



UNINASSAU

ALGORITMOS META-HEURÍSTICOS

Análise e Desenvolvimento de Sistemas
Lógica e Programação Algorítmica
Profº Lindenbergs Andrade

INTRODUÇÃO

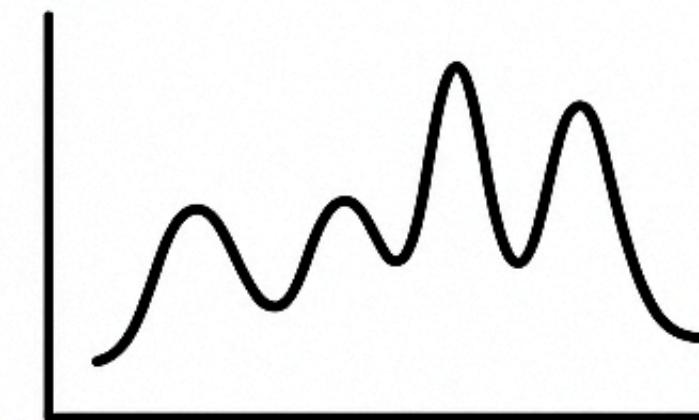
Desafios de otimização em ML

Por que otimização é central em ML?

- Todo modelo de ML depende de otimizar uma função objetivo (ex.: minimizar erro, maximizar acurácia, reduzir perda).
- Essa otimização envolve ajustar parâmetros e hiperparâmetros para que o modelo aprenda a partir dos dados.
- Exemplos:
 - Treinar uma Rede Neural → ajustar milhões de pesos.
 - Treinar uma SVM → encontrar margem ótima.
 - k-Means → minimizar a distância intra-cluster

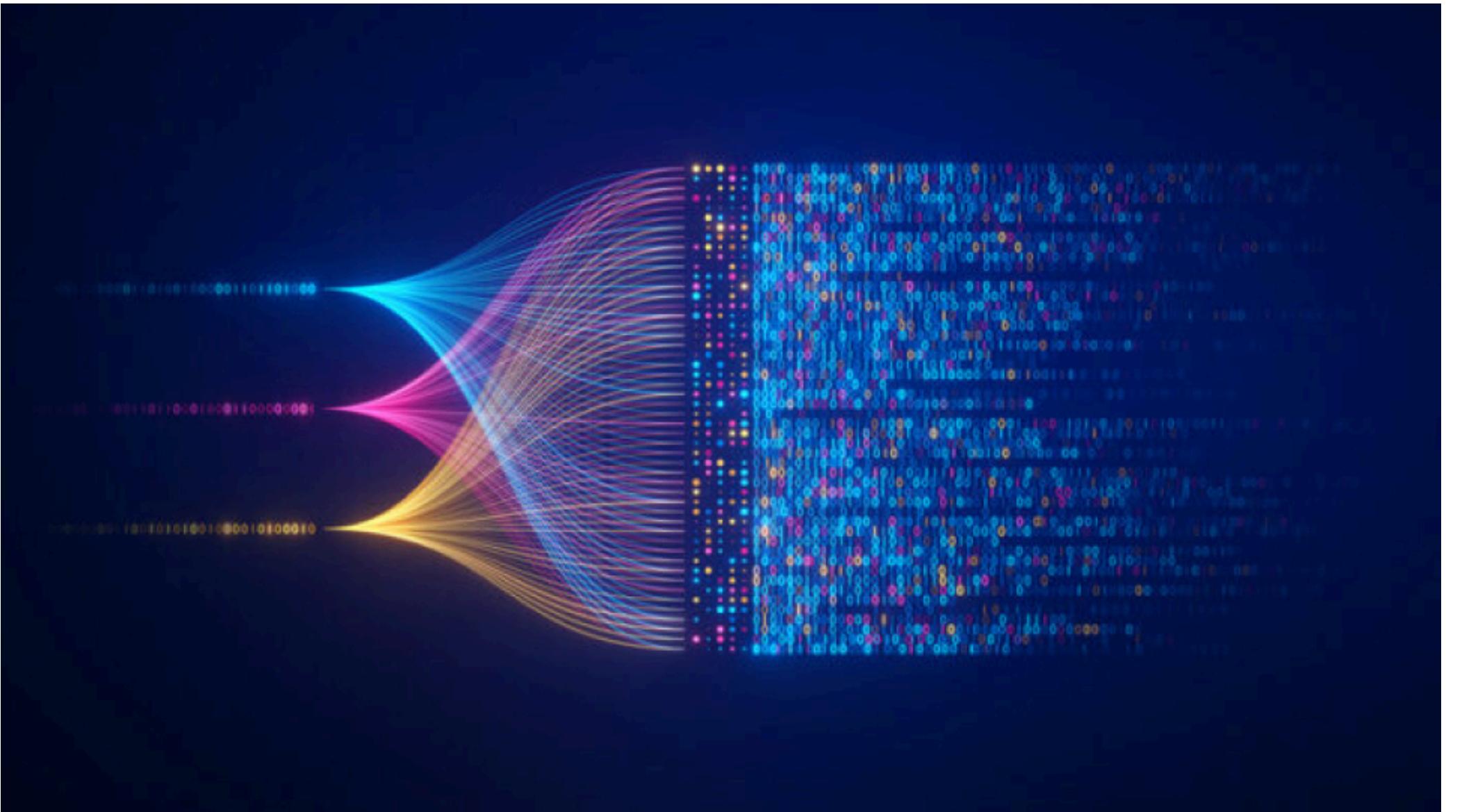
Principais Desafios

- Alta Dimensionalidade
- Funções Objetivo Complexas
- Custo Computacional Elevado
- Ruido e Dados Incompletos



Desafios de otimização em ML

A otimização é um desafio central em ML, pois envolve espaços de busca vastos, funções objetivo complexas e limitações computacionais. As **meta-heurísticas** surgem como uma alternativa poderosa para lidar com esses problemas de forma flexível e eficiente.



FUNDAMENTOS

O que são Heurísticas e Meta-Heurísticas?

Heurísticas:

São estratégias práticas para encontrar soluções aproximadas para problemas complexos.

→ Ex.: uma regra simples para resolver Sudoku ou escolher o caminho mais rápido em um mapa.

2	3	9	8	7	5	1		
4	5	6		9	2			7
	7	8	6	4				
7		1				3		8
	4	2	5	3		7		1
3			7	8		4	2	9
9	8		3		6	5	1	4
5		4	9	1			8	
6		3	4	5		9		

Sudoku

O que são Heurísticas e Meta-Heurísticas?

Meta-Heurísticas:

São métodos de otimização de nível mais alto que guiam heurísticas de busca, explorando e explorando o espaço de soluções.

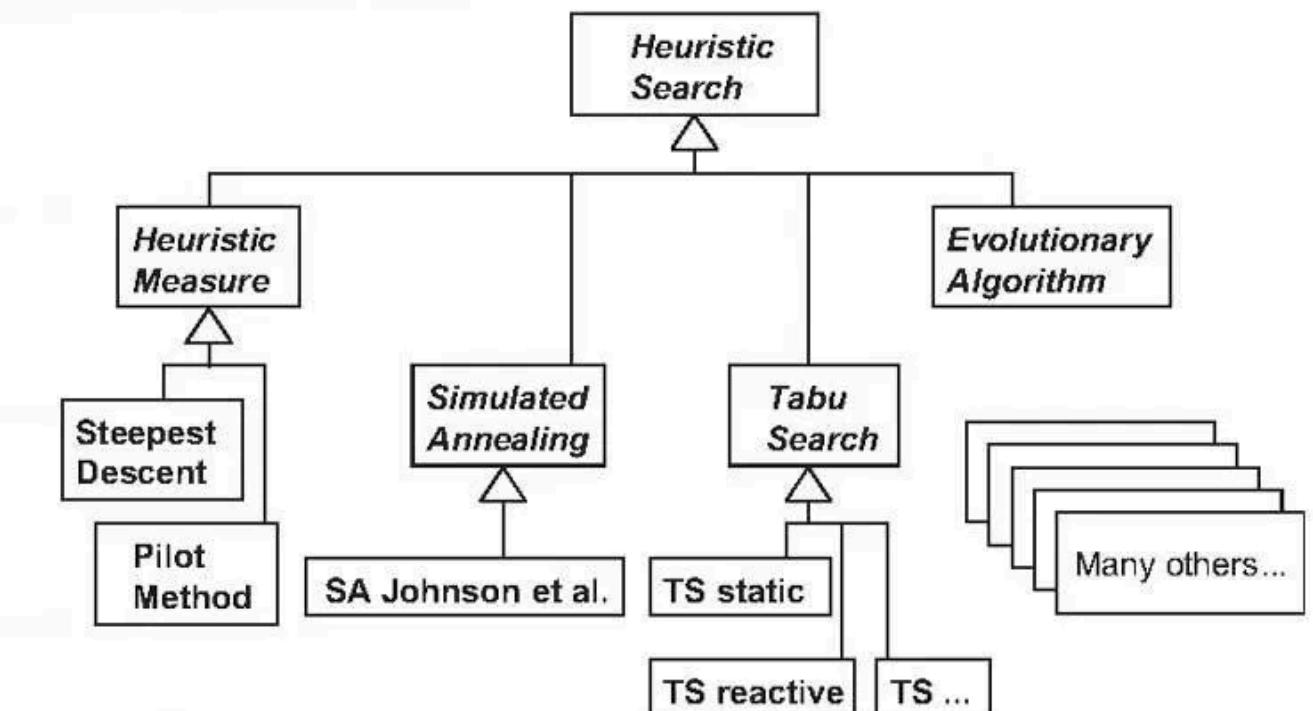
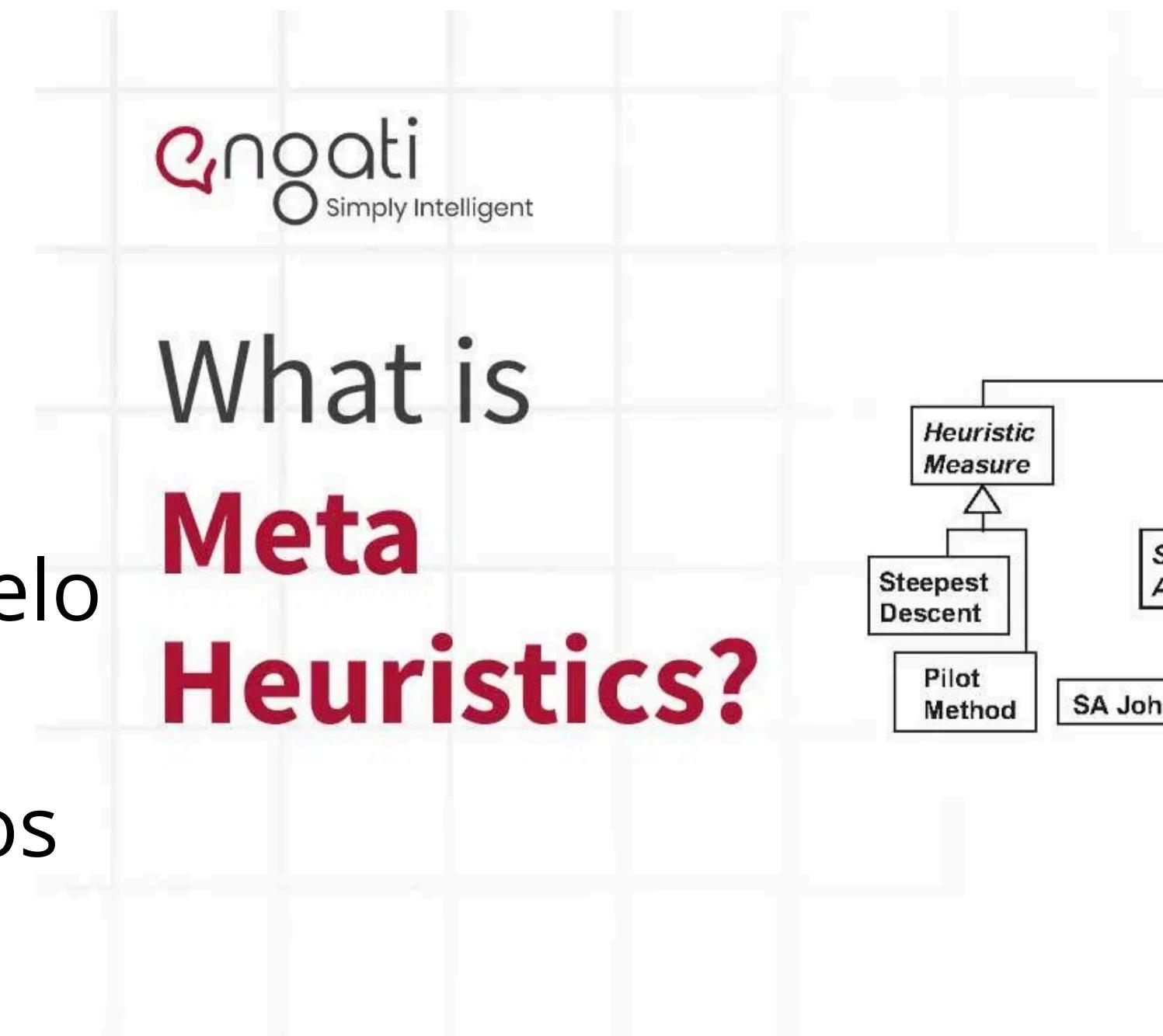
Inspiradas em fenômenos naturais, processos físicos ou sociais.

→ Ex: Encontrar a melhor combinação de hiperparâmetros para uma Rede Neural sem precisar testar todas as possibilidades.



O que são Algoritmos Meta-Heurísticos?

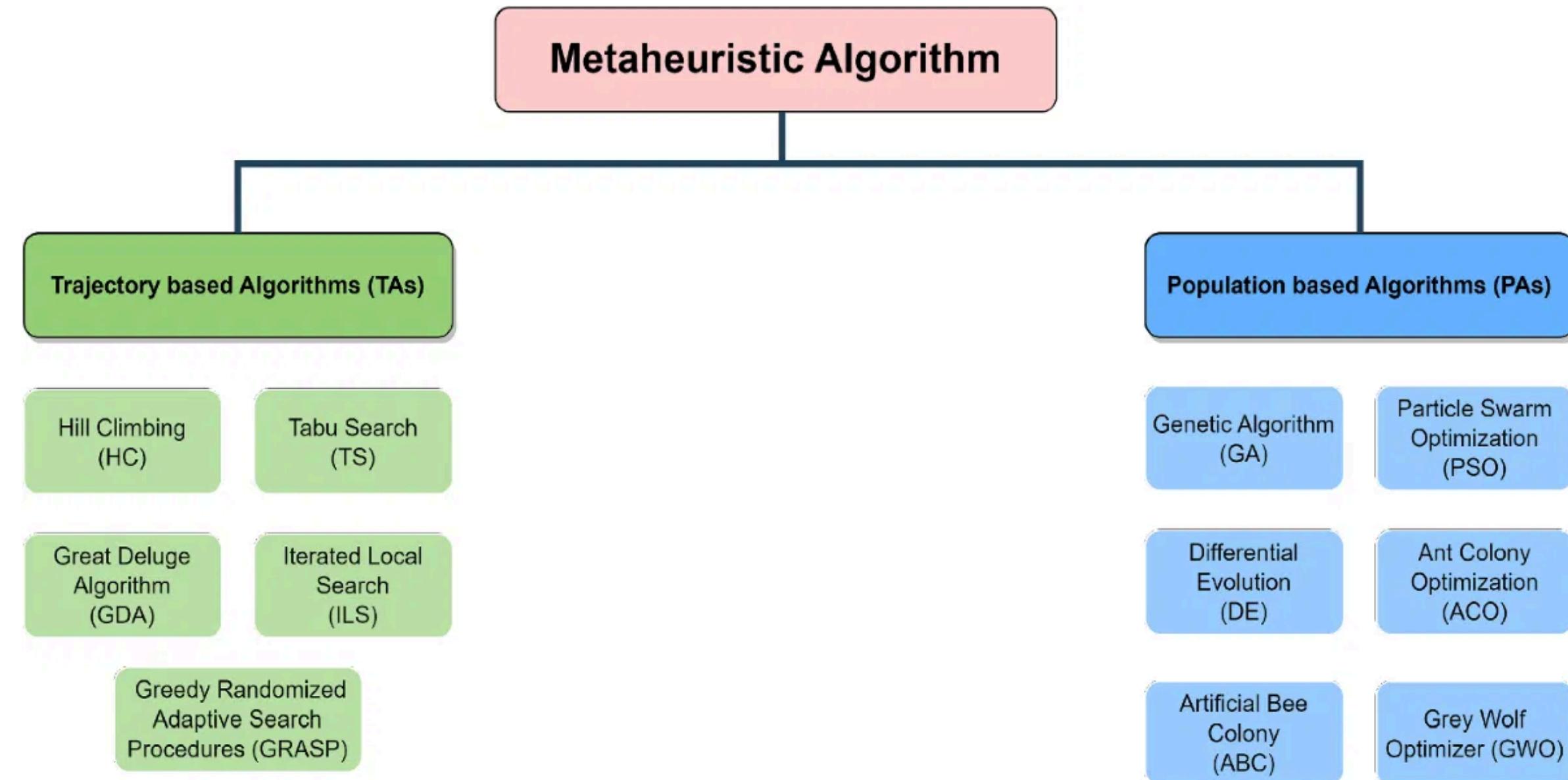
Meta-heurística é um método heurístico para resolver problemas computacionais complexos, usando parâmetros definidos pelo usuário sobre procedimentos genéricos e abstratos de forma eficiente.



O que são Algoritmos Meta-Heurísticos?

O nome combina o prefixo grego "meta" (além, nível superior) e "heurístico" (encontrar), indicando métodos de busca de alto nível que guiam heurísticas subjacentes.

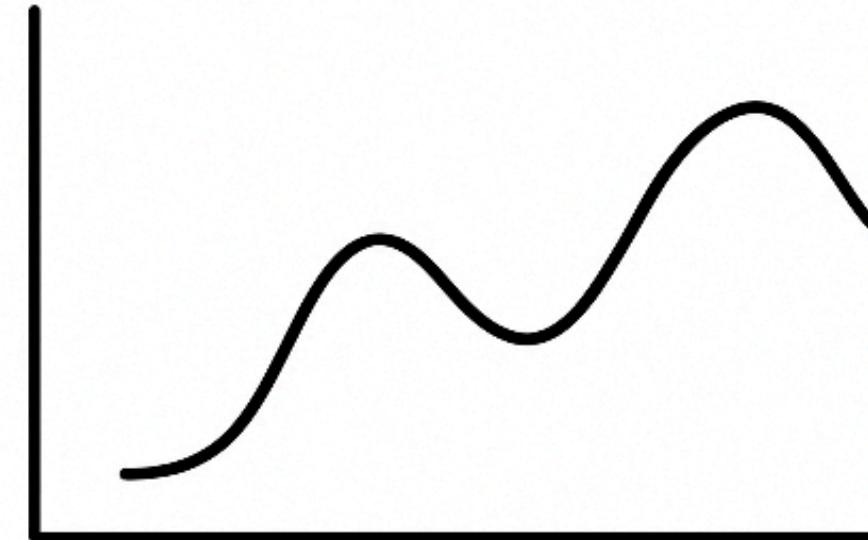
- Aplicados quando não existe algoritmo exato eficiente ou quando é impraticável implementá-lo;
- Focados principalmente em problemas de otimização combinatória;
- Equilibram exploração (busca global) e exploração (busca local);
- Frequentemente inspirados em processos naturais ou físicos.



Métodos determinísticos X estocásticos

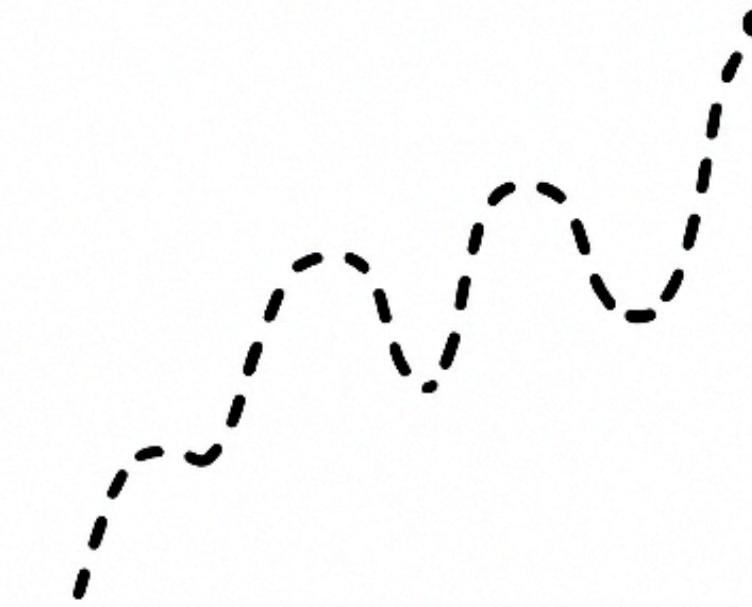
Métodos Determinísticos

- Passo de otimização claramente definido.
- Regras fixas para atualizar parâmetros.



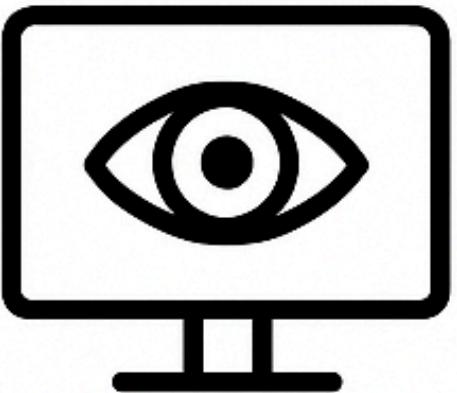
Métodos Estocásticos

- Passos de otimização com componente aleatória.
- Rastreia trajetórias aleatórias.



Aplicações em ML

Visão
computacional



Processamento de
linguagem natural



Reconhecimento
de fala



Recomendação



Conceitos Fundamentais

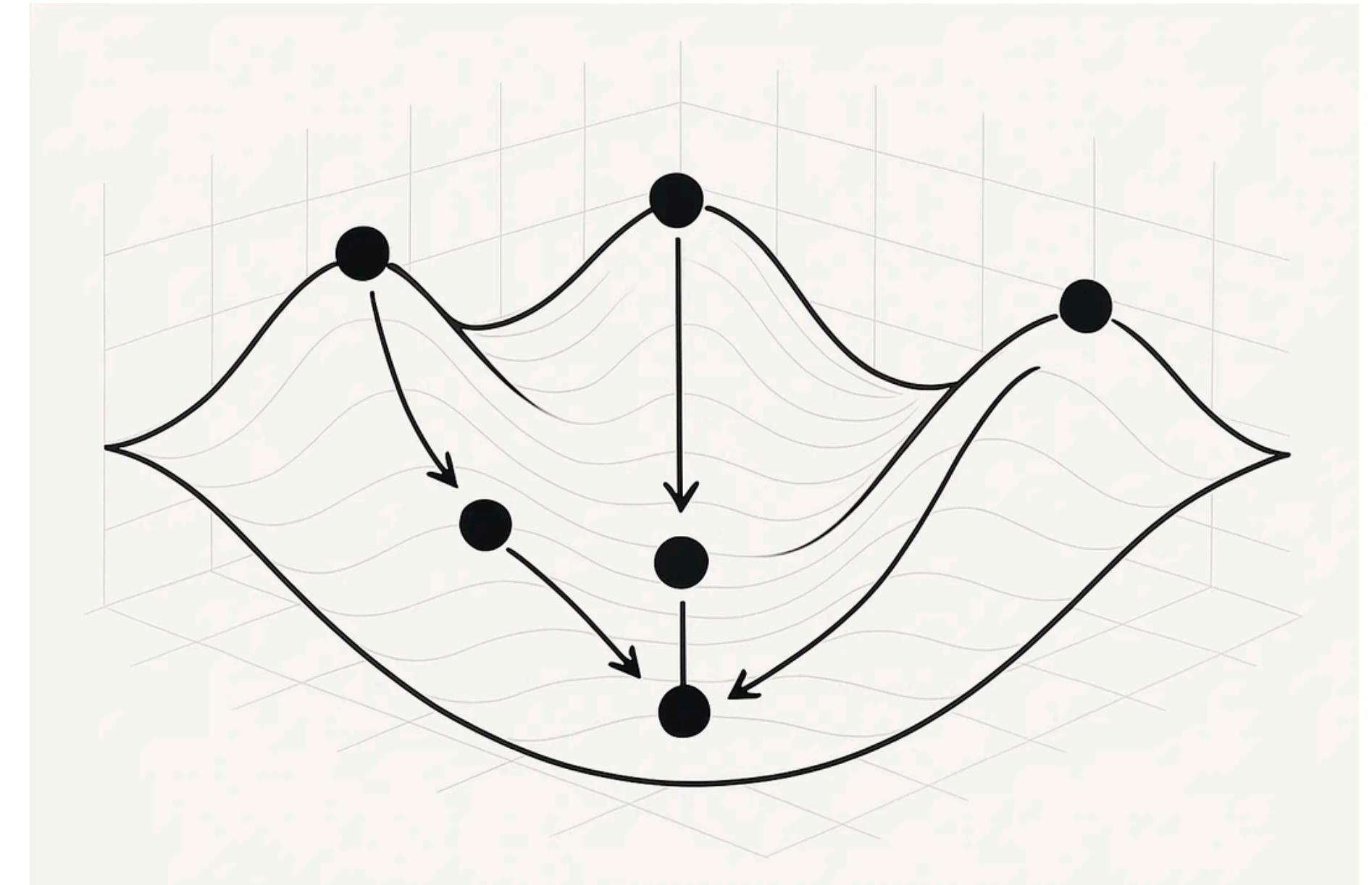
Espaço de Busca

Conjunto de todas as soluções possíveis para um problema.

Pode ser vasto e multidimensional.

Estados

Soluções candidatas dentro do espaço de busca. Podem ser representados como vetores, permutações, etc.



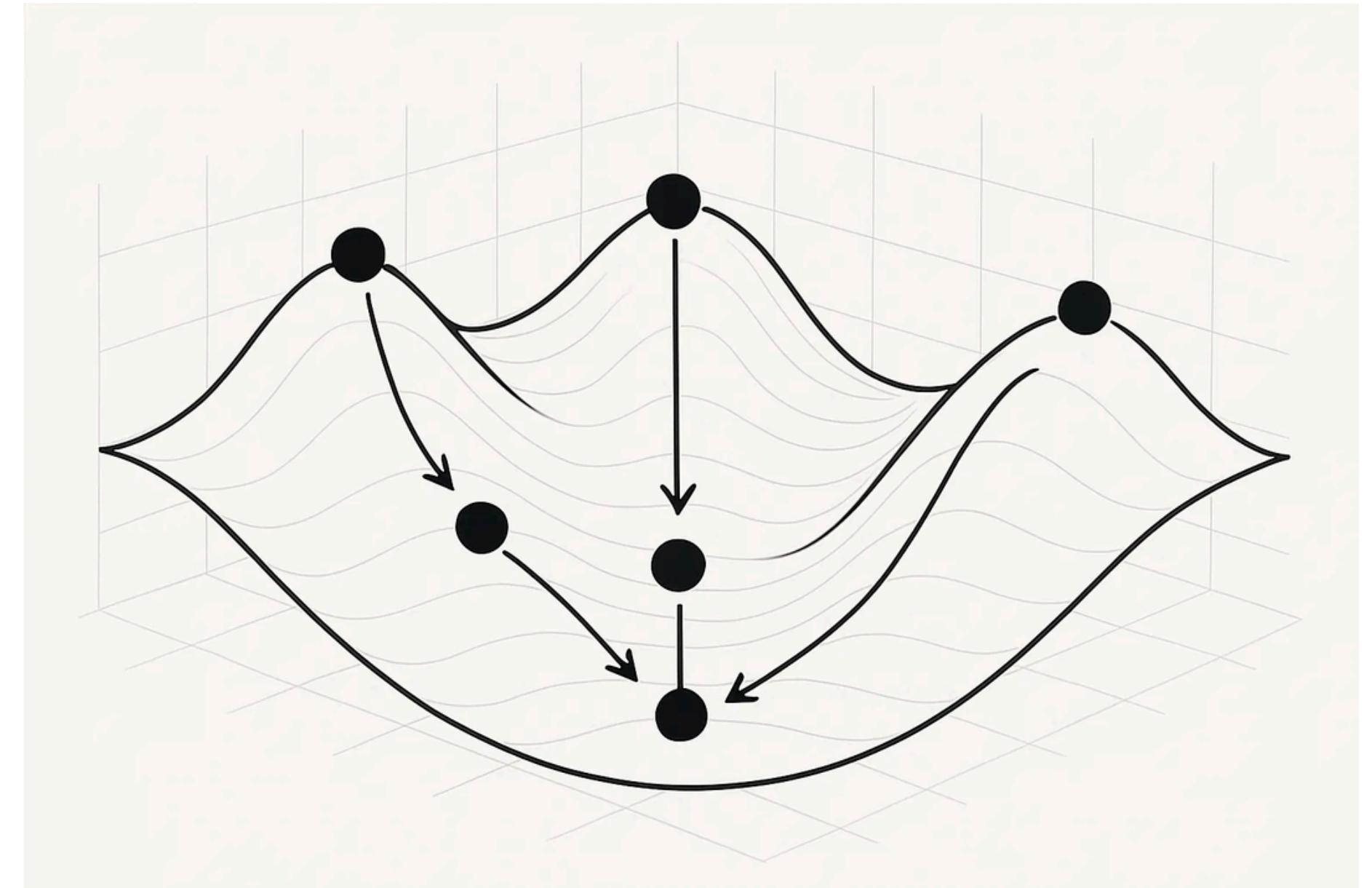
Conceitos Fundamentais

Função Objetivo

Avalia a qualidade de cada solução candidata. Define o que está sendo otimizado (minimizado ou maximizado).

Transição de Estado

Movimento de um estado para outro. Pode ser "colina acima" (melhora) ou "colina abaixo" (piora temporária).



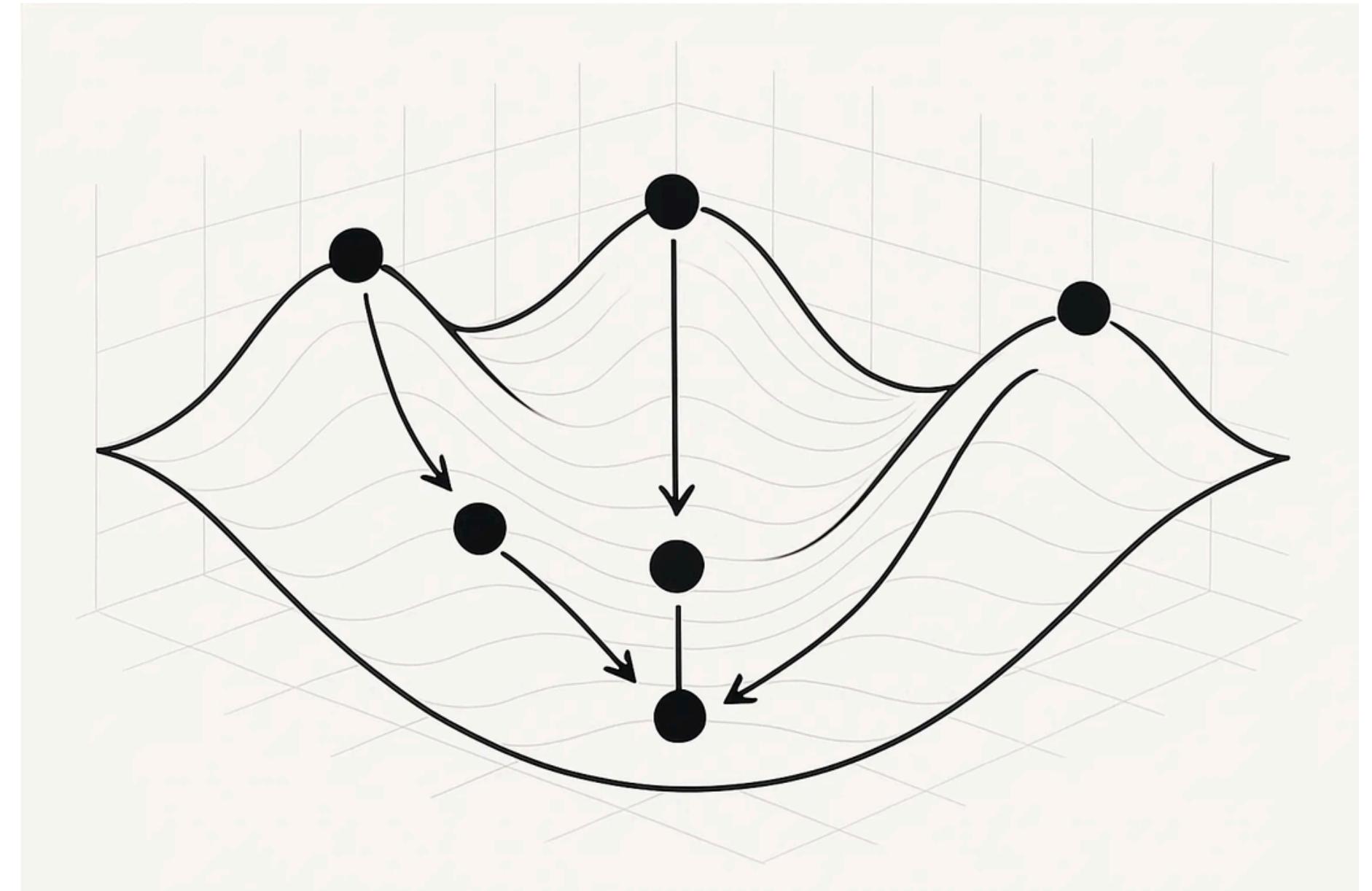
Conceitos Fundamentais

Vizinhança

Conjunto de estados que podem ser alcançados a partir do estado atual através de uma única operação.

Geradores e Mutadores

Procedimentos que criam novos estados ou modificam estados existentes, frequentemente de forma probabilística.



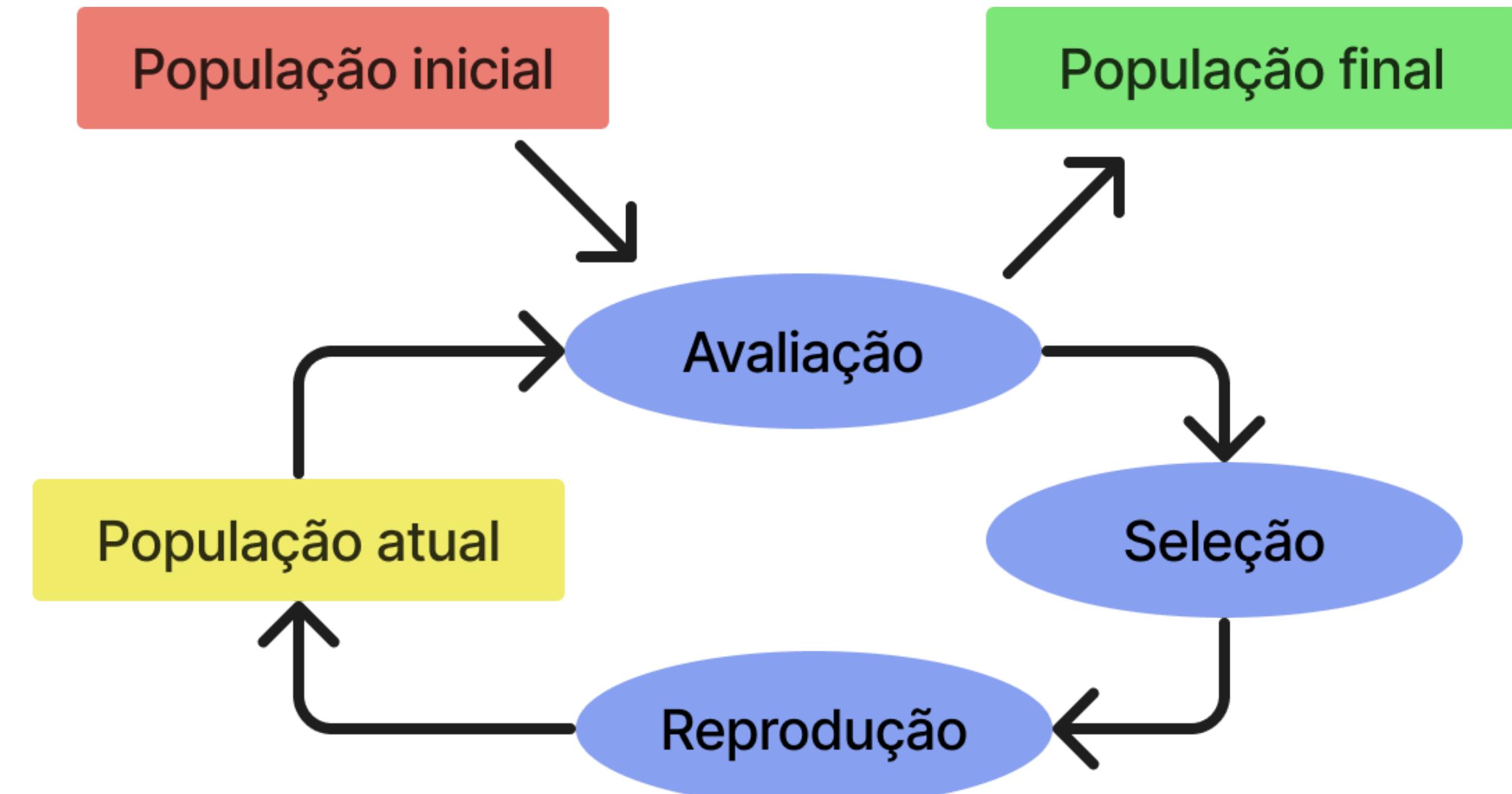
PRINCIPAIS META-HEURÍSTICAS

Tipos Comuns de Meta-Heurísticas

Inspirados na Evolução

Biológica

- Algoritmos Genéticos
- Algoritmos Meméticos
- Evolução Diferencial
- Programação Genética



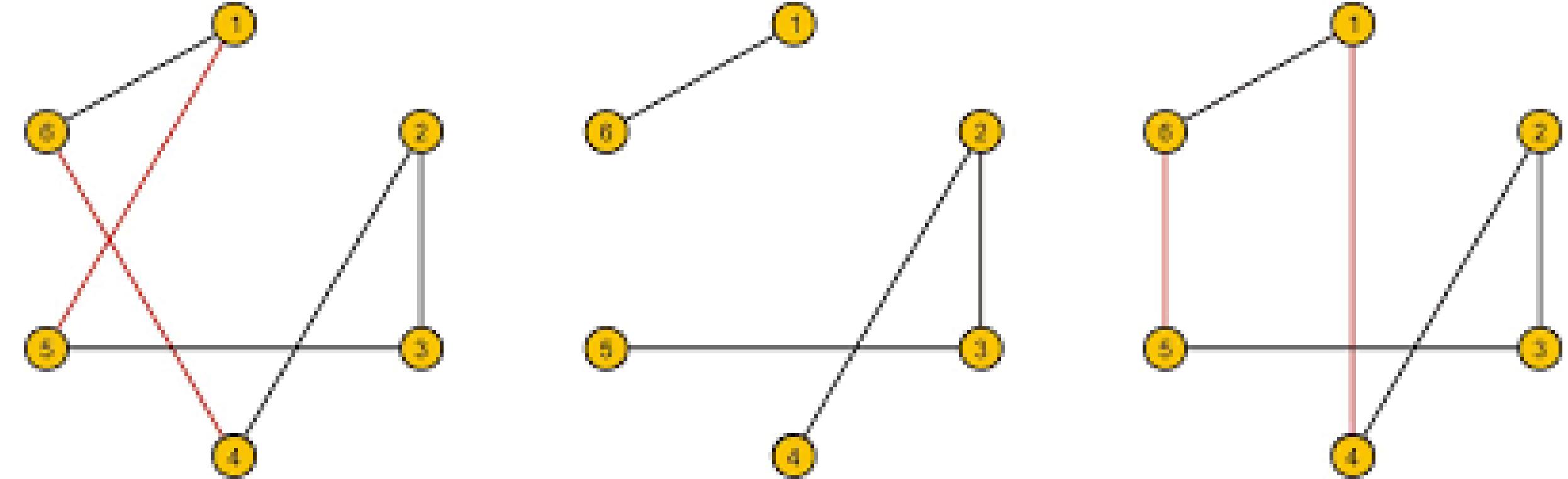
Algoritmos Genéticos

Tipos Comuns de Meta-Heurísticas

Baseados em Inteligência

Coletiva

- Otimização por Enxame de Partículas
- Colônia de Formigas
- Algoritmo de Abelhas
- Algoritmo de Vagalumes

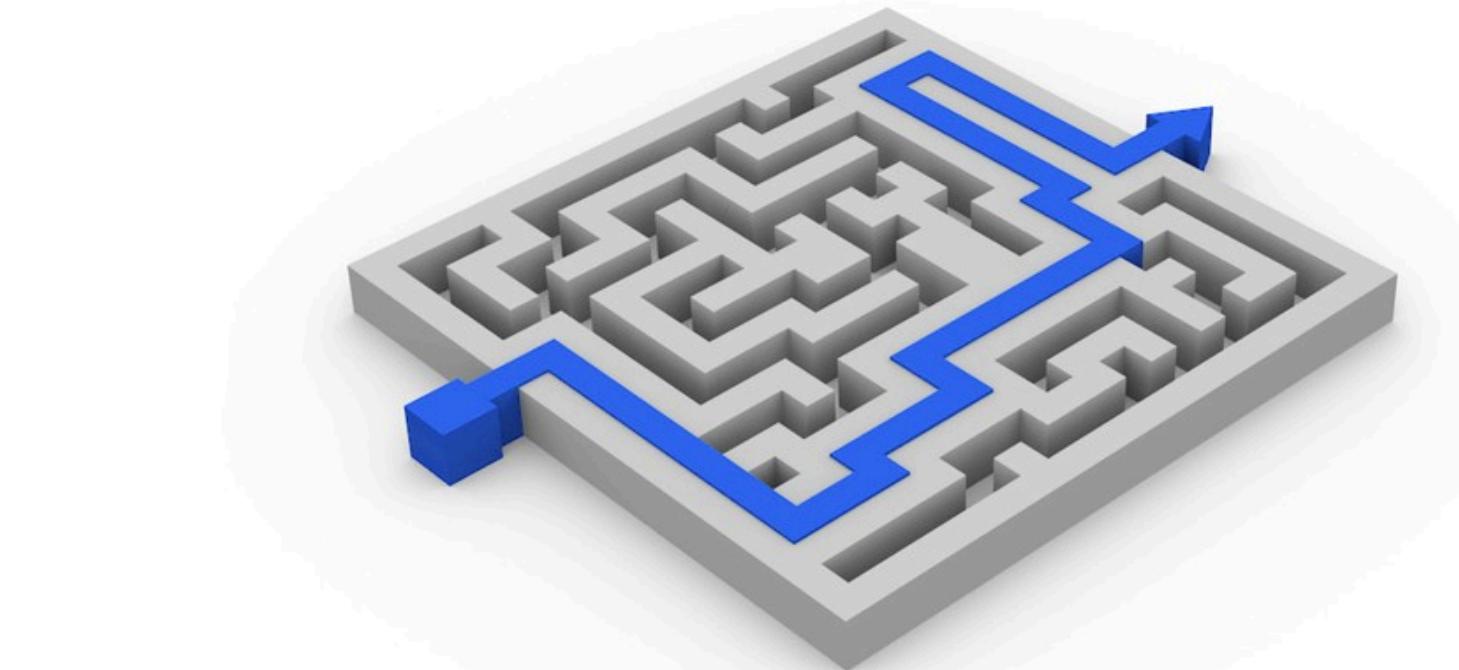


Colônia de Formigas

Tipos Comuns de Meta-Heurísticas

Baseados em Fenômenos Físicos

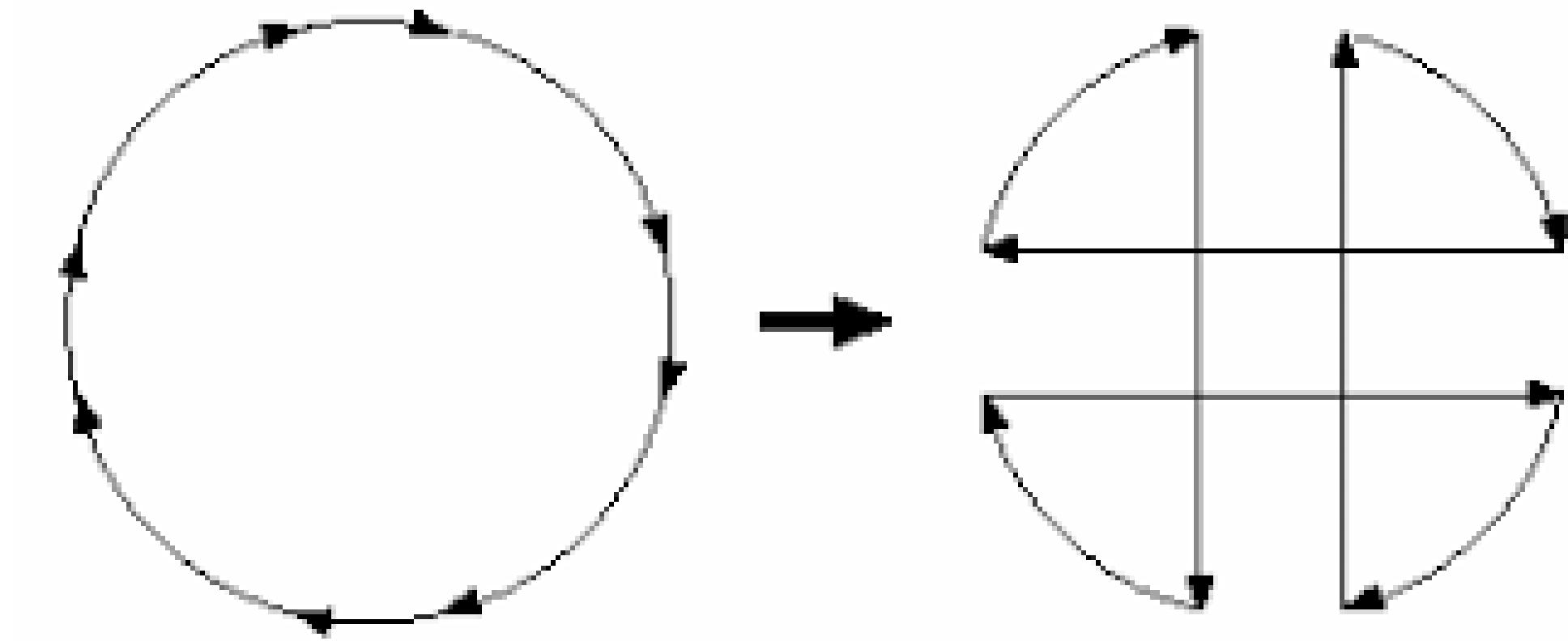
- Recozimento Simulado
- Busca Tabu
- Busca Harmônica
- Otimização por Tempestade de Raios



Tipos Comuns de Meta-Heurísticas

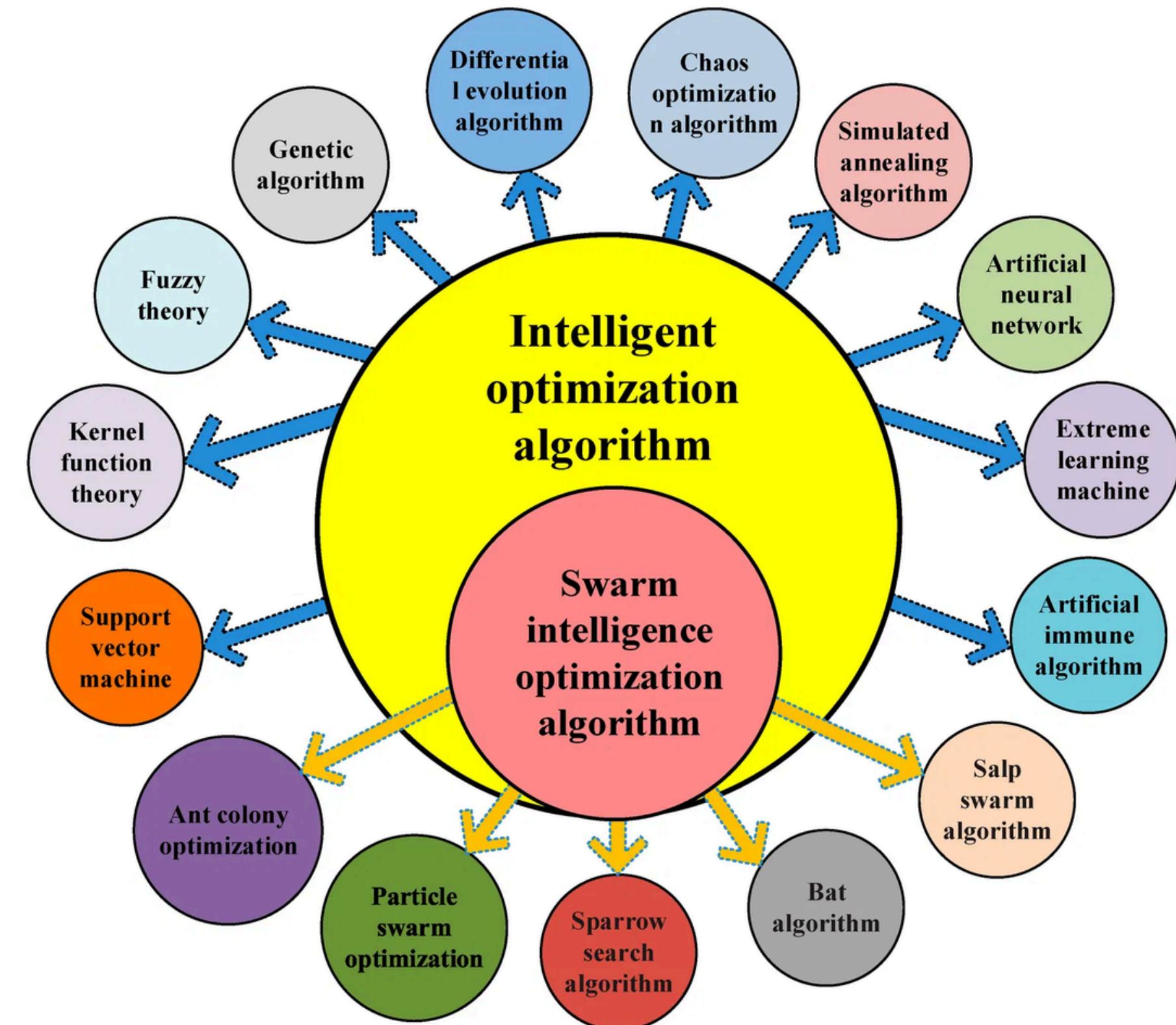
Métodos de Busca Local e Híbridos

- Busca Local Iterada
- GRASP
- Busca de Vizinhança Variável
- Algoritmos Multiarranque



Busca Local Iterada
GRASP

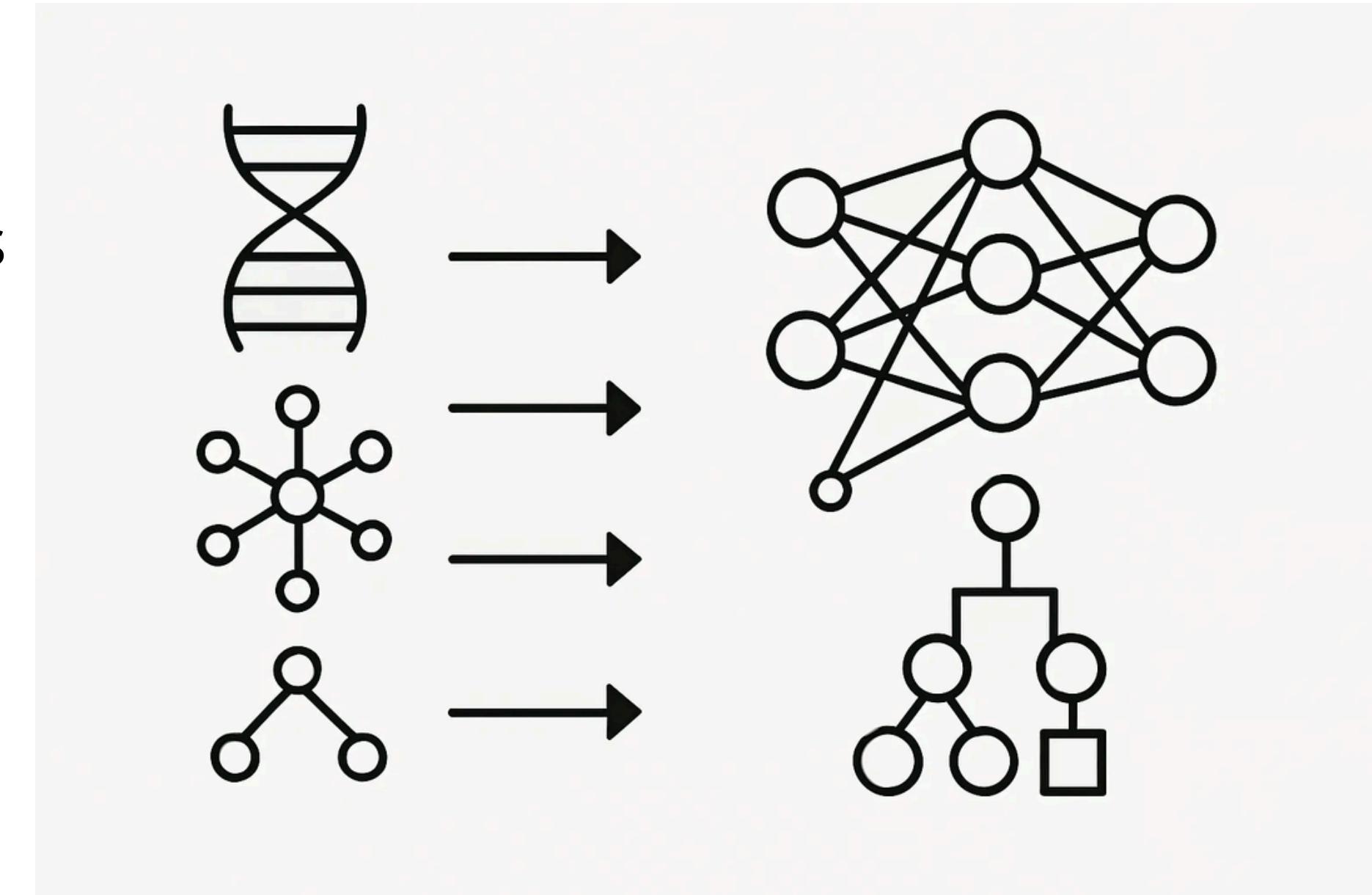
Algoritmos de Otimização Inteligente



Meta-Heurísticas em Machine Learning

Meta-heurísticas são ferramentas poderosas para resolver problemas de otimização complexos em Machine Learning, onde métodos tradicionais podem ser ineficientes ou computacionalmente inviáveis.

Elas são particularmente úteis em cenários com espaços de busca vastos, não-lineares e multimodais, características comuns em muitos problemas de ML.



Meta-Heurísticas em Machine Learning

Vantagens em Machine Learning

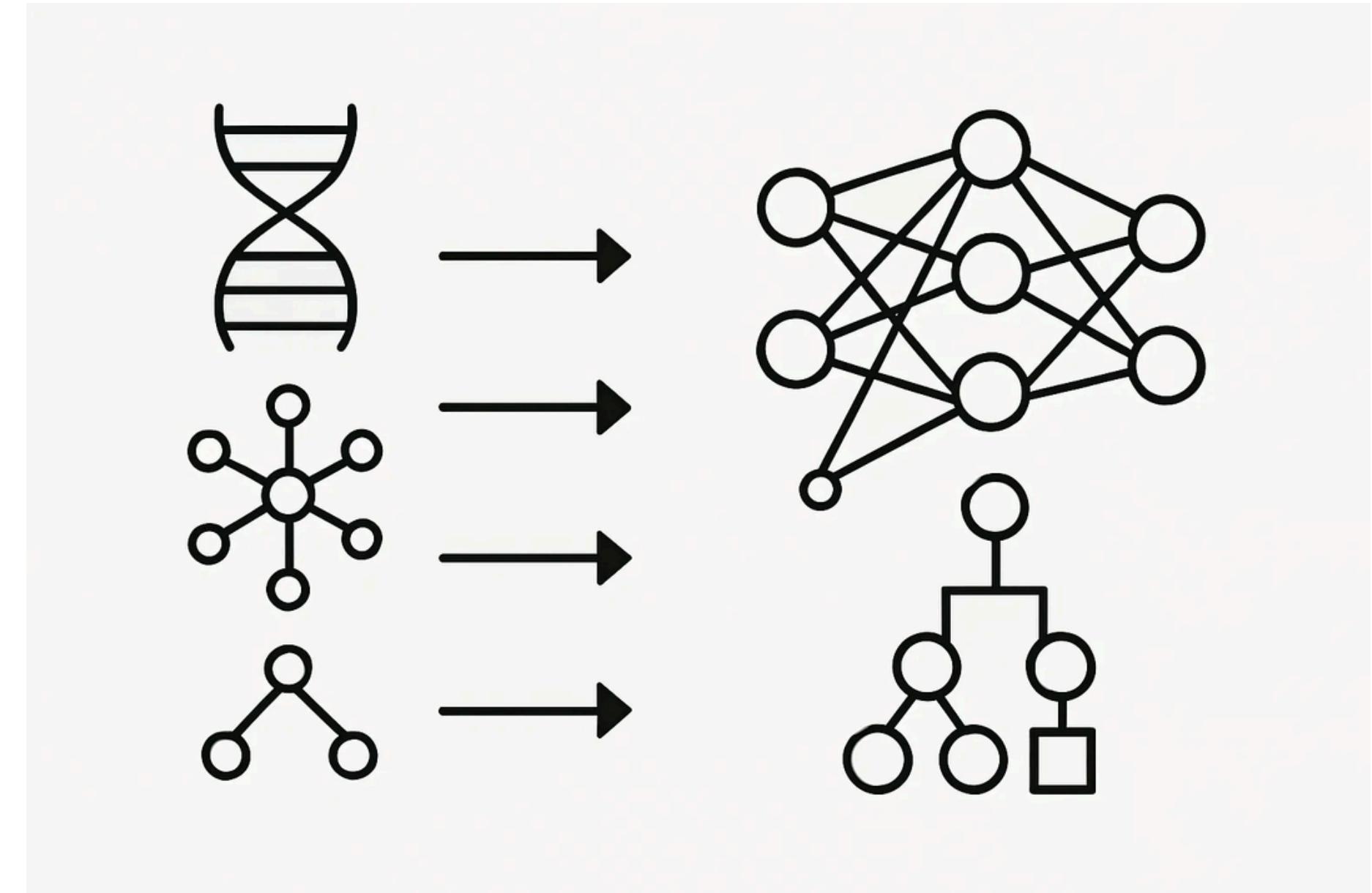
Flexibilidade: Adaptáveis a diferentes tipos de problemas de otimização em ML

Robustez: Menos suscetíveis a mínimos locais em comparação com métodos de gradiente

Paralelização: Muitos algoritmos podem ser facilmente paralelizados

Sem derivadas: Não requerem informações de gradiente da função objetivo

Escalabilidade: Aplicáveis a problemas de alta dimensionalidade

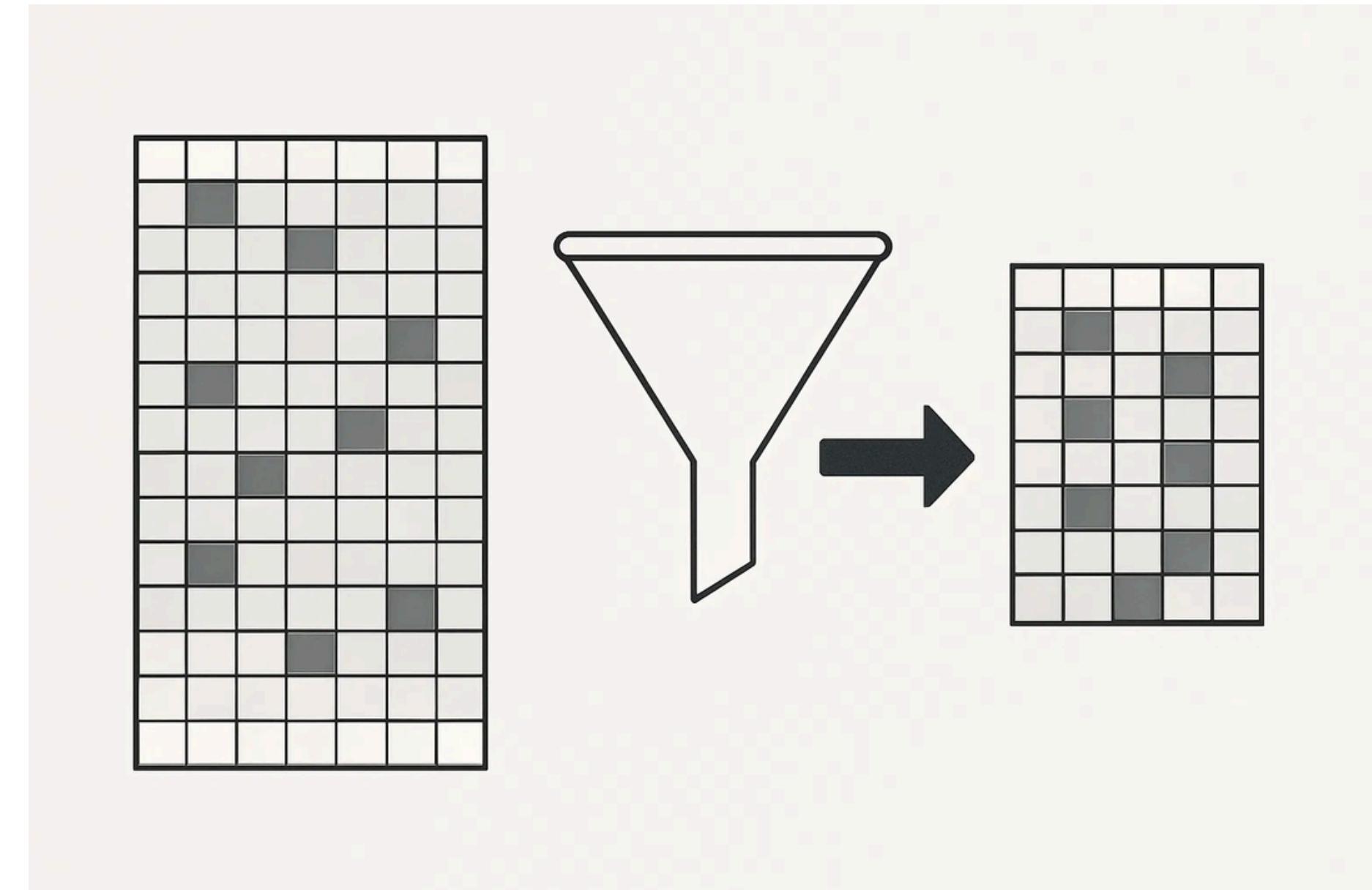


APLICAÇÕES

Aplicação 1: Seleção de Atributos

O que é Seleção de Atributos?

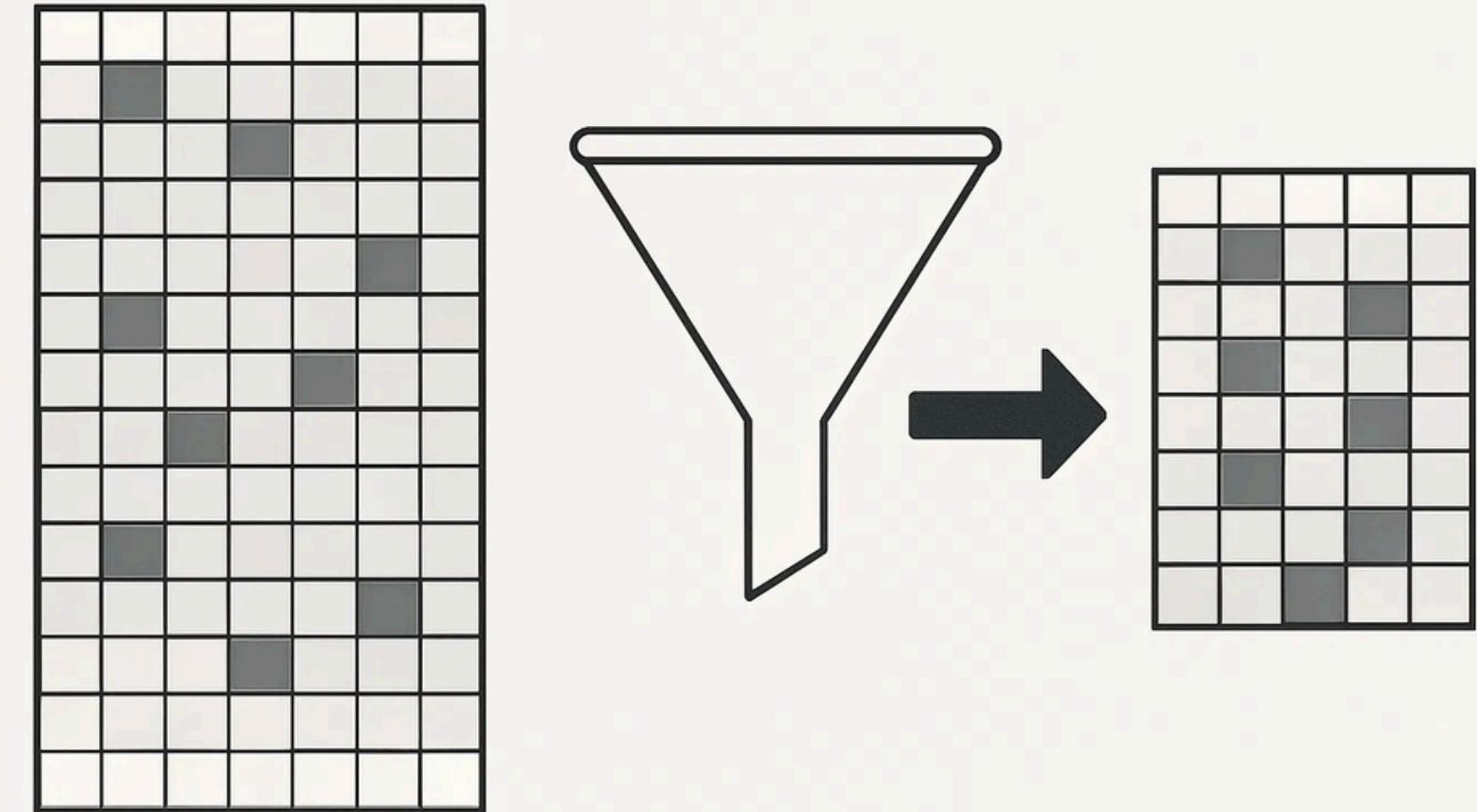
Processo de identificar e selecionar um subconjunto ótimo de atributos relevantes, eliminando aqueles redundantes ou irrelevantes para melhorar o desempenho do modelo.



Aplicação 1: Seleção de Atributos

Processo com Meta-heurísticas:

- 1. Codificação:** Representar soluções candidatas (subconjuntos de atributos) como vetores binários
- 2. Função objetivo:** Avaliar cada subconjunto usando métricas como acurácia e complexidade
- 3. Exploração:** Buscar no espaço de combinações possíveis de atributos
- 4. Convergência:** Identificar o subconjunto ótimo que maximiza o desempenho



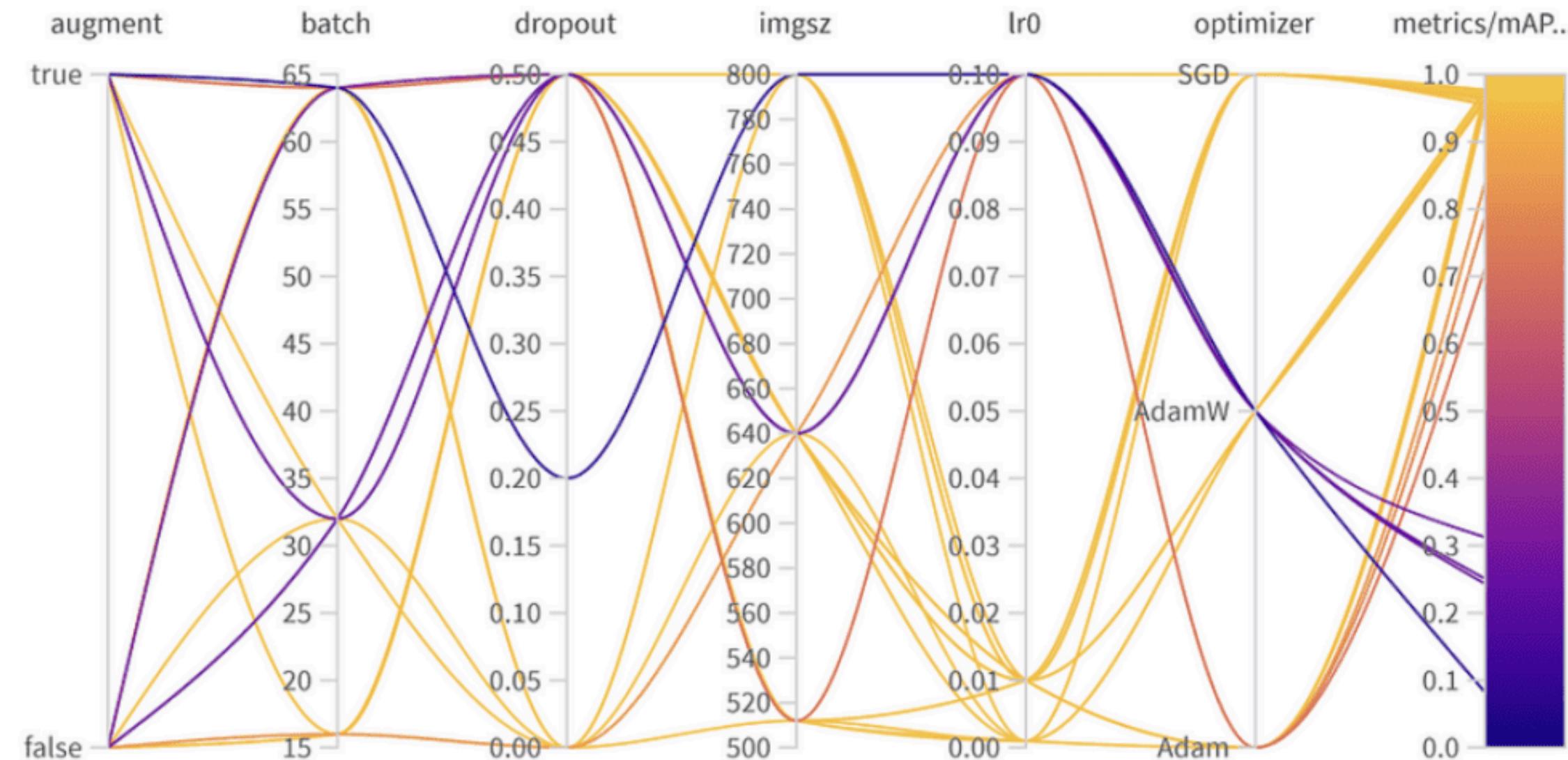
Algoritmos Comumente Utilizados:

- Algoritmos Genéticos
- Otimização por Enxame de Partículas
- Recozimento Simulado
- Colônia de Formigas
- Busca Tabu

Aplicação 2: Otimização de Hiperparâmetros

O Desafio dos Hiperparâmetros

Hiperparâmetros são configurações que controlam o comportamento dos algoritmos de ML e têm impacto significativo no desempenho do modelo. Encontrar a combinação ótima é um desafio de otimização complexo.



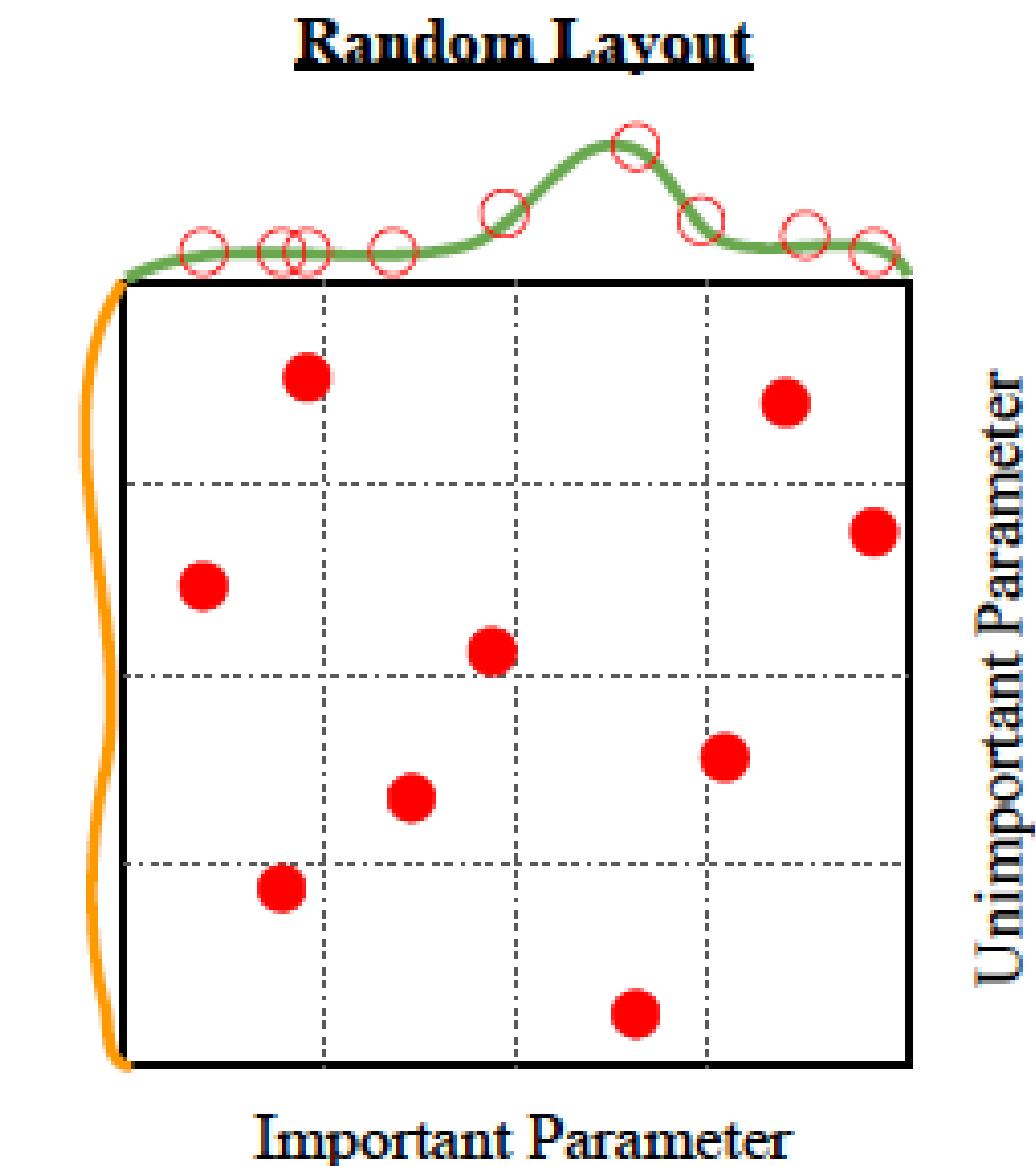
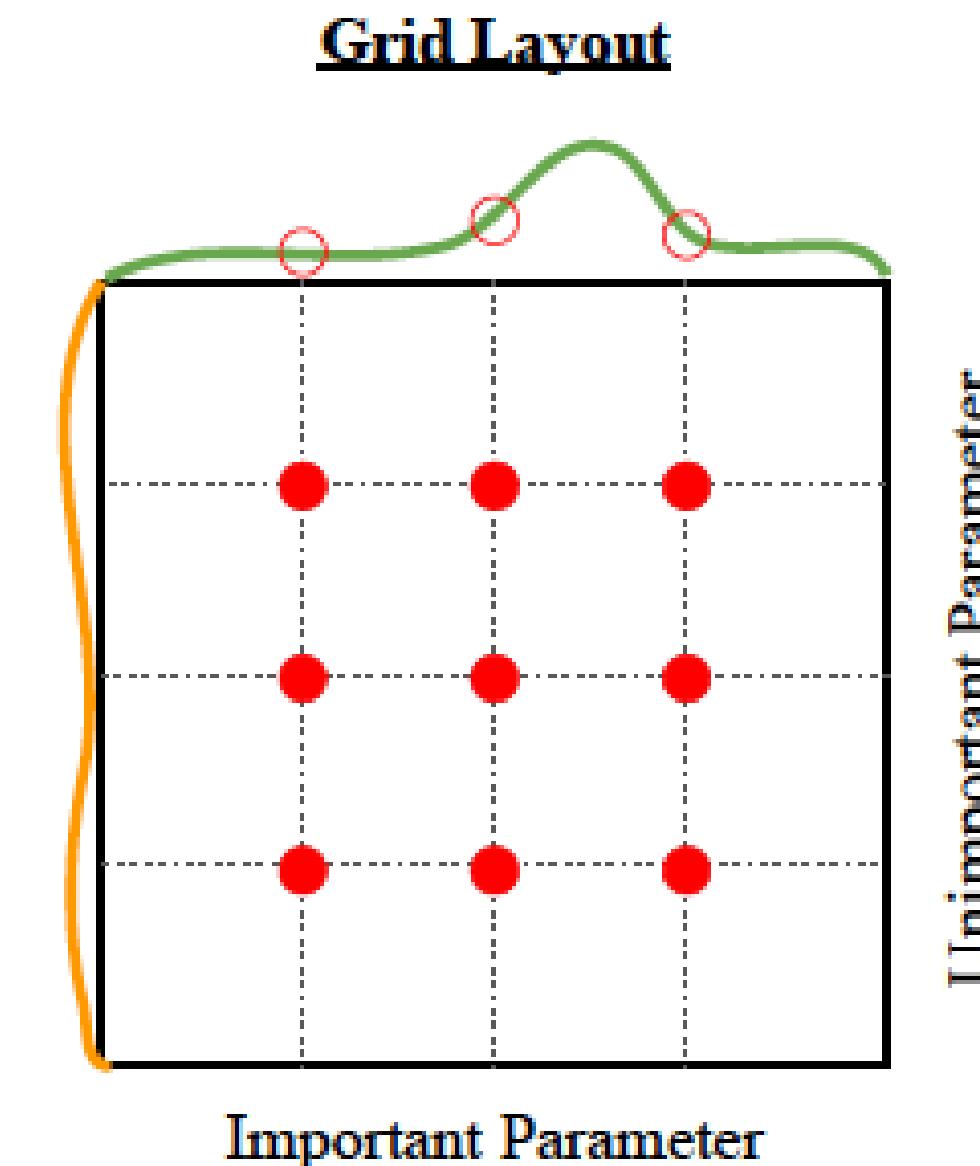
Comparação com Métodos Tradicionais

Método	Vantagens	Desvantagens
Grid Search	Simples, exaustivo	Ineficiente, escala exponencialmente
Random Search	Melhor cobertura do espaço	Não aprende com avaliações anteriores
Meta-heurísticas	Adaptativas, eficientes	Mais complexas de implementar

Comparação com Métodos Tradicionais

- **Grid Search (Busca em Grade)** testa todas as combinações possíveis de hiperparâmetros dentro de um espaço de busca pré-definido, garantindo a exaustividade, mas podendo ser computacionalmente caro.

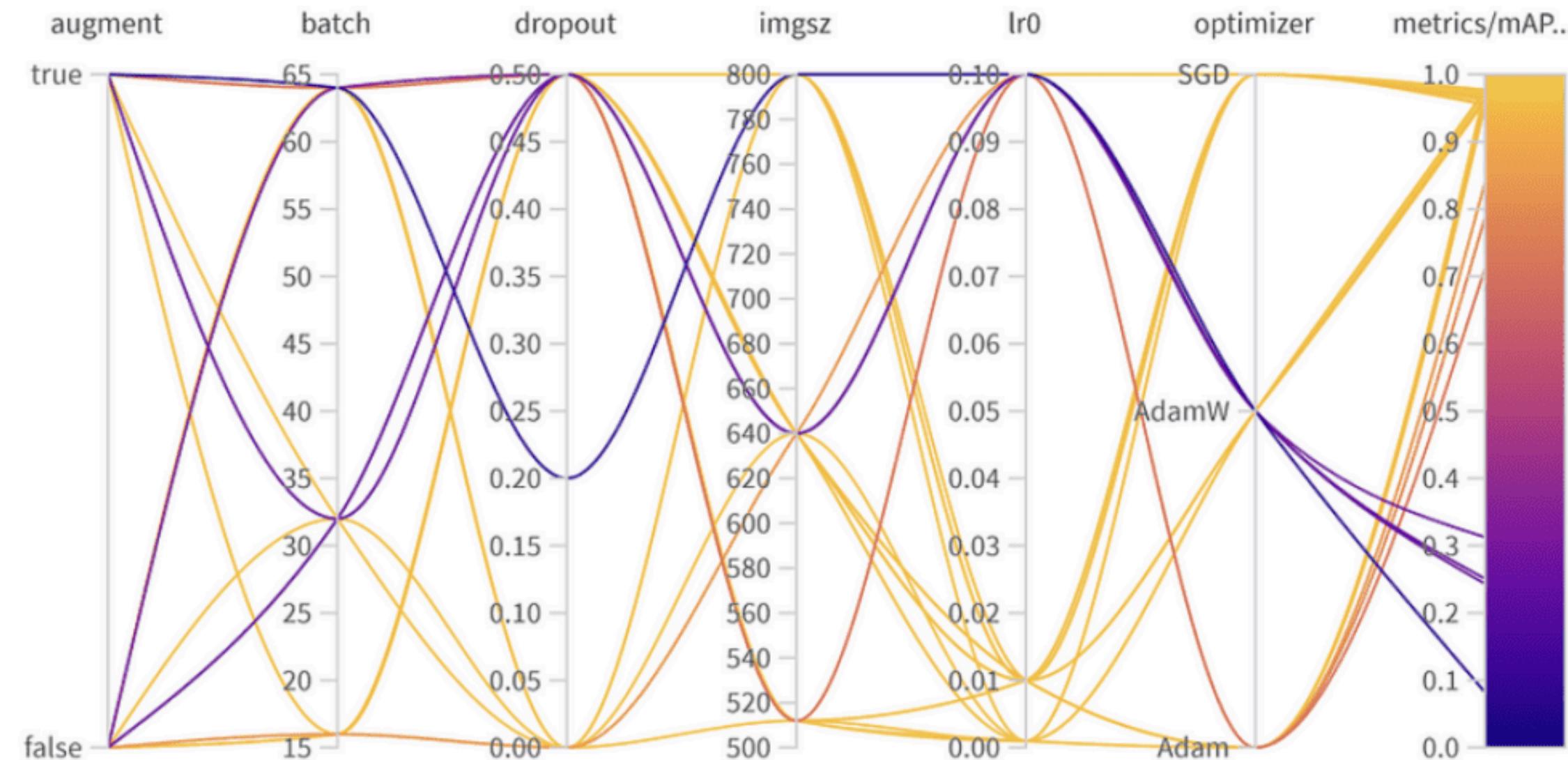
- **Search (Busca Aleatória)** seleciona aleatoriamente um subconjunto de combinações de hiperparâmetros a partir de distribuições definidas, o que a torna mais eficiente e capaz de encontrar bons resultados em espaços de busca grandes com menos recursos computacionais.



Aplicação 2: Otimização de Hiperparâmetros

Benefícios das Meta-heurísticas:

- Eficiência:** Exploram o espaço de hiperparâmetros de forma mais inteligente
- Adaptabilidade:** Ajustam a busca com base em resultados anteriores
- Escalabilidade:** Lidam melhor com espaços de alta dimensionalidade



Outras Aplicações e Benefícios

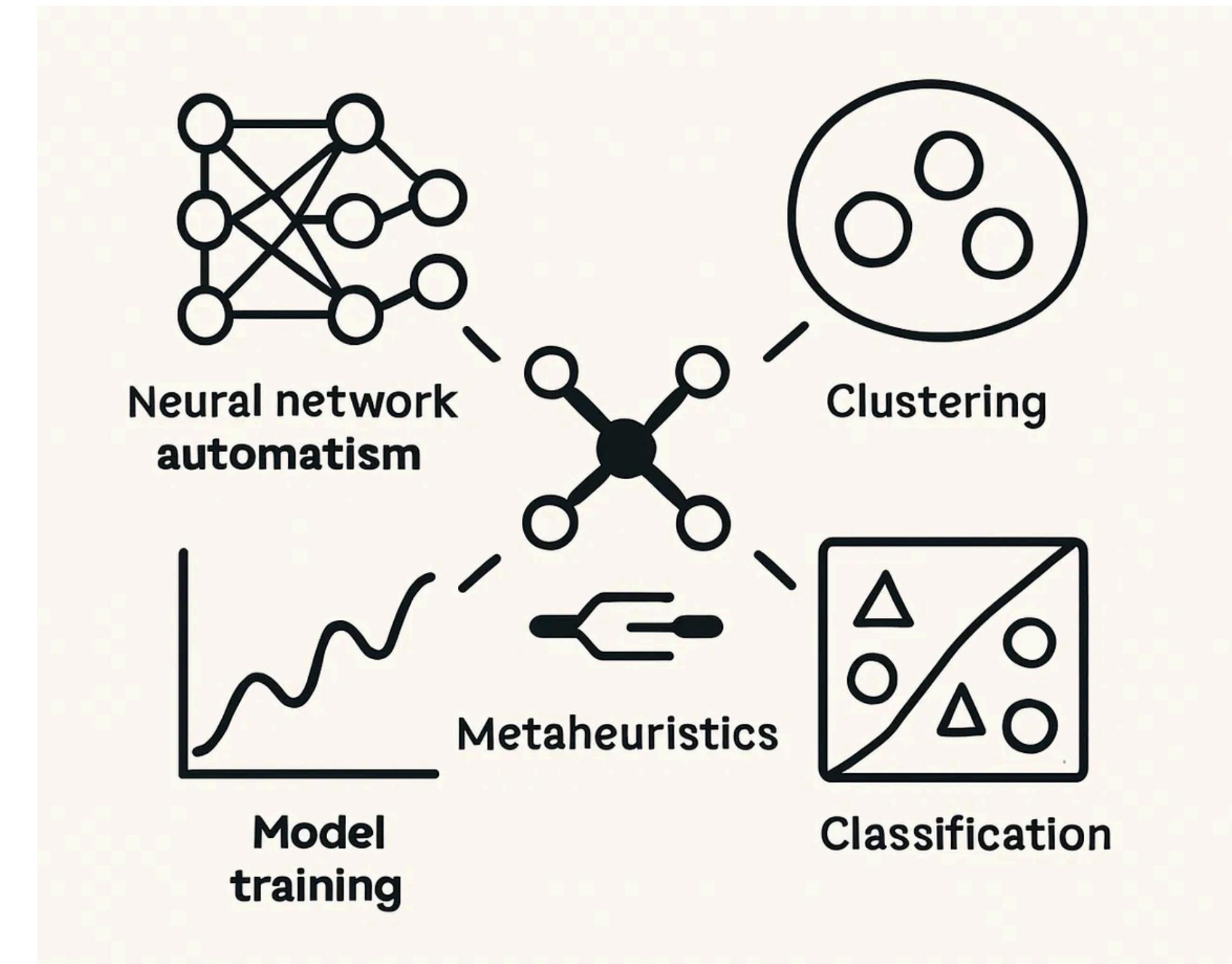
Otimização de Arquitetura de Redes

Neurais:

Determinação automática do número de camadas, neurônios por camada, funções de ativação e conexões entre camadas.

Agrupamento (Clustering):

Identificação de grupos naturais em dados não rotulados, otimizando métricas como coesão interna e separação entre clusters.



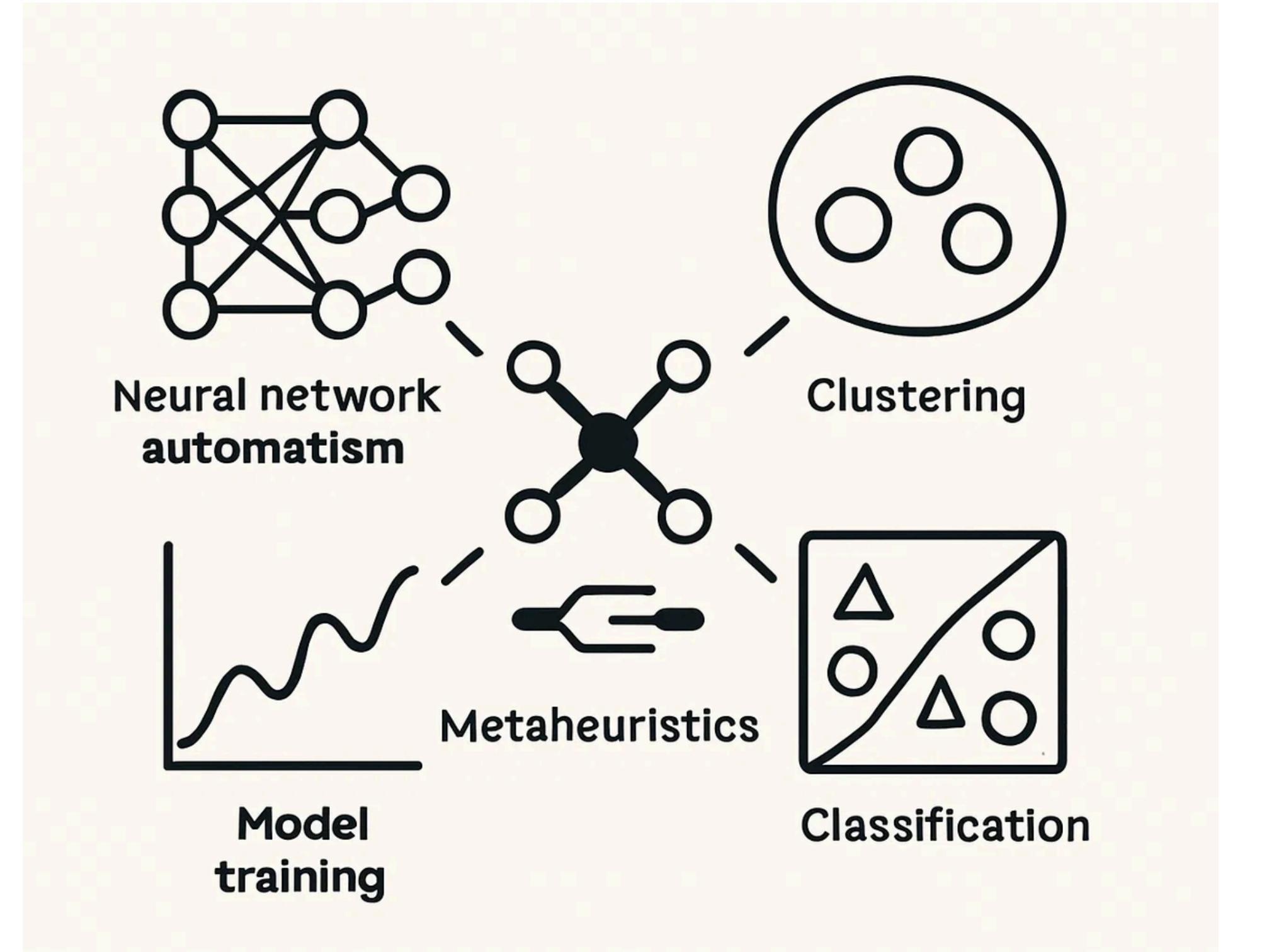
Outras Aplicações e Benefícios

Treinamento de Modelos:

Otimização direta dos parâmetros do modelo (pesos e vieses), especialmente em cenários onde o gradiente é difícil de calcular.

Classificação:

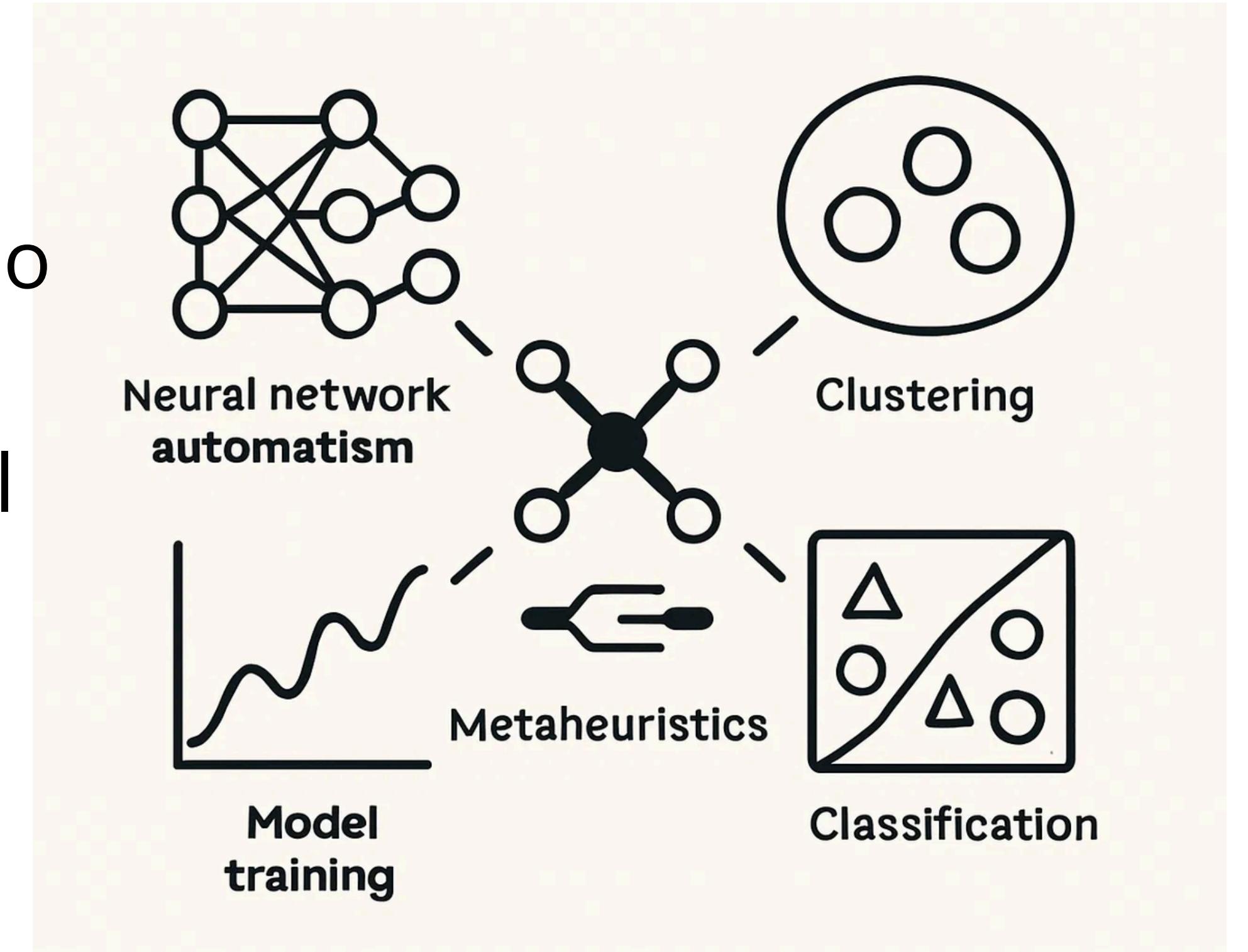
Desenvolvimento de classificadores otimizados e ajuste fino de modelos para melhorar métricas de desempenho.



Outras Aplicações e Benefícios

Benefícios Gerais:

- Melhoria de Desempenho
- Maior Robustez
- Eficiência Computacional
- Escalabilidade
- Diversidade de Soluções
- Adaptabilidade



EXEMPLOS

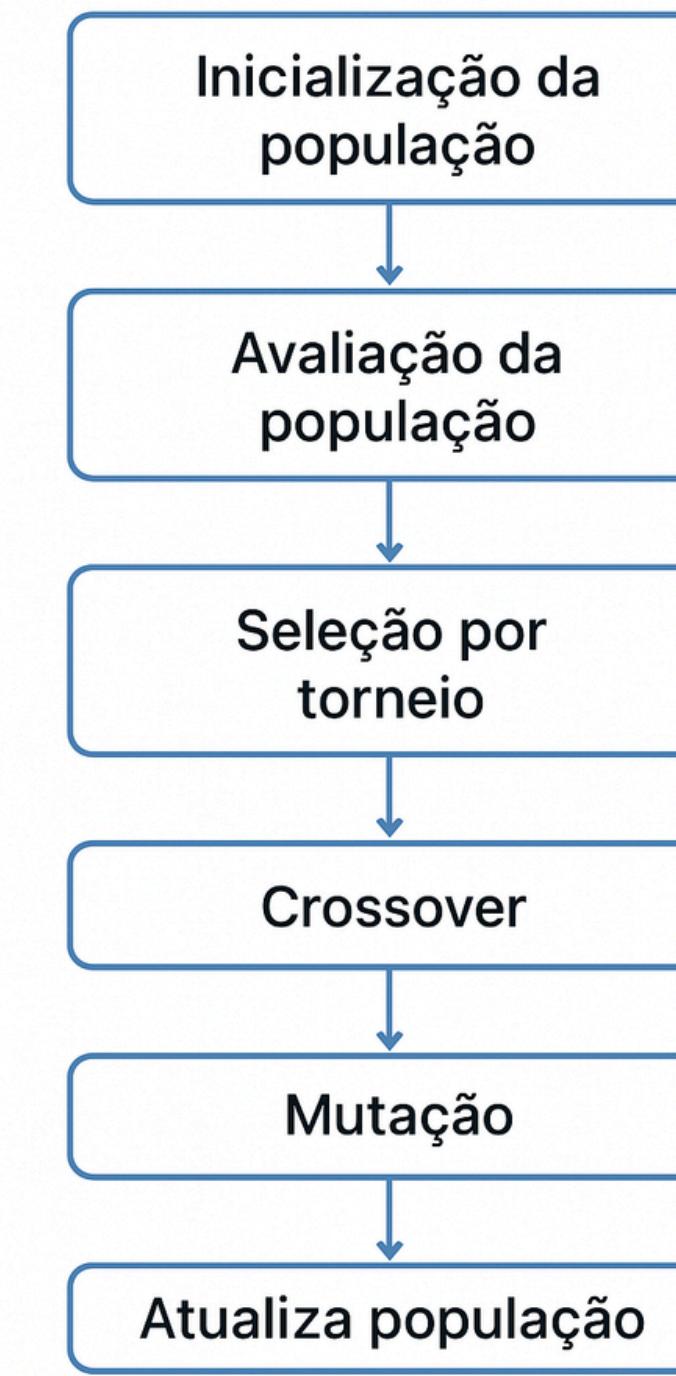
EX01: Algoritmos Genéticos (GA)

EX01: Maximize a função
 $f(x) = x * \sin(10\pi x) + 1$, que é
uma função não linear

EX01: Algoritmos Genéticos (GA)

Maximize a função
 $f(x) = x * \sin(10\pi x) + 1$, que
é uma função não linear
com muitos ótimos locais

Algoritmo Genético



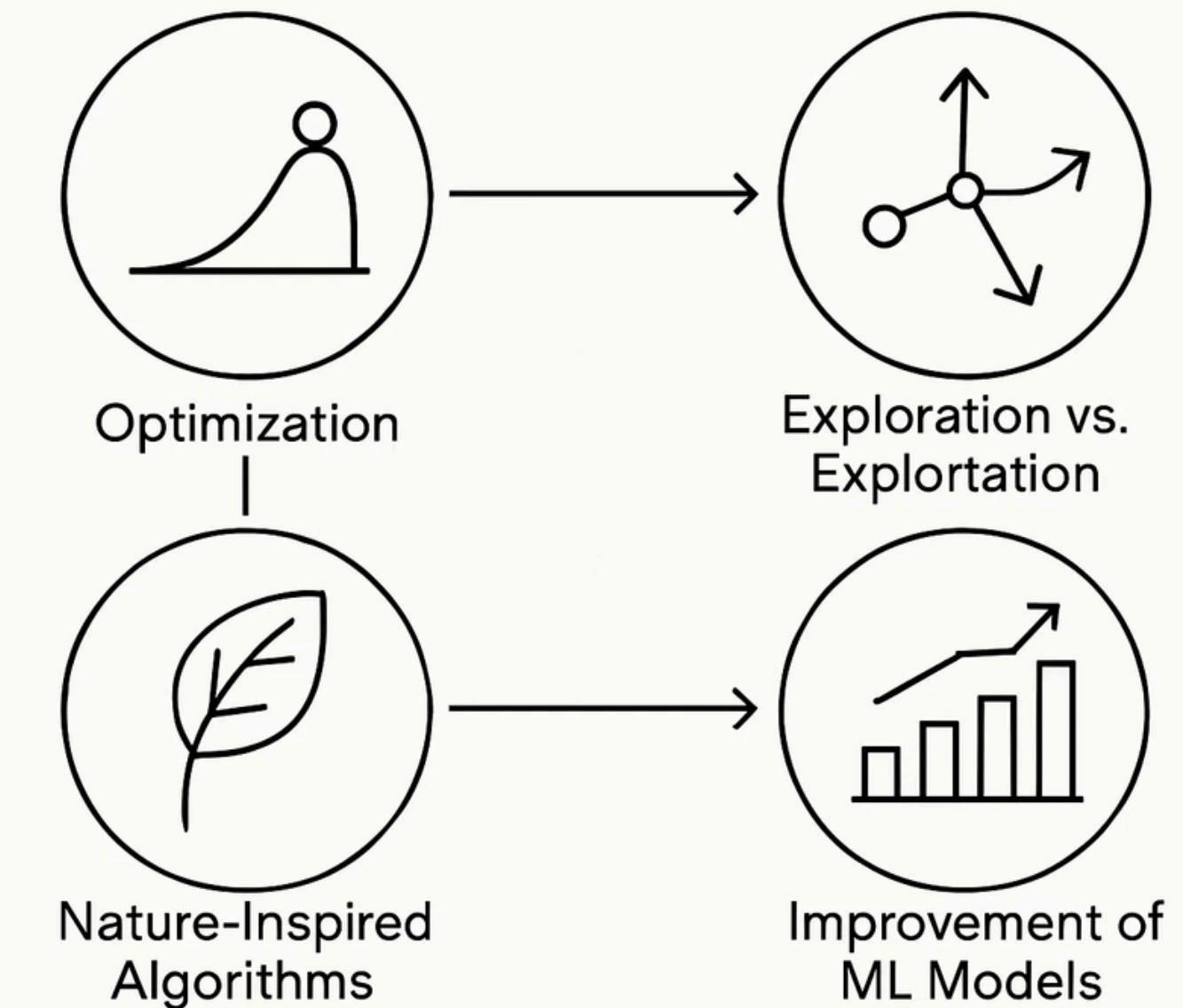
Ex02: Encontre o caminho
mais curto que passa por
todas as cidades e retorna à
origem.

CONCLUSÃO

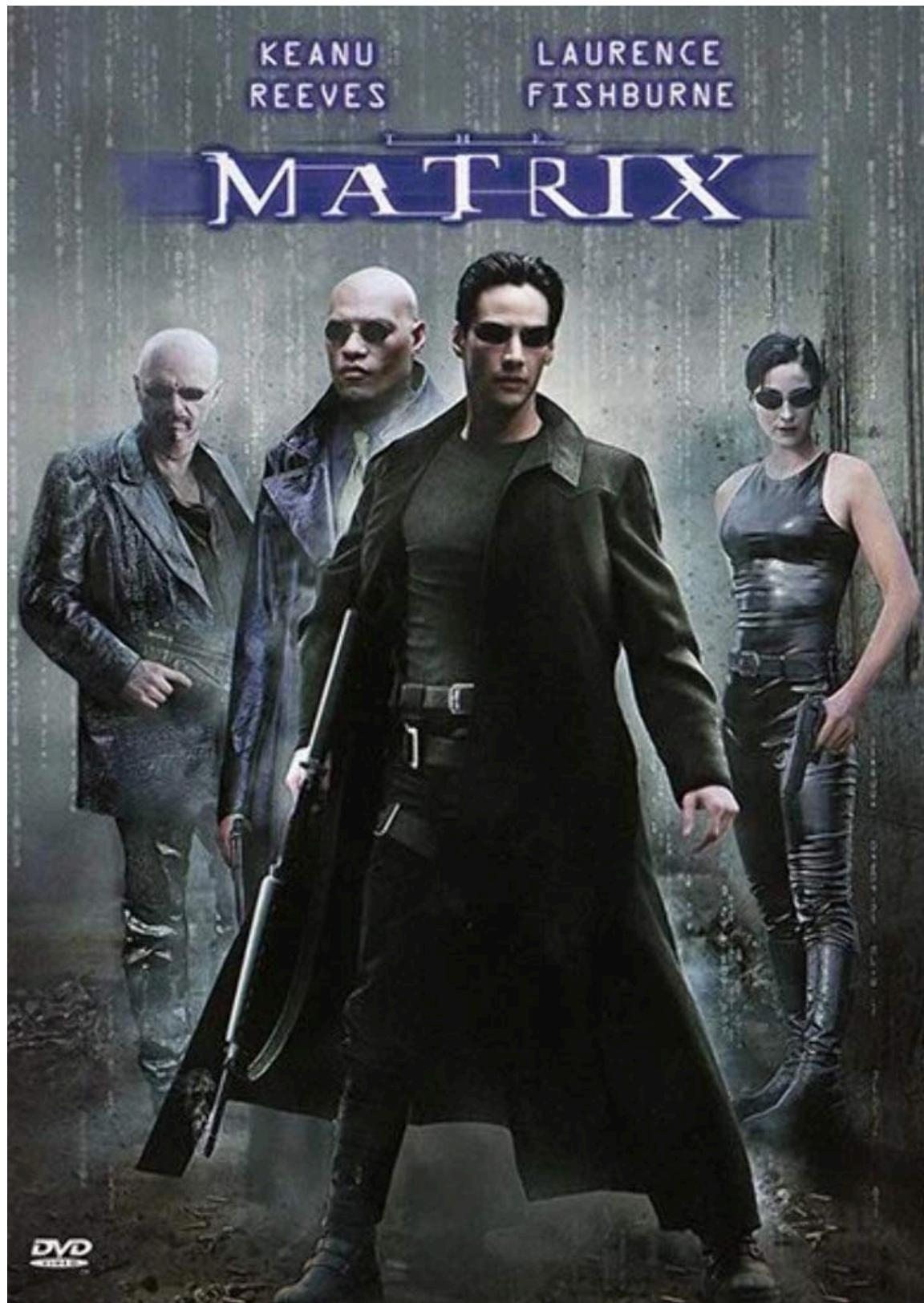
Conclusão

Algoritmos meta-heurísticos representam uma abordagem poderosa para resolver problemas complexos de otimização em Machine Learning, oferecendo soluções eficientes onde métodos tradicionais podem falhar ou ser computacionalmente inviáveis.

- **Versatilidade:** Aplicáveis a diversos problemas de ML, desde seleção de atributos até otimização de hiperparâmetros e arquitetura de modelos.
- **Equilíbrio:** Capacidade de balancear exploração global e exploração local, evitando mínimos locais e encontrando soluções robustas.
- **Inspiração natural:** Muitos algoritmos são inspirados em processos naturais, aproveitando estratégias evolutivas e comportamentos coletivos.
- **Desempenho:** Contribuem significativamente para a melhoria do desempenho de modelos de ML, especialmente em cenários complexos e de alta dimensionalidade.



Dica de Filme: Matrix (1999)



Em um futuro próximo, Thomas Anderson (Keanu Reeves), um jovem programador de computador que mora em um cubículo escuro, é assombrado por estranhos pesadelos nos quais encontra-se conectado por cabos e contra sua vontade, em um imenso sistema de computadores do futuro. Em todas essas ocasiões, acorda gritando no exato momento em que os eletrodos estão para penetrar em seu cérebro. À medida que o sonho se repete, Anderson começa a ter dúvidas sobre a realidade. Por meio do encontro com os misteriosos Morpheus (Laurence Fishburne) e Trinity (Carrie-Anne Moss), Thomas descobre que é, assim como outras pessoas, vítima do Matrix, um sistema inteligente e artificial que manipula a mente das pessoas, criando a ilusão de um mundo real enquanto usa os cérebros e corpos dos indivíduos para produzir energia. Morpheus, entretanto, está convencido de que Thomas é Neo, o aguardado messias capaz de enfrentar o Matrix e conduzir as pessoas de volta à realidade e à liberdade.

REFERÊNCIAS

1. FILHO, Oscar Gabriel. Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina: aspectos teóricos e aplicações. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2023. 462 p. ISBN 978-65-5506-620-3
2. HUYEN, Chip. Projetando sistemas de Machine Learning: processo interativo para aplicações prontas para produção. Tradução de Cibelle Ravaglia. 1. ed. São Paulo: Alta Books, 2024. 384 p. ISBN 978-8550819679
3. Copeland, M. V. Qual é a diferença entre Inteligência Artificial, Machine Learning e Deep Learning? Blog NVIDIA Brasil, 10 mar. 2021. Disponível em: **SOUZA, Marco Antonio Furlan de. Algoritimos e lógica de programação.** São Paulo: Cengage, 2004.. Acesso em: 11 ago. 2025.
4. CASTRO, Alberis Garcês de. Qual a diferença entre IA, Machine Learning e Deep Learning? LinkedIn, 23 dez. 2020. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/qual-diferen%C3%A7a-entre-ia-machine-learning-e-deep-garc%C3%A3es-de-castro/>. Acesso em: 11 ago. 2025.
5. SPOSTO, Stella. Você sabe a diferença entre parâmetros e hiperparâmetros? [Sic]. LinkedIn, 11 ago. 2025. Disponível em: https://www.linkedin.com/posts/stellasposito_voc%C3%AA-sabe-a-diferen%C3%A7a-entre-par%C3%A2metros-e-activity-7267912760531800064-6mon/?originalSubdomain=pt. Acesso em: 11 ago. 2025.

Dúvidas?



Profº Lindemberg Andrade
E-mail: linndemberg1@gmail.com



Additional contacts via QR code