

# ALMANAQUE PARA POPULARIZAÇÃO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

SÉRIE

2

INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL

Volume 12

## INTRODUÇÃO À LÓGICA NEBULOSA – PARTE 2



Ricardo Linden  
Maria Augusta Silveira Netto Nunes  
Jean Carvalho Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

REITOR

Prof. Dr. Angelo Roberto Antonioli

VICE-REITOR

Prof. Dra. Iara Campelo

CAPA E EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Jean Carvalho Santos

REVISÃO GERAL

Maria Augusta Silveira Netto Nunes

REVISOR CIENTÍFICO

Silvio César Cazella (UFCSPA-RS)

*Os personagens e as situações desta obra são reais apenas no universo da ficção; não se referem a pessoas e fatos concretos, e não emitem opinião sobre eles.*

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

L744i Linden, Ricardo  
Introdução à lógica nebulosa : parte 2 [recurso eletrônico] / Ricardo Linden, Maria Augusta Silveira Netto Nunes, Jean Carvalho dos Santos. – Porto Alegre : SBC ; São Cristóvão : UFS, 2017.  
20 p. : il. – (Almanaque para popularização de ciência da computação. Série 2, Inteligência Artificial ; v. 12).

ISBN 978-85-7669-367-3

Computação. 2. Lógica difusa. I. Nunes, Maria Augusta Silveira Netto. II. Santos, Jean Carvalho. IV. Título. V. Série.

CDU 004.8(059)



Cidade Universitária José Aloísio de Campos  
CEP - 490100-000 - São Cristóvão - SE



ALMANAQUE PARA POPULARIZAÇÃO DE  
**CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**SÉRIE 2: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

**VOLUME 12**

**Introdução à lógica  
nebulosa - Parte 2**

**Sociedade Brasileira de Computação – SBC**

Porto Alegre - RS

**AUTORES**

Ricardo Linden  
Maria Augusta Silveira Netto Nunes  
Jean Carvalho Santos

Realização  
**Universidade Federal de Sergipe**

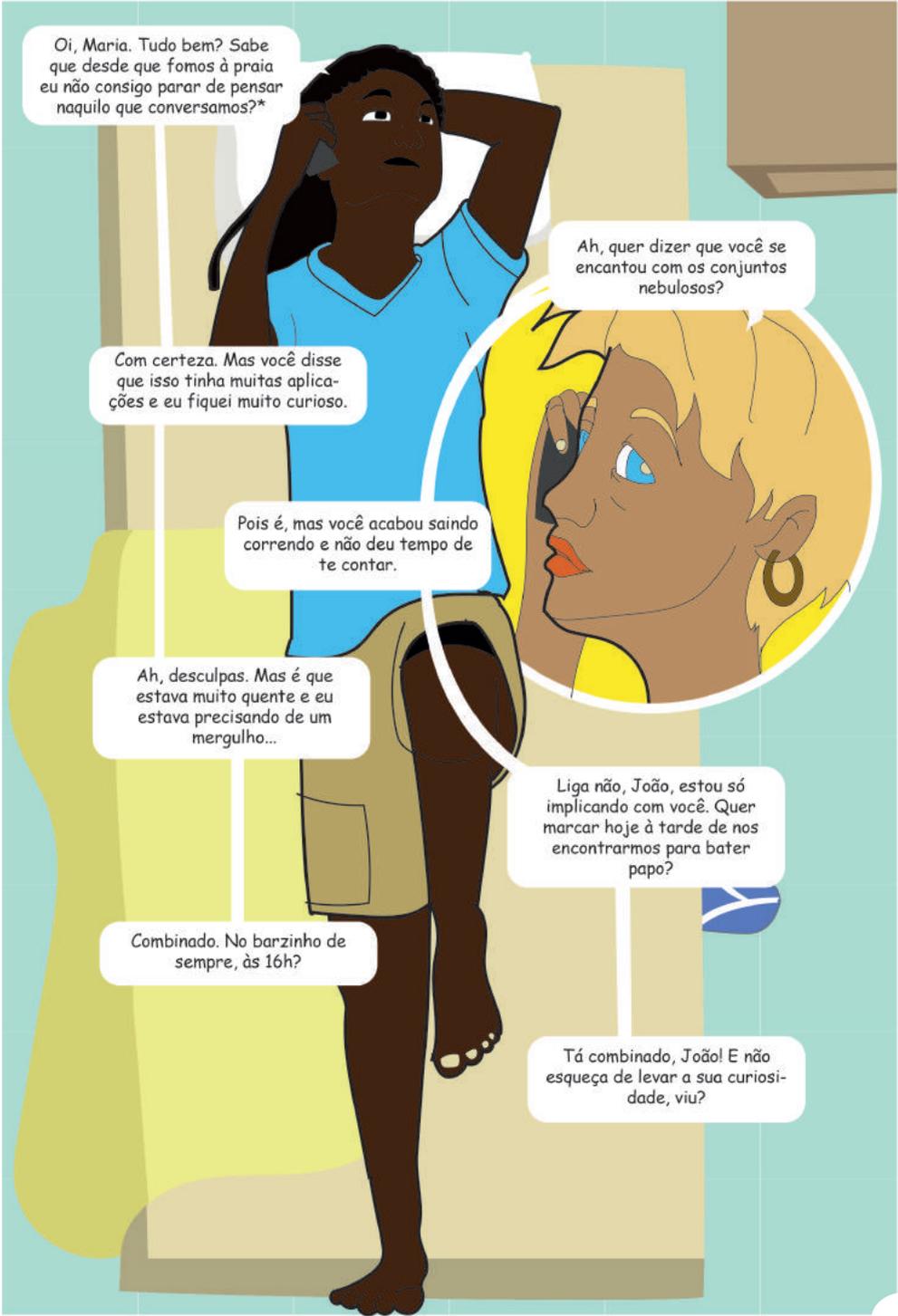
São Cristóvão – Sergipe - 2017

## APRESENTAÇÃO

Essa cartilha foi desenvolvida como atividade do projeto de extensão para popularização de Ciência da Computação em Sergipe apoiado pela PROEX-UFS, COPES e CINTTEC e pelo projeto MCTI/CNPq/SPM-n° 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 ao público nacional o interesse pela área de Ciência da Computação.

As cartilhas da série de Inteligência Artificial discorrem sobre a área da Ciência da Computação que busca simular a inteligência humana através de mecanismos de software. Essa cartilha introduz a lógica fuzzy, sendo continuação da cartilha anterior da mesma Série 4, Volume 11, que introduziu conjuntos fuzzy. A atual cartilha concentra-se nas regras e nos modelos de inferência e controle, mostrando a lógica fuzzy como uma ferramenta importante no estabelecimento de um controle gradual usando regras similares ao raciocínio humano, que é usada por grandes empresas e universidades ao redor do mundo.

*(os Autores)*



Oi, Maria. Tudo bem? Sabe que desde que fomos à praia eu não consigo parar de pensar naquilo que conversamos?\*

Com certeza. Mas você disse que isso tinha muitas aplicações e eu fiquei muito curioso.

Pois é, mas você acabou saindo correndo e não deu tempo de te contar.

Ah, desculpas. Mas é que estava muito quente e eu estava precisando de um mergulho...

Combinado. No barzinho de sempre, às 16h?

Ah, quer dizer que você se encantou com os conjuntos nebulosos?

Liga não, João, estou só implicando com você. Quer marcar hoje à tarde de nos encontrarmos para bater papo?

Tá combinado, João! E não esqueça de levar a sua curiosidade, viu?

Oi, João. Tudo bem?

Pôxa, tá muito quente. Posso beber um gole do seu suco?

Oi, Marial! Senta aí! Já pedi um suco e umas batatas rústicas assadas para acompanhar.

Claro, mas olhe, como ele está muito gelado, beba um gole pequeno, viu?

Ué, João, se você já sabe lógica nebulosa, para que pediu para eu lhe explicar?

Ué! Como assim?

É que a frase que você falou sobre o suco é um exemplo perfeito de controle usando lógica nebulosa.

Oba! Vai começar a explicação! Eu falei que eu estava super curioso, não é mesmo?

Rapaz, está gelado mesmo! De doer os dentes!

Eu não falei? Mas me conte, como é que funciona a lógica nebulosa?

A gente usa lógica nebulosa o dia inteiro. Por exemplo, se o líquido está muito gelado, tome um gole médio. Ninguém pensa em uma função matemática do tipo o tamanho do gole é igual a raiz quadrada de 2 vezes o quadrado da diferença da temperatura para um valor base, não é mesmo?

Pô, se fosse assim, eu nunca ia tomar suco! Não consigo nem entender esta função!

Pois é! Na verdade, a gente tem noção do que é « muito gelado », do que é « gole pequeno » e faz o controle baseado em regras que usam estes termos nebulosos.

Termos nebulosos? Você nunca falou disto.

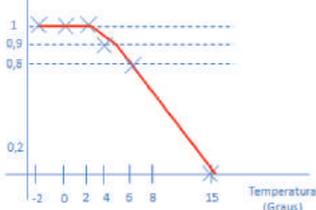
Falei sim, só que de outro jeito. Termo nebuloso é só um nome para um conjunto nebuloso, quando ele é usado em uma regra. Por exemplo, existe o conjunto nebuloso "muito gelado", baseado na temperatura, igual a gente definiu da outra vez que conversamos. Lembra?

Claro! É um conjunto que tem uma pertinência entre zero e um para cada valor da temperatura, não é mesmo?

Obrigado! Deixa eu ver o desenho. Ah, tá. Você definiu o conjunto muito gelado com temperaturas indo de -2 graus à 15 graus porque estas são as temperaturas em que o suco é servido geralmente. Legal !!!!

Exatamente! Pôxa, João, você é um ótimo aluno, viu?

Pertinência no conjunto "muito gelado"



Poxa, João! Você já é quase um especialista em lógica nebulosa,

Valeu, Maria. É que o assunto é muito legal. Mas como é que este conjunto se encaixa na regra que você falou? agora!

Pois, então, nós temos uma regra do tipo SE-ENTÃO e dois conjuntos nebulosos. Um na parte SE da regra, que nós chamamos de antecedente e outro na parte ENTÃO da regra, que chamamos de consequente.

Você usou termos difíceis de novo! E aí o "consequente" é que eu não entendi...

São só nomes, João. Olha aquela regra que você falou:

"Se o suco está muito gelado, então tome um gole pequeno".

"O suco está muito gelado" está ligado ao SE, não é mesmo? Então ele é o antecedente.

"Tome um gole pequeno" está ligado ao ENTÃO. Logo, ele é o consequente.

Entendi. A gente chama de consequente por que a segunda frase é consequência da primeira.

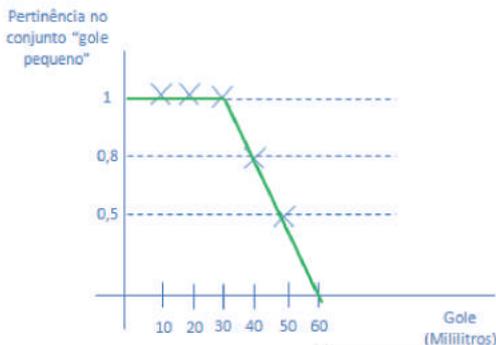
Perfeito, João. Em termos técnicos, a gente diz que existe uma relação de implicação!

Pois, olhe, se você ficar usando palavras difíceis assim, eu é que vou ficar de "implicação" contigo!

HAHAHAHAHAHAH...

Pois, então. Eu desenhei aqui o conjunto gole pequeno, é uma função do número de mililitros que a gente toma.

Deixa eu ver!



Ah, tá. É o desenho da função do tamanho do gole. Como é que você chamou? Concedente?

Não, João. É consequente. Pensa que esta função está na parte do ENTÃO e por isto ela é consequência da função que está na parte do SE.

Ei, não me culpe! Não sou eu que escolhi estas palavras difíceis!

Eu sei e peço desculpas, pois vou falar mais duas agora - para concluir o processo, temos que fuzzyficar e depois defuzzyficar.

Aí não dá, Maria! Você está fazendo de propósito só para implicar comigo!

Não é não, João. Olhe bem: nós temos uma regra e os conjuntos. Agora a gente precisa usar, não é mesmo?

Tá certo. Mas como a gente faz isto?

A ideia é simples: vou medir a temperatura do suco e aí vou conseguir, usando nossa regra, definir o tamanho do gole que vou tomar.

Interessante. Mas por que medir a temperatura do suco?

Ué, João, a decisão precisa se basear em um dado real, não é mesmo?

Tá bom. Obrigado! E depois de medir a temperatura, o que a gente faz?

A gente vê qual é a pertinência dela no conjunto "Muito Gelado". Isto é chamado de fuzzyficação.

Ah, claro! Nosso conjunto antecedente é função da temperatura, não é mesmo?

Aí, João! Agora é você quem está usando nossas palavras difíceis, hein?

Pensando bem, elas não são tão difíceis assim...

Mas por que o nome difícil, Maria? Que mania!

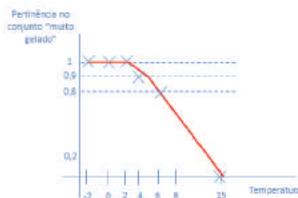
O nome é difícil, mas é claro, João: estou transformando um valor de temperatura em uma variável nebulosa.

MUITO GELADO

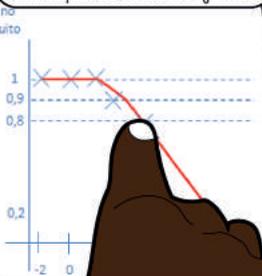
Como assim? Não entendi!

Não liga não, João. Estou só brincando. É normal ter dificuldade com os termos no começo. Depois você se acostuma e vira uma fera em lógica nebulosa!

É mais fácil com um exemplo. Olhe aqui o gráfico. Se a temperatura do suco é  $6^\circ$ , então a pertinência no conjunto "Muito Gelado" é...



0,8!!!! Isto é fácil! É só botar o dedo em cima do  $6^\circ$  no eixo X e subir até encontrar a linha que define o conjunto!



Isto, João. Você definiu muito bem como encontrar um valor de uma função.

Até aí é fácil. Mas o que a fuzzyficação tem a ver com isto?

É simples. Você acabou de transformar um valor de uma variável em uma pertinência fuzzy.

Eu fiz isto?

Claro que fez. Você acabou de transformar  $6^\circ$  de temperatura em 0,8 de pertinência no conjunto fuzzy "Muito Gelado". Ou seja, você fuzzyficou a variável!

Se fuzzyficação é transformar de valor para fuzzy, então defuzzyficação é o contrário, certo?

Perfeito, João!

Mas o que vou defuzzyficar?

A saída, João! Você quer saber quantos mililitros tomar, e não que tem que tomar um gole de pertinência 0,8 no conjunto de "Goles pequenos".

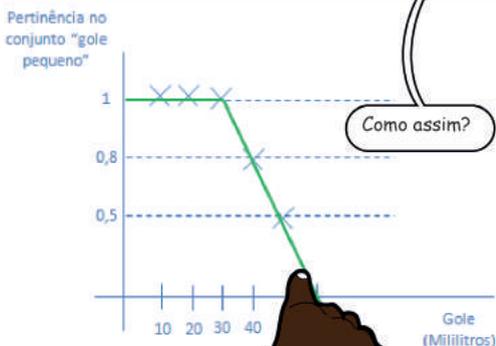
Que maneiro ! Então eu posso controlar o gole que vou tomar pela temperatura.

Esta sempre foi a ideia, né, João ? A gente está fazendo o que se chama « controle nebuloso », que é o controle de algo baseado em lógica nebulosa.

É verdade. Agora está claro para mim. Mas como eu faço a defuzzyficação?

Neste caso, é muito simples. Veja qual valor tem pertinência 0,8 na função goles pequenos e ele é o resultado.

Isto é fácil ! O valor é 40ml. Então este é o tamanho do gole que vou tomar ?



Exatamente. Claro que com pessoas não é tão preciso, né ?

Como assim?

O controle nebuloso é feito para que máquinas «pensem» como a gente. Para uma máquina é fácil agora pegar 40ml, né ? Mas você vai apenas tomar um gole pequeno sem pensar muito em quantos mililitros tem...

Poxa, mas esta lógica nebulosa é super simples, né ? Eu tinha ficado com medo das palavras difíceis, mas adorei. Que beleza !

É simples mesmo, João, mas ainda não acabou.

Ih! O que é que falta, então Maria? Poxa, bem que falam que alegria de pobre dura pouco!

Falta a gente colocar mais regras no nosso sistema de controle.

E para que mais regras? Eu tô tão feliz com uma só...

Ô, João, mas na vida real você não usa uma regra só!

Não?

Não, João. Pensa em como você controla um freio:

"Se estou rápido e o próximo carro está perto, piso muito forte".

"Se estou devagar e o próximo carro está a média distância, piso fraco".

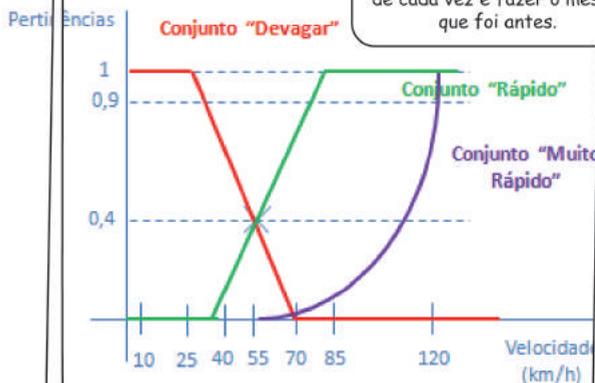
"Se estou muito rápido, piso muito forte" e assim por diante.

É verdade. Não tinha pensado nisto, mas é assim mesmo. E agora? Vai complicar muito usar a lógica nebulosa?

Vai complicar só um pouquinho, João. Fique calmo, que eu lhe explico com prazer.

O primeiro passo é desenhar todos os conjuntos. Podemos até fazer tudo em um gráfico só. Olha aqui!

Ih, complicou! Tem muita linha neste desenho, Maria.

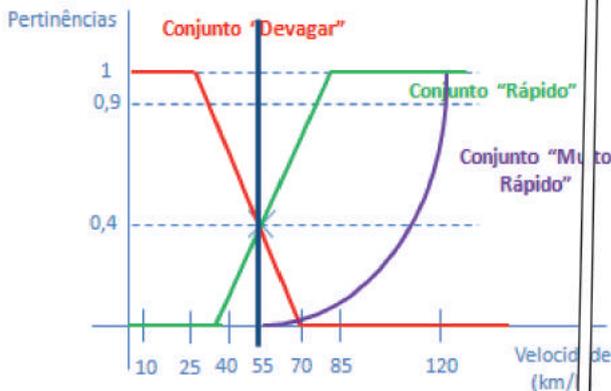


Mas, João, não mudou nada. É só você olhar para um gráfico de cada vez e fazer o mesmo que foi antes.

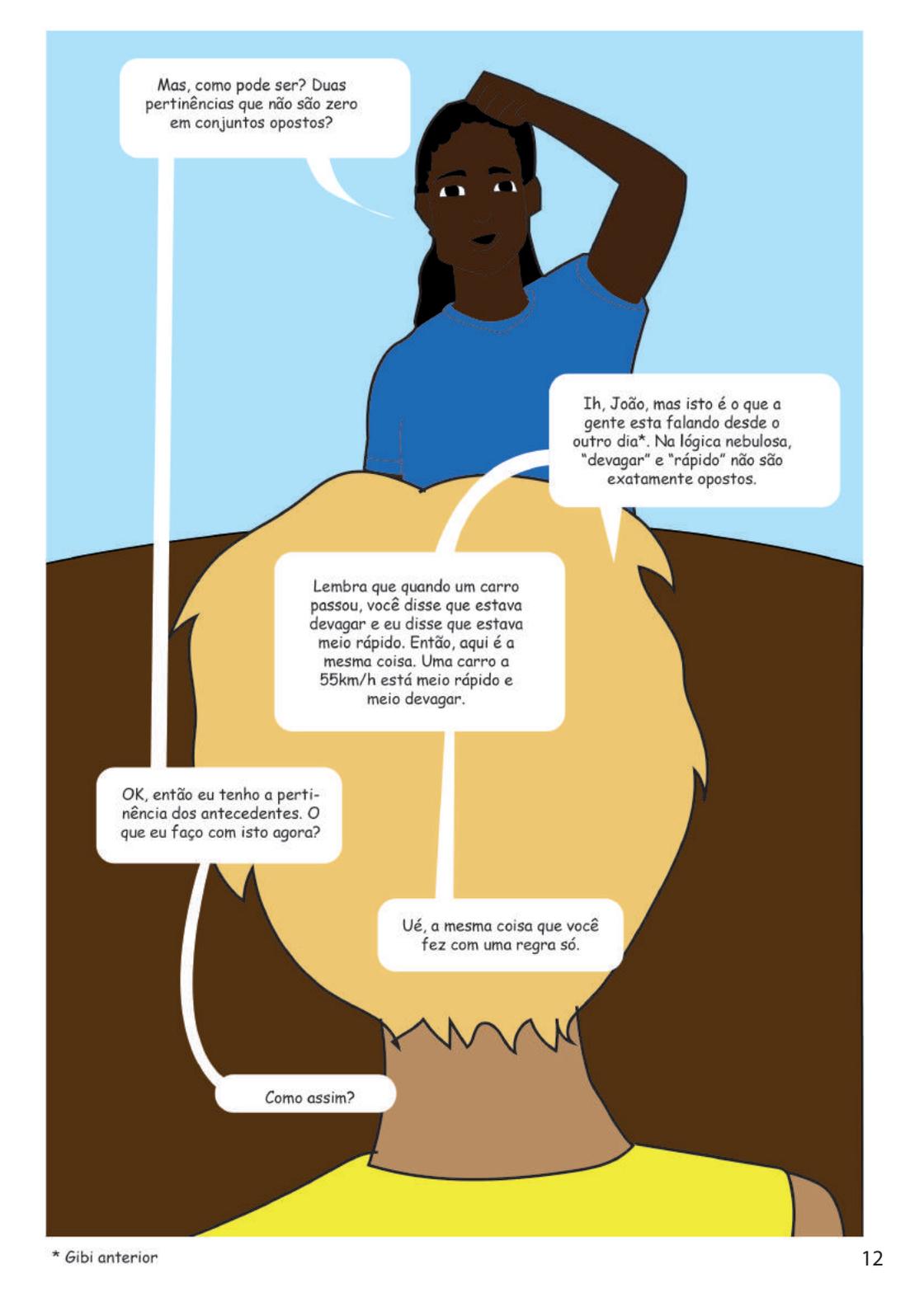
Ah, tá. É só ir até a velocidade e fazer uma linha para cima e na hora que cruzar com o gráfico, esta é a pertinência naquele conjunto, certo?

Perfeito, João!

Mas olha esta linha que eu desenhei para a velocidade de 55 km/h. Parece que ela pertence 0,4 ao conjunto dos "devagar", 0,4 ao conjunto dos "rápidos" e 0 ao conjunto dos "Muito rápidos".



É isto mesmo, João. Perfeitó!!!



Mas, como pode ser? Duas pertinências que não são zero em conjuntos opostos?

Ih, João, mas isto é o que a gente esta falando desde o outro dia\*. Na lógica nebulosa, "devagar" e "rápido" não são exatamente opostos.

Lembra que quando um carro passou, você disse que estava devagar e eu disse que estava meio rápido. Então, aqui é a mesma coisa. Uma carro a 55km/h está meio rápido e meio devagar.

OK, então eu tenho a pertinência dos antecedentes. O que eu faço com isto agora?

Ué, a mesma coisa que você fez com uma regra só.

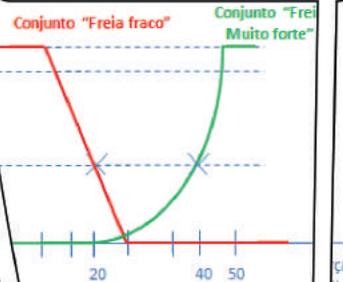
Como assim?

Ué, use o valor do antecedente para calcular o consequente.

"Mas qual consequente?"

Todos que estão nas regras. Olha aqui o desenho que eu fiz..

Está vendo? Eu já marquei aqueles que têm pertinência 0,4 em cada conjunto, pois foi aqueles que calculamos.



Entendi, mas eu tenho duas forças para aplicar. Pode ser 20N ou 40N. Qual delas eu uso?

Ótima pergunta, João. A verdade é que agora a gente tem que usar as duas, fazendo a média ponderada.

Média ponderada? Você e suas expressões complicadas...

O nome é difícil, mas a ideia é fácil. É só pegar cada um destes valores e multiplicar pela pertinência deles. Depois a gente soma todos os resultados da multiplicação e divide pela soma de todas as pertinências.

Tá. Então eu pego o 20N, multiplico por 0,4 e dá 8. Depois eu pego o 40N, multiplico por 0,4 e dá 16. Somando os dois, dá 24 e somando todas as pertinências, eu obtenho 0,8. Mas o que eu faço com isto?

Simples. Divide o 24 por 0,8.

Fazendo a divisão, eu obtenho 30N. Esta é a força que tenho que aplicar?

Exatamente, João! Você acaba de realizar um controle nebuloso!!! Parabéns!

Que maneiro! Adorei, Maria.

Pois é, João. Só tem uma coisa que você não percebeu...

Ih, lá vem você. Não pode me ver feliz. Quando eu acho que aprendi, você complica tudo!

Não é isto, João. Olhe para as regras que fizemos e repare que os antecedentes delas têm duas variáveis diferentes\*. A gente só usou a velocidade, mas tem a distância para o outro carro também.

Mas não é só fazer os gráficos de distância e calcular a pertinência fuzzy, igualzinho fizemos com a velocidade.

Sim, João. Mas aí vamos ter duas pertinências no antecedente, não é mesmo?

OK, mas é só fazer o E que liga os antecedentes, não é mesmo?

Pôxa, João! Genial!!!



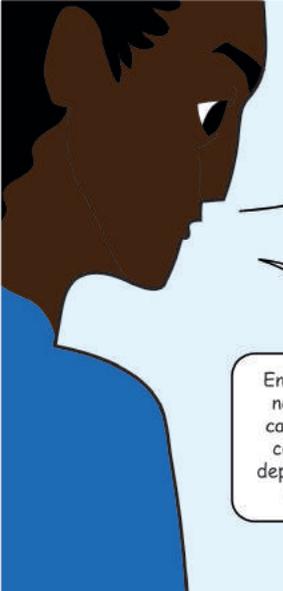
Valeu, Maria. Só não entendo uma coisa - eu aprendi em lógica a fazer E com verdadeiro e falso. Como é que faz com números?

Na lógica nebulosa os operadores são um pouquinho diferentes daqueles que você já conhece. No caso do E, a gente calcula o mínimo entre os valores.



Como assim?

Imagina que a gente calculasse que naquele momento a pertinência no conjunto "Perto" fosse 0,6. A regra não era "Se estou rápido e o próximo carro está perto, piso muito forte"?



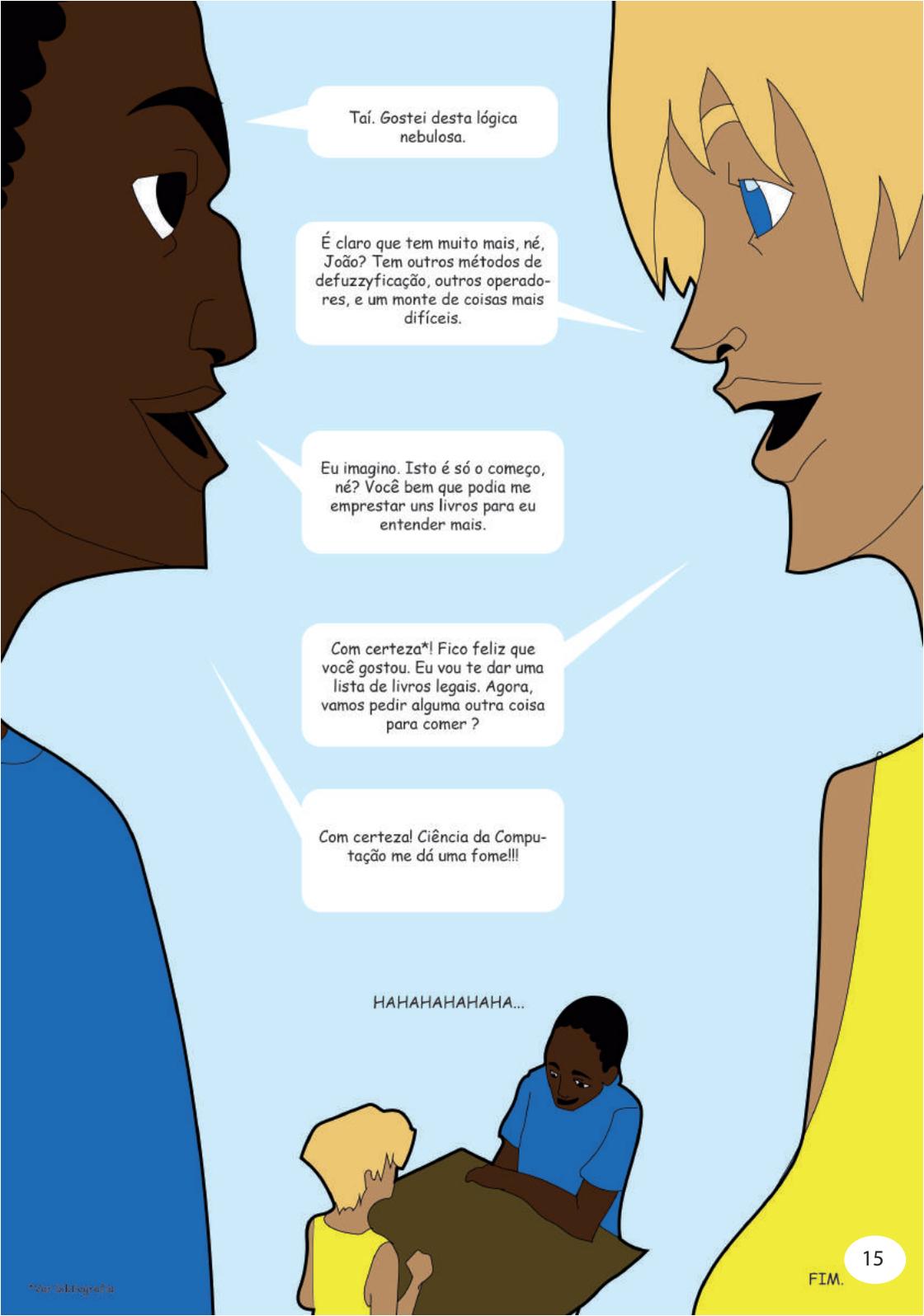
Sim. E eu calculei que a pertinência no conjunto Rápido era 0,4



Então, de acordo com a regra, nós temos 0,4 E 0,6, certo? Como o E é o mínimo, o valor do antecedente é 0,4!

Então é só fazer os conjuntos nebulosos para a distância e calcular as pertinências deles como fiz com a velocidade e depois aplicar os operadores. O resto é o mesmo, certo?

Excelente! Meu grande aluno!



Taí. Gostei desta lógica nebulosa.

É claro que tem muito mais, né, João? Tem outros métodos de defuzzyficação, outros operadores, e um monte de coisas mais difíceis.

Eu imagino. Isto é só o começo, né? Você bem que podia me emprestar uns livros para eu entender mais.

Com certeza\*! Fico feliz que você gostou. Eu vou te dar uma lista de livros legais. Agora, vamos pedir alguma outra coisa para comer ?

Com certeza! Ciência da Computação me dá uma fome!!!

HAHAHAHAHAHA...

## Caça Palavras

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

A **LÓGICA NEBULOSA** transforma valores **NUMÉRICOS** em **PERTINÊNCIAS** a vários **CONJUNTOS**, aplica **REGRAS** de **INFERÊNCIA** e, a partir dos valores dos **CONSEQUENTES**, calcula o valor da variável que desejamos **CONTROLAR**.

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

## Criptograma

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.

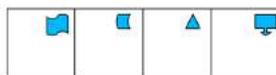
Usamos as regras para poder fazê-la



Transformar de valor numérico em pertinência

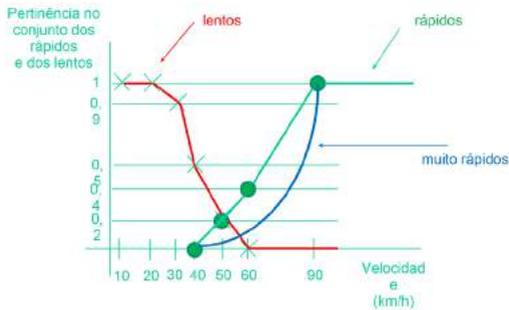


Outros termos importantes...



# Memorex

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




4) Sou mais rápida do que lenta e a partir de mim, todas são igualmente rápidas e muito rápidas.

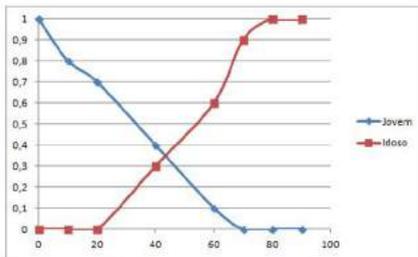
3) Antes de mim, ninguém estava nem um pouquinho rápido.

2) Sou a primeira velocidade que é mais rápida do que lenta.

1) Sou um pouco rápida e muito rápida e acabei de deixar de ser lenta.

# Inferindo...

Olhe para o desenho dos gráficos abaixo:



Se a minha base de regras é:

SE JOVEM, COMA MUITO

SE IDOSO, COMA POUCO

E o máximo do conjunto **COMA MUITO** é 700g e o máximo do conjunto **COMA POUCO** é 200g, quanto vai comer uma pessoa de 40 anos?

## BIBLIOGRAFIA

Campo, M. M. de; "Sistemas Inteligentes em Controle de Automação de Processos", Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2004

Cavalcanti, J. H. F., Cavalcanti, M. T. et al.; "Lógica Fuzzy Aplicada às Engenharias", Disponível em [http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/logica\\_fuzzy\\_aplicada\\_as\\_engenharias.pdf](http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/logica_fuzzy_aplicada_as_engenharias.pdf)

Lanzillotti, R. S., Lanzillotti, H. S.; "Lógica fuzzy – Uma abordagem para reconhecimento de padrão", Paco Editorial, Jundiaí, 2014

Simões, M. G.; Shaw, I. S., "Controle e modelagem Fuzzy", 2ª edição, Editora Blücher, São Paulo, 2007

Portik, T., Pokorádi, L.; "The Summarized Weighted Mean of Maxima Defuzzification and Its Application at the End of the Risk Assessment Process", ActaPolytecnicaHungaria, Vol. 11, no. 3, Disponível em [https://uni-obuda.hu/journal/Portik\\_Pokoradi\\_49.pdf](https://uni-obuda.hu/journal/Portik_Pokoradi_49.pdf).

## OUTRAS CARTILHAS DE COMPUTAÇÃO EM:

<http://meninasnacomputacao.ufs.br/>

## 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***

Professor Adjunto 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, Propriedade Intelectual capacitando empresários na área de TI e fornecendo consultoria em Registro de Software e patente.

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

## **JEAN CARVALHO SANTOS**

### ***Bolsista CNPq***

Graduando em Design Gráfico Pela Universidade federal de Sergipe. Possui experiência nas áreas de design de interfaces digitais, design editorial e ilustração com foco na criação de personagens, storyboards e ilustração publicitária.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4054041404473563>

## **AGRADECIMENTOS**

**Ao SBC, DCOMP, PROCC, CNPq, CAPES e FAPITEC.**

APOIO:



ISBN 978-857669367-3



9

788576

693673