

Computação Inspirada pela Natureza



Esquilo na University of Alberta - Edmonton, Alberta, Canadá – por Fabricio Breve

Fabricio Breve – www.fabriciobreve.com

Computação Inspirada pela Natureza



- Campo de investigação relativamente novo que junta dois assuntos que antigamente se acreditava serem totalmente distintos:
 - Natureza e Computação
- Alguns problemas não podem ser resolvidos usando as técnicas de computação tradicionais.
 - Estimulando a busca de soluções no melhor solucionador de problemas conhecido: a Natureza.



Life will find a way

<http://nanytonphotography.com>



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



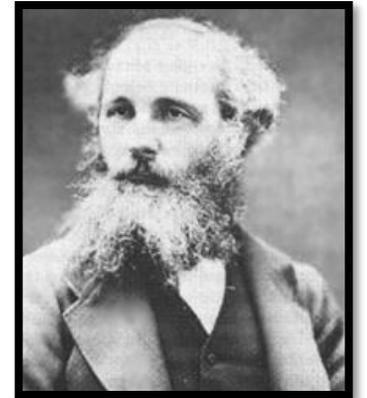
Computação Inspirada pela Natureza

- O estudo de fenômenos e padrões físicos, químicos e biológicos permite explicar e entender como a natureza funciona.
 - Exemplos:
 - O estudo das leis (da física) de movimento e gravidade permitiram a construção de aeronaves.
 - O entendimento de princípios básicos da vida tornou possível controlar a natureza em vários níveis:
 - Criar alimentos transgênicos.
 - Controle de doenças.



Motivação

- Por muitos séculos a observação do mundo natural permitiu derivar idéias de como a natureza funciona:
 - Leis da física:
 - Eletromagnetismo (Equações de Maxwell)
 - Termodinâmica (conservação, entropia, zero absoluto)
 - Movimento (leis de Newton)
 - Etc...



James Clerk Maxwell
(*1831 †1879)



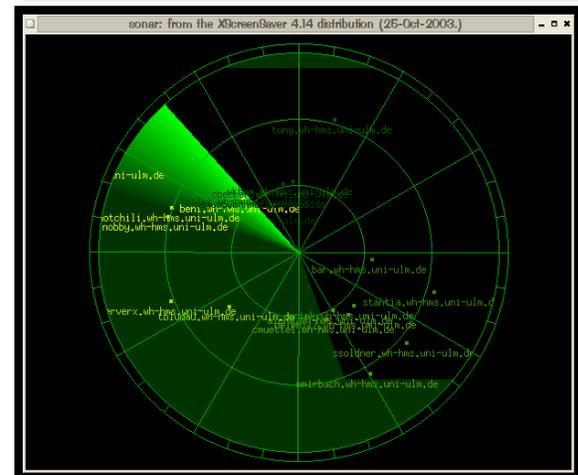
Isaac Newton
(*1643 †1727)



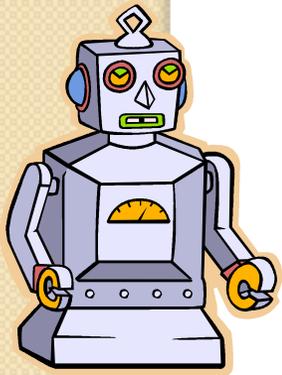
Fonte: Isaac and the apple – the story and the myth

Motivação

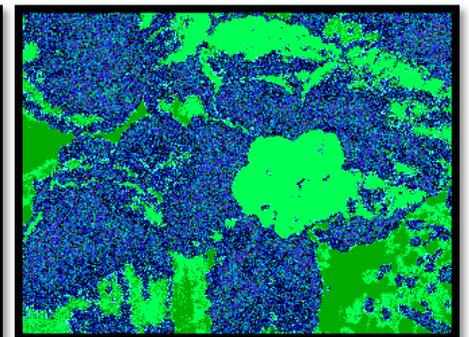
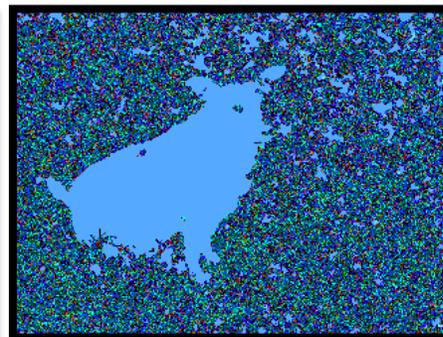
- Fenômenos naturais (processos, substâncias, organismos) tem inspirado e motivado pessoas a projetar e construir novos sistemas e artefatos:
 - Sonar de localização por eco;
 - Substâncias químicas usadas com fins medicinais;
 - Sistemas de imageamento infravermelho;
 - Aeronaves;
 - Submarinos.



Motivação



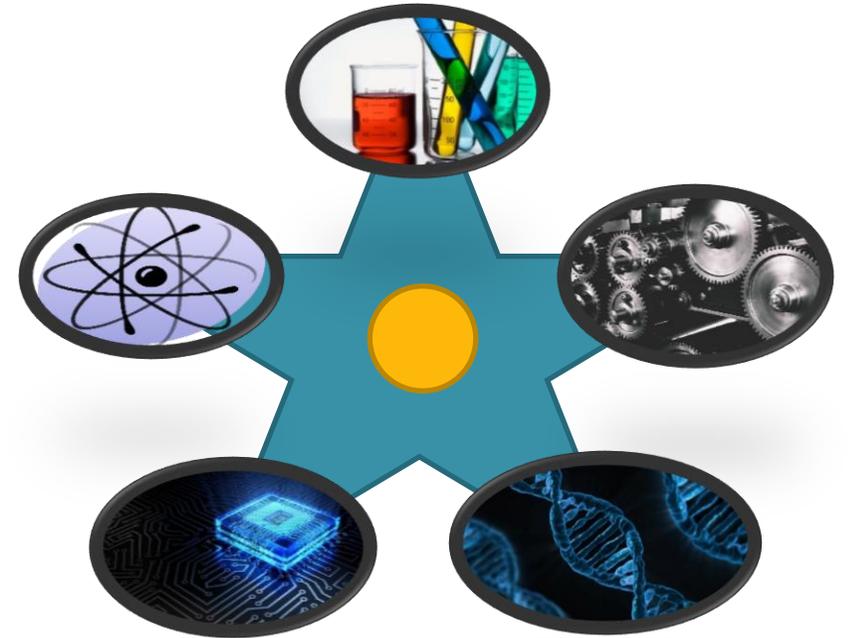
- A Computação Inspirada pela Natureza é a versão computacional deste processo de extrair idéias da natureza para desenvolver sistemas artificiais (computacionais).
- Artificial = feito pelo homem (em vez de feito pela natureza).



Fotos e imagens de saída de software de atenção visual, por Fabricio Breve

Computação Inspirada pela Natureza

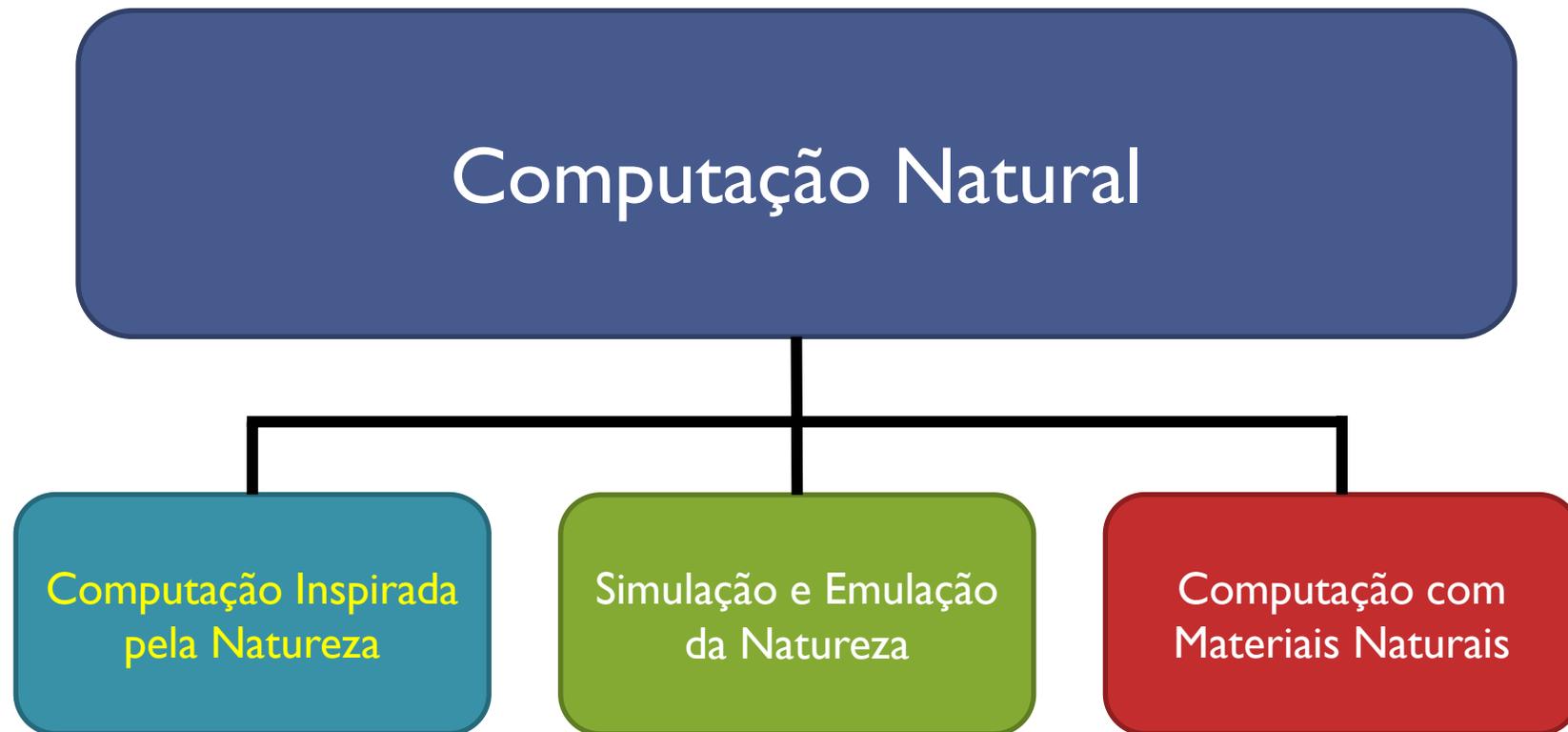
- Conhecimentos envolvidos:
 - Física
 - Química
 - Engenharia
 - Biologia
 - Ciência da Computação



Necessidade dos profissionais dessas áreas agirem juntos ou ao menos compartilhareм ideias

Computação Inspirada pela Natureza

- É uma das grandes ramificações da Computação Natural:



Simulação e Emulação da Natureza

- Uso de computadores para recriar fenômenos naturais e organismos.
 - Ferramentas para síntese e estudo de fenômenos naturais que podem ser usados para testar teorias biológicas.
 - Duas abordagens principais:
 - Técnicas de Vida Artificial
 - Geometria Fractal da Natureza



Geometria Fractal da Natureza

- Grande avanço: reconhecimento de que a natureza é fractal.
 - Fractais são caracterizados por detalhes infinitos, comprimento infinito, auto-similaridade, dimensões fractais e a ausência de suavidade ou derivação.
 - Exemplos:
 - Samambaias, litorais, montanhas, couve-flor, brócolis e muitas outras plantas e árvores são fractais.
 - Organismos são fractais: nossos pulmões, nosso sistema circulatório, nosso cérebro, nossos rins, etc.



Exemplo: Fractais para Criar Cenários em Jogos

Menção Honrosa:
River Raid – Atari 2600
 Pioneiro no uso de geração procedural de cenários (1982).

Jogo	Técnica/Algoritmo	Descrição
Minecraft	Ruído Perlin (variações fractais)	Utiliza algoritmos de ruído para gerar terrenos com biomas, cavernas e formações naturais orgânicas.
No Man's Sky	Geração procedural com base em métodos fractais	Cria galáxias inteiras com planetas únicos, ecossistemas e paisagens variadas, explorando a vastidão do espaço.
Elite: Dangerous	Algoritmos de geração procedural (com elementos fractais)	Gera sistemas estelares e planetas de forma dinâmica, permitindo um universo massivo e quase infinito.
Dwarf Fortress	Geração procedural (inspirada em processos naturais)	Produz mundos com terrenos complexos, detalhes geológicos e biomas diversificados para cada jogada.
Terraria	Ruído Perlin e variações algorítmicas	Embora em 2D, utiliza processos semelhantes para criar terrenos e cavernas que se moldam de forma orgânica.
Don't Starve	Geração procedural com ruído Perlin e variações inspiradas em fractais	Cria mundos sombrios e imprevisíveis, alternando entre florestas densas, pântanos e desertos com paisagens dinâmicas que lembram os padrões auto-similares da natureza.



Vida Artificial

- Campo de pesquisa que complementa as ciências biológicas tradicionais relacionadas à análise de organismos vivos, tentando sintetizar comportamentos e criaturas semelhantes aos da vida em computadores e outras mídias artificiais.



- Diferente da computação inspirada pela natureza.
 - Não se preocupa em resolver nenhum problema específico.
- **Objetivos:**
 - Aumentar a compreensão da natureza (vida como ela é);
 - Aprimorar nossa percepção dos modelos artificiais e, possivelmente, de novas formas de vida (vida como ela poderia ser);
 - Desenvolver modelos artificiais;
 - Desenvolver novas tecnologias:
 - Ex.: software, robôs sofisticados, ferramentas de monitoramento ecológico, sistemas educacionais, computação gráfica, etc.
- **Exemplos:**
 - Estudo de congestionamentos, evolução de organismos em ambientes virtuais, simulação de comportamento coletivo, estudo e caracterização de vírus de computadores, etc.



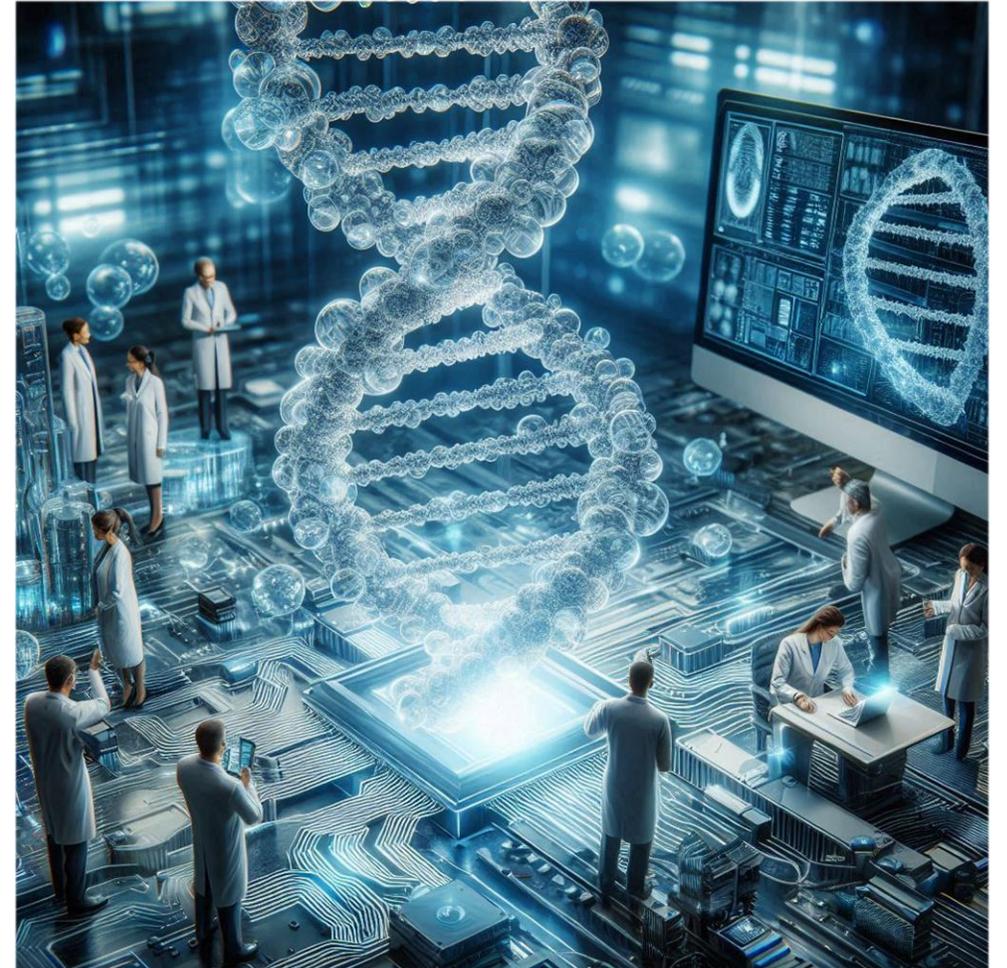
Computação com Materiais Naturais

- Novos métodos de computação baseados em outros materiais naturais que não o silício.
 - Resultam em uma computação não padrão que supera algumas das limitações dos computadores sequenciais padrão de John von Neumann.
- Dois grandes ramos:
 - Computação Baseada em DNA
 - Computação Quântica



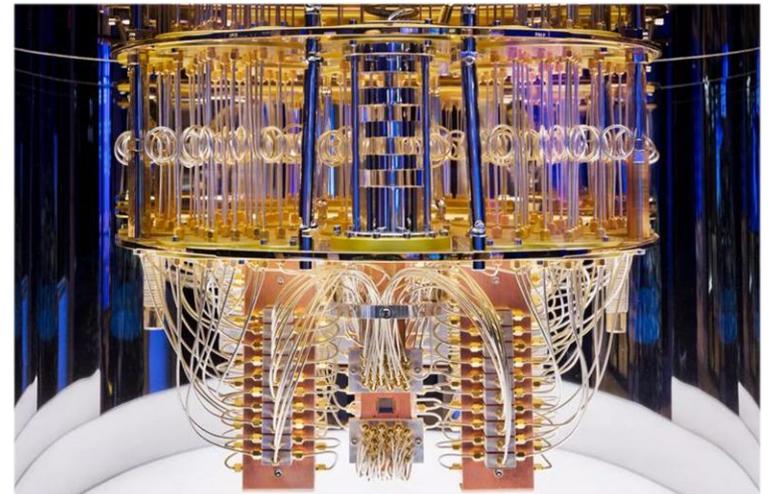
Computação baseada em DNA

- Utiliza as moléculas de DNA para armazenar e processar informações, empregando reações bioquímicas como base para a execução de algoritmos.
- As sequências de nucleotídeos representam dados, e o imenso paralelismo das reações moleculares permite explorar soluções simultâneas para problemas complexos, como os de otimização e busca em grandes espaços de solução.
- Embora ainda esteja em fase experimental, essa abordagem aponta para uma alternativa à computação convencional, especialmente em tarefas onde o processamento massivo e paralelo é uma vantagem essencial.



Computação Quântica

- Aproveita os princípios da mecânica quântica — como superposição, entrelaçamento e interferência — para realizar operações sobre dados de maneira fundamentalmente diferente dos computadores clássicos.
- Qubits, que podem representar simultaneamente 0 e 1, permitem um processamento paralelo exponencial, possibilitando a resolução de problemas complexos, como a fatoração de números grandes ou a simulação precisa de sistemas quânticos.
- Apesar dos desafios tecnológicos como a manutenção da coerência quântica e a implementação em larga escala, essa abordagem promete revolucionar áreas como criptografia, otimização e modelagem de materiais, abrindo novas fronteiras na capacidade computacional.



Computação Inspirada pela Natureza



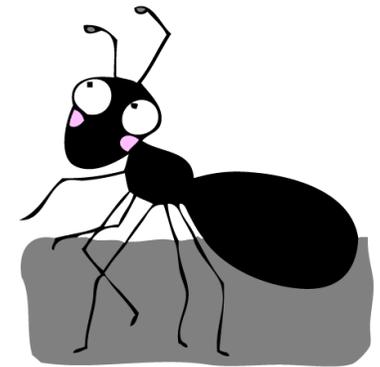
- **O foco deste curso!**
- Uso da natureza para inspirar o desenvolvimento de novas técnicas de computação para resolver problemas complexos.

Exemplo: Agrupamento de corpos mortos em colônias de formigas

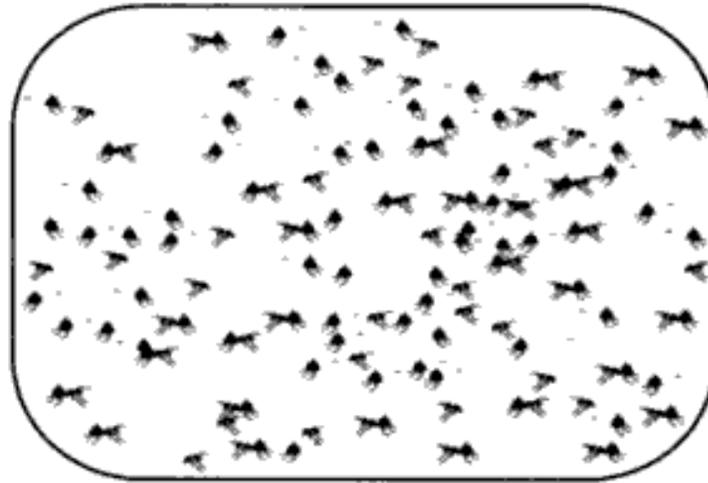
- Para limpar seus ninhos, algumas espécies de formiga agrupam os corpos.
- Mecanismo básico:
 - Atração entre os itens mortos mediada pelas formigas.
 - Pequenos agrupamentos de itens aumentam ao atrair mais trabalhadores para depositar mais itens.



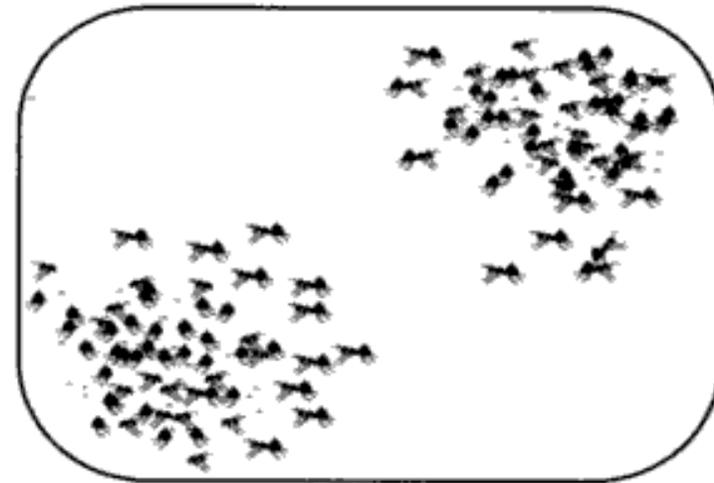
Formiga – por Fabricio Breve



Agrupamento de corpos mortos em colônias de formigas



(a)



(b)

- (a) Distribuição inicial
- (b) Corpos agrupados

Agrupamento de corpos mortos em colônias de formigas

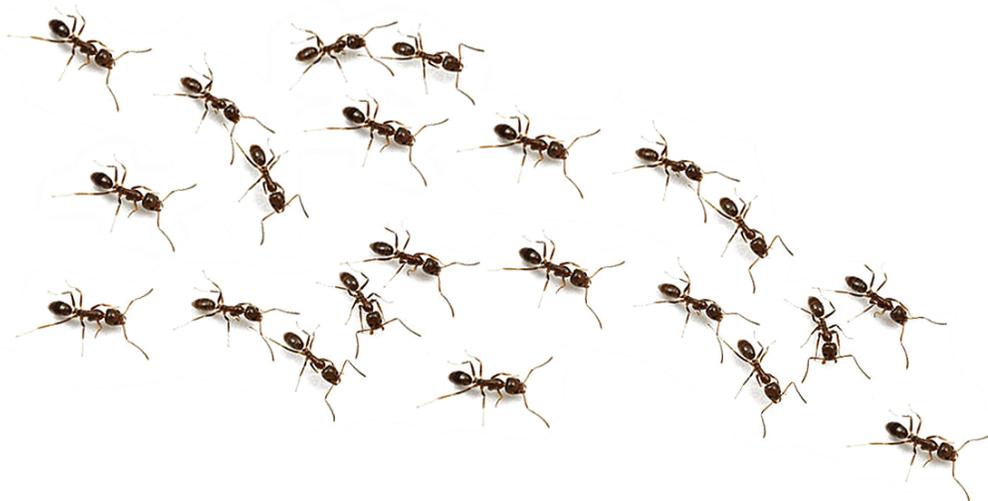
- Regra de apanhar
 - Se uma formiga encontra um corpo, ela o pega e passeia pela arena até encontrar outro corpo.
 - A probabilidade da formiga pegar um corpo é inversamente proporcional ao número de itens naquela porção da arena, quanto mais corpos por perto, menor a probabilidade.
- Regra de soltar
 - Enquanto passeia, a formiga carregada eventualmente encontra mais corpos no caminho.
 - Quanto mais corpos são encontrados em uma determinada região, maior a probabilidade da formiga soltar o corpo que está carregando, e vice-versa.



Agrupamento de corpos mortos em colônias de formigas

- Questões:

1. Que tipo de problema poderia ser resolvido inspirado por este modelo simples de um fenômeno natural?
2. Como você usaria essas idéias para desenvolver uma ferramenta computacional?



Filosofia da Computação Inspirada pela Natureza

- Pesquisadores normalmente assumem que sistemas e processos naturais são governados por um conjunto finito de regras.
 - Não é fácil encontrar tais regras, mas um enorme progresso tem sido feito.

Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](#)

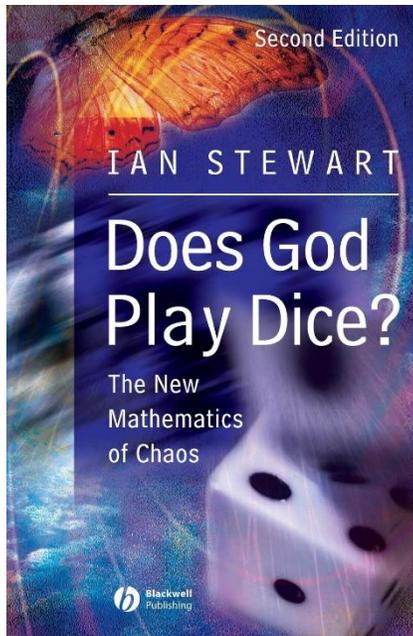


Filosofia da Computação Inspirada pela Natureza

- A maioria das abordagens computacionais são baseadas em versões bastante simplificadas dos mecanismos e processos do fenômeno natural.
 - Necessário para que um grande número de entidades seja tratável.
 - É vantajoso utilizar apenas o conjunto de características necessárias para tornar possível reproduzir os aspectos do sistema que são desejáveis.



Esta Foto de Autor: Desconhecido está licenciado em [CC BY-ND](#)



“... a ciência frequentemente tem feito progresso ao estudar abstrações simples quando modelos mais realistas são muito complicados e confusos.”

(I. Stewart, *Does God Play Dice*, Penguin Books, 1997, p.65)

Computação Inspirada pela Natureza

- A natureza sempre teve bastante sucesso em resolver problemas complexos.
 - Para sobreviver, organismos vivos precisam:
 - Procurar comida
 - Se proteger de predadores e condições climáticas
 - Acasalar
 - Organizar suas casas
 - Tarefas que requerem estratégias complexas, muitas vezes difíceis de modelar ou entender.



Coala em Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane, Austrália – por Fabricio Breve

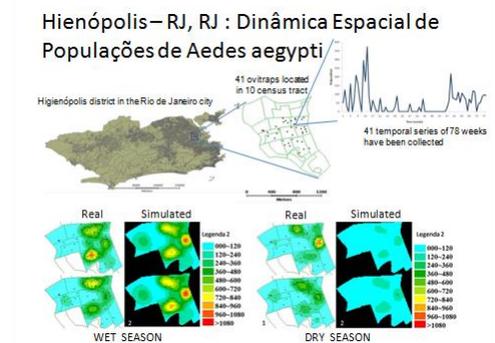
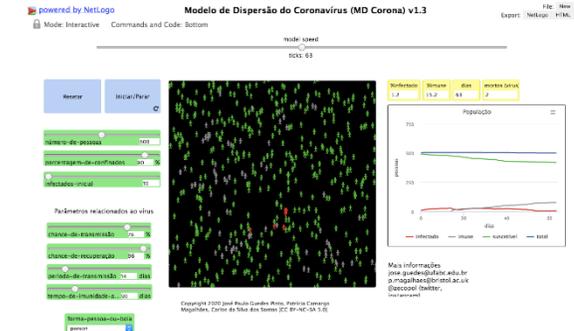


por Fabricio Breve

Você sabia que a maneira com que as formigas buscam comida inspirou algoritmos para resolver problemas de roteamento em redes de comunicação?

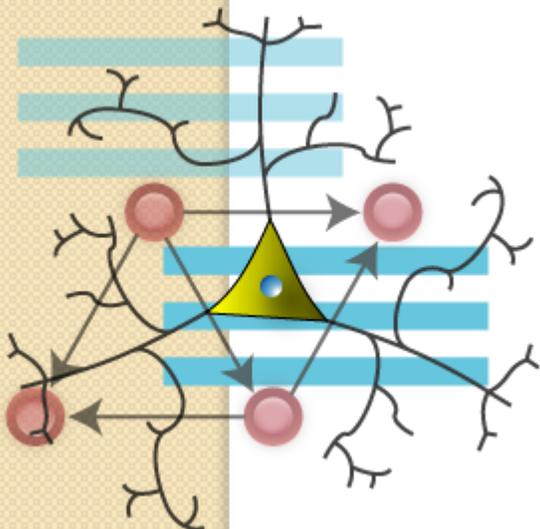
Objetivos da Computação Inspirada pela Natureza

- Menos Frequente:
 - Modelar fenômenos naturais e simulá-los no computador.
 - Derivar modelos teóricos fiéis o suficiente aos mecanismos naturais para reproduzir quantitativamente ou qualitativamente algumas de suas funções.
 - Fornecer melhor entendimento do fenômeno natural sendo modelado.
 - Usado na biologia, etnologia, ecologia, farmacologia, nutrição, saúde, medicina, geofísica, etc.



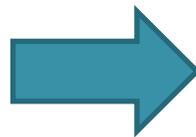
Objetivos da Computação Inspirada pela Natureza

- Mais Frequente:
 - Estudo de fenômenos naturais, processos e mesmo modelos teóricos para o desenvolvimento de sistemas computacionais e algoritmos capazes de resolver sistemas complexos.
 - Fornecer técnicas (alternativas) para solucionar problemas que não podem ser (satisfatoriamente) resolvidos por técnicas tradicionais.
 - **Técnicas de *Computação Inspirada pela Natureza***
 - Também chamadas de técnicas de:
 - *Computação Bioinspirada,*
 - *Computação Biologicamente Motivada,*
 - *Computação com Metáforas Biológicas.*



Computação Inspirada pela Natureza

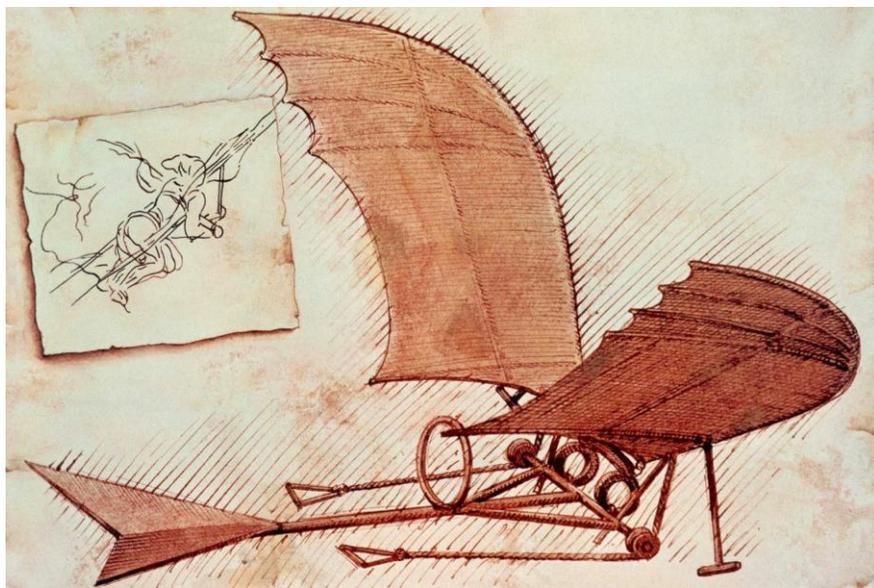
- Quando o foco é a solução de problemas não precisamos nos preocupar com a fidelidade ao fenômeno sendo modelado.
 - Modelos bastante abstratos (chamados metáforas) podem imitar determinados mecanismos da biologia.



Avião da Azul em Aeroporto de Viracopos, Campinas, SP – por Fabricio Breve



Avião da Qantas em Aeroporto de Brisbane, Austrália – por Fabricio Breve



1480-1505

Máquina Voadora de Leonardo Da Vinci



1895

Otto Lilienthal em voo com seu planador

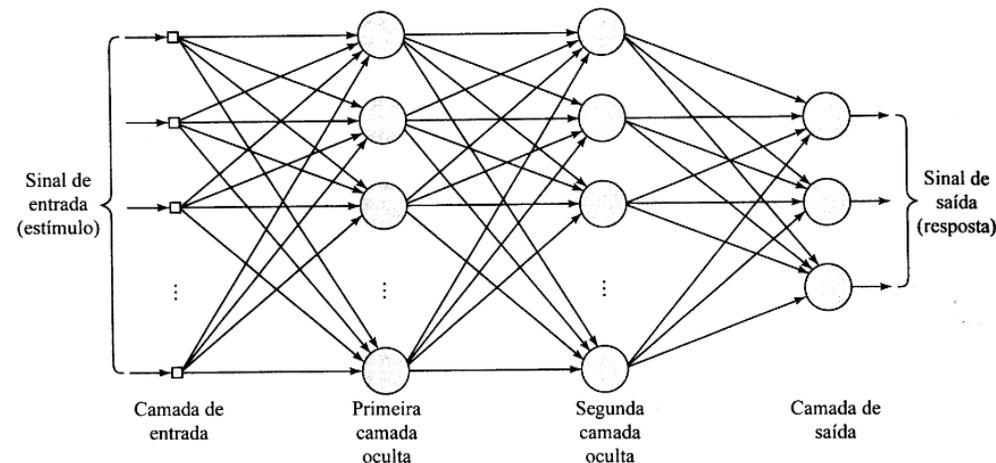


1906

Santos Dumont fazendo um voo histórico com o 14-bis

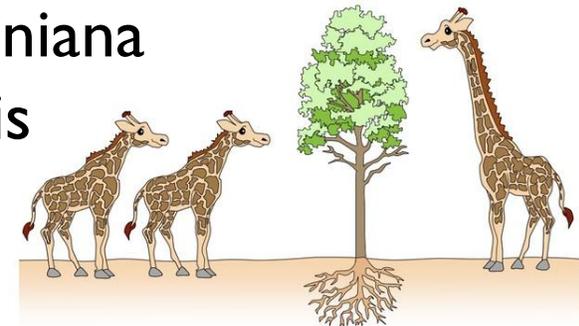
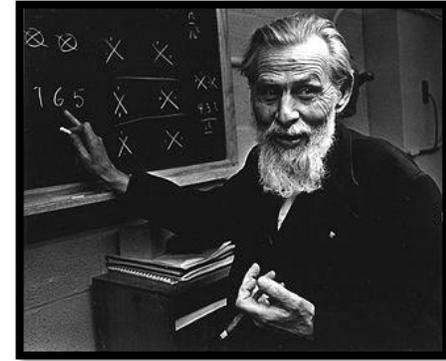
Computação Inspirada pela Natureza

- Normalmente o fenômeno natural dá origem a uma ferramenta computacional que depois será melhorada algoritmicamente ou matematicamente.
- Os modelos finais normalmente tem pouca semelhança com o fenômeno natural que os originou ou motivou.
 - Exemplo: Redes Neurais Artificiais



Computação Inspirada pela Natureza – Histórico (Marcos)

- **1943:** McCulloch e Pitts introduzem o primeiro modelo matemático de um neurônio que deu origem ao estudo de Redes Neurais Artificiais.
- **Anos 60:** diversos trabalhos deram origem ao campo de computação evolutiva, que utiliza ideias da biologia evolutiva para desenvolver algoritmos evolutivos para busca e otimização.
 - Maioria deles são baseados na teoria Neo-Darwiniana (variação genética, seleção natural, indivíduos mais aptos).



Computação Inspirada pela Natureza – Histórico (Marcos)

- **Final dos anos 80:** sistemas robóticos nos quais uma coleção de agentes simples interagem em um ambiente baseado em regras locais.
 - Deu origem ao termo inteligência de enxames, que hoje é usado para designar qualquer algoritmo inspirado no comportamento coletivo de organismos sociais (de insetos à sociedade humana).



por Fabricio Breve



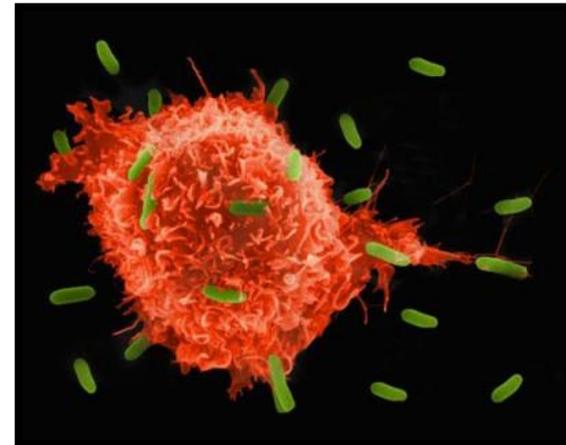
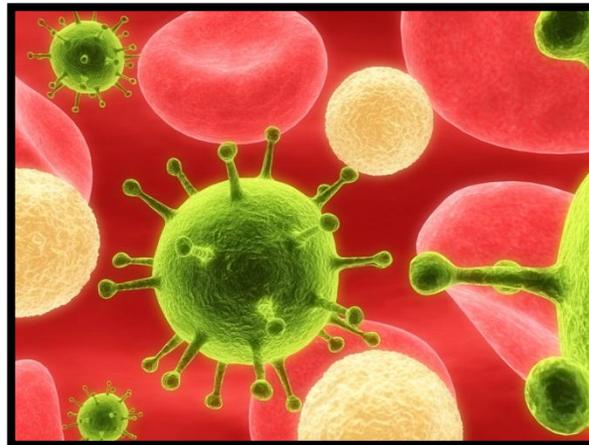
por Fabricio Breve



por Fabricio Breve

Computação Inspirada pela Natureza – Histórico (Marcos)

- **Metade dos anos 80:** *sistemas imunológicos artificiais* emprestam idéias do sistema imunológico para desenvolver algoritmos para resolver sistemas complexos.
 - Aplicações vão de biologia a robótica.



Computação Inspirada pela Natureza - Sumário



Quando usar abordagens de Computação Inspirada pela Natureza?

- *Problema*: uma companhia precisa encontrar a menor rota a partir de sua fábrica, passando por todas as cidades onde entrega seus produtos e retornando à fábrica. Cada cidade deve ser visitada apenas uma vez.
 - *Traveling Salesman Problem (TSP)*



TSP

- Muitas aplicações práticas: de entrega de comida em restaurantes *fast-food* a projeto de placas de circuito.
- Simples de definir, mas difícil de resolver, principalmente quando o número de cidades envolvidas é grande



Complexidade do TSP

Fábrica	Cidades	Rotas Possíveis
1	3	6
1	4	24
1	5	120
1	10	3.628.800
1	20	2.432.902.008.176.640.000



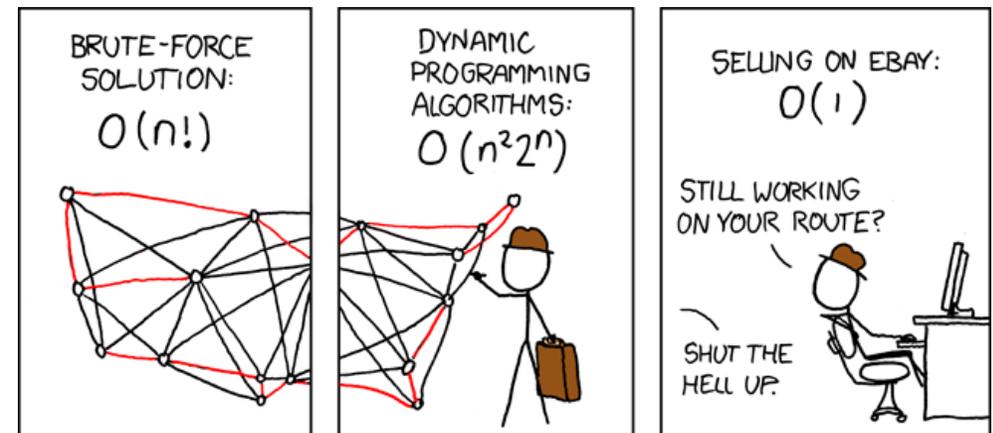
Complexidade do TSP

- A maneira mais direta de resolver o problema é testar todas as rotas (força-bruta)
- Se você tiver um computador capaz de analisar 100 rotas por segundo
 - Menos de 1 segundo para resolver um problema com 3 cidades
 - Pouco mais de 1 segundo com 5 cidades
 - Com as 27 cidades do problema proposto, o mesmo PC levaria $3,5 \times 10^{19}$ anos



Quando usar abordagens de Computação Inspirada pela Natureza?

- Sumarizando, devemos usar computação inspirada pela natureza quando:
 - O problema a ser resolvido é complexo:
 - Grande número de variáveis.
 - Muitas potenciais soluções.
 - Não-linear.
 - Etc.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Devemos usar computação inspirada pela natureza quando:

- Não é possível garantir que uma solução potencial é a melhor, mas é possível encontrar uma medida que permita a comparação entre as possíveis soluções.
- O problema a ser resolvido não pode ser modelado (corretamente), tais como tarefas de reconhecimento de padrões e classificação.
 - Apesar de não poder ser encontrado um modelo, podem haver amostras que podem ser usadas para “ensinar” um sistema em como resolver o problema, e o sistema “aprende” a partir dos exemplos.

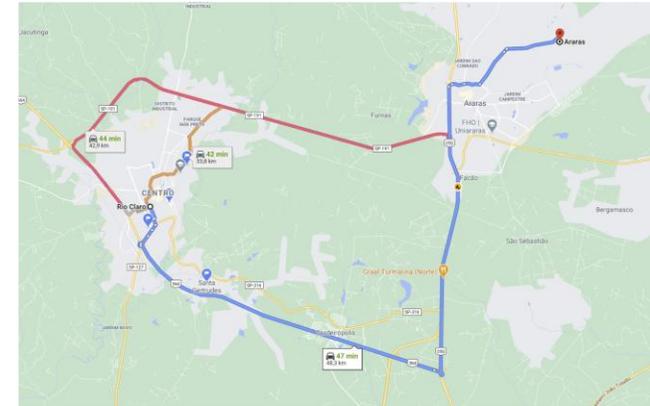


ou



Devemos usar computação inspirada pela natureza quando:

- Uma única solução não é boa o suficiente, ou seja, diversidade é importante.
 - A maioria das técnicas tradicionais permitem encontrar apenas uma única solução para um dado problema.
 - Isto acontece porque a maioria delas é determinística (sempre usa a mesma seqüência de passos para encontrar a solução).
 - Computação inspirada pela natureza é, na sua maioria, composta de métodos probabilísticos.



Dadinhos – por Fabricio Breve

Objetivos da Disciplina

- Conhecer algoritmos de Computação Inspirada pela Natureza:
 - Compreender o funcionamento de alguns algoritmos representativos selecionados.
 - Compreender os mecanismos da natureza que inspiraram tais algoritmos.
 - Aplicar algoritmos inspirados pela natureza em problemas relevantes, como otimização e classificação.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY](#)

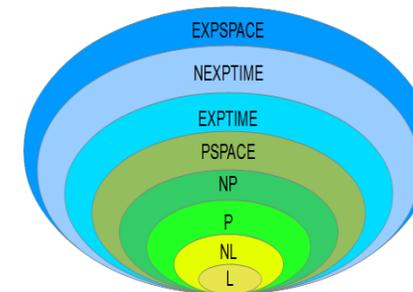
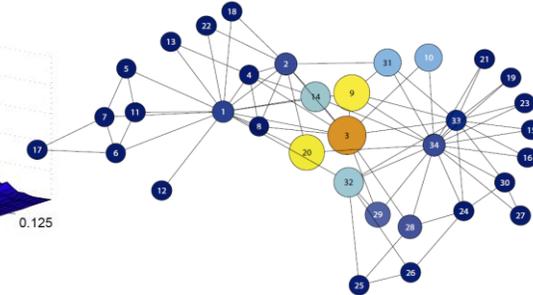
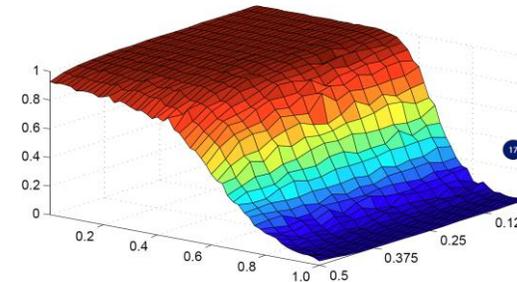
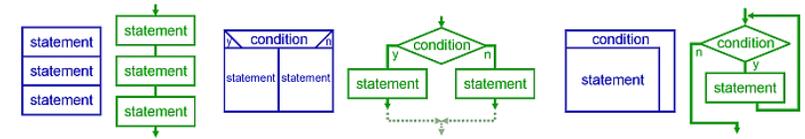
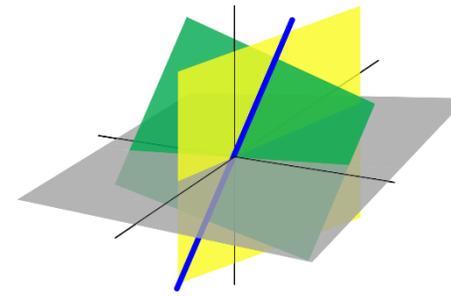
Objetivos da Disciplina

- No término da disciplina espera-se que o aluno consiga:
 - Identificar situações em que algoritmos inspirados pela Natureza possam ser utilizados com vantagens sobre algoritmos tradicionais.
 - Atualizar mecanismos de algoritmos existentes para adapta-los para outros problemas além daqueles para os quais eles foram originalmente projetados.
 - Propor algoritmos novos ou derivados de algoritmos existentes, através da observação de como a natureza funciona.



Requisitos da Disciplina

- Álgebra Linear
 - Conjuntos, Vetores, Matrizes, Espaços, etc.
- Matemática Discreta
- Estatística
 - Conceitos básicos, Probabilidades, etc.
- Programação Estruturada
 - Qualquer linguagem
- Teoria dos Grafos
 - Incidência/adjacência, valência, caminhos, etc.
- Teoria da Computação
 - Complexidade de Algoritmos
- Curiosidade de observar e tentar compreender como a natureza funciona.



Programa

Aula	Data	Programação
1	13/03/2025	Introdução Apresentação da Disciplina e Método de Avaliação Apresentação dos Alunos
2	20/03/2025	Computação Evolutiva - Parte 1 Exercícios: Subida da Colina e Recozimento Simulado
3	27/03/2025	Biologia Evolutiva
4	03/04/2025	Computação Evolutiva - Parte 2 Exercício em Aula: Algoritmos Genéticos Apresentação do Trabalho 1: Algoritmos Genéticos
5	10/04/2025	Neurocomputação - Sistema Nervoso
6	17/04/2025	Redes Neurais Artificiais - Parte 1
7	24/04/2025	Redes Neurais Artificiais - Parte 2 Exercício em Aula: Perceptron Entrega do Trabalho 1 Apresentação do Trabalho 2 - Perceptron
8	08/05/2025	Inteligência de Enxames

Aula	Data	Programação
9	15/05/2025	Particle Swarm Optimization (PSO) Exercício em Aula: PSO
10	22/05/2025	Colônias de Formigas Entrega do Trabalho 2 Apresentação do Trabalho 3: PSO e ACO
11	29/05/2025	Ant Colony Optimization (ACO) Exercício em Aula: ACO
12	05/06/2025	Competição e Cooperação entre Partículas
13	12/06/2025	Seminários - Parte 1
14	26/06/2025	Seminários - Parte 2
15	03/07/2025	Seminários - Parte 3 Entrega do Trabalho 3 Entrega do Artigo

Feriadados:

01/05/2025	Dia do Trabalho
19/06/2025	Corpus Christi

Método de Avaliação

- Trabalhos

- Algoritmos Genéticos (20%)

- Comparação com Subida da Colina e Recozimento Simulado

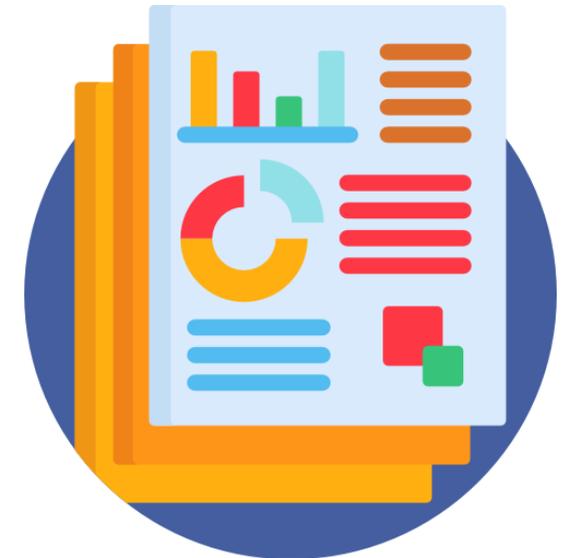
- Redes Neurais (20%)

- Perceptron e outra rede

- Inteligência de Enxames (20%)

- Particle Swarm Optimization
 - Ant Colony Optimization

Implementação (qualquer linguagem),
Aplicação e Relatório.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Método de Avaliação

- Seminário (20%)
 - Apresentação de algoritmo inspirado pela natureza não visto ou não aprofundado nas aulas expositivas.
- Artigo (20%)
 - Aplicação de algoritmo inspirado pela natureza (visto em aula ou não) em problema de interesse do aluno.
 - Pode ser um problema relacionado com o projeto de Mestrado/Doutorado.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA





Bibliografia

- CASTRO, Leandro Nunes. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, And Applications*. CRC Press, 2006.
- CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. *Notas de Aula*, 2007.
- BROWNLIE, Jason. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Jason Brownlee, 2011.
- EIBEN, A. E.; SMITH, James E. *Introduction to Evolutionary Computing*, 2nd Edition. Springer, 2015.
- SIMON, Dan. *Evolutionary Optimization Algorithms*. Wiley, 2013.
- MITCHELL, Melanie. *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, 1998.
- HAYKIN, Simon. *Neural Networks and Learning Machines*, 3rd Edition. Prentice Hall, 2008.
- KOVACS, Zsolt L. *Redes Neutrais Artificiais: Fundamentos e Aplicações*. Livraria da Física, 2006.
- BISHOP, Christopher M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2007.
- BONABEAU, Eric; DORIGO, Marco; THERAULAZ, Guy. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, 1999.
- DORIGO, Marco; STÜTZLE, Thomas. *Ant Colony Optimization*. Bradford Books, 2004.
- BREVE, Fabricio; ZHAO, Liang; QUILES, Marcos G.; PEDRYCZ, Witold; LIU, Jimming. Particle competition and cooperation in networks for semi-supervised learning. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, 2012.
- BREVE, Fabricio Aparecido. *Aprendizado de Máquina em Redes Complexas*. 165 páginas. Tese. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.



Bibliografia

- DEY, Nilanjan; ASHOUR, Amira S.; BHATTACHARYYA, Siddhartha (Ed.). Applied nature-inspired computing: algorithms and case studies. Springer Singapore, 2020.
- SHANDILYA, Shishir Kumar; SHANDILYA, Smita; NAGAR, Atulya K. (Ed.). Advances in nature-inspired computing and applications. Springer, 2019.
- SLOWIK, Adam, ed. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. CRC Press, 2020.
- SLOWIK, Adam, ed. Swarm Intelligence Algorithms: Modifications and Applications. CRC Press, 2020.
- YANG, Xin-She. Nature-inspired optimization algorithms. Academic Press, 2020.
- BANSAL, Jagdish Chand; SINGH, Pramod Kumar; PAL, Nikhil R. (Ed.). Evolutionary and swarm intelligence algorithms. Springer, 2019.
- PATNAIK, Srikanta; YANG, Xin-She; NAKAMATSU, Kazumi. Nature-inspired computing and optimization. Heidelberg: Springer, 2017.
- AGGARWAL, Charu C. Neural networks and deep learning. Springer, 2018.

