

MÉTODOS E APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

152 minutos

- > [Aula 1 - Tipos de representação de problemas](#)
- > [Aula 2 - Busca com inteligência artificial](#)
- > [Aula 3 - Soluções em inteligência artificial](#)
- > [Aula 4 - Problemas de otimização](#)
- > [Referências](#)

Aula 1

TIPOS DE REPRESENTAÇÃO DE PROBLEMAS

Nessa aula, faremos uma breve introdução sobre o conceito, explicaremos a sua importância e conheceremos alguns dos métodos utilizados pela inteligência artificial.

35 minutos

INTRODUÇÃO

Caro estudante, seja muito bem-vindo à disciplina de Fundamentos da Inteligência Artificial. Nesta unidade de estudos, aprenderemos sobre métodos e possíveis aplicações da inteligência artificial, que é um conceito extremamente importante, usado diariamente em empresas por profissionais do ramo da tecnologia.

Nessa aula, faremos uma breve introdução sobre o conceito, explicaremos a sua importância e conheceremos alguns dos métodos utilizados pela inteligência artificial, com o objetivo de que você se sinta confortável para estudar esses elementos de maneira mais profunda nas próximas aulas.

Você perceberá que a inteligência artificial pode ser usada em diversas esferas, sendo capaz de ajudar diferentes setores da indústria, seja na área da saúde, do transporte, do governo, entre muitas outras.

COMO AS MÁQUINAS APRENDEM

Inteligência artificial corresponde a uma área muito ampla, como você já deve ter percebido (e ainda perceberá durante as próximas aulas). Quando fazemos essa afirmação, queremos dizer que a inteligência artificial possui diversos ramos, subáreas com propósitos diferentes, mas todas tratando dessa mesma matéria. Você pode, por exemplo, criar um robô capaz de ajudar a efetuar tarefas diárias. Esse robô pode ser físico (um robô com estrutura semelhante à de um humano, por exemplo, ou um aspirador que faça faxina em sua casa), mas também pode se tratar de um robô virtual, o qual consiga desenvolver algumas previsões ou automatizações para o trabalho a ser realizado.

Com a inteligência artificial, você pode criar um carro autônomo, para melhorar o tráfego de automóveis, por exemplo, além de oferecer uma experiência diferenciada ao motorista. Portanto, notamos que a inteligência artificial pode ser aplicada a diversos setores e segmentos.

Um dos subgrupos que merece destaque, ainda mais considerando o fato de que não podemos falar de inteligência artificial sem falar dele, é o aprendizado de máquinas. No aprendizado de máquinas, ensinamos os computadores a tomarem decisões. Desse modo, podemos fazer classificações e utilizar métodos estatísticos para prever valores, o que será o tema desta aula.

Mas o que é, então, o aprendizado de máquina (ou *machine learning*)? É um mecanismo adaptativo que permite que os computadores aprendam com a experiência, assimilando saberes por exemplos e analogias. Os recursos de aprendizado melhoram o desempenho de um sistema ao longo do tempo. Algumas abordagens para aprendizado de máquina são redes neurais artificiais e algoritmos genéticos (NEGNEVITSKY, 2005).

Aqui, você estudará sobre conceitos relacionados a algoritmos genéticos. Porém, nas próximas etapas de estudos, também investigaremos aspectos associados às redes neurais artificiais.

Uma pergunta que pode surgir é: como as máquinas aprendem? Esse processo baseia-se na ideia de apresentar diferentes situações para uma máquina, expondo uma informação e possíveis respostas. Assim a máquina consegue aprender formulando padrões e criando suas regras, para que futuramente consiga ter a sua própria “inteligência”. Vamos propor, a seguir, uma comparação que ajudará a esclarecer o processo de aprendizagem das máquinas a partir da inteligência artificial.

Considere a aprendizagem de um bebê. Ao nascer, a criança não sabe como o mundo funciona, por isso começa a tocar, sentir e cheirar tudo o que está à sua volta. Essa é a ideia de como o aprendizado de máquina funciona inicialmente: sem conhecimento de nada.

Suponha que você seja um bebê, e um adulto lhe apresente diferentes frutas, como maçã, laranja, kiwi, entre outras. Em seguida, ele pede que você aponte para uma fruta específica. No começo, dificilmente você será capaz de fazer uma distinção entre as frutas exibidas, pois ainda não possui informações suficientes para isso. Mas, ao longo do tempo, você passa a conhecer o gosto de cada uma, o formato, o cheiro, a cor, entre outras características (os dados e informações). Com isso, você terá uma base e criará um padrão para cada fruta. Então, quando lhe fizerem o mesmo pedido, você saberá indicar prontamente a fruta mencionada, pois será capaz de comparar a solicitação com seu aprendizado observado e pensará, por exemplo: “essa fruta tem um formato redondo, cor vermelha e é mais ou menos do tamanho de um palmo. Provavelmente é uma maçã”.

É assim que as máquinas funcionam! Você apresenta dados, explica o que cada um deles representa e a máquina cria padrões, para que posteriormente venha a constituir sua inteligência.

MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO E REGRESSÃO

Agora você já sabe como funciona o aprendizado de máquina. Por meio de um exemplo simples, baseado no modo como os bebês aprendem, entendemos que as máquinas com inteligência artificial passam por uma experiência bem semelhante ao processo de aprendizagem das crianças em seus primeiros anos de vida.

A partir deste momento, vamos classificar dois possíveis métodos de aprendizagem das máquinas: por classificação ou por regressão. Para estudar esse assunto, precisamos retomar alguns aspectos, como os tipos de dados disponíveis e os tipos de informações possíveis em estatística, além de definir termos importantes para as próximas etapas de estudo.

O primeiro conceito que definimos foi o de **variável**. Variáveis são as características de uma pesquisa, de um projeto. Vamos relembrar o exemplo do processo de aprendizagem de um bebê em relação à identificação das diferentes frutas. A variável “fruta” pode ter como possíveis resultados: maçã, laranja ou kiwi (no exemplo citado). Outra variável observada nesse mesmo exemplo foi o “tamanho da fruta”, que pode ser medido em centímetros (10 cm, 20 cm, e assim por diante). Perceba, então, que as variáveis correspondem às informações, às características.

O segundo conceito é relativo aos possíveis tipos de variáveis. Basicamente, podemos ter variáveis **qualitativas** e **quantitativas**. As variáveis qualitativas são aquelas cujos valores podem ser separados em diferentes categorias, as quais se distinguem em características não associadas a números. Temos como exemplo o sexo de uma pessoa (sexo é a variável), que pode ser masculino ou feminino, como também a cor dos cabelos, que podem ser castanhos, loiros, pretos, etc.

As variáveis qualitativas podem ser ordinais (quando existe uma ordem nos seus valores, como o nível de escolaridade) ou nominais (quando não há ordem alguma, como cor de cabelo ou sexo).

Outro tipo de variáveis são as quantitativas, que, como o nome já indica, referem-se a quantidades, números. Nessa vertente, podemos ter as quantitativas discretas (quando há um conjunto enumerável de valores possíveis, como o número de pessoas que votaram num determinado candidato ou o número de carros numa loja), ou variáveis quantitativas contínuas (quando resultam de um número infinito de valores que podem ser associados a uma escala, como o peso de uma pessoa).

Mas o que isso tem a ver com inteligência artificial e aprendizado de máquinas? Vamos conectar os pontos e juntar os conhecimentos! Tomando como exemplo o contexto do bebê que quer aprender a diferenciar as frutas, podemos promover a seguinte classificação:

- **Variável fruta – possibilidades:** maçã, kiwi, laranja.
- **Variável cor – possibilidades:** vermelho, laranja, verde, etc.
- **Variável tamanho – possibilidades:** 2 cm, 2,5 cm, 5 cm, 10 cm... (infinitas).

Logo, temos diversas variáveis. Nesse caso, podemos inferir que a resposta para a pergunta que o bebê quer responder é a fruta. Portanto, a variável fruta é a **variável resposta**, que também representa uma **variável categórica** (pois possui categorias). Podemos concluir, então, que estamos tratando de um problema de classificação (mais adiante, analisaremos outros exemplos de classificação). Mas também é possível que nosso objetivo seja prever um valor em inteligência artificial. Nesse caso, a **variável resposta** pode ser uma variável contínua, como quando você quer prever o valor do peso de um aluno, por exemplo.

Assim, a inteligência artificial em aprendizado de máquina pode lidar com duas situações: classificar alguma coisa ou prever um valor. A este último caso, damos o nome de aprendizado por regressão, pois temos dados contínuos.

APLICAÇÕES DE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO E REGRESSÃO

Agora que você já domina conceitos importantíssimos de aprendizado de máquinas na inteligência artificial, chegou a hora de conhecermos algumas aplicações a partir do que sabemos sobre variáveis e aprendizagem de máquinas, entendendo, de fato, como funcionam. Vamos investigar, então, casos reais de aplicações de inteligência artificial para variáveis categóricas e variáveis contínuas (agora você já deve saber a definição correta de cada uma delas). Para isso, abordaremos dois exemplos verdadeiros de uso.

O primeiro exemplo é o famoso reconhecimento de imagem. A inteligência artificial pode ser usada para ajudar a detectar imagens, como no caso de um médico, o qual pode contar com a ajuda de uma inteligência artificial capaz de reconhecer um tumor, um câncer ou algo similar por meio da imagem do órgão do paciente. Outro exemplo na linha de reconhecimento de imagens pode ser observado quando utilizamos uma rede social como o Facebook, na qual publicamos uma foto com nossos amigos. Assim que realizamos o *upload* dessa foto na rede social, há uma inteligência artificial que consegue reconhecer os rostos das pessoas que integram a imagem, **classificando** cada uma delas. Vamos tomar este último caso como exemplo, na intenção de aplicar os conceitos aprendidos anteriormente. Nesse contexto, temos uma foto com rostos de diversas pessoas, e a máquina tem uma tarefa: reconhecer a pessoa que está na foto. Você concorda que essa é uma tarefa de classificação? Isso porque não existem números envolvidos no processo. A máquina apenas precisa identificar qual pessoa está presente na imagem. Logo, nesse caso, trabalhamos com a classificação da imagem e nossa variável é **categórica**. Há outras variáveis que ajudam a máquina a aprender em situações desse tipo, como tamanho do nariz, boca e olhos, cor de pele, cor do cabelo, etc. Mas o que define o tipo de problema é a **variável resposta**, que é categórica (nome da pessoa que está na imagem).

Outro exemplo de aprendizado de máquinas é a predição de valores num determinado cenário. Nesse caso, estamos falando de um problema de variáveis contínuas e numéricas. Vamos conferir alguns exemplos.

Suponha que você esteja em busca de uma casa nova e comece a pesquisar valores de imóveis. Uma ajuda que o aprendizado de máquinas pode nos conceder é a predição do valor ideal da casa. Nesse contexto, uma casa possui diversos atributos e variáveis, além da variável preço (que, no caso em análise, é a nossa resposta). A casa pode ter diferentes quantidades de quartos, localizações distintas (latitude e longitude), diversos tamanhos, cores, tempos de existência, etc. Todas essas variáveis podem ou não exercer influência sobre o preço.

Agora, imagine uma situação na qual você apresente 1.000 casas para a máquina e insira os dados sobre esses imóveis no computador, com suas respectivas características e os preços atrelados a essas especificidades.

Assim fica muito mais fácil para que a máquina aprenda por conta própria e crie sua respectiva inteligência. Dessa maneira, ao vermos uma casa e suas características, poderemos utilizar a inteligência artificial gerada para prever o valor do imóvel em questão, tomando como base os dados que coletamos e estudamos anteriormente.

Interessante, não é? Com isso podemos notar que a inteligência artificial consegue aprender muito com informações previamente apresentadas, o que agiliza a criação de classificações e previsões.

VÍDEO RESUMO

No vídeo a seguir, você relembrará os principais conceitos introdutórios relacionados à inteligência artificial na subárea de aprendizado de máquina. Além disso, será possível recordar métodos baseados tanto em classificação quanto em variáveis contínuas. Por fim, você poderá analisar alguns exemplos nos quais a inteligência artificial foi aplicada para auxiliar em tomadas de decisão. Não perca!

Para visualizar o objeto, acesse seu material digital.

Saiba mais

Para aprofundar seu entendimento sobre os assuntos estudados nesta etapa de aprendizagem, faça a leitura dos materiais indicados a seguir.

Inteligência Artificial: o que é, como funciona e exemplos

Inteligência artificial: o que é, como funciona e exemplos, disponível em FIA Business School.

Machine Learning: O que é e qual sua importância?, disponível em SAS.

Aula 2

BUSCA COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nesta etapa de aprendizagem, analisaremos um tópico muito importante para a inteligência artificial, que por si só merecia um curso específico, por causa de seus extensos conceitos.

33 minutos

INTRODUÇÃO

Seja muito bem-vindo a mais uma aula de Fundamentos da Inteligência Artificial. Nesta etapa de aprendizagem, analisaremos um tópico muito importante para a inteligência artificial, que por si só merecia um curso específico, por causa de seus extensos conceitos.

O que estudaremos nesta aula será a busca em inteligência artificial. A principal finalidade é fazer com que você obtenha uma visão ampla do que é a busca em IA, qual a sua importância e possíveis aplicações. Portanto, começaremos esta análise definindo alguns conceitos iniciais, passaremos por alguns métodos de busca e, por fim, verificaremos algumas aplicações reais de busca.

Será uma aula muito importante para o curso, por meio da qual você com certeza ampliará seu entendimento sobre inteligência artificial! Vamos começar?

DEFINIÇÕES INICIAIS DE BUSCA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Vamos iniciar esta investigação refletindo sobre um possível problema, seja em inteligência artificial ou não. Quando pensamos nesse problema e queremos resolvê-lo, encontramos diversas maneiras de solucioná-lo. O caso a ser revolido pode ser uma simples conta matemática, na qual você deve efetuar uma adição ou uma multiplicação.

Agora, pensemos em algo mais complexo. Suponha que você esteja participando de um jogo de xadrez, por exemplo. Nesse contexto, as opções disponíveis para resolver o problema (ganhar o jogo) são diversas, mas existirá uma alternativa mais adequada, dependendo do que você deseja alcançar. Uma parte da inteligência artificial trata de situações como essa. Os algoritmos de busca constituem uma área importante da IA, por meio da qual sabemos quando uma possível solução é considerada “melhor” do que outras, bem como os motivos que fazem com que uma opção seja preferida em relação às demais.

Você já estudou os conceitos sobre agentes e ambientes, eles serão úteis a partir de agora. Para definirmos um problema de busca, precisamos esclarecer algumas definições. A definição do problema é primordial, de modo que o agente deve ter certeza do objetivo. Como haverá diversas soluções possíveis, o agente precisa ser capaz de classificar e avaliar uma solução, determinando a sua preferência.

Essas definições abrangem:

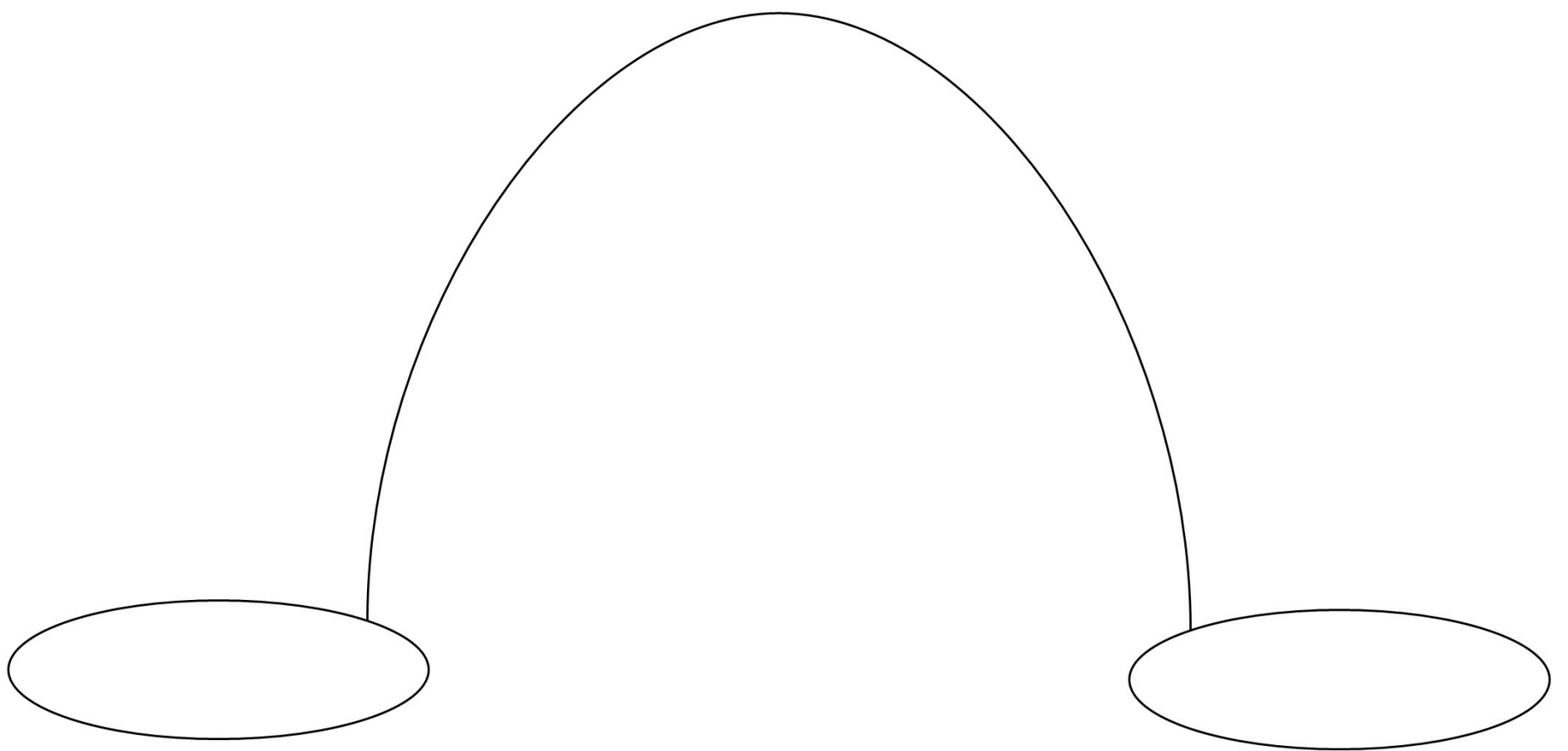
- **Estado inicial:** condição inicial do agente.
- **Estados:** todos os estados alcançáveis a partir do estado inicial por qualquer sequência de ações, ou todos os estados possíveis que o agente pode atingir. Esse aspecto também é conhecido como espaço de estado.
- **Ações:** todas as ações possíveis que o agente pode executar. Especificamente, fornece-se a lista de ações que um agente pode realizar num determinado estado. Esse aspecto também é conhecido como espaço de ação.
- **Modelo de transição:** esta propriedade descreve os resultados de cada ação realizada num determinado estado.
- **Teste de objetivo:** uma maneira de verificar se um estado é o objetivo.
- **Custo do caminho:** uma função que atribui um custo numérico a um caminho.

Outra definição importante de se ter em mente é o **espaço de busca**, que corresponde a uma definição abstrata representada por uma árvore de busca ou grafo de **soluções possíveis**. Em nossos estudos, vamos usar uma árvore de buscas para modelar uma sequência de ações. É interessante notar também que o espaço de busca é dividido em três regiões: explorada, fronteira e inexplorada.

Por enquanto, todas essas definições podem parecer abstratas, mas vamos apresentar, a seguir, alguns exemplos que ajudarão a tornar tudo mais evidente. Por ora, é interessante lembrar que para definir um problema, precisamos do estado inicial, das ações executáveis, do teste de objetivo (isto é, de um modo de saber que o problema foi resolvido) e do custo (que desejamos minimizar). Assim, a solução do problema será a sequência de ações que nos levam de um estado inicial para um objetivo. Já a solução ótima será a solução de custo mínimo.

Um desenho que observaremos bastante a partir de agora é o grafo. Isso se deve à definição de espaço de estados (conjunto de todos os estados acessíveis), que poderão ser interpretados na forma de um grafo, como mostra a Figura 1, a seguir.

Figura 1 | Grafo simples



Fonte: elaborada pelo autor.

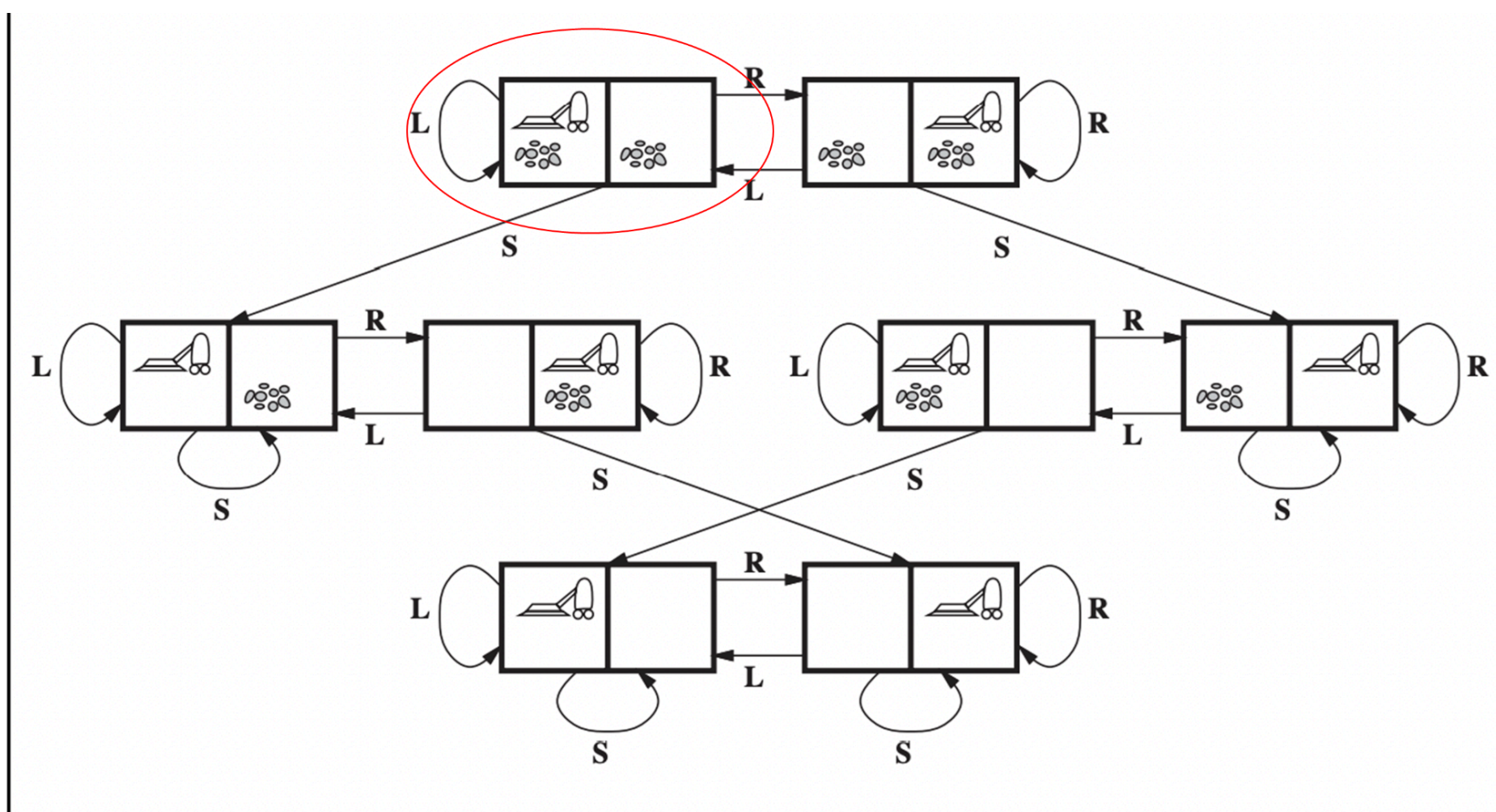
Na imagem anterior, por exemplo, poderíamos ter como **estado** (as bolinhas) a localização, a primeira sendo a casa e a segunda, o trabalho. Além disso, a linha que conecta as bolinhas representaria a **ação** de locomover-se.

EXEMPLOS DE PROBLEMAS

Podemos definir dois tipos de problemas: os com intenção de ilustrar métodos de resolução de problemas, e os problemas reais, com os quais as pessoas normalmente têm de lidar no ambiente de trabalho.

Em nossa primeira análise, vamos considerar o exemplo do aspirador de pó, bem famoso e muito utilizado na literatura para conceituar os problemas de buscas. Observe a Figura 2, a seguir.

Figura 2 | Exemplo do aspirador



Fonte: Russell e Norvig (2010).

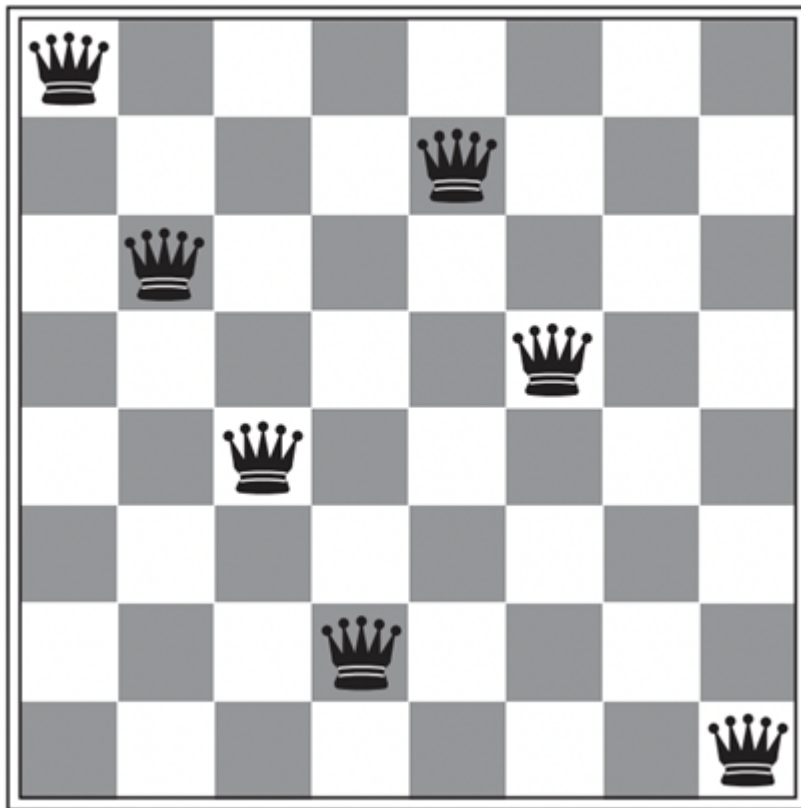
Antes de tudo, vamos definir a imagem/grafos e entender o problema olhando para um estado inicial, circulado em vermelho. Temos dois quadros nos quais há sujeira, e o aspirador está posicionado no quadrado à esquerda. O objetivo é fazer com que o aspirador realize um movimento (ir para a direita, para a esquerda ou aspirar o que está embaixo) até que limpe a sujeira de ambos os quadros. Cada linha é uma ação, representada por R (vá para a direita), L (vá para a esquerda) e S (aspire o que está embaixo).

Nesse contexto, temos:

- **Estado:** posição do robô e da sujeira.
- **Estado inicial:** qualquer um.
- **Ações:** esquerda (L), direita (R), aspirar (S).
- **Teste de objetivo:** todas as posições estão limpas?

Outro problema muito comum, que ilustra bem os conceitos de busca, é o das oito rainhas, reproduzido na Figura 3, a seguir. Nesse caso, o objetivo é colocar oito rainhas num tabuleiro de xadrez sem que uma rainha ataque a outra. A rainha, no tabuleiro de xadrez, possui uma movimentação muito ampla, podendo se movimentar totalmente para a frente, para trás, para os lados e para as diagonais. A Figura 3 mostra o exemplo de uma tentativa de solucionar o problema, mas ainda sem êxito, pois a última rainha da última linha está em “posição de ataque” contra a primeira rainha da primeira linha. Perceba que há uma linha diagonal entre elas.

Figura 3 | Exemplo de oito rainhas



Fonte: Russell e Norvig (2010).

Tendo consciência do objetivo, podemos pensar, agora, na formulação do problema. Para isso, usaremos os conceitos já estudados, entendendo seus respectivos significados a partir das seguintes informações:

- **Estados:** qualquer disposição de 0 a 8 rainhas.
- **Estado inicial:** nenhuma rainha.
- **Ações:** colocar mais uma rainha.
- **Teste de objetivo:** 8 rainhas, 0 ataques.

Esse é um problema de busca complexo. Perceba quantas possibilidades de resolução nós temos.

Começamos com o tabuleiro zerado e, então, colocamos a primeira rainha. Essa peça pode ser posta em 64 posições diferentes (números de casas no tabuleiro). A segunda rainha ainda pode ser colocada em 63 posições distintas (uma a menos que a última), e assim por diante. Então, temos uma multiplicação de $64 \times 63 \times 62 \times \dots$, até 57, o que traz como resultado um número bem expressivo de possibilidades.

Essa configuração do problema é uma das formulações que podemos obter, o que justifica o número extenso de possibilidades. Mas também é possível pensar em outras formulações. Confira o exemplo a seguir:

- **Estados:** n rainhas nas n primeiras colunas, sem ataque.

Nesse caso, usamos o conhecimento do problema, pois não podemos ter duas rainhas na mesma coluna (elas se atacam). Assim, colocamos uma rainha por coluna.

- **Ações:** colocar uma rainha na próxima coluna, sem ataque.

Com essas duas diferentes abordagens, reduzimos aquele número expressivo de possibilidades para 2.057 alternativas.

BUSCANDO A MELHOR SOLUÇÃO

Depois que o problema é apresentado, precisamos buscar soluções. Vamos analisar, a seguir, alguns métodos que nos ajudarão nesse processo.

Estudaremos, primeiro, o conceito de busca em árvore, que é uma ideia bem conhecida na computação. A premissa dessa ideia é fazer com que as soluções sejam procuradas numa árvore que contém todas as possibilidades de resposta. Quando falamos do aspirador, num exemplo anterior, o estado inicial estava na raiz da árvore. Diante disso, passamos a desenvolver os ramos para as soluções.

Nesse contexto, temos o conceito de **fronteira**, que são os nós a serem expandidos (começando com o estado inicial). Os nós são as possibilidades, logo, temos a função, que expande e cria novos nós, usando as ações aplicáveis para gerar os estados correspondentes.

Na busca em árvore, existe a fronteira, que guarda os nós a serem expandidos. Assim, obedecemos aos seguintes passos:

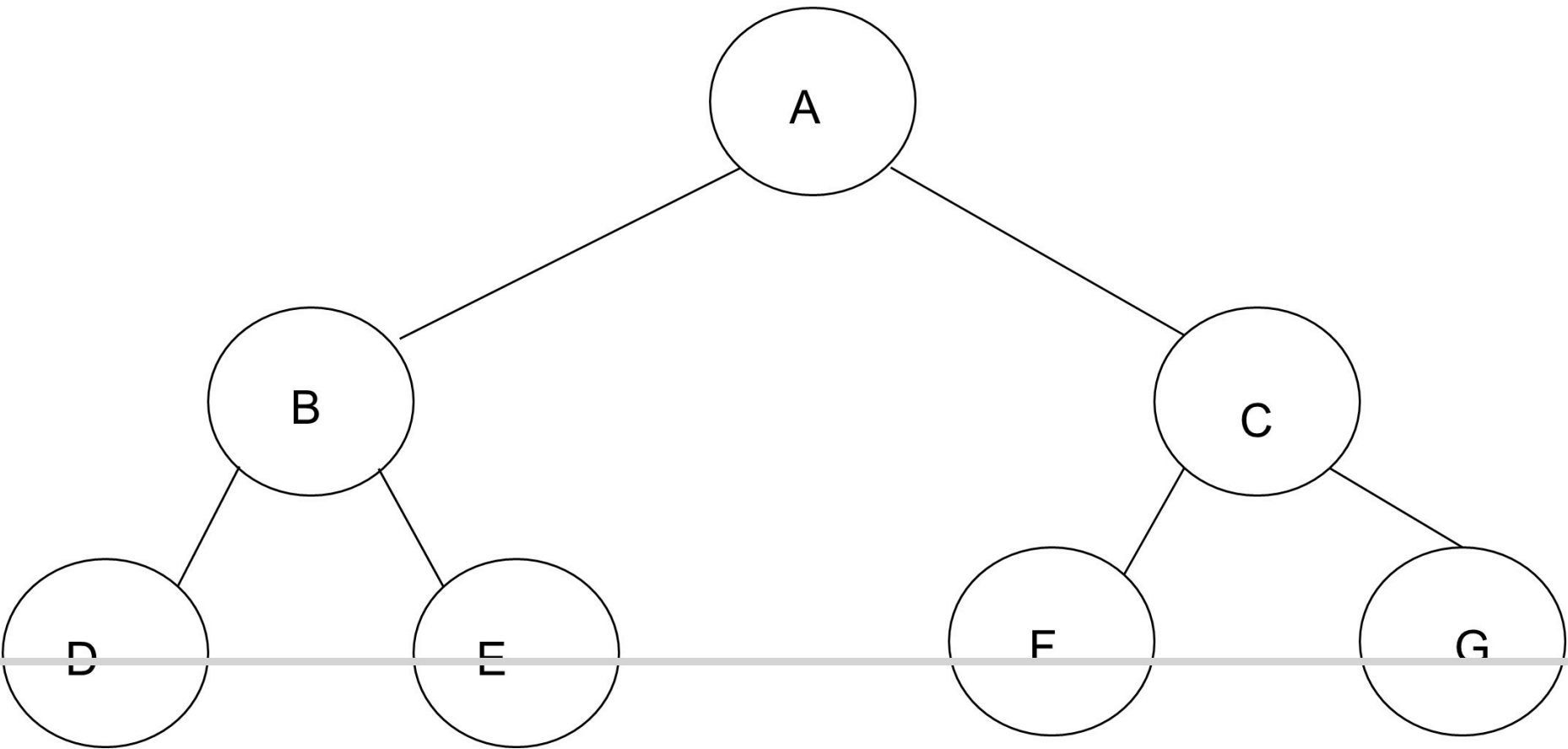
- 1. **Retire** o primeiro nó da fronteira (haverá falha se estiver vazia).
- 2. **Teste** se é um estado final (solução).
- 3. **Expanda** o nó.
- 4. **Insira** os nós gerados na fronteira e volte para o primeiro passo.

Esse é o algoritmo básico de busca em árvore, com variações apenas nas estratégias de busca. A estratégia dependerá da ordem em que os nós são expandidos, ou seja, retirados da fronteira.

Agora, vamos entender alguns conceitos adicionais e importantes sobre busca, que são: busca em largura, busca em profundidade, e duas variações da busca em profundidade – busca em profundidade limitada e busca por aprofundamento iterativo.

- **Busca em largura:** os nós são expandidos na ordem em que foram criados, como mostra a Figura 4, a seguir.

Figura 4 | Exemplo de busca em largura



Preste atenção na imagem anterior. O primeiro nó (estado inicial) começa em A. Expandimos o nó A para B e C. Após isso, o primeiro a expandir é B (criando D e E). Até esse momento, os nós C, D e E são nós da fronteira, e os nós F e G ainda não foram criados. No instante seguinte, F e G são criados, pois o nó C foi desenvolvido após o nó E. Em seguida, serão expandidos os nós D e E, e assim por diante.

A **busca por largura** tem algumas características próprias: ela é completa se o número de ações é finito e é ótima se as ações têm custo 1. Quanto ao espaço, mantêm-se todos os nós na memória, o que pode ser um problema.

Na **busca por profundidade**, em vez de expandir o primeiro nó, o que fazemos é expandir o último nó criado. No exemplo da Figura 4, expandiríamos o nó A, criando os nós B e C. Depois, expandiríamos o nó B, criando os nós D e E. Não faríamos o mesmo com o nó C, pois expandiríamos o nó D e desceríamos até o fim.

A **busca por profundidade** apresenta algumas particularidades: ela não é completa (um ramo pode ser infinito) e não é ótima (encontra uma primeira solução, e não a de menor custo). A vantagem é que ela não armazena todos os nós, somente o caminho atual.

Outras buscas foram criadas para melhorar a busca em profundidade, pois o fato de esta não armazenar todos os nós representa uma vantagem para a memória. No entanto, a primeira desvantagem (não ser completa) faz com que ela possa percorrer infinitamente. Por isso surgiu a **busca por profundidade limitada**, em que se coloca um limite na busca em profundidade. Isso impede que se desça infinitamente nas soluções.

Outra possibilidade é a **profundidade iterativa**, em que se repete a busca com profundidade limitada para valores de limite da iteração cada vez maiores, combinando, assim, vantagens da busca em profundidade com a busca em largura.

VÍDEO RESUMO

No vídeo a seguir, você relembrará conceitos importantíssimos da área de inteligência artificial relacionados à busca. Preste bastante atenção, pois o conteúdo dará destaque a muitos conceitos teóricos, a formas de definir um problema de inteligência artificial com busca, a algumas técnicas que ajudam a encontrar as melhores soluções, e muito mais! Você também conhecerá alguns exemplos práticos de problemas de busca, com casos clássicos que ilustram bem os conceitos estudados, como o exemplo das oito rainhas.

Para visualizar o objeto, acesse seu material digital.

🔗 Saiba mais

Interessante, não é? O domínio sobre grafos e buscas envolve um campo de conhecimento muito amplo. Logo, é importante que você leia mais sobre o assunto, a fim de aprofundar seu entendimento. Para isso, acesse os materiais indicados a seguir.

Métodos de busca, disponível em Gsigma - UFSC.

Algoritmos de busca para inteligência artificial, de Ricardo Araujo, disponível em Medium.

Aula 3

SOLUÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nessa etapa de aprendizagem, estudaremos sobre os diferentes tipos de inteligência artificial.

32 minutos

INTRODUÇÃO

Seja muito bem-vindo a mais uma aula de *Fundamentos da Inteligência Artificial*. Nessa etapa de aprendizagem, estudaremos sobre os diferentes tipos de inteligência artificial.

Como aprendemos em aulas anteriores, a inteligência artificial é uma ampla área que envolve diversas subáreas, como a da robótica, do aprendizado de máquinas, entre outras.

Mas também há diferentes visões sobre a inteligência artificial. Nesse contexto, podemos pensar em como a inteligência artificial se apresentava ontem, como está hoje e como ela estará no futuro. Aliás, tenho certeza de que você pode pensar em questões como: em que ponto a inteligência artificial está situada neste momento? Até onde ela já foi? Aonde ela poderá ir?

Analisaremos mais detalhes sobre esse panorama nestaa aula !

OS DIFERENTES TIPOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Como você já pôde observar, a inteligência artificial vem crescendo muito nos últimos anos, num ritmo exponencial, isto é, vem progredindo de uma forma tão grande, que até mesmo os maiores especialistas ficam surpresos.

Há muitos benefícios em relação a esse crescimento. Por exemplo, a inteligência artificial pode ajudar você a automatizar sua casa, por meio de um acessório da Amazon. Além disso, pode auxiliar na tomada de melhores decisões no trabalho. No entanto, também há questões muito discutidas na sociedade quanto aos malefícios gerados por essas tecnologias. Até onde a inteligência artificial pode chegar sem prejudicar o ser humano? Podemos passar horas e horas discutindo, por exemplo, questões de emprego. O trabalho será automatizado, fazendo com que muitas pessoas percam seus empregos? Haverá pessoas desempregadas por causa da inteligência artificial? Ou essas são apenas suposições?

Também há um grupo de pessoas que acredita num possível comportamento adverso da IA, que chegaria a patamares de destruição. Nessa hipótese, a IA geraria robôs que teriam suas próprias consciências, sendo capazes de tomar atitudes por conta própria, as quais nem sempre estariam de acordo com as expectativas de seus criadores. Essa suposição pode ser vista em filmes e seriados, porém também existem pessoas, não necessariamente ignorantes, que realmente acreditam nessa possibilidade, como alguns pesquisadores. Trata-se de uma questão muito filosófica sobre a inteligência artificial, a qual será explorada nesta aula.

Existem três categorias diferentes de inteligência artificial que podemos citar, as quais são reconhecidas pelas siglas: ANI, AGI e ASI, do inglês *artificial narrow intelligence*, *artificial general intelligence* e *artificial superintelligence*, respectivamente. Essas denominações podem ser traduzidas para o português como: inteligência artificial estreita (ANI), inteligência artificial geral (AGI) e superinteligência artificial (ASI).

Inteligência artificial estreita (ANI)

Tudo o que você sabe sobre inteligência artificial, incluindo todas as técnicas, provavelmente está englobado nesta categoria. A inteligência artificial estreita, também conhecida como inteligência artificial fraca, constitui o ponto em que a inteligência artificial se encontra na sociedade. Como o nome indica, ela é “estreita”, isto é, ela é uma IA capaz de realizar uma única tarefa. Por exemplo, a IA do Facebook, que é preparada para classificar as imagens, reconhecer rostos e detectar quais dos seus amigos estão presentes em cada foto, é uma IA pré-treinada com um único propósito, de maneira que deverá realizar apenas essa tarefa. Do mesmo modo, a Siri, Cortana e Alexa possuem um reconhecimento de fala treinado com a IA, realizando apenas essa tarefa.

A inteligência artificial estreita é o que temos de mais alto nível na área de IA, e provavelmente esse cenário se manterá por um bom tempo. É o que se trabalha nas grandes empresas, como Google, Facebook, Microsoft e Apple.

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GERAL E A SUPERINTELIGÊNCIA

Aprendemos, até agora, que existem diferentes tipos de inteligência artificial, denominadas como ANI, AGI e ASI. Por enquanto, apenas a ANI foi estudada detalhadamente, já que se trata da IA usada por nós hoje em dia e a de mais alto nível na sociedade atual. Vamos, a partir deste momento, investigar as outras duas vertentes.

Inteligência artificial geral (AGI)

A inteligência artificial geral é uma categoria de IA muitas vezes chamada de inteligência artificial forte. Nesse caso, temos como ideia geral uma IA que seja tão boa quanto o ser humano em quaisquer tarefas. A diferença perante a ANI é que a AGI consegue fazer diversas tarefas. A ANI é estreita (como o nome sugere) e só realiza uma tarefa específica, enquanto a AGI é geral, executando mais de uma atividade. A AGI possui, então, a habilidade de aprender, perceber, compreender e funcionar completamente como um ser humano.

A inteligência artificial geral tem o papel de pensar, com compreensão única e não totalmente robotizada. Nessa categoria, temos duas subdivisões: máquinas cientes (são capazes de compreender os estímulos que recebem e, então, processar as informações) e máquinas autoconscientes (têm consciência do mundo e também de si mesmas, o que ajuda a compreender estímulos externos).

Essa classe de inteligência artificial abre muitos debates na literatura, que se contradizem em muitos pontos. Alguns pesquisadores dizem que nunca haverá uma IA forte, pois trata-se de um estágio muito avançado em comparação ao que temos acesso. Outros pesquisadores acreditam que essa IA poderá surgir aproximadamente no ano de 2045. Há uma frase dos famosos autores Kai-Fu Lee e Chen Qiufan sobre o tema. Eles afirmam que “Nos sessenta e cinco anos de história da IA, sem dúvida, houve um único avanço: Deep Learning. Precisaremos de pelo menos mais uma dúzia de avanços para alcançar a superinteligência, o que dificilmente acontecerá em apenas vinte anos” (LEE; QIUFAN, 2021, [s. p.]).

Ainda não abordamos a superinteligência, porém o problema é bem semelhante. Alguns pesquisadores, como o neurocientista brasileiro Miguel Nicolelis, acreditam que é impossível haver uma inteligência artificial geral que reproduza a mente humana e seu respectivo funcionamento.

E você? Acredita que teremos uma IA geral?

Superinteligência artificial (ASI)

Esse tipo de inteligência artificial está acima das outras duas, como o próprio nome sugere. A superinteligência artificial também é conhecida como *Singularity*.

Trata-se de uma IA capaz de superar a capacidade humana, apresentando a criatividade e a inteligência de um humano, somadas ao poder computacional de uma CPU. Logo, essa IA seria capaz de se aprimorar e evoluir de forma rápida.

Provavelmente o que você acabou de ler tenha o levado a pensar que essa categoria de IA poderá nos assustar. De fato, a ASI é a categoria que mais gera medo, já que essa IA conseguiria superar o ser humano em todos os aspectos, além de expressar emoções e sentimentos. Parece coisa de filme, não é? Seria uma inteligência artificial capaz de ter consciência própria, impossível de ser parada.

CAPACIDADE DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Como aprendemos, há diferentes tipos de inteligência artificial, categorizadas de acordo com o grau de inteligência em relação aos seres humanos. Temos a inteligência artificial estreita (ANI), a inteligência artificial geral (AGI) e a superinteligência artificial (ASI). As duas últimas são apenas hipotéticas (até o presente momento).

Vamos, agora, dar um passo atrás e entender sobre as capacidades da inteligência artificial. Para isso, serão apresentados quatro novos conceitos: máquinas reativas, memória limitada, teoria da mente e autoconsciência.

Máquinas reativas

Esse tipo de IA é o mais antigo e simples dentre aqueles que podemos conhecer. É um modelo básico que tem uma capacidade bem limitada, se comparado a outros modelos. Basicamente, a ideia é que essa IA reproduza o comportamento humano quando for estimulada, isto é, funcione de forma reativa (como o nome sugere).

Um exemplo de máquina reativa foi uma criação da IBM, chamada Deep Blue. Trata-se de um sistema que venceu o campeão de xadrez Garry Kasparov em 1997.

Esse tipo de máquina não tem memória, ou seja, não tem capacidade de aprendizado e não possui um banco de dados interno para executar o que absorve. Só existe a função de responder a um estímulo.

Memória limitada

Essas máquinas são semelhantes às anteriores, pois possuem a característica de serem totalmente reativas. Porém, nesse caso, a máquina, diferentemente da anterior, carrega uma pequena quantidade de memória (como o nome indica, memória limitada). Assim, ela se torna um pouco mais inteligente, pois consegue aprender com dados e informações previamente expostas.

Esse tipo de inteligência artificial de memória limitada ainda é usado e pode ser visto em alguns sistemas, como os de reconhecimento de face, chatbots e assistentes virtuais.

Teoria da mente

Essa é uma categoria que ainda vem sendo muito estudada. Alguns especialistas a interpretam como algo do futuro, mas muitas investigações vêm sendo efetuadas nesse campo, pois trata-se de uma esfera na qual os pesquisadores estão tentando inovar.

A teoria da mente tem a finalidade de compreender melhor os seres com os quais interage, entendendo suas necessidades, emoções, crenças e pensamentos.

Autoconsciente

Por último, temos o autoconsciente. Entendemos que a teoria da mente é um objeto de estudos frequentes, já que muitos a veem como parte do futuro. No caso do autoconsciente, acabamos entrando num cenário hipotético. Essa inteligência artificial será capaz não somente de ter as habilidades da teoria da mente, como também de ter sua própria consciência, emoções, necessidades, crenças e até desejos. Essa é a inteligência que gera mais medo, pois, apesar de poder trazer um benefício grande para a sociedade, também poderá desencadear uma catástrofe.

Essas são as quatro categorias de inteligência artificial, as quais se conectam com as classificações técnicas estudadas anteriormente. Podemos perceber que existe um debate até mesmo filosófico sobre a atual IA e o futuro da IA. Muito se discute sobre os benefícios e malefícios que a IA pode trazer para a sociedade. E uma coisa é certa: ela terá um impacto muito grande na sociedade, em diversas áreas.

VÍDEO RESUMO

No vídeo a seguir, vamos analisar alguns debates filosóficos relacionados à inteligência artificial. Será que a IA representa algo capaz de trazer benefícios à sociedade? Será que em algum ponto ela trará malefícios? A perspectiva que os filmes e séries reproduzem acerca da inteligência artificial é algo verdadeiro? Existe alguma possibilidade de a IA ser uma catástrofe para a sociedade? Verificaremos alguns desses questionamentos

neste conteúdo. Não perca!

Para visualizar o objeto, acesse seu material digital.

🔗 Saiba mais

As questões filosóficas apresentadas nesta etapa de aprendizagem são muito interessantes. Há bastante espaço para debate. Diante disso, recomendamos que você leia mais sobre o assunto e discuta sobre as tecnologias que surgiram recentemente, analisando se alguma dessas criações é tão avançada a ponto de ser classificada como AGI. Alguns artigos podem ajudar você a pensar mais detalhadamente sobre o tema. Confira a seguir!

[Quais são os tipos de inteligência artificial existentes? Descubra aqui.](#) Disponível em DataEx.

[Tipos de inteligência artificial: Conheça os principais.](#) Disponível em Trecsson.

Aula 4

PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO

Nesta etapa de aprendizagem, estudaremos sobre algoritmos evolutivos.

37 minutos

INTRODUÇÃO

Seja muito bem-vindo a mais uma aula de Fundamentos da Inteligência Artificial. Nesta etapa de aprendizagem, estudaremos sobre algoritmos evolutivos.

Esses algoritmos derivam da teoria da evolução, cunhada por Charles Darwin em 1859, e são usados atualmente em inteligência artificial quando trabalhamos com busca.

Identificaremos, nesse contexto, algumas semelhanças entre a teoria criada por Darwin e o conceito aplicado nos dias de hoje nas indústrias que exploram a inteligência artificial.

A ideia de que o mais apto sobrevive na natureza é bem utilizada para encontrar a melhor solução para um problema de inteligência artificial. Entenderemos, nesta aula, como esse processo é desenvolvido no campo das tecnologias.

ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Para iniciar a discussão sobre algoritmos evolutivos em inteligência artificial, precisamos entender o que foi a teoria da evolução.

A teoria da evolução foi desenvolvida por Charles Darwin no livro *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (1859). De acordo com essa tese, é o ambiente, por meio de uma seleção natural, que determina a importância da característica do indivíduo ou de suas variações, e os organismos mais bem adaptados a esse ambiente têm maiores chances de sobrevivência, deixando um número maior de descendentes.

A evolução pode ser vista como um processo que leva à manutenção ou ao aumento da capacidade de uma população sobreviver e se reproduzir num ambiente específico (HARTL; CLARK, 1989). Essa habilidade é chamada de **aptidão evolutiva**.

A **aptidão evolutiva** também pode ser entendida como uma medida da capacidade que o organismo tem de antecipar mudanças em seu ambiente (ATMAR, 1994). Assim, a aptidão, ou a medida quantitativa da capacidade de prever mudanças ambientais e responder adequadamente, pode ser considerada como a qualidade que está sendo otimizada na vida natural.

Com base na teoria da evolução, surgiram os algoritmos evolutivos, que serão explicados de maneira mais detalhada a seguir. Esses algoritmos são muito usados na inteligência artificial por físicos, químicos, biólogos, economistas, profissionais da robótica, entre outros agentes.

A abordagem evolucionária de inteligência artificial é baseada em modelos computacionais de seleção natural e genética. Nós a chamamos de computação evolucionária, um termo abrangente que combina algoritmos genéticos (que serão estudados mais à frente), estratégias de evolução e programação genética. Todas essas técnicas simulam a evolução usando os **processos de seleção, mutação e reprodução**.

Mas é possível simular o processo de evolução natural num computador? Como a IA trabalha com isso?

Hoje, existem vários algoritmos de computação evolutiva bastante conhecidos. Todos eles simulam a evolução natural, criando uma população de indivíduos, avaliando sua aptidão (definida anteriormente), gerando uma nova população por meio de operações genéticas e repetindo esse processo várias vezes.

Existem diferentes maneiras de realizar a computação evolutiva. Vamos investigar, nesta aula, algumas informações sobre os algoritmos genéticos, já que os outros algoritmos podem ser entendidos como uma variação deste.

Em resumo, os algoritmos evolucionários são algoritmos que se baseiam na teoria da evolução, os quais vêm da computação natural, que é a computação apoiada na natureza. Os algoritmos evolutivos possuem as seguintes características:

- Modelos computacionais dos processos naturais de evolução.
- Simulação da evolução das espécies.
- Sobrevivência do mais apto.
- Auto-organização, comportamento adaptativo.

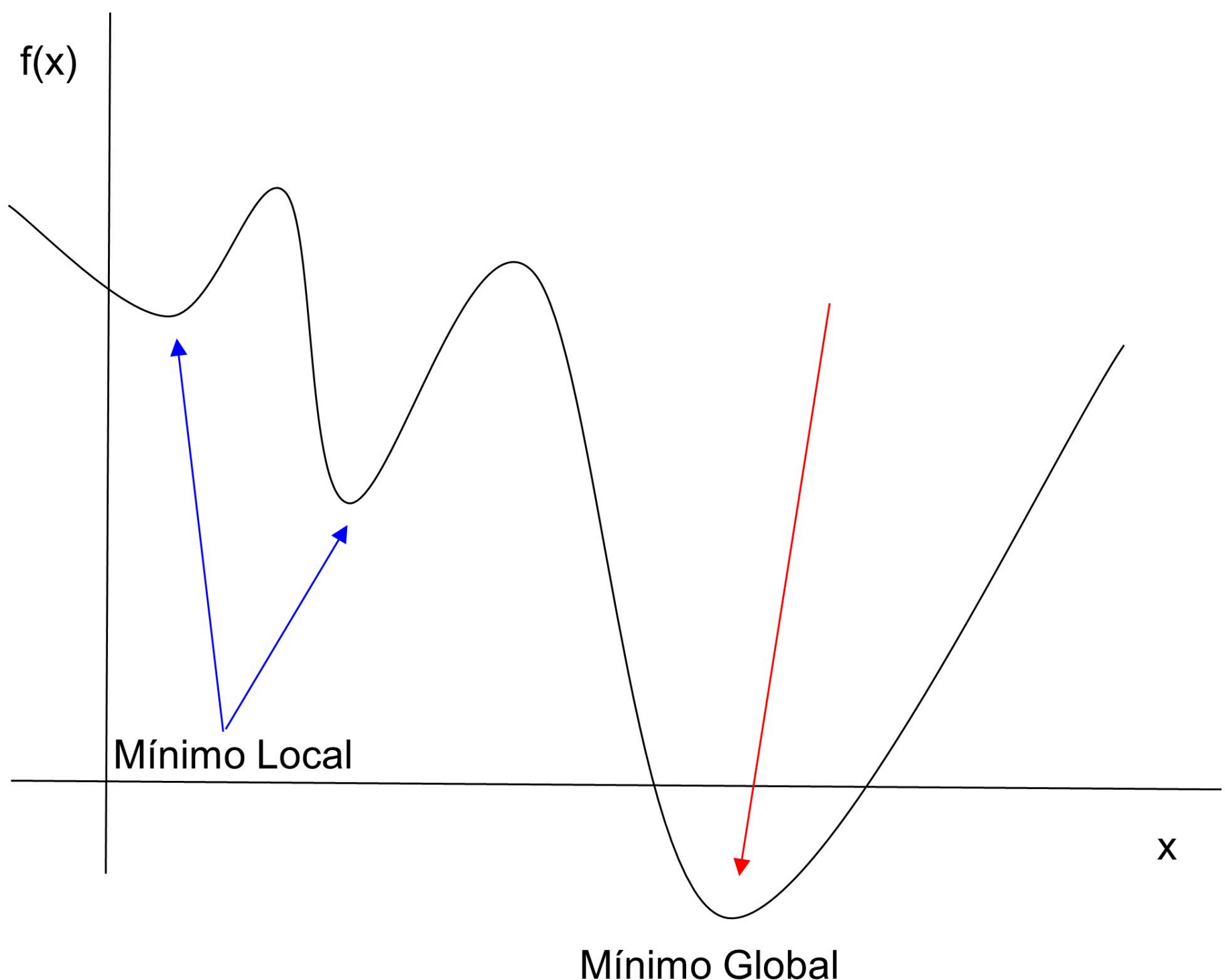
A seguir, aprofundaremos nossos estudos sobre algoritmos genéticos, que constituem o objeto central de análise quando falamos sobre algoritmos evolutivos.

ALGORITMOS GENÉTICOS

Já aprendemos sobre algoritmos evolutivos, sua importância para a computação e aplicabilidade em diversas áreas. Agora, vamos analisar o principal algoritmo evolutivo: o algoritmo genético.

Algoritmos genéticos são usados para avaliar grandes espaços de busca para uma boa solução. Verificamos, em aulas anteriores, alguns problemas de busca, e agora teremos um algoritmo para encontrar a solução ótima, ou o mais próximo disso, pois ele não necessariamente encontrará sempre a melhor solução para um determinado problema. O algoritmo tenta identificar a melhor solução global, evitando soluções locais. Para recordar, soluções locais são aquelas encontradas numa vizinhança, e soluções globais são aquelas que compreendem todo o espaço de soluções, que é um conceito de otimização. Como mostra a Figura 1, a seguir, que apresenta possíveis soluções para um problema, os mínimos locais são soluções que podem parecer as mínimas, se recortarmos um ponto. Contudo, o mínimo global é a solução que, dentre todas, é a menor.

Figura 1 | Gráfico de possíveis soluções



Fonte: elaborada pelo autor.

O algoritmo genético tenta encontrar as melhores soluções de mínimo local, na intenção de buscar a solução de mínimo global.

O algoritmo genético leva em consideração alguns passos a serem seguidos. Cada problema tem sua particularidade e possui um contexto diferente, baseado nos dados. De modo geral, o algoritmo genético funciona da mesma forma, descrita a seguir:

1. Criar a população: envolve a criação de uma população aleatória de possíveis soluções para um determinado problema.

2. Medir a aptidão (*fitness*) dos indivíduos da população: nesta fase, determina-se a eficácia de cada solução por uma função de aptidão (no inglês, chamamos de função *fitness*), que gera um *score* para cada solução, conhecido como *score* de aptidão (ou *score fitness*).

3. Selecionar pais, conforme sua aptidão: na terceira etapa, seleciona-se um número de pares (de pais) de soluções que reproduzirão.

4. Reproduzir indivíduos, tarefa desempenhada pelos pais: nesta etapa, temos a criação de “filhos”, fazendo um mix das informações genéticas dos pais, com uma singela mudança.

5. Popular a próxima geração: por último, selecionam-se os indivíduos e filhos da população que sobreviverão para a próxima geração.

Normalmente, essas etapas também podem ser encontradas na literatura com as seguintes terminologias:

1. População inicial

2. Função de aptidão

3. Seleção

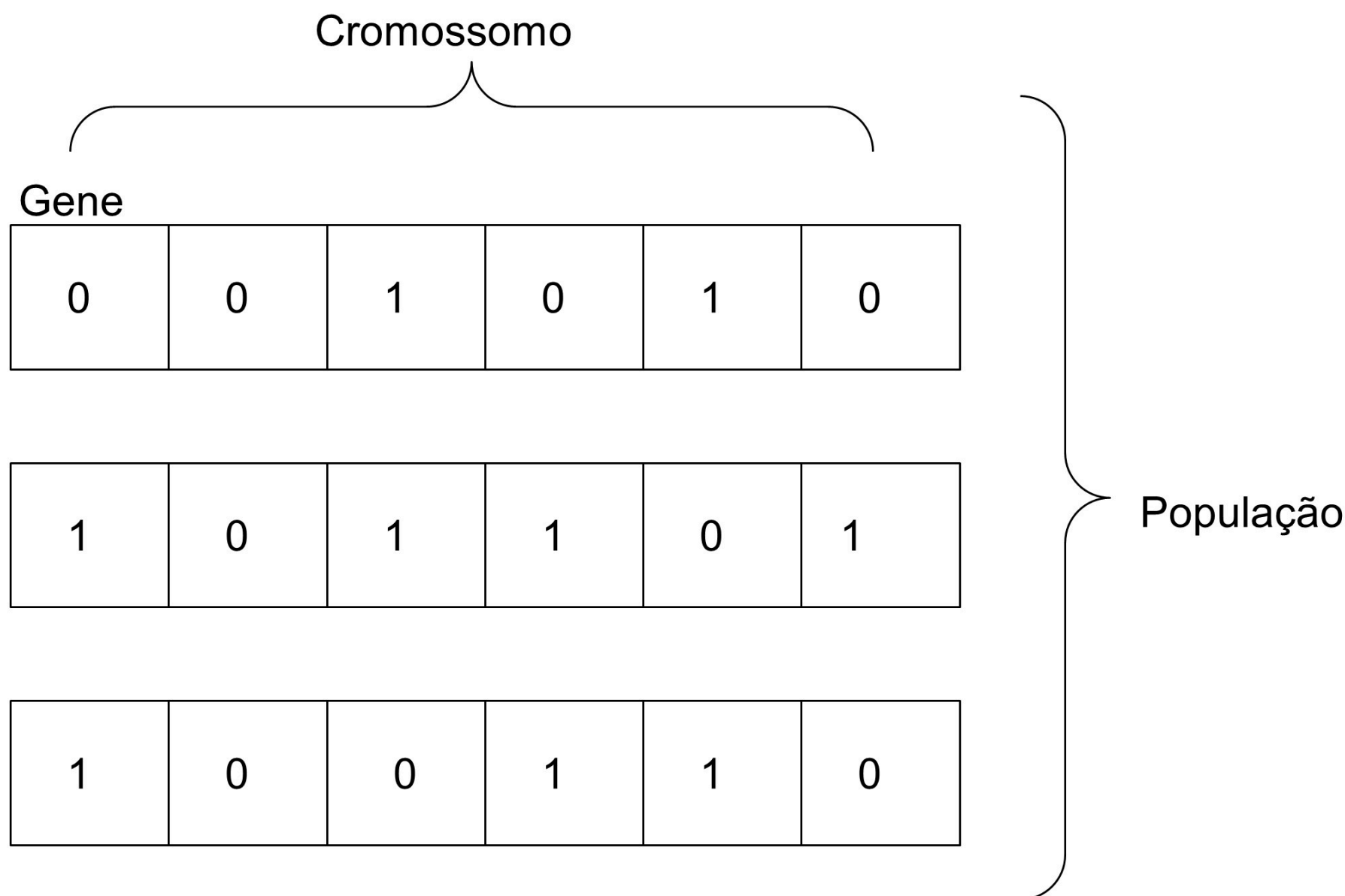
4. *Crossover*

5. Mutação

Essas são as etapas do algoritmo genético. Pode parecer um pouco confuso no começo, porém, a seguir, vamos analisar alguns problemas clássicos de otimização que podem ser solucionados dessa forma, e tudo ficará mais claro.

Até este momento, fizemos uso da palavra “genético”, mas ainda não explicamos os motivos que justificam a utilização dessa terminologia no campo dos algoritmos (bem como dos termos “reprodução”, “mutação”, entre outros). Vamos entender a escolha dessa nomenclatura a seguir.

Cada solução individual para um problema pode ser chamada de cromossomo. Um cromossomo é formado por vários genes, e a coleção de cromossomos é conhecida como população (primeiro passo), como mostra a Figura 2, seguir.



Fonte: elaborada pelo autor.

Então, temos um algoritmo básico (o qual é adaptado à linguagem de programação de preferência):

COMEÇA

Gera a população inicial

Calcula a aptidão

REPETE

Seleção

Crossover

Mutação

Calcula a aptidão

ATÉ QUE a população tenha convergido

PARA

APLICAÇÕES DE ALGORITMO GENÉTICO

Como aprendemos anteriormente, alguns conceitos podem parecer obscuros inicialmente, mas por meio de aplicações fica mais fácil entender como funciona o algoritmo genético e como esse elemento pode nos beneficiar em problemas de busca em inteligência artificial. Para exemplificar, vamos, antes de tudo, estudar

sobre o teorema do macaco infinito.

Teorema do macaco infinito

Esse teorema afirma que, se colocarmos um macaco diante de um teclado e ele começar a bater nas teclas de maneira aleatória por um período infinito de tempo, certamente em algum momento digitará um texto válido. Na verdade, em algum momento ele será capaz de digitar toda a obra de William Shakespeare. Porém, a probabilidade de que isso aconteça é tão pequena, que será necessário mais tempo do que o tempo estimado de idade do universo. Por outro lado, as chances de que o fenômeno ocorra não são completamente nulas.

Vamos aplicar o conceito de algoritmos genéticos para trabalhar com esse problema. **No primeiro passo**, temos a criação de uma população, que, levando em consideração o contexto apresentado, serão elementos que formam a solução para a resposta, como:

“bahama”, “abcdef”, “ijklmn”, ..., “mnopqqr”, “stuvxz”, “banyan”, “cabana”, e assim por diante.

No **segundo passo**, vamos calcular a função de aptidão, que mostra o quão boa é uma solução. Vamos supor que o objetivo principal seja a escrita da palavra “banana” e que a nossa função queira ver quantas letras presentes em cada palavra aleatoriamente encontrada também existem na palavra que queremos achar (“banana”). Assim, nosso *score* de aptidão será:

banyan: 5

abcdef: 2

ijklmn: 1

...

mnopqqr: 1

stuvxz: 0

No **terceiro passo**, selecionaremos indivíduos que possuem um alto *score* de aptidão. Assim, escolheremos “banyan” e “cabana”. Já no **quarto passo**, faremos o *crossover*, cruzando as informações das palavras selecionadas, embaralhando-as e criando uma nova população, baseada em combinações. Após isso, poderemos ter palavras como “canyan”, “cabyan”, “bablyna”, “banana”, “yanbac”, etc.

No **quinto passo**, realizaremos a mutação, isto é, inverteremos algumas ordens das letras, para manter uma diversidade na população. E continuaremos o processo num *loop*. Como a população tem tamanho fixo, haverá um fim quando encontrarmos uma palavra com *score* igual a 6, isto é, que possua todas as letras de “banana”, pois, a partir de então, todos os *loops* permanecerão com *score* igual a 6.

Outros problemas podem ser resolvidos com o algoritmo genético, como o do caixeiro-viajante, o problema do empacotamento, o problema da mochila, entre outros. Vamos analisar esses três problemas de modo mais aprofundado a seguir.

- **Problema do caixeiro-viajante:** nesse problema, busca-se saber, diante de uma lista de cidades e da respectiva distância entre elas, qual é a melhor rota possível para visitar cada uma das cidades e retornar ao ponto de origem.
- **Problema do empacotamento:** nesse contexto, diferentes itens com diversos tamanhos devem ser empacotados num número finito de pacotes, cada um com uma capacidade finita. O objetivo é minimizar o número de pacotes usados. Qual seria a combinação ideal de itens?
- **Problema da mochila:** é dada uma quantidade de itens, com seus respectivos tamanhos e valores em reais. Busca-se determinar o número de itens a incluir numa mochila, para que o peso total não exceda o limite e que o valor total seja o maior possível.

Para solucionar cada um dos problemas clássicos, é necessário pensar qual será a população inicial (talvez uma rota aleatória no primeiro caso, por exemplo) e a função de aptidão. Dessa maneira, poderemos prosseguir com os estudos do algoritmo.

VÍDEO RESUMO

No vídeo a seguir, relembremos os principais conceitos relacionados a algoritmos evolutivos, os quais constituem uma família de algoritmos muito importante na busca de soluções de problemas de IA, podendo ser útil para as mais diversas áreas. Você entenderá como podemos aplicar conceitos biológicos da teoria de Darwin na computação e obter excelentes resultados. Além disso, o conteúdo também dará destaque ao algoritmo genético, o mais popular dos algoritmos, explicando como podemos extrair o melhor dele e quais problemas é capaz de resolver.

Para visualizar o objeto, acesse seu material digital.

Saiba mais

A área de otimização é muito interessante, pois contém um amplo espaço para estudo. O que verificamos até agora é apenas a superfície de todo o conhecimento da área. Portanto, recomendamos a leitura dos artigos a seguir, que podem auxiliar no estudo sobre otimização e algoritmos genéticos.

[Algoritmos Genéticos](#), disponível em Bioinfo.

[Algoritmo genético](#), disponível em Wikipédia.

REFERÊNCIAS

15 minutos

Aula 1

INTELIGÊNCIA artificial: o que é, como funciona e exemplos. **FIA Business School**, 13 out. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/inteligencia-artificial/>. Acesso em: 4 nov. 2022.

MACHINE learning: o que é e qual sua importância? **SAS**, 10 ago. 2018. Disponível em: https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/machine-learning.html. Acesso em: 4 nov. 2022.

NEGNEVITSKY, M. **Artificial intelligence**: a guide to intelligent systems. Canadá: Pearson Education, 2005.

Aula 2

ARAUJO, R. Algoritmos de busca para inteligência artificial. **Medium**, 3 jul. 2020. Disponível em: <https://ricardomatsumura.medium.com/algoritmos-de-busca-para-intelig%C3%Aancia-artificial-7cb81172396c>. Acesso em: 4 nov. 2022.

MÉTODOS de busca. **GSIGMA**, [s. d.]. Disponível em: <https://www.gsigma.ufsc.br/~popov/aulas/ia/modulo3/index.html>. Acesso em: 4 nov. 2022.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. Nova Jersey: Prentice Hall, 2010.

Aula 3

LEE, K.; QIUFAN, C. **AI 2041**: ten visions for our future. Nova York: Currency, 2021.

QUAIS são os tipos de inteligência artificial existentes? Descubra aqui. **DataEx**, 6 jul. 2021. Disponível em: <https://www.dataex.com.br/tipos-de-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 4 nov. 2022.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. Nova Jersey: Prentice Hall, 2010.

TIPOS de inteligência artificial: conheça os principais. **Trecsson**, 30 jun. 2021. Disponível em: <https://www.trecsson.com.br/blog/inovacao/tipos-de-inteligencia-artificial>. Acesso em: 4 nov. 2022.

Aula 4

ALGORITMO genético. **Wikipédia**, [s. d.]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico. Acesso em: 4 nov. 2022.

ATMAR, W. Notes on the simulation of evolution. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 5, n. 1, p. 130-148, 1994.

HARTL, D. L.; CLARK, A. G. **Principles of population genetics**. 2. ed. Massachusetts: Sinauer, 1989.

OTIMIZAÇÃO. **Wikipédia**, [s. d.]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Otimiza%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 4 nov. 2022.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence**: a modern approach. Nova Jersey: Prentice Hall, 2010.

SANTOS, M. O. dos. **Programação matemática**: otimização linear. São Paulo: ICMC/USP, 2010. Disponível em: http://wiki.icmc.usp.br/images/f/fd/Aula1PM_mari.pdf. Acesso em: 4 nov. 2022.

Imagem de capa: [Storyset](#) e [Shutterstock](#).