

COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA: CONCEITOS BÁSICOS

Cristiano Leite de Castro

crislcastro@ufmg.br

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

Metáfora Fundamental da C.E.

EVOLUTION

PROBLEM SOLVING

Environment



Problem

Individual



Candidate Solution

Fitness



Quality

fitness = chance de sobrevivência e reprodução

qualidade = chance da solução ser mantida e usada como semente para construção de novas soluções

• Definição 1:

- **Evolução:** no contexto da Biologia Moderna, se refere à mudança gradual da composição genética média de uma determinada população de organismos, ao longo de sucessivas gerações;
- enquanto que mudanças entre duas gerações sucessivas são, em geral, pequenas, o acúmulo destas ao longo de centenas ou milhares de gerações pode resultar em grandes alterações morfológicas e metabólicas na população em questão e que, dadas certas condições, resultar na diferenciação de uma nova espécie.

- **Seleção Natural** (*Charles Robert Darwin*) - **séc. XIX:**

1. os ambientes possuem recursos finitos (limitados);
2. seres vivos possuem instintos básicos voltados para a reprodução;
3. se todos os indivíduos de uma espécie se reproduzissem, as populações cresceriam exponencialmente;

Logo, algum tipo de **pressão seletiva** é inevitável!!!

- **Seleção Natural** (*Charles Robert Darwin*) - **séc. XIX:**
 1. aqueles indivíduos que competem pelos recursos mais efetivamente (mais adaptados ao ambiente) possuem maior chance de sobreviver e reproduzir.
 2. a sobrevivência dos mais aptos depende de suas características (traços fenotípicos);
 3. durante a reprodução, as características mais favoráveis tenderiam a ser preservadas nos descendentes e as desfavoráveis destruídas.
- **Crítica:** como explicar a origem e transmissão das variações fenotípicas (novas características)?

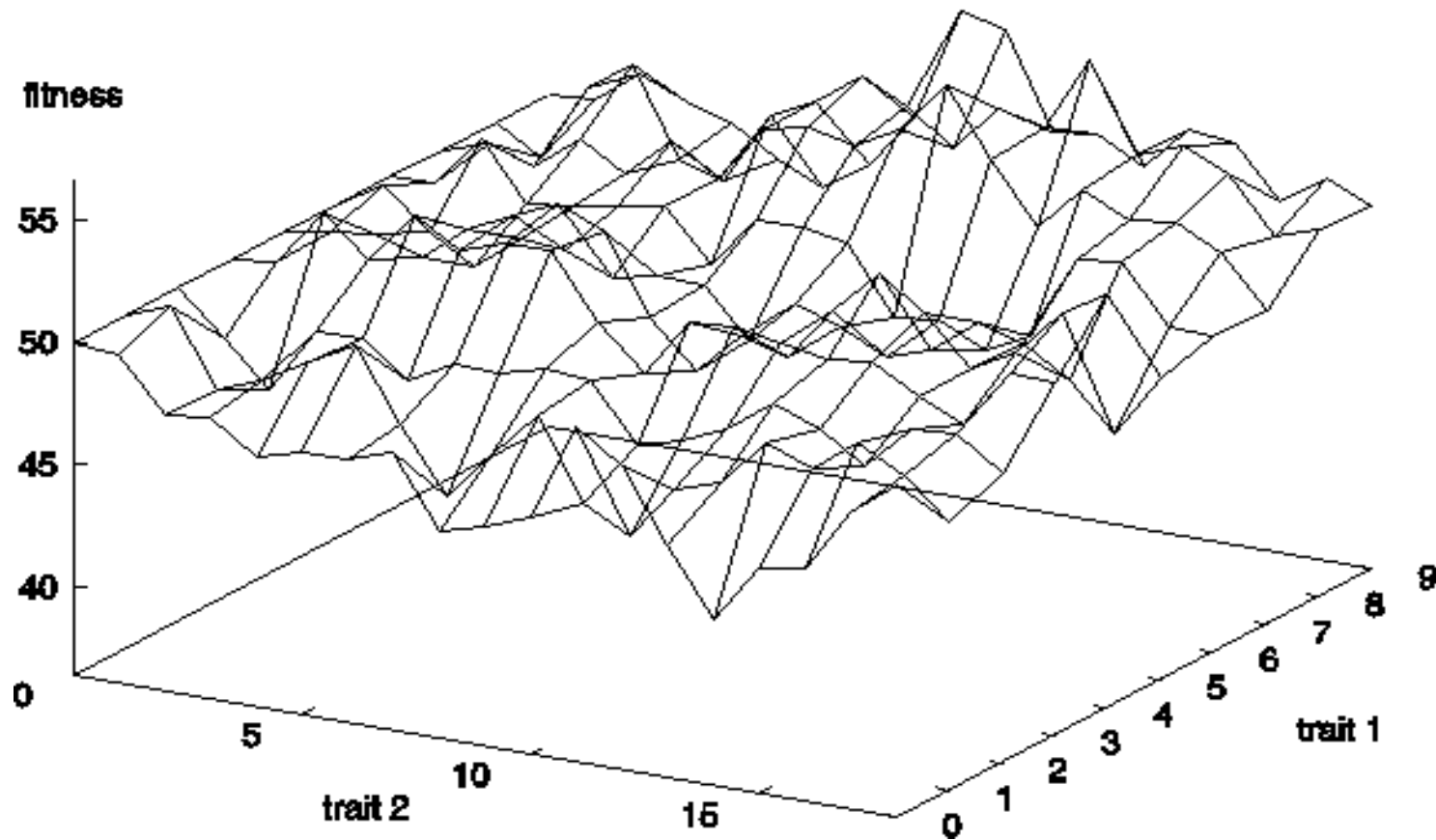
- **Diversidade (Genética):**

- cada indivíduo possui uma combinação única de **traços fenotípicos**: características físicas/comportamentais que afetam sua resposta ao ambiente e, determinam sua *aptidão*;
- variações fenotípicas surgem **aleatoriamente** como consequência de reproduções e mutações sucessivas, levando a uma fonte constante de diversidade.

Evolução = Seleção Natural + Diversidade;

“moderna síntese evolutiva”

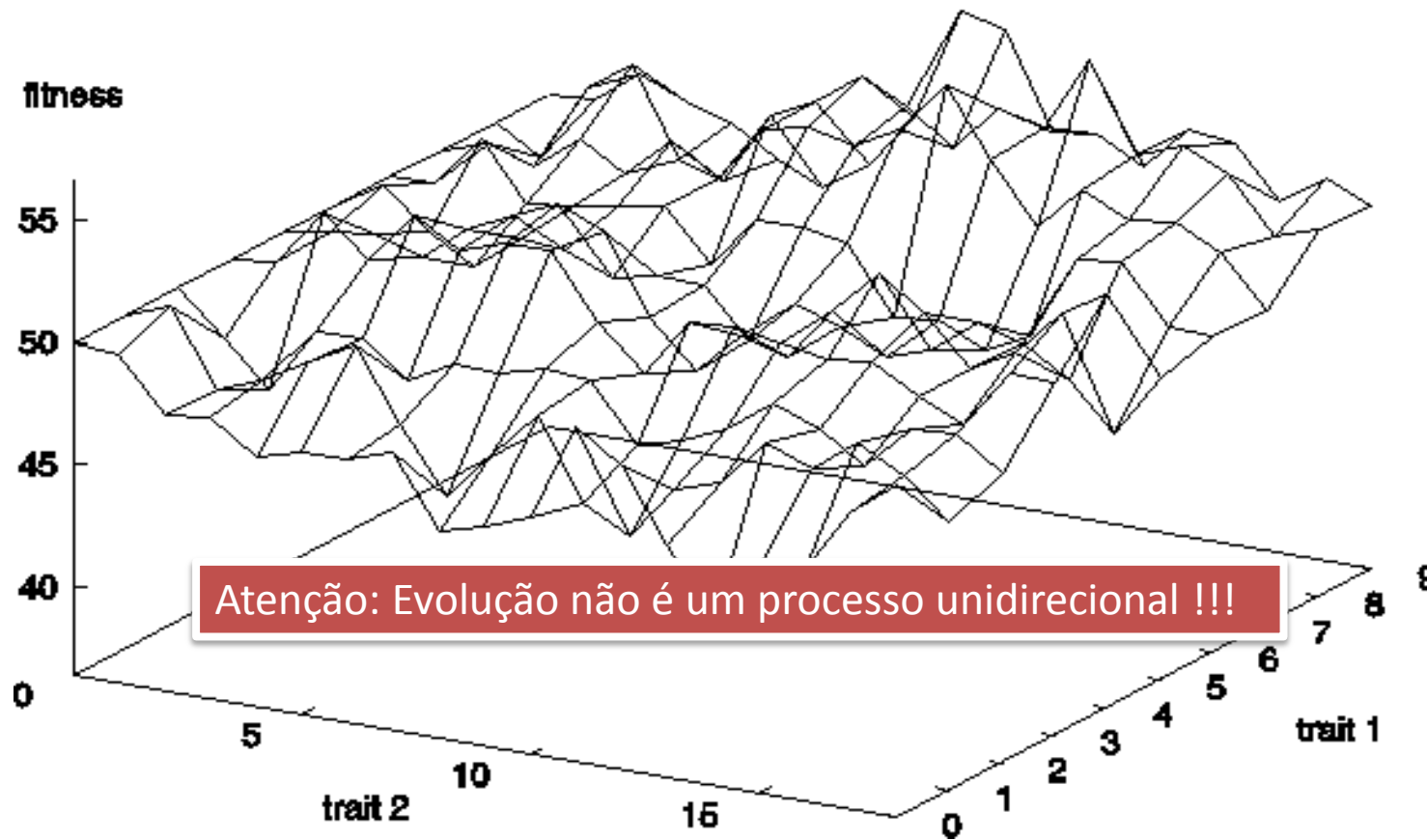
Metáfora da Superfície Adaptativa



picos = região onde a combinação de traços fenotípicos obteve sucesso.

Evolução = processo gradual de avanços para regiões de maior altitude, proporcionadas pela **diversidade + seleção natural**.

Metáfora da Superfície Adaptativa



picos = região onde a combinação de traços fenotípicos obteve sucesso.

Evolução = processo gradual de avanços para regiões de maior altitude, proporcionadas pela **diversidade + seleção natural**.

Algoritmos Evolutivos

Baseados nas ideias de Charles Darwin, os Algoritmos Evolutivos podem ser caracterizados pelos seguintes componentes:

- Reprodução com **hereditariedade**;
- **Variação** dos descendentes em relação aos progenitores;
- Um mecanismo de **pressão seletiva**.

Algoritmos Evolutivos

Segundo Darwin, esses componentes, agindo sobre uma população de indivíduos, levam fatalmente a um **processo evolutivo**:

- *“Como o número de indivíduos nascidos, para cada espécie, é muito maior do que o número dos que poderiam possivelmente sobreviver; e como, por consequência, a luta pela existência se renova a cada instante; segue-se que todo o ser que varia de maneira que lhe confira alguma vantagem, ainda que pequena, tem maior probabilidade de sobreviver, sendo consequentemente beneficiado pelas forças da seleção natural. Assim sendo, e em virtude do poderoso princípio da hereditariedade, tem-se que toda a variedade positivamente selecionada tenderá a propagar a sua nova forma modificada.”*

Sistema Evolutivo

- Simulação de um sistema evolutivo: população estável de organismos sujeitos à introdução de um novo predador em seu ambiente.
- Considere uma população estável de 200 lagartos, vivendo, por um longo tempo, em uma determinada ilha onde não há predadores naturais:
 - Considere que a cor da pele destes lagartos seja determinada por um cromossomo composto por três genes, cada um expressando um determinado tipo de pigmento - vermelho, verde ou azul;
 - Lembrando que o código genético é composto por sequências de 4 tipos de nucleotídeos¹, é fácil pensar em cada gene de cor sendo composto por uma sequência de 4 letras ou, equivalentemente, 8 bits, capazes de representar 256 estados, ou níveis de intensidade, para cada pigmento.

¹Adenosina, Guanina, Timina e Citosina.

Representação:

	Gene		Representação binária		Valor expresso
R	A C C C	→	'00110101'	→	53
G	T C G A	→	'10011100'	→	156
B	G A T T	→	'11001010'	→	202

A = 00 C = 01 T = 10 G = 11

Figura : Codificação dos genes responsáveis pela cor de pele em uma população fictícia de lagartos. A cor de um determinado indivíduo é definida pelo vetor de componentes expressas, ilustrado na coluna mais à direita.

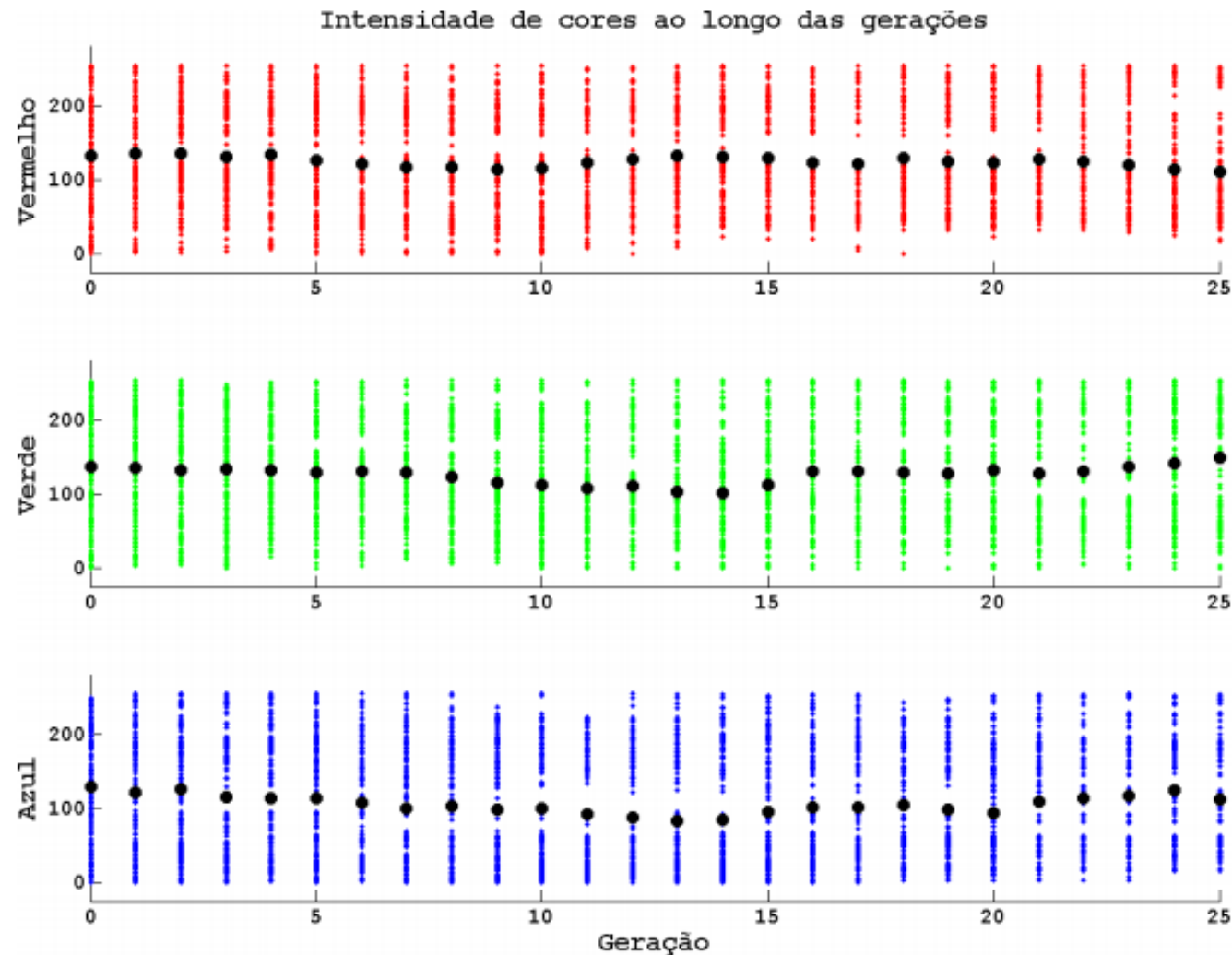
Vamos considerar, novamente para fins de simplicidade, que esta espécie de lagartos possua as seguintes características:

- Haplóide: cada indivíduo possui apenas uma cópia do cromossomo que codifica a cor de pele;
- Sexuada: a reprodução se dá pela combinação de dois indivíduos;
- Hermafrodita: sem distinção entre machos e fêmeas, todos os indivíduos são compatíveis para cruzamento.

Características ambientais e comportamentais desta espécie:

- ① De todos os lagartos nascidos, apenas 70% sobrevivem até a idade adulta. Os demais morrem por causas aleatórias, como acidentes, doenças, etc..
- ② Todos os lagartos que chegam à idade adulta são capazes de se reproduzir, e o fazem através da escolha aleatória de parceiros. A reprodução resulta em um número de filhotes tal que o tamanho da população permanece estável.
- ③ Todos os adultos desta espécie morrem após a temporada de acasalamento e postura de ovos.
- ④ Esta população está sujeita a mutações genéticas eventuais. Tais mutações ocorrem com uma frequência média de 1 mutação para cada 100 nucleotídeos.

Distribuição de cores na população na ausência de uma componente de pressão seletiva:



Antes de passarmos aos efeitos que um predador introduziria neste ambiente, vamos refletir sobre as seguintes questões:

- Como é simulada a reprodução nesta população? E a mutação?
- Como traduzir estas ideias biológicas em termos computacionais?

Embora existam muitas respostas possíveis para estas questões, vamos nos ater aqui às mais simples.

Cruzamento e Mutação:

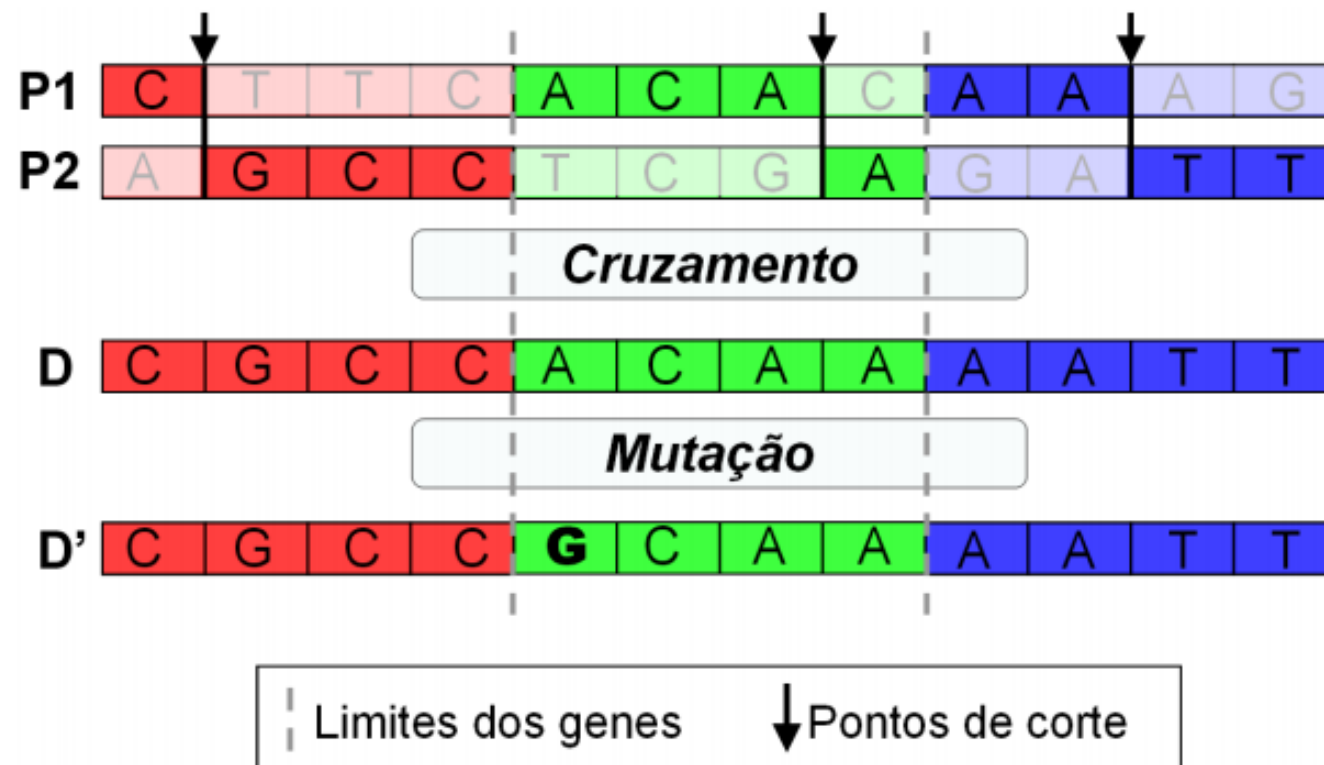


Figura : Geração de um novo indivíduo (**D**) a partir do cruzamento de dois progenitores (**P1** e **P2**).

Introdução da *pressão seletiva*:

- Imaginemos agora que uma nova espécie de predador seja introduzida ao ambiente, e que este predador se utilize de visão cromática para localizar suas presas.
- Com isto, acrescenta-se a este sistema uma componente de pressão evolutiva, pois torna-se mais vantajoso para um determinado indivíduo possuir uma coloração similar à do ambiente, de forma a escapar da detecção pelo predador.

A ação do predador na população é modelada na forma de uma outra regra simples:

- 5 De todos os lagartos nascidos, os 20% menos camuflados, ou seja, com maior contraste em relação ao ambiente, são devorados por predadores antes de chegarem à idade adulta.

Pode-se representar o contraste como a distância Euclidiana entre o vetor de cor do indivíduo e o vetor de cor média do ambiente:

$$f(\mathbf{p}_i) = \|\mathbf{c}_i - \mathbf{c}_{am}\| \quad (1)$$

onde \mathbf{c}_i é o vetor de componentes de cor do indivíduo \mathbf{p}_i , e \mathbf{c}_{am} representa a cor média do ambiente.

Sistema Evolutivo

- Na definição anterior, indivíduos que apresentem menores valores de f , ou seja, de contraste, terão uma vantagem evolutiva sobre aqueles com maiores valores desta medida.
- “*A variedade positivamente selecionada tenderá a propagar a sua nova forma modificada*”.
- Em outras palavras, valores das componentes de cor que resultem em indivíduos de menor contraste tenderão a se propagar e se estabelecer na população ao longo do tempo.

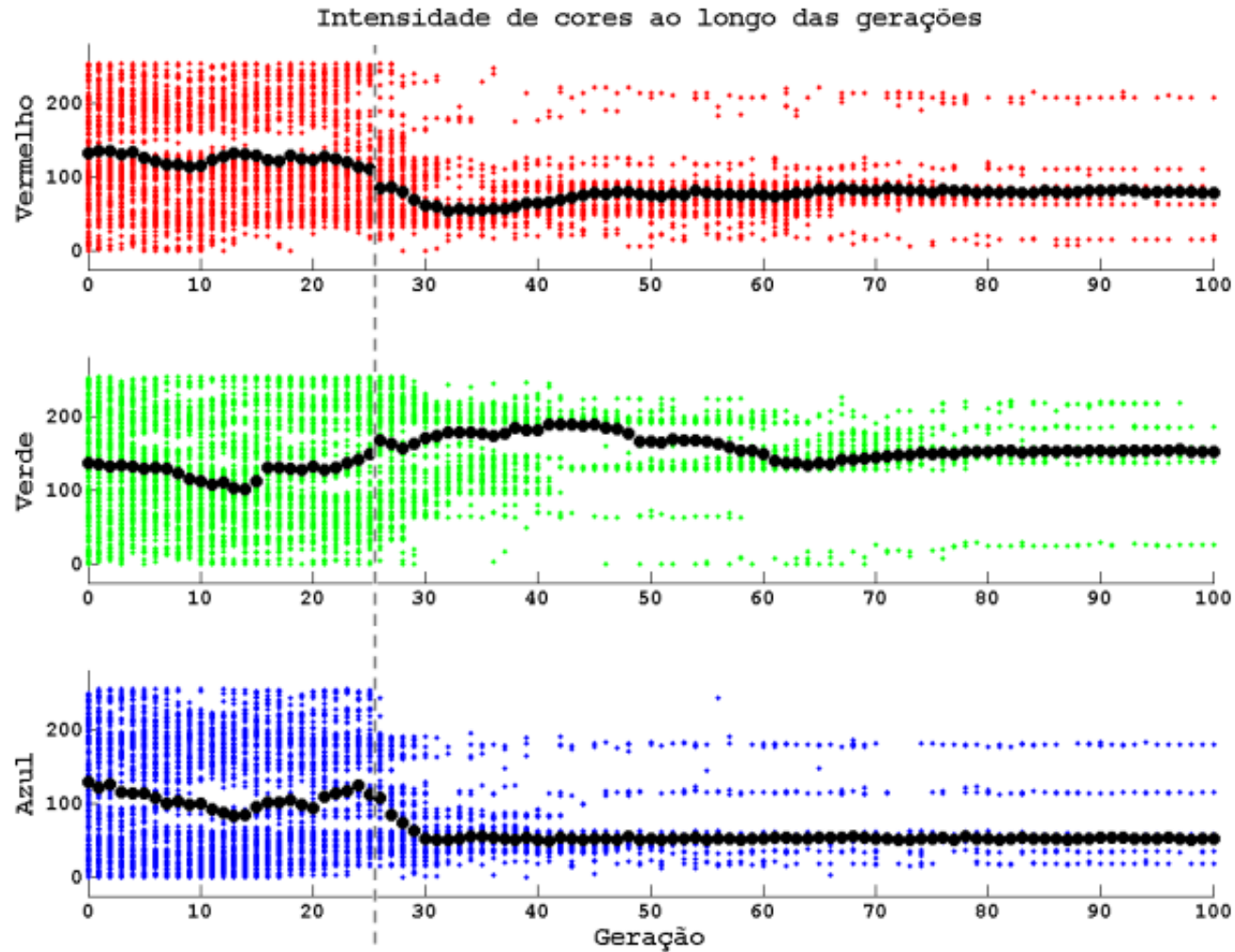


Figura : Evolução das componentes de cor na população após a introdução do predador na geração 25.

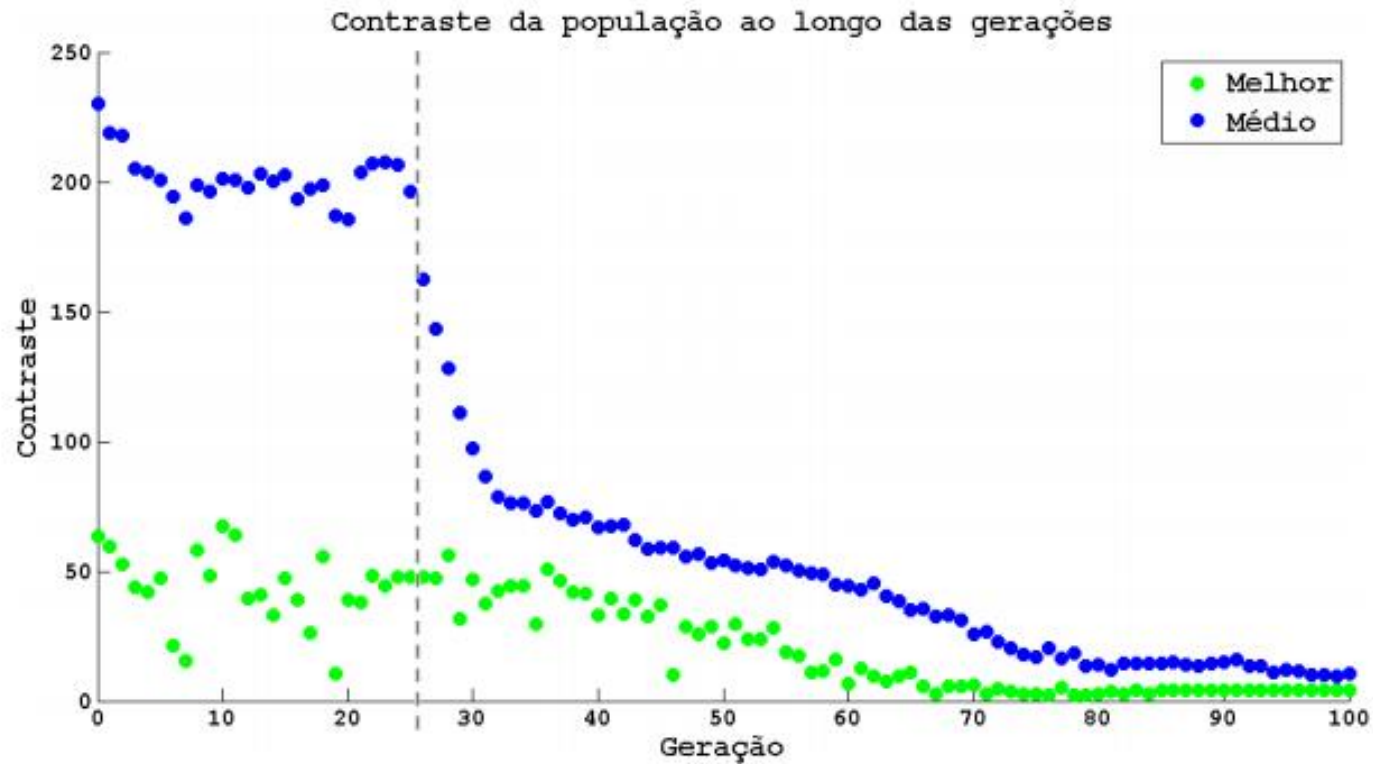


Figura : Evolução da capacidade de camuflagem da população representada através de uma medida de contraste.

Sistema Evolutivo



Figura : Indivíduos amostrados aleatoriamente em diferentes momentos de tempo.

Algoritmos Evolutivos

Analogia entre a dinâmica de sistemas evolutivos e o processo de otimização:

- A **população** de indivíduos representa soluções candidatas para o problema.
- A **pressão evolutiva** é representada por uma função-objetivo a ser minimizada, ou por alguma métrica que permita uma comparação quantitativa do desempenho dos diferentes indivíduos.

Algoritmo Evolutivo Genérico

Algorithm 1: Estrutura Genérica para Algoritmos Evolutivos

Entrada: Tamanho da população (μ), Espaço de busca (\mathcal{X}), Funções objetivo e de restrição ($f(\cdot)$, $\mathbf{g}(\cdot)$, $\mathbf{h}(\cdot)$), Critérios de parada (Q)

Saída: Estimativa(s) da solução ótima (\mathbf{x}^*) na população final.

início

$P^{(0)} \leftarrow$ Inicializar população(μ, \mathcal{X});

$t \leftarrow 0$;

enquanto $\neg Q$ **faça**

$\Phi^{(t)} \leftarrow$ Avaliar($P^{(t)}$, $f(\cdot)$, $\mathbf{g}(\cdot)$, $\mathbf{h}(\cdot)$);

$S^{(t)} \leftarrow$ Selecionar($P^{(t)}$, $\Phi^{(t)}$);

$V^{(t)} \leftarrow$ Modificar($S^{(t)}$);

$P^{(t+1)} \leftarrow$ Atualizar População($P^{(t)}$, $V^{(t)}$);

$t \leftarrow t + 1$;

fim

fim

- Algoritmos Evolutivos implementam as componentes (*Avaliar, Selecionar, Modificar e Atualizar População*) de formas diferentes e, em alguns casos, em momentos diferentes de cada iteração (ou geração).
- No projeto de um Algoritmos Evolutivo deve-se abordar, antes de mais nada, as seguintes questões:
 1. Como **representar** as soluções candidatas?
 2. Como **avaliar** a qualidade (**aptidão**) de uma solução candidata?
 3. Como definir um mecanismo de **selecção**?
 4. Como definir um **operador de variação**?
 5. Como **iniciar/terminar** o processo de otimização?

1. Representação

- soluções candidatas do problema real (**indivíduos**) existem no espaço dos fenótipos (F).
- elas são codificadas em **cromossomos**, que existem no espaço dos genótipos (G).
 - Codificação $F \leftrightarrow G$:
 - no Sistema Evolutivo anterior:

genótipo: alfabeto discreto {A,C,G,T};

R	A	G	C	C
G	T	C	G	A
B	G	A	T	T

fenótipo: intensidade da cor;

53
156
202

No mapeamento entre **F** \rightarrow **G** deve-se garantir que toda solução factível do problema possa ser representada no espaço de genótipos !!!

2. Função de Avaliação (*Aptidão*)

- função de qualidade ou função objetivo.
- atribui uma medida (valor) de qualidade a cada fenótipo/genótipo:
 - Exemplo: se nós desejamos maximizar x^2 a aptidão do genótipo 10010 pode ser definida como o quadrado de seu fenótipo correspondente:
 $18^2 = 324$.
- Em geral, função de aptidão sucinta a idéia de um problema de maximização:
 - Alguns problemas, no entanto, podem ser de minimização.
 - Matematicamente, a conversão entre minimização e maximização é trivial.

$$\max f(x) = \min -f(x)$$

3. Seleção

- seleciona os indivíduos com base na sua qualidade.
 - tanto para reprodução quanto para sobrevivência;

- a seleção é geralmente probabilística:
 - soluções mais qualificadas têm maior probabilidade de se tornarem pais que as menos qualificadas;
 - a probabilidade de seleção das soluções menos qualificadas é menor, porém, não nula !!!

- A natureza estocástica deste processo auxilia a escapar de ótimos locais.

4. Operadores de Variação

- O papel dos operadores de variação é gerar novos indivíduos;
- Eles são normalmente classificados em dois tipos de acordo com o número de entradas:
 - **1 entrada**: operadores de **Mutação**;
 - **mais de 1 entrada**: operadores de **Recombinação**;
 - Se **# de entradas = 2**, então o operador de recombinação é normalmente chamado de **crossover**.
- Existe muita discussão a respeito da importância relativa entre **recombinação** e **mutação**:
 - maior parte dos AEs usam os dois operadores;
 - a escolha do operador de variação é dependente da forma de representação das soluções candidatas;

5. Inicialização e Término

- **Inicialização:**

- em geral, a primeira população é construída a partir de indivíduos gerados aleatoriamente dentro do domínio do problema;
- pode ser guiada através de heurísticas com base em conhecimento prévio do problema;

- **Condições de Término:**

1. Qdo se alcança o *fitness* ótimo (se conhecido);
2. Qdo se alcança o número máximo de gerações;
3. Qdo se alcança um nível mínimo de diversidade;
4. Qdo se alcança um número especificado de gerações sem melhoras de *fitness* (**estagnação**).

Qdo a solução ótima é conhecida, pode-se usar uma disjunção: (1 ou 2; 1 ou 3; etc.)

- **Leitura Recomendada:**

- Capítulos 1 e 2 do Livro:

A.E. EIBEN, J.E. SMITH, Introduction to Evolutionary Computing (Natural Computing Series), Springer.

