CN/CN\\_Capt4.pdf](http://www1.univap.br/spilling/CN/CN_Capt4.pdf)



10 km/h é lento com certeza, assim como 20 km/h. 30km/h já é um pouquinho menos, então vou dar pertinência 0,9. 40 km/h começa a ficar rápido, então vou dar pertinência 0,5. 50 km/h eu vou arbitrar 0,2 e de 60 km/h em diante, passa a não pertencer totalmente ao conjunto dos lentos.

E depois a gente interpola?

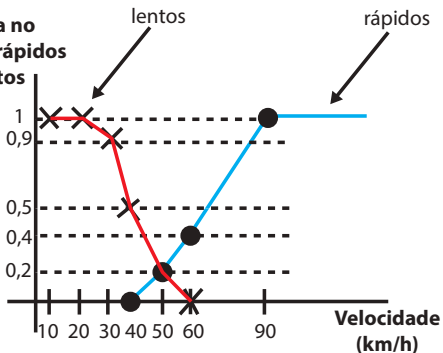
**Pertinência no conjunto dos rápidos e dos lentos**



A palavra é "interpolou", João, mas a sua ideia está perfeita. Olha, estou traçando as retas!

Ah, é! Eu entendi a ideia, mas as palavras são muito difíceis... Mas agora eu tenho dois valores de pertinência para cada velocidade. Qual deles é o certo?

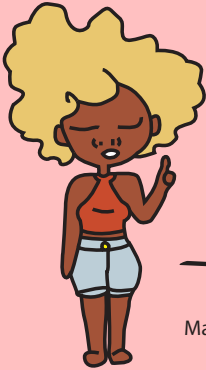
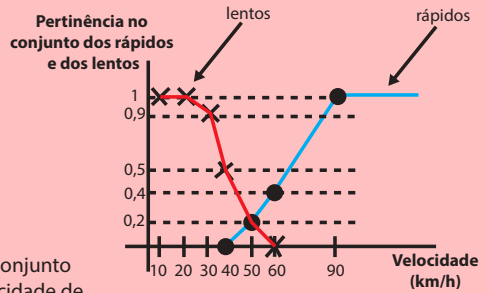
**Pertinência no conjunto dos rápidos e dos lentos**



Os dois!

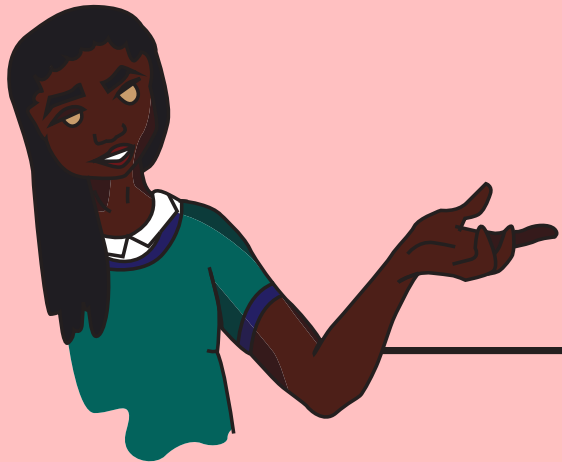


Como assim?



Cada valor é a pertinência em um conjunto diferente. Olhe no desenho: a velocidade de 60 km/h tem pertinência de 0,4 no conjunto dos rápidos e 0 no conjunto dos lentos...  
 ...já a velocidade de 50 km/h tem pertinência 0,2 no conjunto dos rápidos e 0,2 no conjunto dos lentos


Mas isso não é confuso?




Não. É assim que nós pensamos na vida real: um carro pode ser um pouco rápido e um pouco lento ao mesmo tempo...  
 ...e é por isso que nós não estávamos nos contradizendo quando começamos a conversar.

Entendi. Então eu posso ter dois conjuntos nebulosos para cada variável que eu medir, certo?!






Na verdade, você pode ter quantos conjuntos nebulosos  
você quiser e precisar. Por exemplo, eu poderia definir  
um conjunto dos carros de velocidade média, ou dos  
carros “devagar quase parando”, e assim por diante.



Entendi. E aí eu teria uma  
pertinência para cada um  
deles. Muito legal!

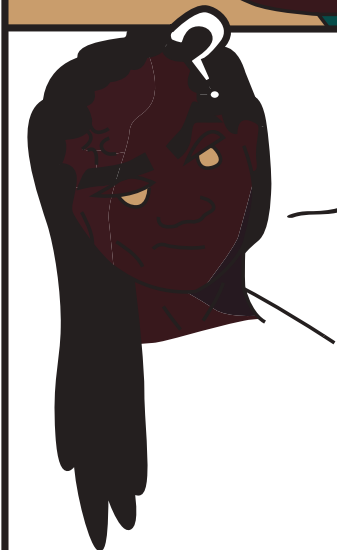


Exatamente! E todas as pertinências estariam  
no intervalo entre zero e um.



Está muito quente hoje, né?

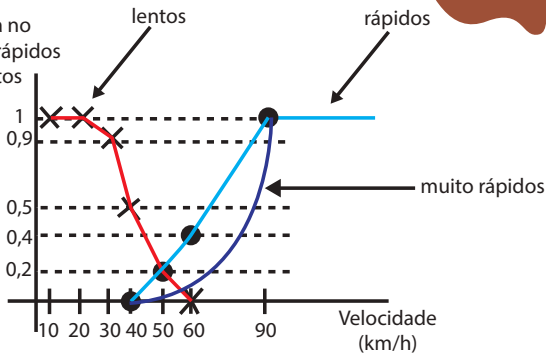
Legal, você ter mencionado isso. "Muito" é um modificador linguístico, isto é, conjunto "muito rápido" é diferente do conjunto "rápido".



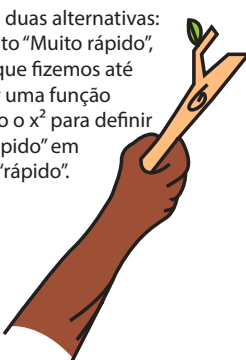
Hein?



Pertinência no conjunto dos rápidos e dos lentos




Isso! Você então tem duas alternativas: definir outro conjunto "Muito rápido", da mesma maneira que fizemos até agora, ou então usar uma função concentradora, como o  $x^2$  para definir o conjunto "muito rápido" em função do conjunto "rápido".




Concentradora?






É. A gente chama assim porque, como trabalhamos com números menores do que 1, o quadrado deles é menor do que eles. Olha aqui como a parábola do “muito rápido” está sempre abaixo da função de pertinência do “rápido”. Só quando está em zero e um que elas são iguais, entendeu?



Não, Maria, você não entendeu.  
Eu queria dizer que realmente  
está muito quente hoje.



Ih, desculpa,  
acho que me  
empolguei...

Com certeza, você se empolgou muito. Mas não se preocupe, o assunto é legal mesmo. O que eu queria agora era dar um mergulho no mar. Vamos?

Agora? Mas eu nem te expliquei sobre como a gente usa os conjuntos nebulosos para fazer o controle de processos e muitas outras aplicações!

Quer dizer que isso tem aplicações?  
Não é só matemática?

Claro que tem! Conjuntos nebulosos são a base de uma área da inteligência artificial chamada lógica nebulosa, que também é chamada de lógica fuzzy e é super usada hoje em dia!

E as aplicações são muitas! Os cientistas têm desenvolvido aplicações para controle de tráfego, controle de funcionamento de indústrias, veículos que não precisam de motoristas, ventilação de túneis urbanos e muito mais. Tem até aparelho de ar condicionado e máquina de lavar que usam isso hoje em dia!



Poxa, Maria, parece ser interessante mesmo, mas agora eu quero mesmo tomar um banho de mar. A gente combina outro dia e você me explica tudo!

Tá bom, depois eu te ligo! Tchau!

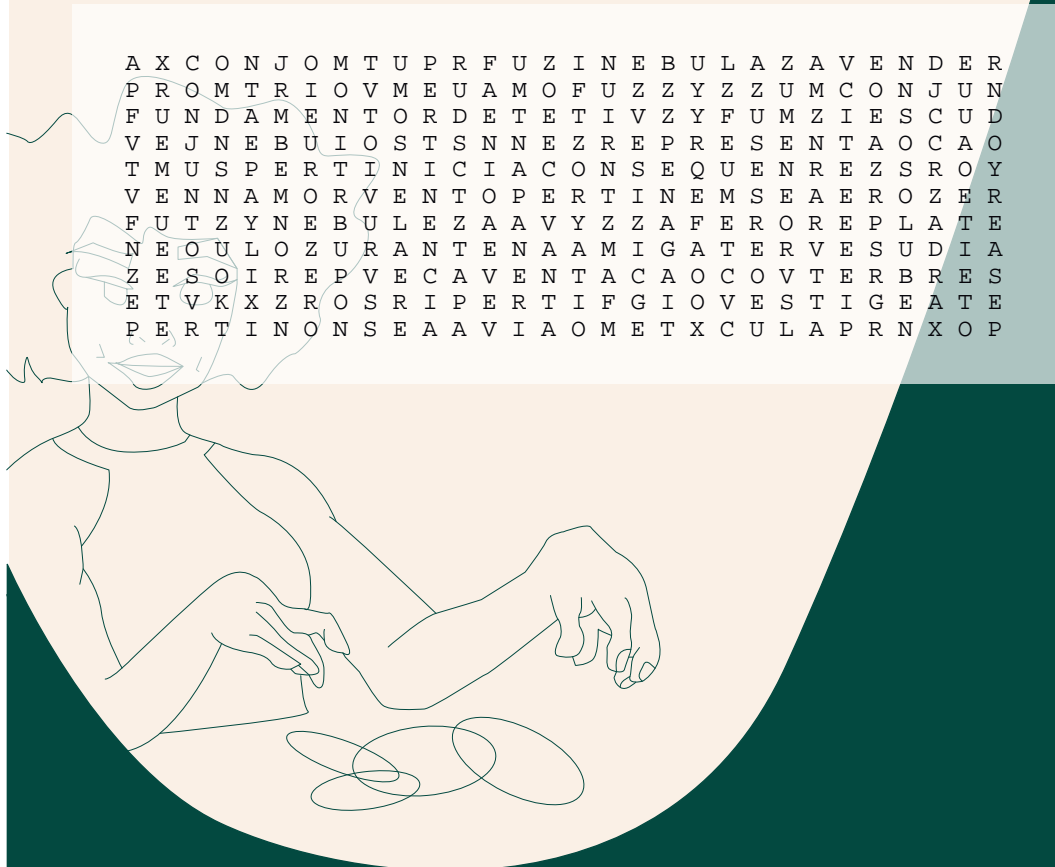
Tomara que a Maria me ligue mesmo. Esta tal lógica nebulosa parece ser super legal!

Continua...

## CAÇAPALAVRA

Procure e marque no diagrama de letras, as palavras em destaque no texto

Os CONJUNTOS normais só permitem PERTINÊNCIA igual a ZERO ou UM e são representados através de diagramas de VENN. Os conjuntos NEBULOSOS ou FUZZY permitem pertinências intermediárias.



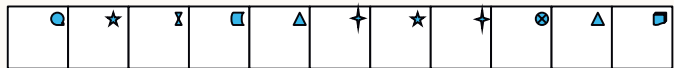
A X C O N J O M T U P R F U Z I N E B U L A Z A V E N D E R  
 P R O M T R I O V M E U A M O F U Z Z Y Z Z U M C O N J U N  
 F U N D A M E N T O R D E T E T E T I V Z Y F U M Z I E S C U D  
 V E J N E B U I O S T S N N E Z R E P R E S E N T A O C A O  
 T M U S P E R T I N I C I A C O N S E Q U E N R E Z S R O Y  
 V E N N A M O R V E N T O P E R T I N E M S E A E R O Z E R  
 F U T Z Y N E B U L E Z A A V Y Z Z A F E R O R E P L A T E  
 N E O U L O Z U R A N T E N A A M I G A T E R V E S U D I A  
 Z E S O I R E P V E C A V E N T A C A O C O V T E R B R E S  
 E T V K X Z R O S R I P E R T I F G I O V E S T I G E A T E  
 P E R T I N O N S E A A V I A O M E T X C U L A P R N X O P



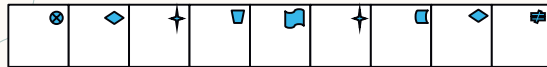
# CRIFTOGRAMA

Encontre a resposta para cada definição. Cada símbolo representa uma letra. Depois, usando as letras correspondentes aos símbolos encontrados, descubra quais são as outras palavras ligadas aos conjuntos fuzzy que representamos abaixo.

Tenho diferentes propriedades nos conjuntos fuzzy e nos conjuntos tradicionais



As vezes somos representados por Diagramas de Venn

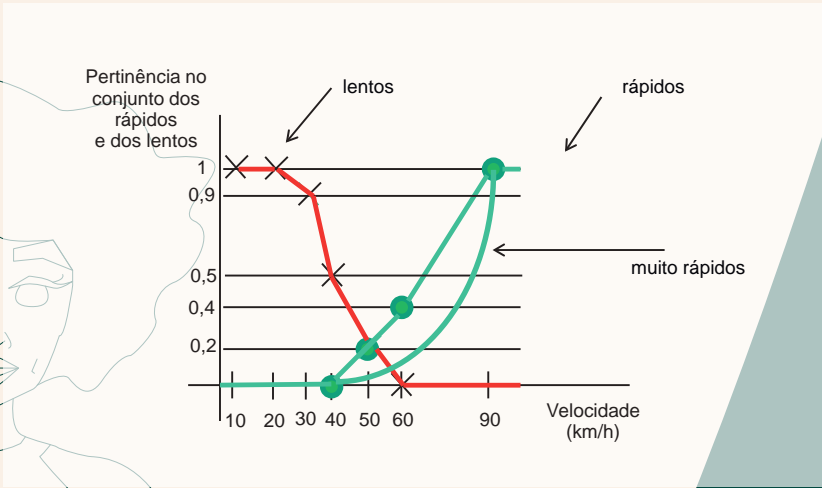
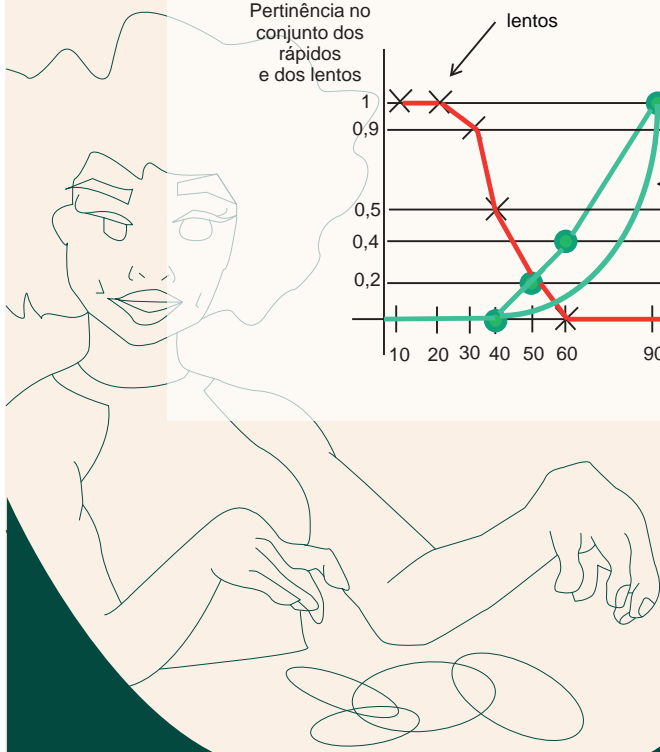


Outros termos importantes...



# MEMOREX

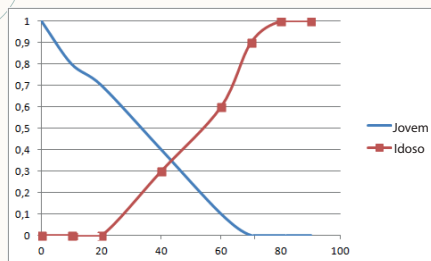
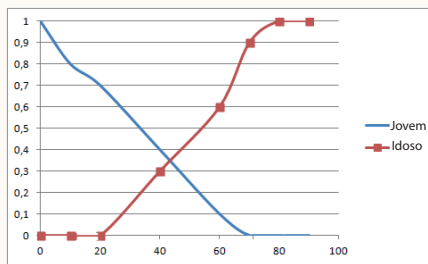
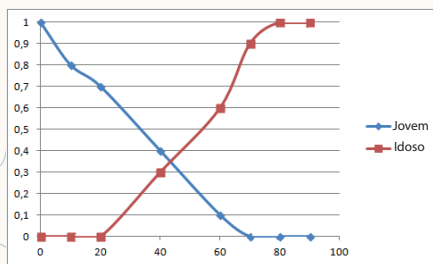
Olhe a cena por alguns instantes, vire a página de cabeça para baixo, tape o desenho e responda às perguntas.



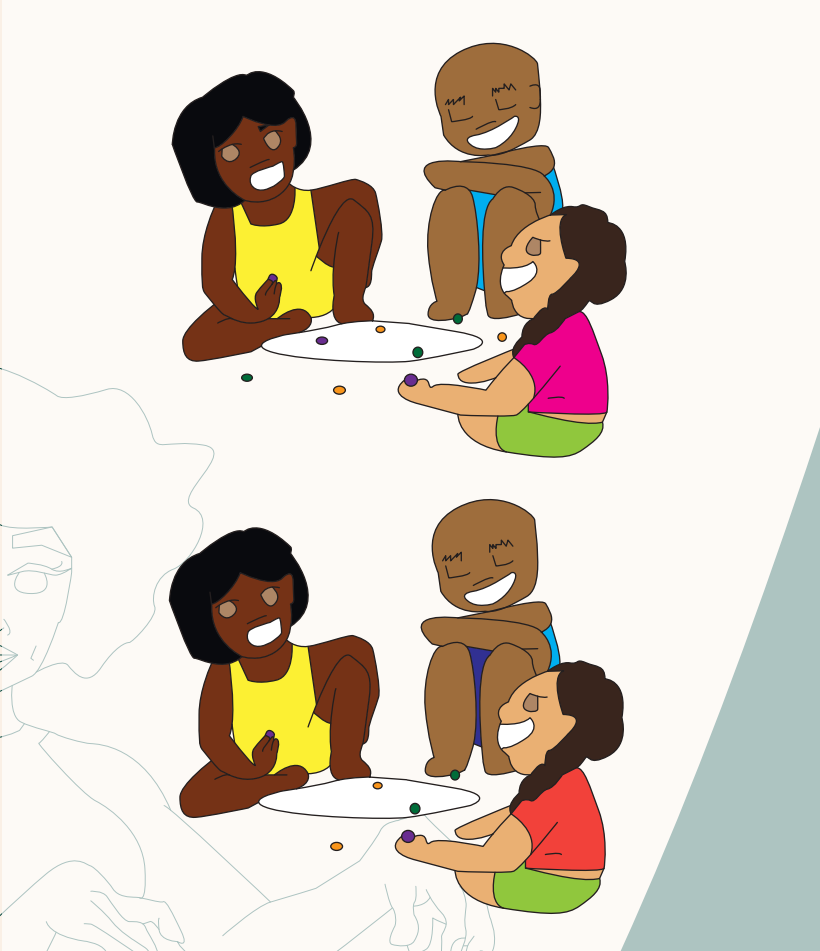
- 1) Quantos conjuntos fuzzy são representados na figura?
- 2) Qual é o nome dos conjuntos representados?
- 3) Qual é o domínio da abscissa (conjunto velocidade)?
- 4) Em quais velocidades a pertinência no conjunto dos muito rápidos é igual ou maior à dos rápidos?

# O INTRUSO

Qual dos desenhos abaixo possui um pequeno detalhe que não está presente nos outros dois?



# JOGODOS 7ERROS



# BIBLIOGRAFIA

Rezende, Solange O., "Sistemas Inteligentes e suas aplicações", Editora Manole, 1ª Edição, 2003

Cruz, Adriano J. de O., "Conjuntos nebulosos", Transparências de aula, UFRJ, 2002, acessível no endereço da internet <http://equipe.nce.ufrj.br/adriano/fuzzy/transparencias/conjuntosintroducao.pdf>

Simões, Marcelo G.; Shaw, I. S., "Controle e modelagem Fuzzy", Editora Blucher, 2ª Edição, 2007

## SOBRE OS AUTORES

### Ricardo Linden

Professor Doutor do curso de Engenharia de Computação da Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora e Pesquisador III do Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL – Eletrobras). Concluiu seu doutorado em 2005 no curso de Engenharia Elétrica da COPPE-UFRJ com uma tese sobre técnicas inteligentes híbridas (algoritmos evolutivos mais lógica nebulosa). Escreveu o livro "Algoritmos Genéticos", que já está em sua terceira edição. É editor da Revista de Sistemas de Informação da FSMA e revisor de periódico da Information Sciences, International Journal of Control, Automation and Systems e da IEEE Transactions on Fuzzy Systems, além de ser Revisor de projeto de fomento da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco.

Lattes: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4790268D6>

## **Maria Augusta Silveira Netto Nunes**

**Bolsista de Produtividade Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq**

Professora Adjunta IV do Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe. Membro do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação (PROCC) na UFS. Pós-doutora em Propriedade Intelectual no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Doutora em "Informatique pela Université de Montpellier II - LIRMM em Montpellier, França (2008). Realizou estágio doutoral (doc-sanduíche) no INESC-ID-IST Lisboa- Portugal (ago 2007-fev 2008). É mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1998) e possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade de Passo Fundo (1995). Possui experiência acadêmico-tecnológica na área de Ciência da Computação e Inovação Tecnológica/Propriedade Intelectual. Atualmente, suas pesquisas estão voltadas, principalmente na área de inovação Tecnológica usando Computação Afetiva na tomada de Decisão Computacional. Atua também em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual capacitando empresários na área de TI e fornecendo consultoria em Registro de Software e patente.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9923270028346687>

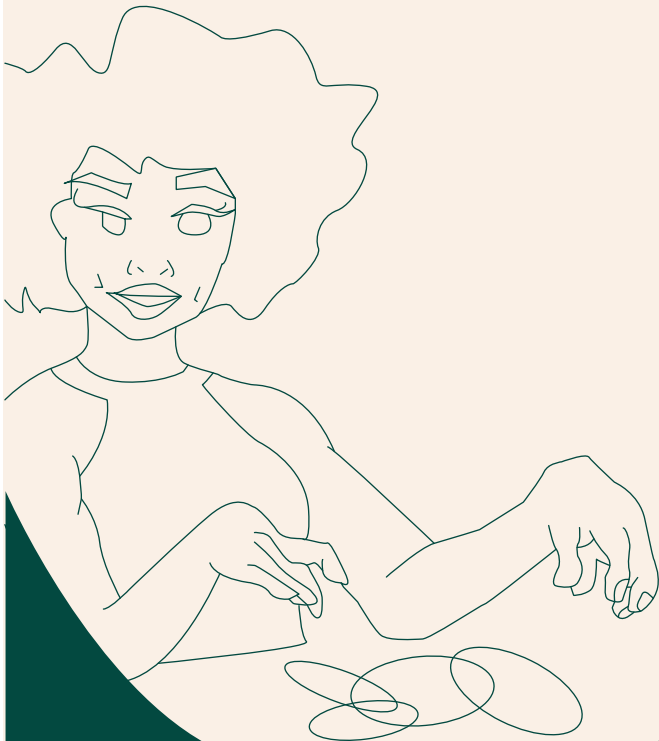
## **Yolanda Guimarães Bomfim**

Graduanda em Design Gráfico pela Universidade Federal de Sergipe, ilustradora e aprendiz de Quadrinista.

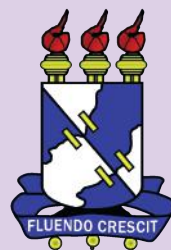
## **AGRADECIMENTOS**

SBC, DCOMP, PROCC, CNPq, CAPES e FAPITEC e à FSMA, pelo apoio concedido para a viabilização desta publicação

# ANOTAÇÕES



# APOIO:



ISBN 978-857669354-3



9

788576

693543