

Computação Evolucionária

Prof. Heitor Silvério Lopes

hslopes@utfpr.edu.br
<http://silverio.net.br/heitor>



Algumas áreas de aplicação dos métodos de Computação Evolucionária

Engenharias

- Eletro-eletrônica, controle, civil, mecânica, desenho industrial

Computação

- Mineração de dados, bancos de dados, engenharia de software, robótica, processamento paralelo...

Matemática

- Pesquisa operacional, álgebra, séries temporais

Bioinformática

- Proteômica, genética

Economia

- Econometria, modelagem

Física

- Nuclear, óptica

Artes

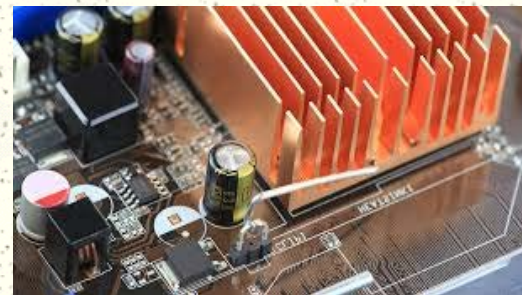
- Música, pintura

Alguns projetos desenvolvidos no CPGEI que eu participei

- Navegação de robôs móveis (Fabro, Calvo)
- Equilíbrio de carga na rede secundária de distribuição (Augusto)
- Projeto de amplificadores e filtros analógicos (Kaminski)
- Projeto e sintonia de filtros digitais /eletrônica evolutiva (André, Daniel)
- Decodificação de códigos corretores de erros para transmissão de dados (Fidelis)
- Projeto de enlaces de redes IP (Yabzinski)
- Posicionamento de ERBs em redes wireless (Talau)
- Locação otimizada de equipes de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica (Bobel)
- Planejamento da locação de subestações de distribuição (Geraldo)
- Otimização do envio de produtos por poliduto (Jonas)
- Cinemática inversa de manipuladores robóticos (Munif)
- Identificação de processos petroquímicos (Evangelista)
- Otimização de corte na indústria de embalagens (Selow)
- Otimização da linha de produção de veículos (Solivan, Malinowski)
- Identificação de sistemas / modelagem de séries temporais (Wagner)
- Problema do empacotamento múltiplo (Fernanda, Jonas)
- Roteamento múltiplo de veículos (Dalle Molle)
- Mineração de dados para diagnóstico clínico (Célia, Parpinelli, Noda)
- Reconhecimento de padrões em imagens de raios-X (Felizberto)
- Alinhamento de sequências de proteínas (Moritz)
- Dobramento de proteínas (Scapin, Perretto, Bitello, Betito, Benitez, Parpinelli, Marlon)
- Criação de árvores filogenéticas (Perretto)
- Busca e reconhecimento de *motifs* para classificação de proteínas (Denise)
- Indução de autômatos celulares e linguagens formais livres de contexto (Ernesto)
- Registro de imagens/reconhecimento de objetos/faces em imagens (Rafael, Chidambaram, Hugo, Manassés)
- Otimização de estruturas mecânicas (Rafael, Marlon)
- Otimização do roteamento dinâmico em redes veiculares (Rodrigo)
- Inferência de redes gênicas (Leandro)
- não tem mais espaço....

Aplicações em Engenharia Eletro-Eletrônica

- # Alocação de canais em sistemas de comunicações
- # Planejamento de sistemas de comunicação
- # Roteamento dinâmico em redes de computadores
- # Planejamento de redes WLAN
- # Projeto de circuitos eletrônicos
- # Projeto de fiação impressa
- # Projeto de antenas especiais
- # Planejamento, previsão e despacho de carga
- # Despacho econômico de carga
- # Otimização de sistemas elétricos de potência



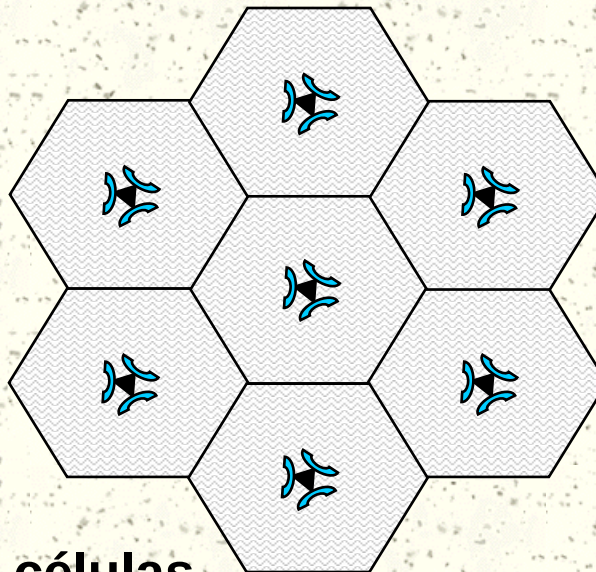
Alocação de canais em sistemas de comunicações

Frequency Assignment Problem

- Problema NP-completo
- Restrições:
 - número limitado canais disponíveis no espectro
 - tráfego dinâmico / número mínimo de canais por célula
 - interferências mínimas inter-células e intra-célula



ERB



células



assinante

Planejamento de sistemas de comunicação

Instalação de rede física

- Cabos ópticos ou fios
- Problema de Steiner

Planejamento:

- ↓ custos
- ↑ desempenho
- Demanda futura

Restrições:

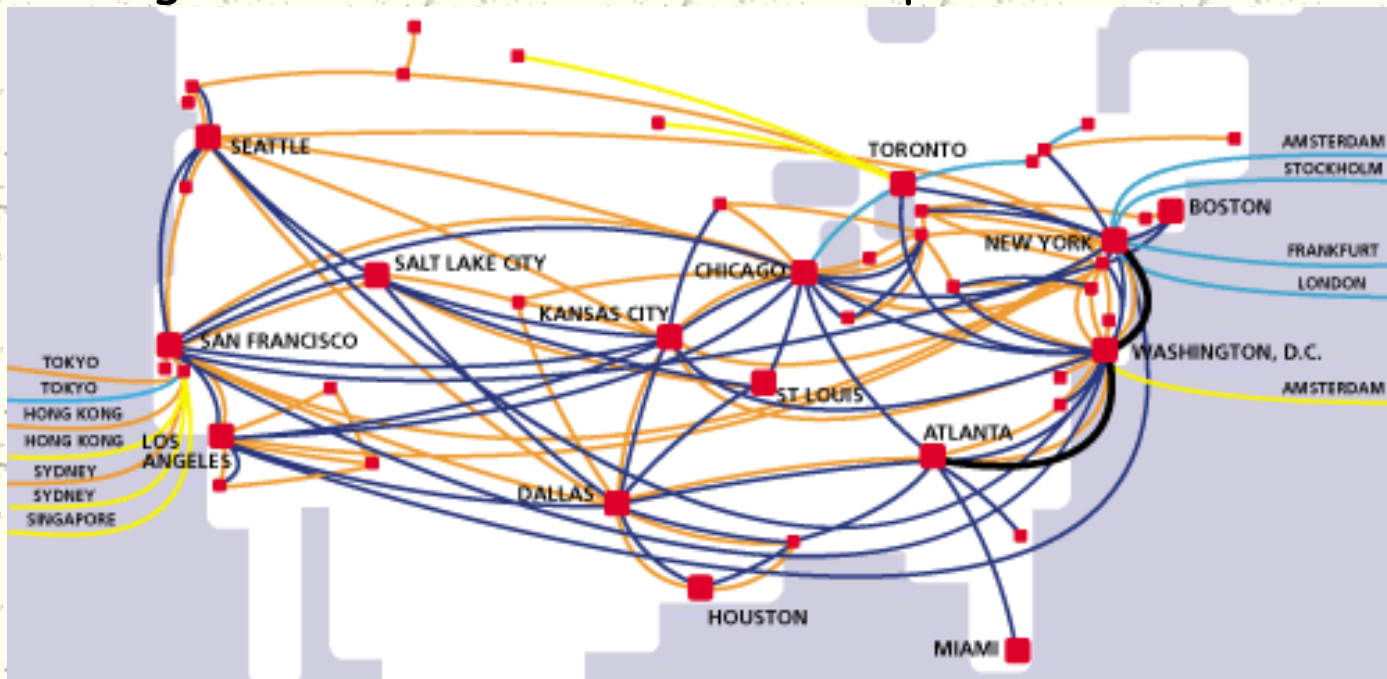
- Comprimento, derivações, atenuação
- Infra-estrutura existente, acesso, custo
- Localização geográfica dos pontos de acesso e demanda de serviços



Roteamento dinâmico em redes WAN - *Wide-Area Networks*

✦ WANs:

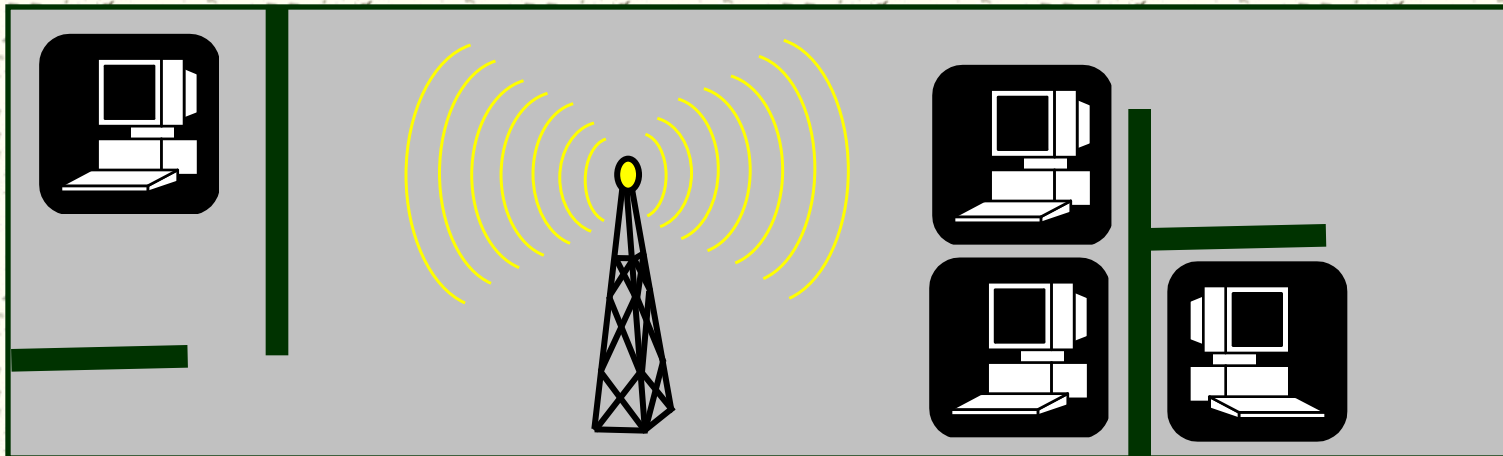
- Altamente interconectadas (PIRs, NAPs)
- Alta confiabilidade; redundância
- Tráfego flutuante; decisões em tempo-real



Planejamento de redes WLAN

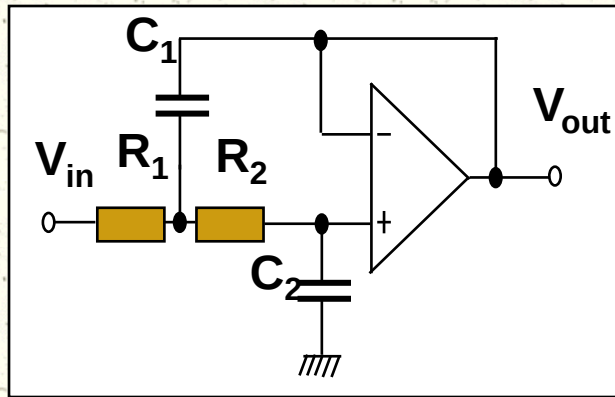
Wireless LAN:

- Substitui o cabeamento físico
- Ambientes industriais; estações móveis...
- Problema: posicionamento das ERBs
- Fatores de projeto:
 - Localização física, densidade de tráfego, propagação do sinal (atenuação e interferências)
- Conjunto de Pareto (multiobjetivos)



Projeto de circuitos eletrônicos

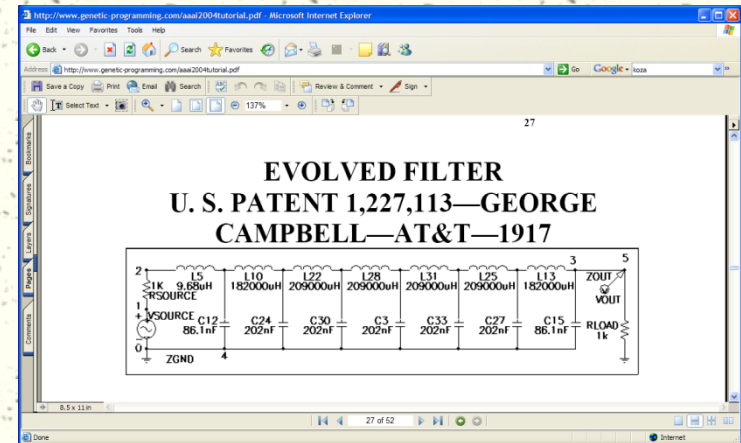
- ✦ Projeto eletrônico:
 - Busca de um conjunto de valores de componentes eletrônicos discretos que compõem um circuito
- ✦ Otimização multiobjetivo:
 - Resposta em frequência, ganho, distorção harmônica, temporização, etc...
- ✦ AG acoplado a um simulador de circuitos
- ✦ Modificação dos valores e da estrutura:
 - Programação Genética



Projeto de circuitos eletrônicos

✦ Programação Genética:

- Muita "força-bruta", pouca inteligência especializada (minha opinião)
- Foram obtidas várias patentes com este método
- Muitos circuitos conhecidos foram "reinventados"

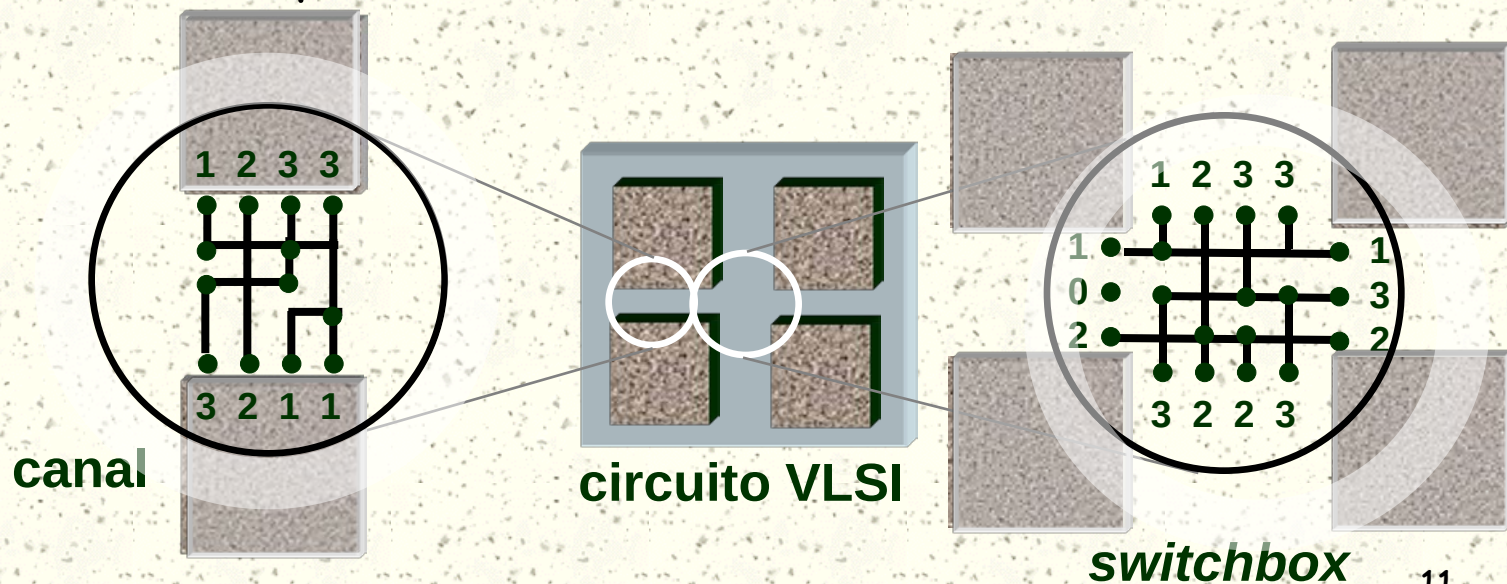


2 PATENTABLE INVENTIONS CREATED BY GENETIC PROGRAMMING

	Claimed invention	Date of patent application	Inventors
1	Improved general-purpose tuning rules for a PID controller	July 12, 2002	Martin A. Keane, John R. Koza, and Matthew J. Streeter
2	Improved general-purpose non-PID	July 12, 2002	Martin A. Keane, John R. Koza, and Matthew J. Streeter

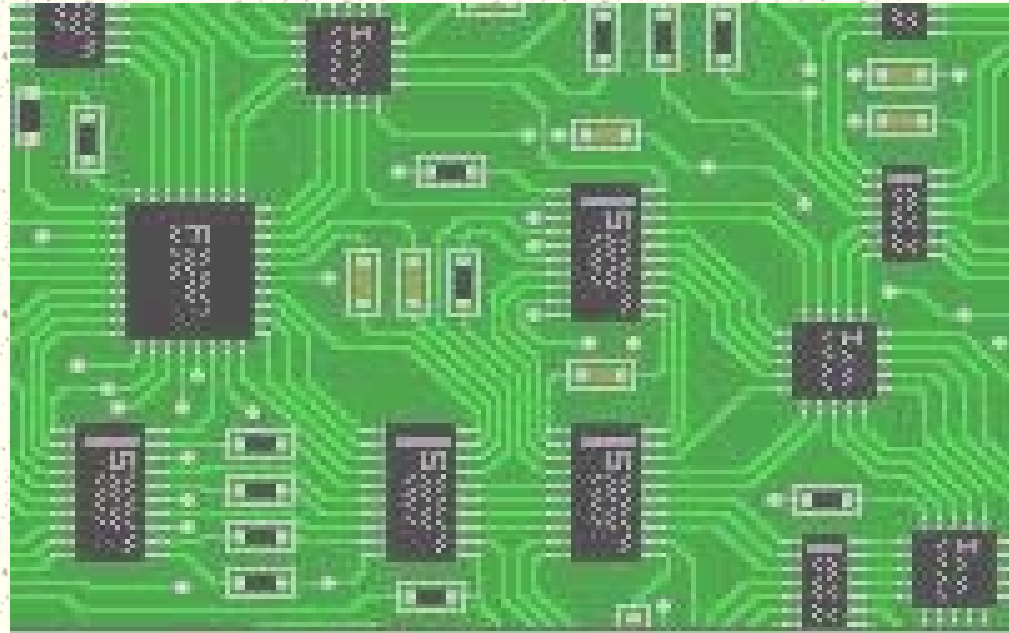
Projeto de circuitos integrados

- # VLSI - *very large scale integration*
 - *Softwares e workstations* de alto custo
- # Restrições:
 - Elétricas: *Crosstalk* entre trilhas, tempo de atraso
 - Físicas: comprimento de rotas, número de vias e camadas



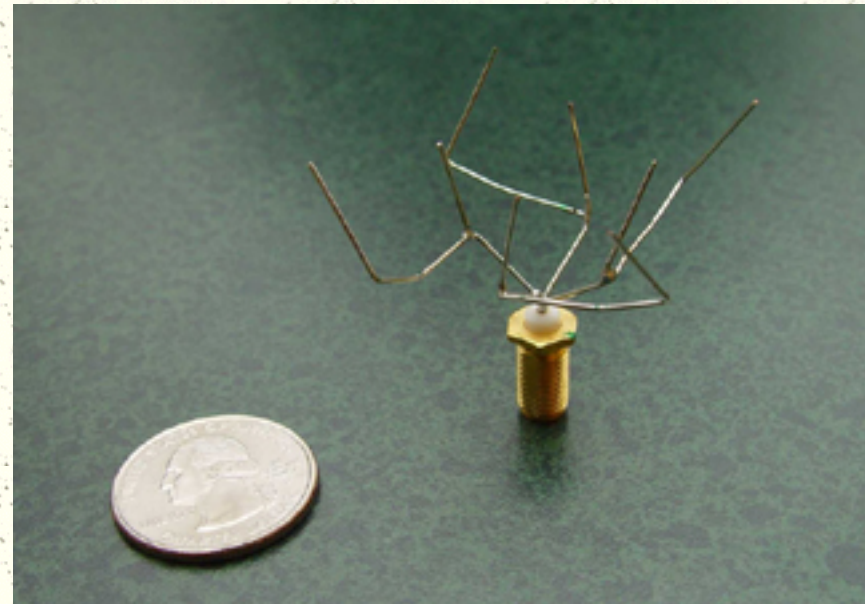
Projeto de fiação impressa

- # Semelhante ao projeto de VLSI
 - Demanda processamento intensivo e *software* específico
- # Tem muitos graus de liberdade
 - Várias camadas, vários caminhos entre pinos
 - Busca-se soluções satisfatórias e não ótimas
- # Fatores
 - Estéticos
 - Elétricos



Projeto de antenas especiais

- # Projeto da NASA com *evolvable hardware*
- # A antena funciona melhor do que aquela projetada por engenheiros
- # Ninguém entende completamente por que funciona



<http://ic.arc.nasa.gov/projects/esg/research/antenna.htm>

Planejamento, previsão e despacho de carga

✦ Planejamento:

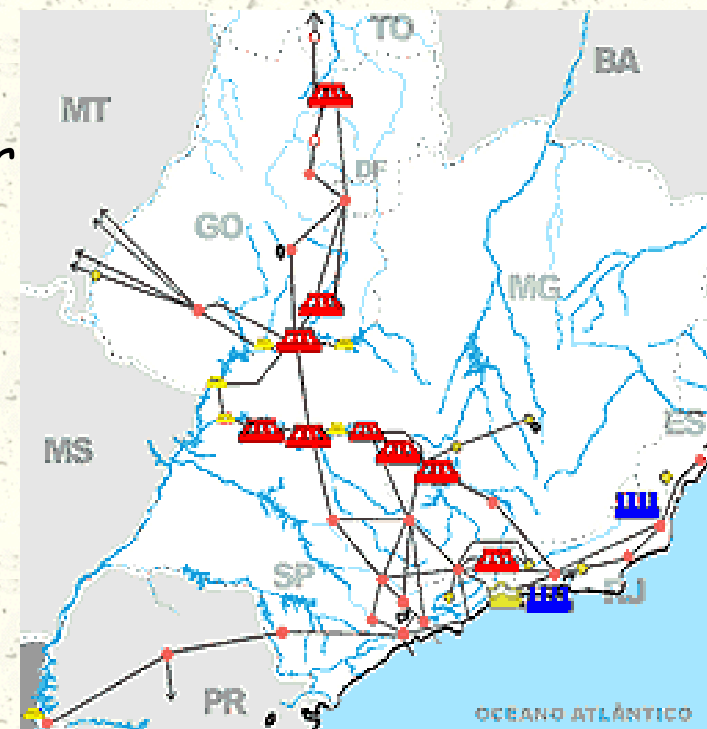
- Estruturar o crescimento da oferta de energia elétrica para o futuro (longo prazo)
- AGs com abordagem determinística

✦ Previsão:

- Estimativa antecipada da energia a ser consumida numa região (curto prazo)

✦ Despacho de carga:

- Execução da previsão de carga
- Problema dinâmico



Despacho econômico de carga

- # Problema dinâmico:
 - A demanda flutua com o horário do dia, dia da semana, mês do ano, etc...
- # Limitações:
 - Capacidade instalada de geração e de transmissão
- # Variáveis adicionais:
 - Compra e venda de energia entre concessionárias
 - Variações climáticas inesperadas
 - Manutenção / desligamentos planejados
- # Objetivo final:
 - Satisfazer a demanda com operação segura e perdas mínimas.

Otimização de sistemas elétricos de potência

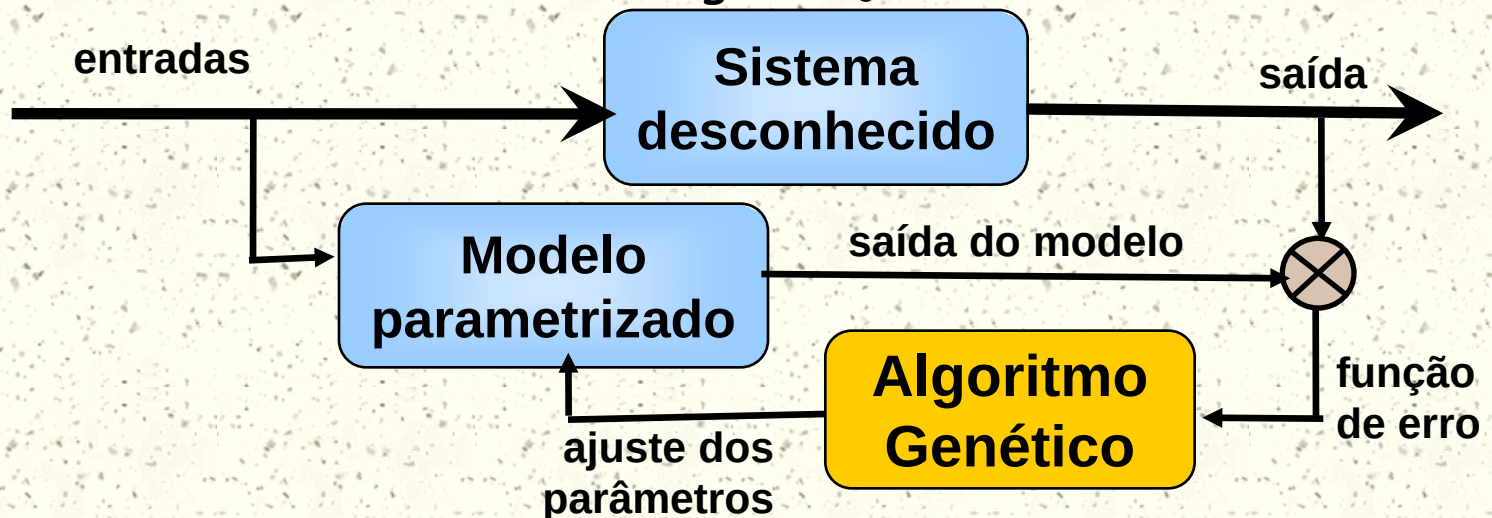
- # Comissionamento de turbinas
 - Subproblema do despacho de carga
- # Planejamento da manutenção
 - Manutenção programada de linhas de transmissão e de unidades de geração
- # Localização otimizada de equipamentos
 - Seccionadores, subestações, relés de proteção...
- # Planejamento de redes de distribuição
 - Em baixa e alta tensão
- # Otimização da potência reativa

Identificação de sistemas

Identificação:

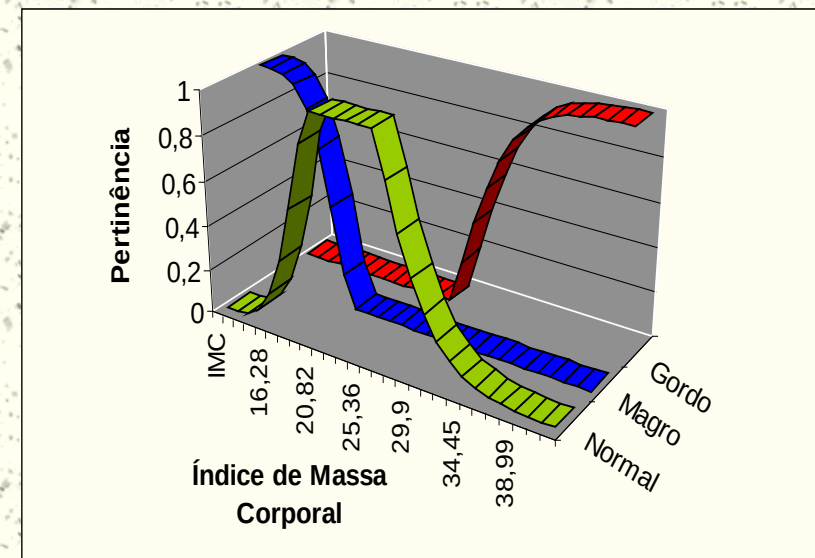
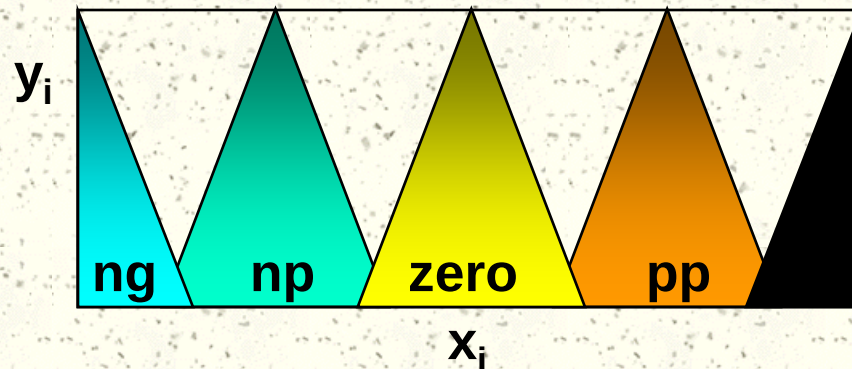
- A partir de um modelo conhecido e de um conjunto de entradas/saídas, identificar os parâmetros do modelo
- Extensa aplicação em engenharia de controle
- Particularmente interessante para sistemas não-lineares e caóticos, contínuos ou discretos

Modelo desconhecido: Programação Genética



Otimização de sistemas *fuzzy*

- # Sistemas de controle fuzzy (FLC)
 - Conjunto de variáveis do problema (n)
 - Conjunto de funções de pertinência (m)
 - Dimensão da base de regras: m^n
 - Ajuste empírico
- # AGs para otimização da:
 - Forma e número de FPs
 - Base de regras
 - De ambos



Planejamento de trajetórias para manipuladores robóticos

Manipuladores

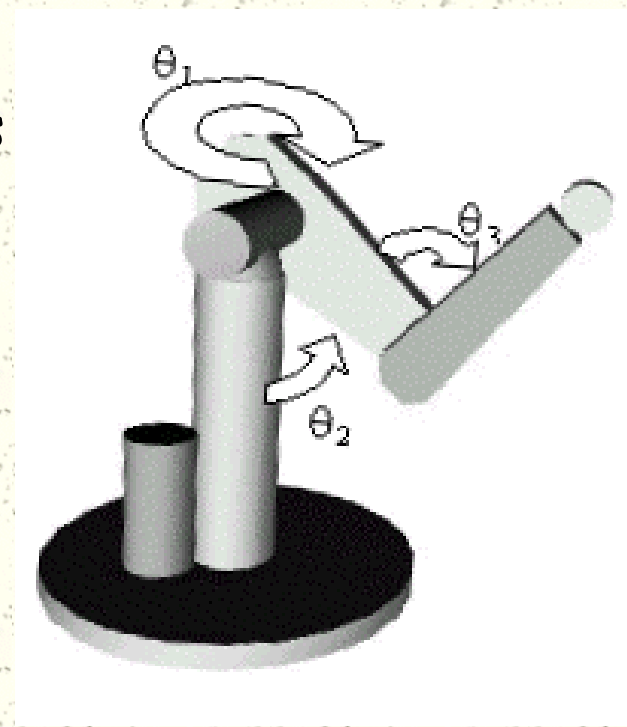
- Redundantes e não-redundantes
- Cinemática direta / inversa

Cinemática inversa:

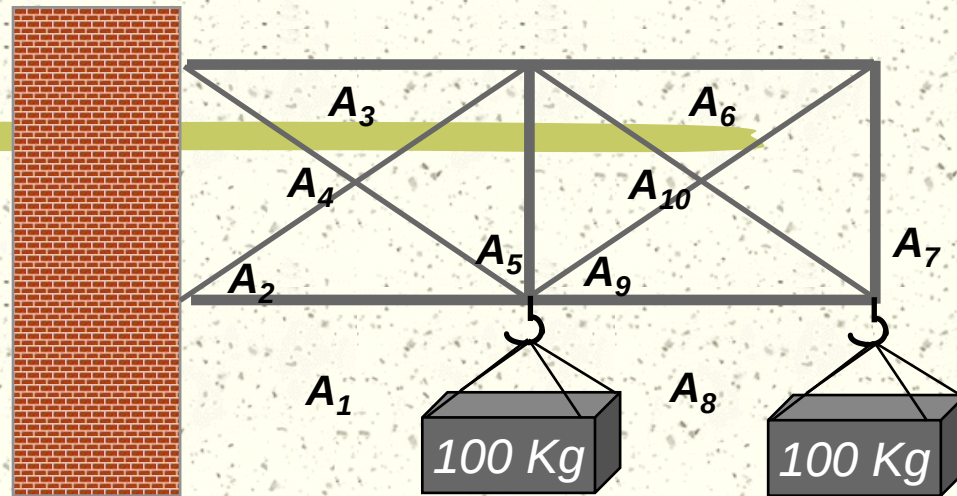
- Dada uma posição e orientação do efetuador, calcular os ângulos das juntas
- Soluções: 0, 1, muitas ou ∞
- Envolve funções não-lineares

Para trajetórias:

- AGs otimizam ponto-a-ponto num ambiente dinâmico



Eng.Civil: otimização estrutural



objetivo:

- minimizar o custo do material utilizado, minimizando a seção transversal de cada parte da treliça
- restrição: limites de segurança

codificação:

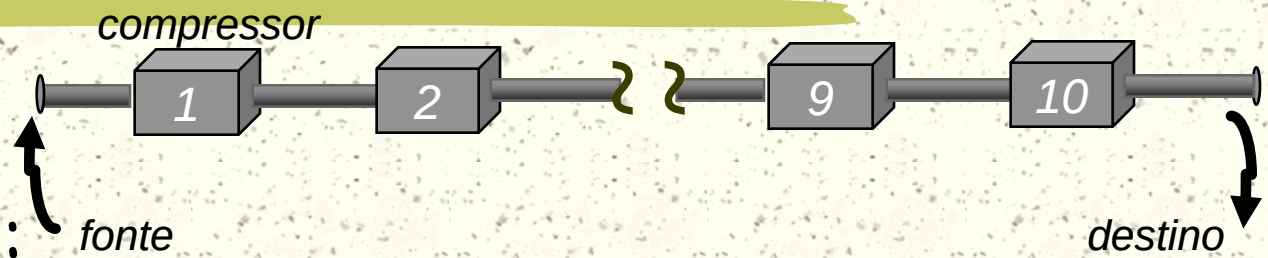
- binário, 4 bits/variável, valores discretos (bitolas comerciais) - espaço de busca: $2^{40} \approx 10^{12}$

resultados:

- pop=200, ger=40 : 8000 avaliações
- desvio de 1% do ótimo conhecido

Otimização de linha de distribuição de gás

Goldberg (1983)



objetivo:

- minimizar a potência necessária para satisfazer a demanda de pressão de gás nas tubulações
- restrição: $P_{\max}$ e $P_{\min}$ por tubulação
- variável controlada: elevação de pressão através de cada compressor

codificação:

- binário, 4 bits/variável
- espaço de busca: $2^{40} \approx 10^{12}$

resultados:

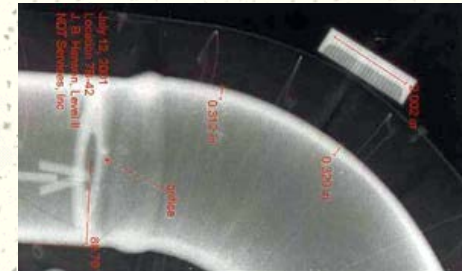
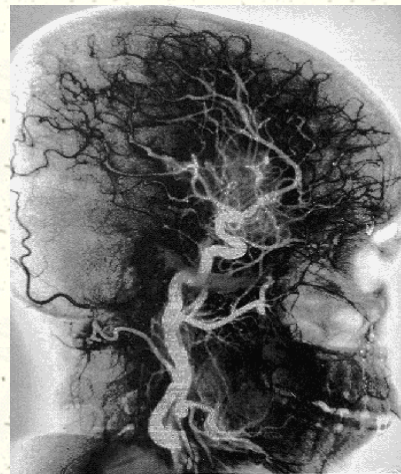
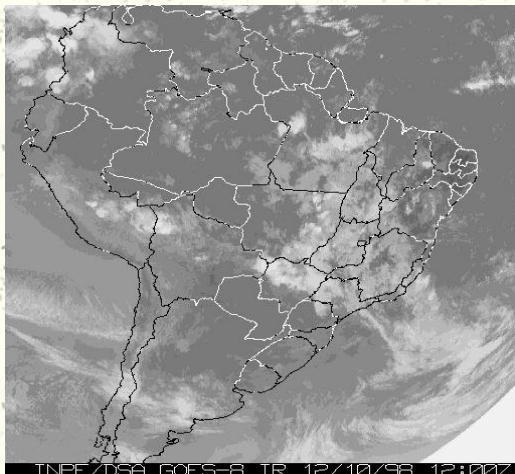
- pop=50, ger=60 : 3000 avaliações
- erro menor que 2% do ótimo

Aplicações em Computação

- Registro de imagens, *template matching*
- Segmentação adaptativa de imagens
- Identificação interativa de imagens
- Validação de sistemas baseados em regras
- Otimização de sistemas especialistas
- Otimização de sistema de segmentação de imagens

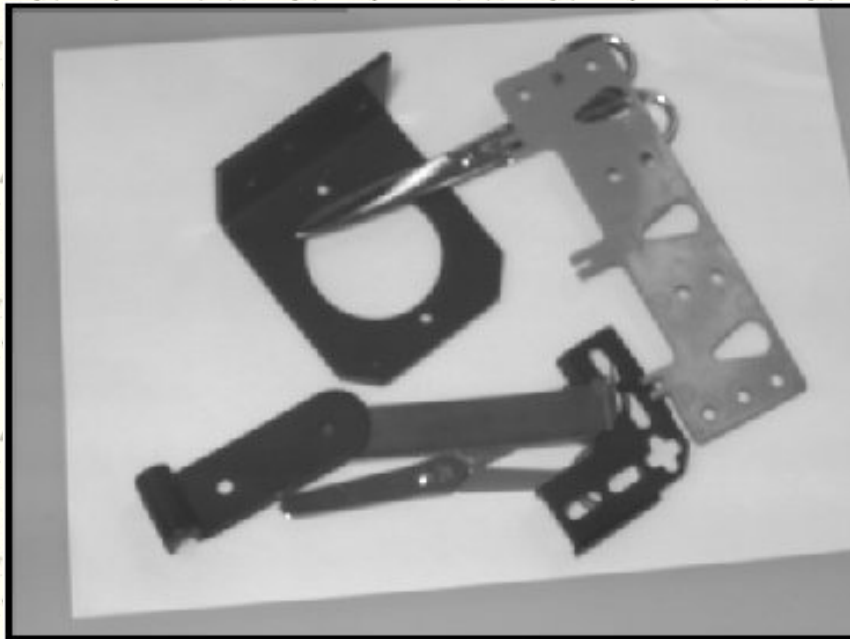
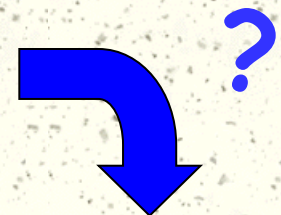
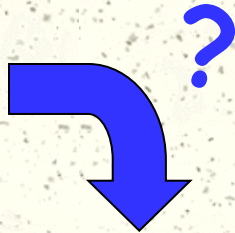
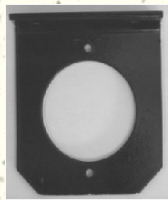
Registro de imagens

- Encontrar um mapeamento bilinear para transformar as coordenadas de uma imagem alinhando com outra
- Aplicação em angiografia por subtração digital (DAS)
- AG busca os coeficientes da transformação para minimizar a diferença entre imagens
- Aplicação em outros tipos de imagens:
 - imagens de satélites, radiografias, assinaturas, inspeção de tubos



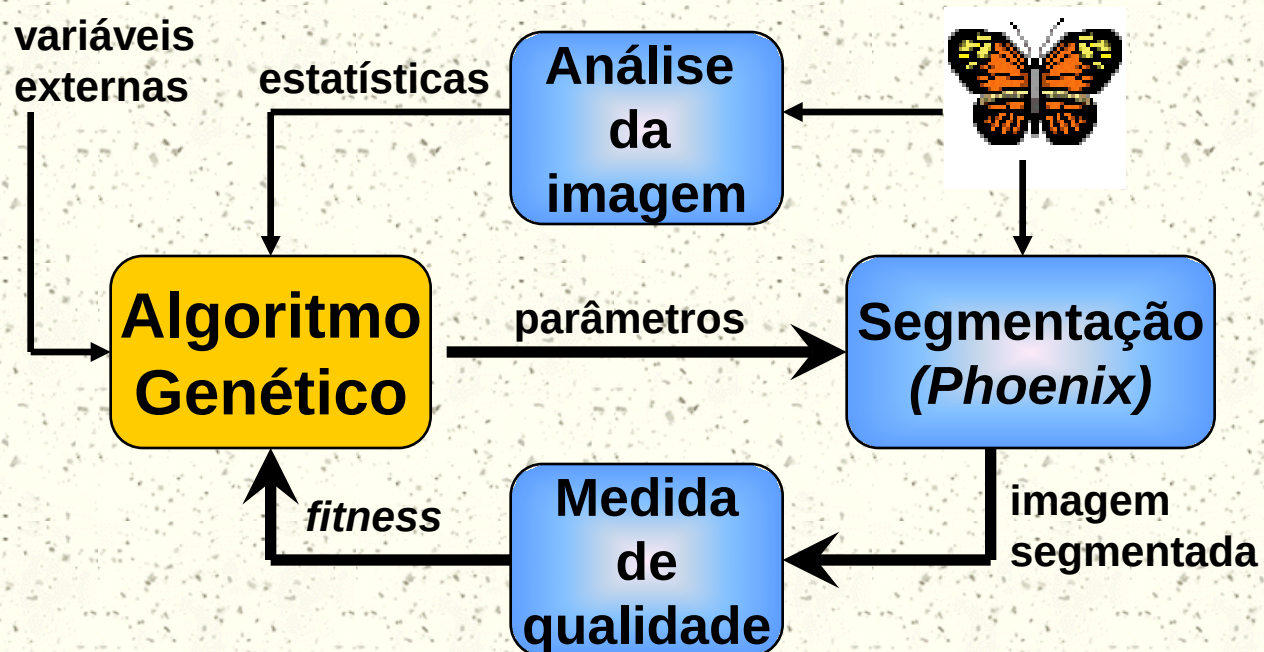
Identificação de objetos em imagens (*template matching*)

É uma extensão do registro de imagens



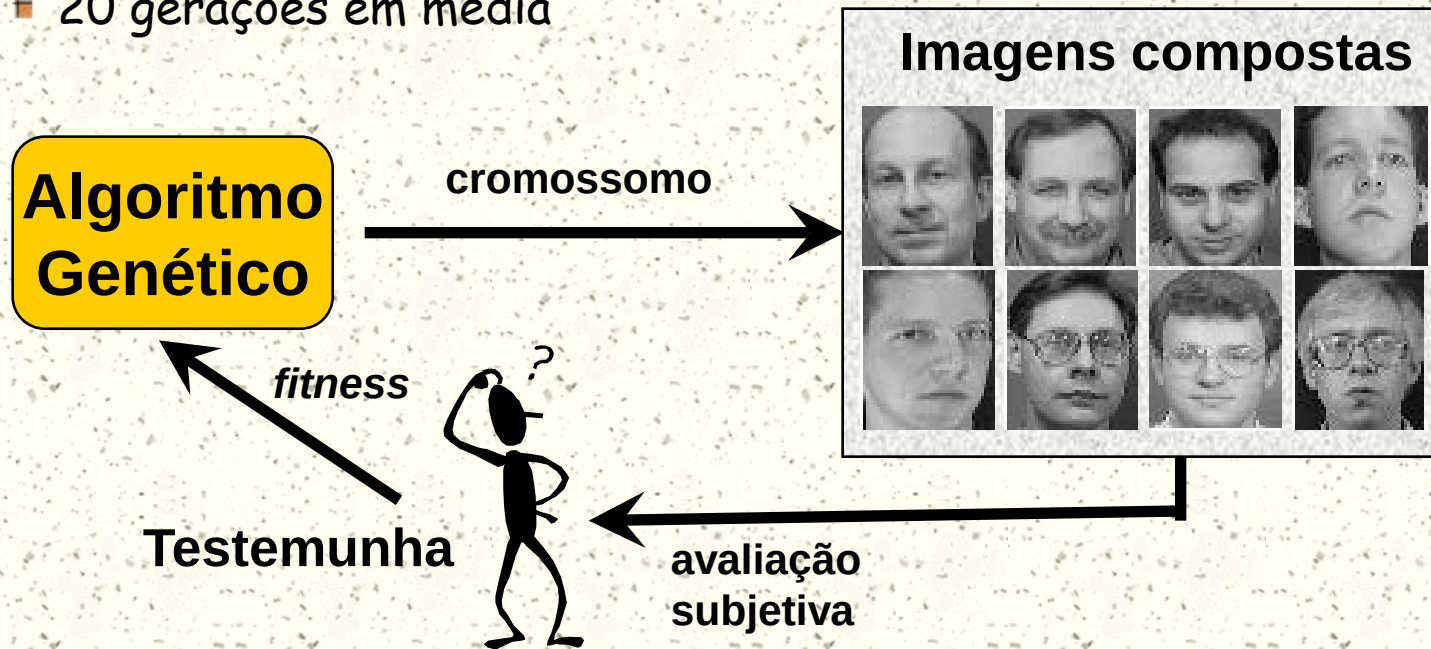
Segmentação adaptativa de imagens

- Aplicação em visão computacional e reconhecimento de imagens em tempo-real
- *Fitness*: função ponderada de 5 medidas tradicionais de qualidade da segmentação:
 - ✦ Coincidência *edge-border*, Consistência limítrofe, Classificação de pixels, Sobreposição de objetos, Contraste de objetos



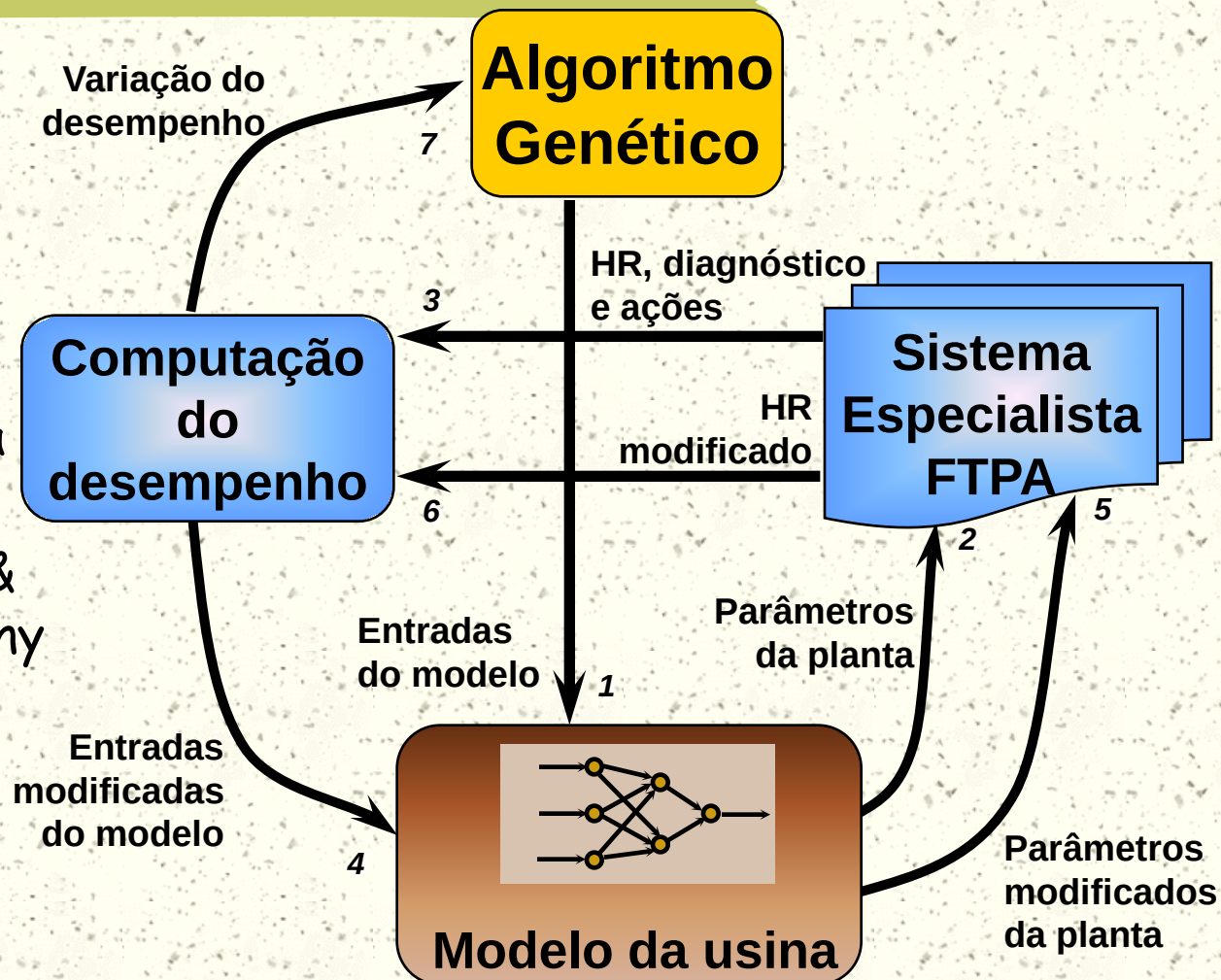
Identificação interativa de imagens faciais

- Técnicas tradicionais de "retrato falado" (Photofit)
 - 5 grupos de características faciais
 - >15 bilhões de combinações
- GA:
 - Pop. Inicial: 20 imagens aleatórias → Espaço de busca: >34 bilhões
 - *Fitness*: estimativa subjetiva de semelhança por uma testemunha
 - 20 gerações em média



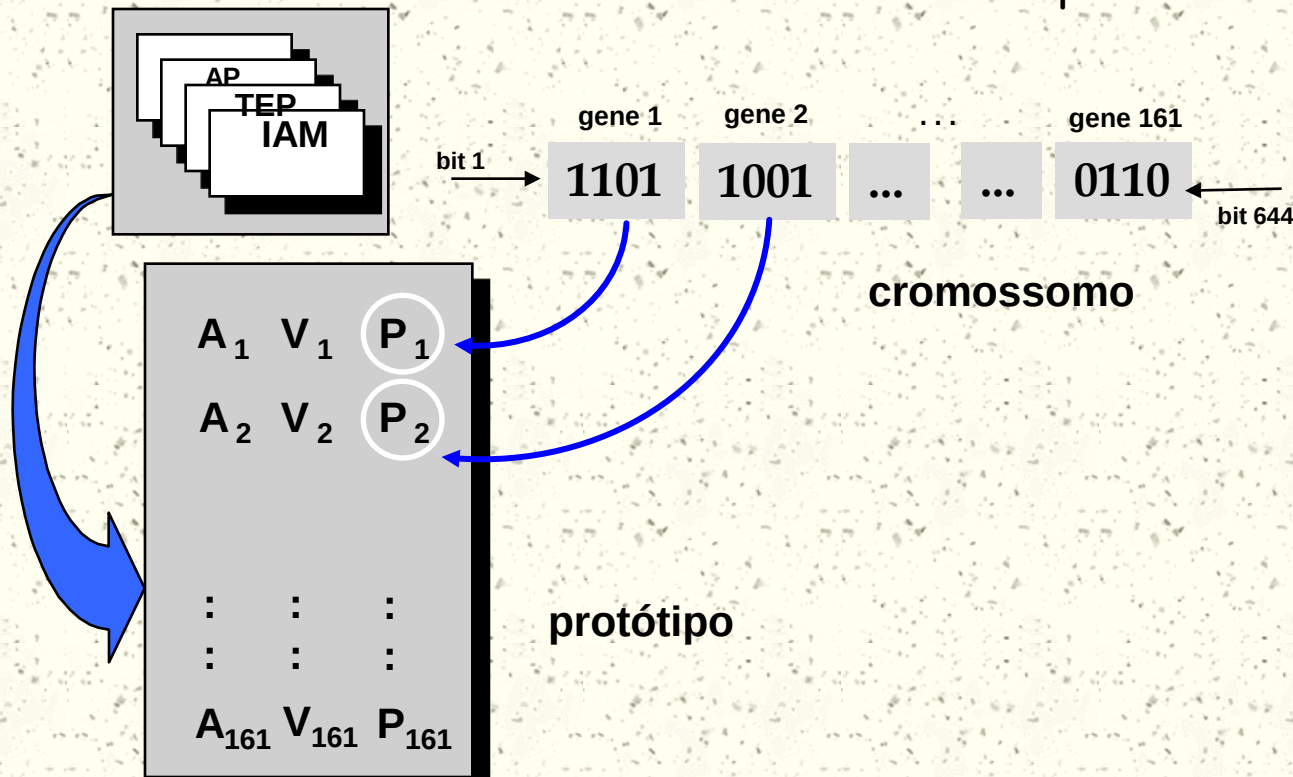
Validação de Sistemas Baseados em Regras

- ✦ Sistema Especialista FTPA
- ✦ monitora a operação de usina termoeletrica a carvão
- ✦ New York Gas & Electric Company
- ✦ Simula o "advogado do diabo"



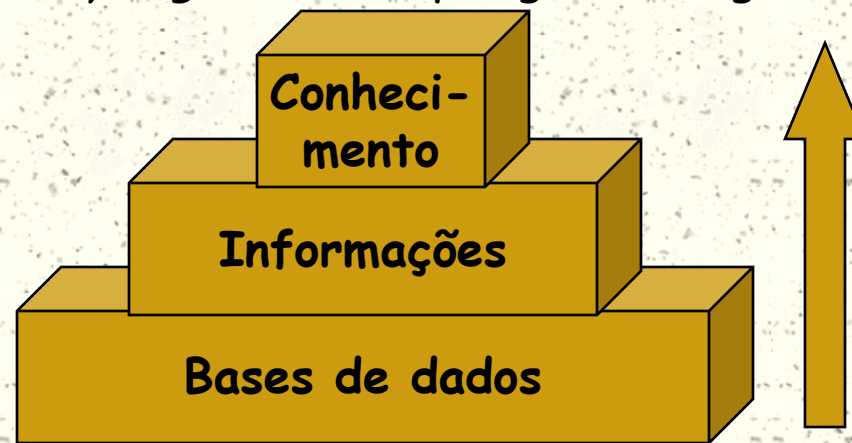
Otimização de sistema especialista baseado em analogia (DoToR)

- Raciocínio por analogia
 - Analogia superficial com protótipos
 - Aplicação em diagnóstico clínico de dor torácica (12 doenças)
- Dimensionalidade
 - 161 variáveis x 4 bits $2^{161 \times 4} = 2^{644} \approx 10^{194}$ para cada doença



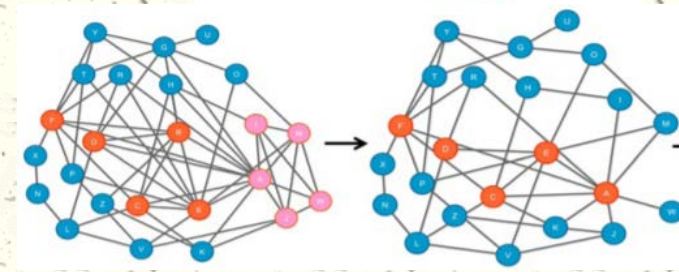
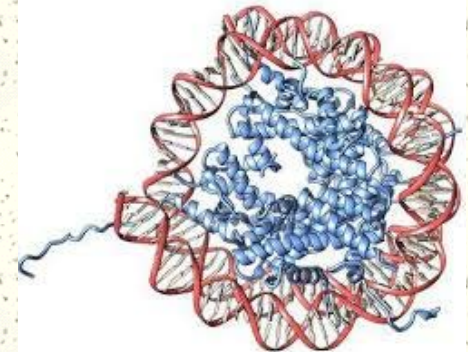
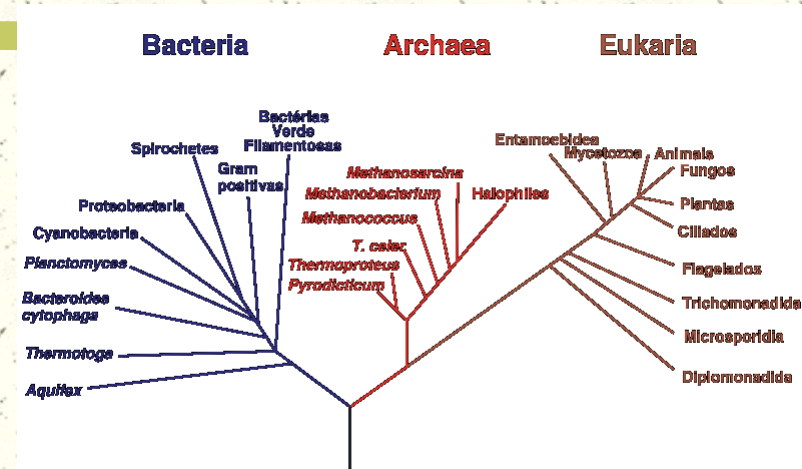
Aplicações de CE em *Data Mining*

- Predição: classificação e previsão de séries temporais
- Descoberta de regras (*fuzzy* ou não) para diagnóstico clínico
- Seleção de atributos relevantes e ponderação
- Segmentação de dados / agrupamentos
- Regras de associação
- Sumarização & visualização
- Ver: A.A.Freitas - *Data Mining and Knowledge Discovery with Evolutionary Algorithms*. Springer-Verlag, 2002.



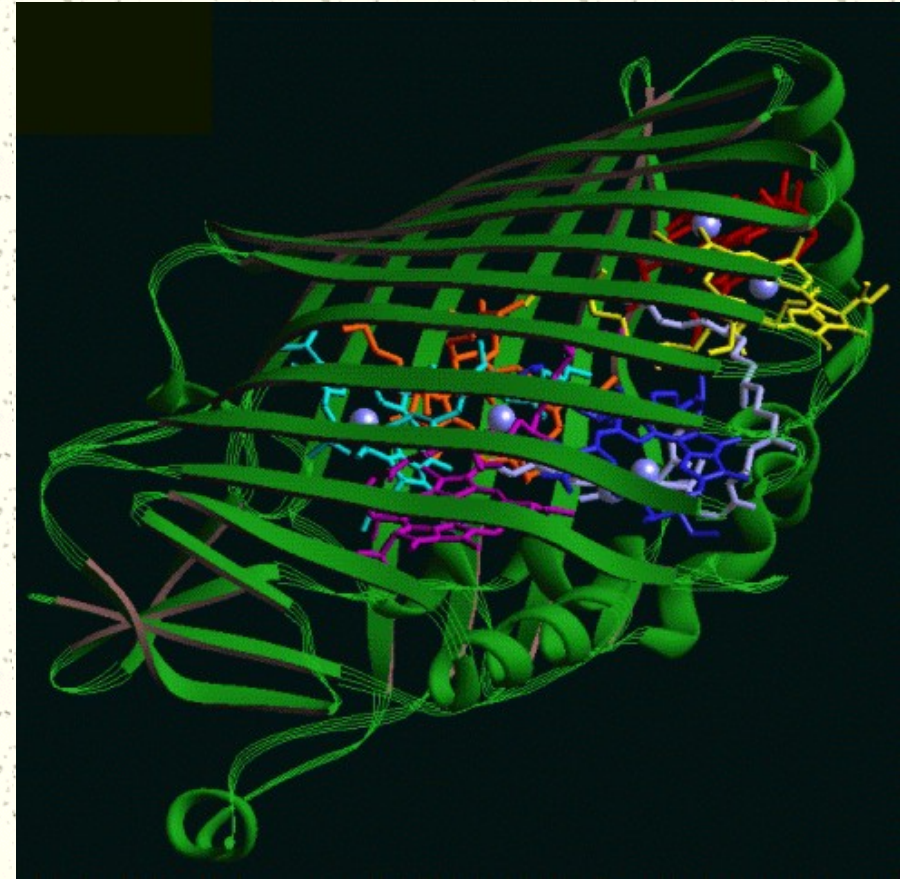
Aplicações em Bioinformática

- # Determinação da estrutura de proteínas: estrutura 3D ou com modelos treliça
- # Busca de *motifs* para a identificação de famílias de proteínas
- # Busca de genes e sinais em sequências de DNA
- # Remontagem de fragmentos de DNA
- # Construção de árvores filogenéticas
- # Descoberta de interações entre proteínas
- # Inferência de redes gênicas



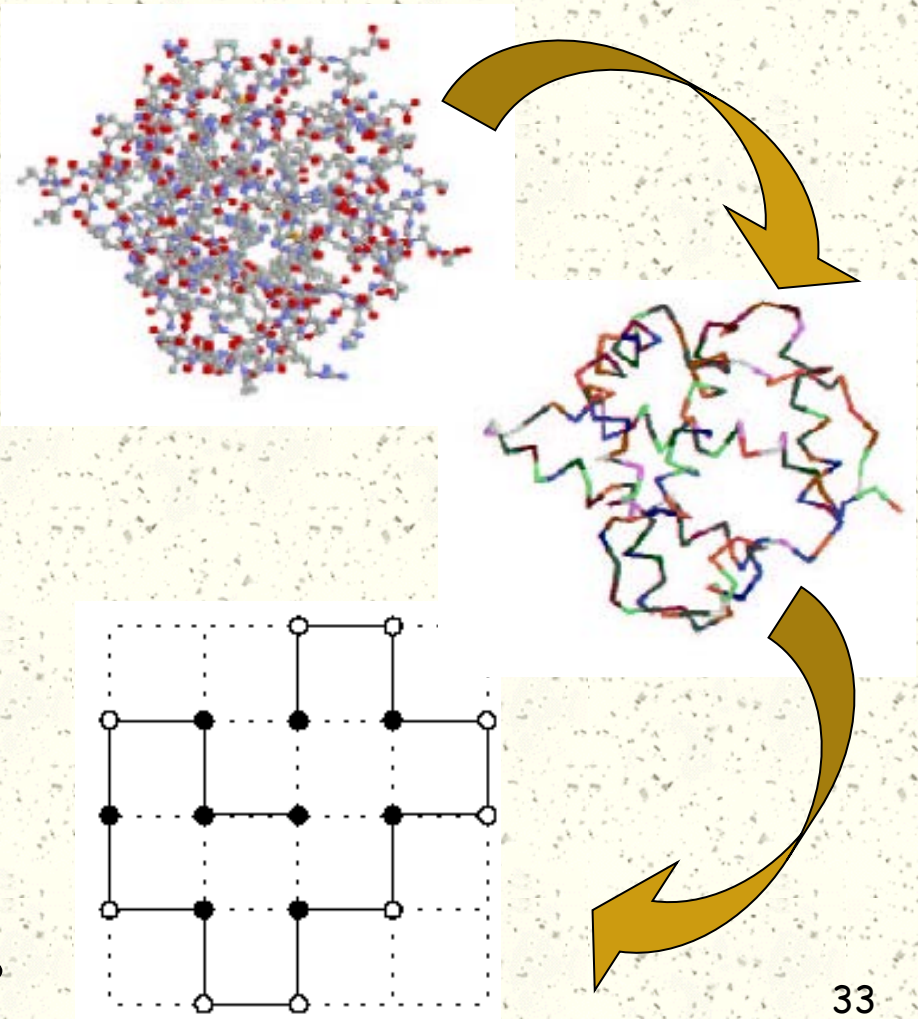
Dobramento de proteínas

- # Proteínas são essenciais para a vida e são formadas por cadeias de aminoácidos
- # Após a síntese, dobram-se numa forma tridimensional única que dá a sua funcionalidade
- # O problema da predição da estrutura de proteínas (PSP) é de suma importância para a Biologia/Bioinformática



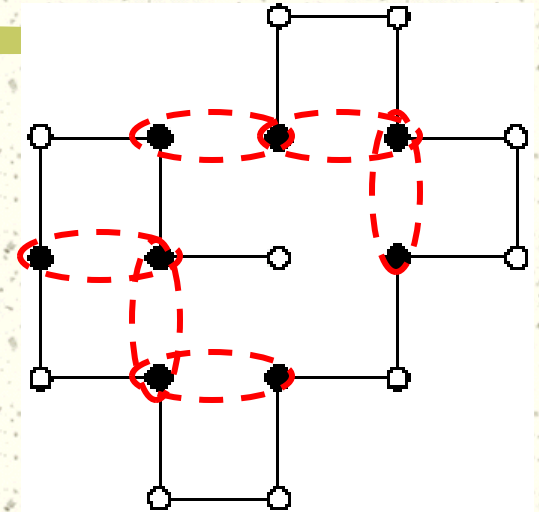
Dobramento de proteínas

- # A busca exaustiva do espaço conformacional é impossível
- # Utiliza-se modelos ultra-simplificados de treliças 2D e 3D
- # O modelo 2D-HP é o mais usual, mas a sua complexidade é **NP-complete**
- # Há outros modelos simplificados. P.ex. AB

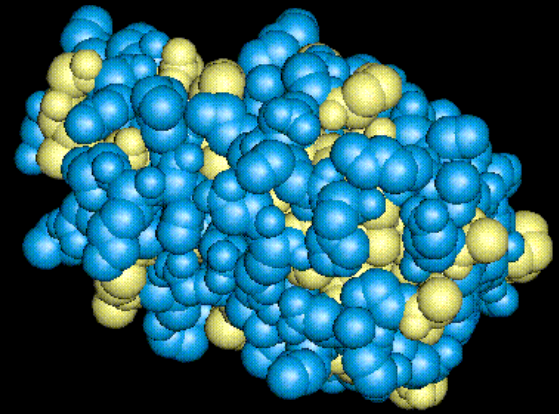


Dobramento de proteínas

- ✦ A conformação nativa é a de mínima energia:
- ✦ A energia livre é inversamente proporcional ao número de ligações hidrofóbicas não-locais (contatos H-H)
 - Resíduos Hidrofóbicos (**H**) formam o núcleo da molécula
 - Resíduos Hidrofílicos (**P**) formam a interface com o ambiente

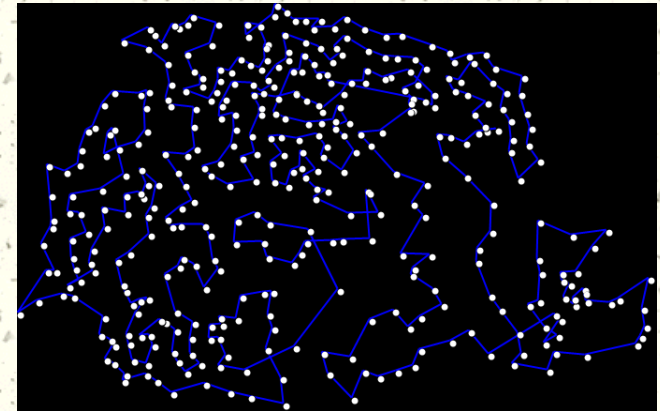
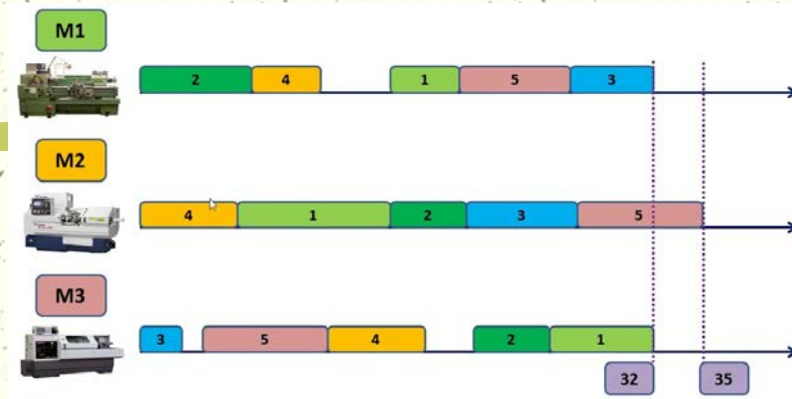


● *Hydrophobic Residues*
● *Hydrophilic Residues*



Aplicações em Pesquisa Operacional

- # Problema do empacotamento 1D, 2D, 3D...
- # Balanceamento de linhas de produção (*job shop/ flow shop*).
- # Alocação de recursos/pessoas (*timetable/crew problems*).
- # Problemas de percurso mínimo e de transporte (logística).
- # Seleção de *portfolios*.
- # Problemas de programação linear, inteira, estocástica...
- # Problemas de locação de facilidades



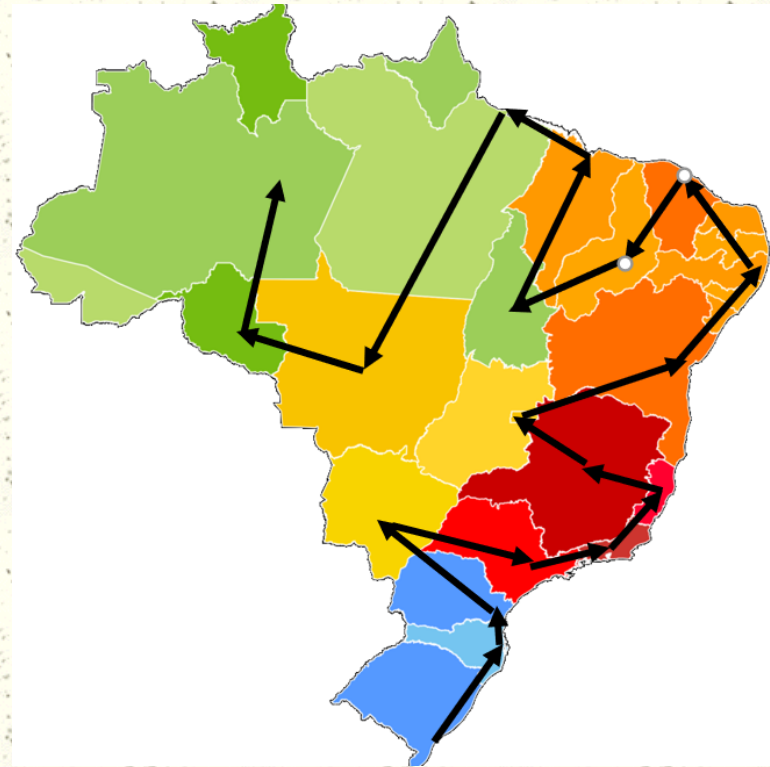
Problema da "Mochila"

- Também conhecido como problema de empacotamento.
 - Dados n objetos que podem ser colocados num recipiente (mochila, caixa, container...), onde cada um tem uma **limitação dimensional** (peso, volume, área...) e uma **utilidade** (valor, lucro...); deve-se escolher quais serão colocados no recipiente, dentro de suas limitações (volume, área, capacidade...) de modo que o somatório das utilidades seja máximo.
 - Dimensionalidade:
 - 1D: corte de barras metálicas / canos, etc
 - 2D: corte de chapas, embalagens, tecidos, etc
 - 3D: carregamento de container, depósito, etc



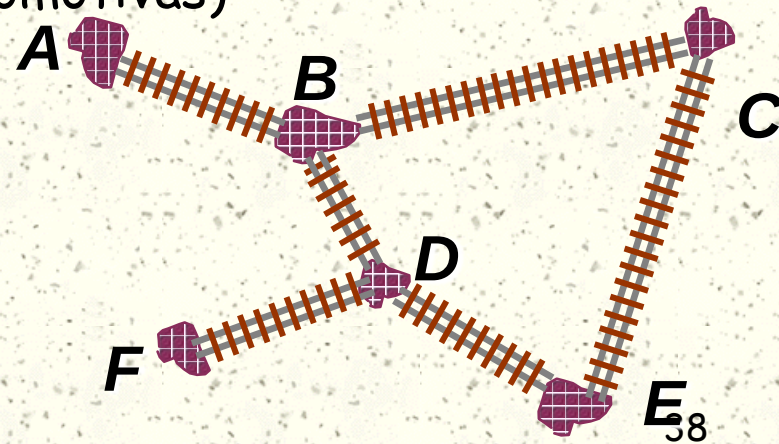
Problema do caixeiro viajante (TSP)

- # Dados um conjunto de locais ligados por caminhos, onde cada um tem um custo (distância, tempo...), achar a rota que liga todos os locais, passando uma única vez por cada um, de modo que o custo total seja mínimo.
- # Restrições: otimizar o "custo" associado a cada trecho, pontos de "reabastecimento", tempos mínimos
- # Detalhes:
 - representação literal, binária, por percurso, por borda
 - operadores especiais (*crossover*!)
 - muitas variações



Problemas de transporte generalizado

- Multiplicidade de origens, destinos, rotas, tráfego, etc... leva a problemas multiobjetivos (MO)
- Distribuição e transporte de produtos e pessoas
- *Scheduling* de frota e pessoal
- Exemplo: transporte ferroviário
 - min. a distância percorrida
 - min. tempos de manobra e espera
 - min. recursos físicos (vagões, locomotivas)
 - min. tempo de entrega e trânsito
 - max. num. de cidades servidas



Alocação de pessoal (*Crew scheduling*)

✦ Problema:

- Escala de plantão médico mensal para a maternidade do HU/UFSC (24 horas por dia) com 12 médicos e turnos de tamanho variável

✦ Restrições:

- Restrições gerais: carga horária, turno, feriados, finais de semana, horas consecutivas.
- Restrições individuais: períodos, número de horas, horários fixos, carga total. Exemplo: Médico "Fulano de Tal":
 - ✦ Máximo de 32 h em finais de semana
 - ✦ Máximo de 12 h de plantão noturno
 - ✦ Só pode 2ª, 4ª e 6ª à tarde

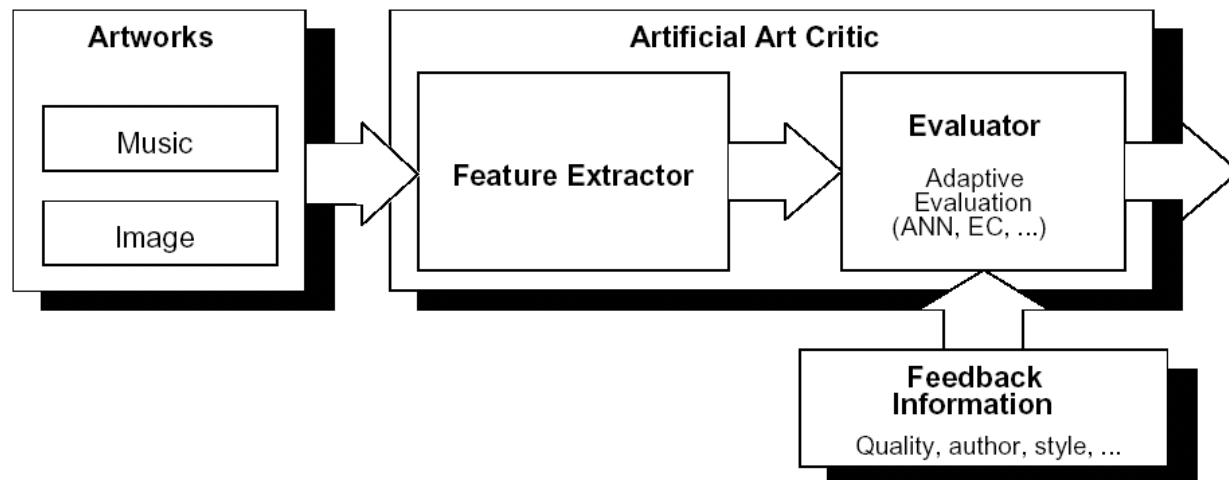
✦ Resultados satisfatórios:

- Fácil adaptação para as variações mensais
- Solução independente de fatores humanos

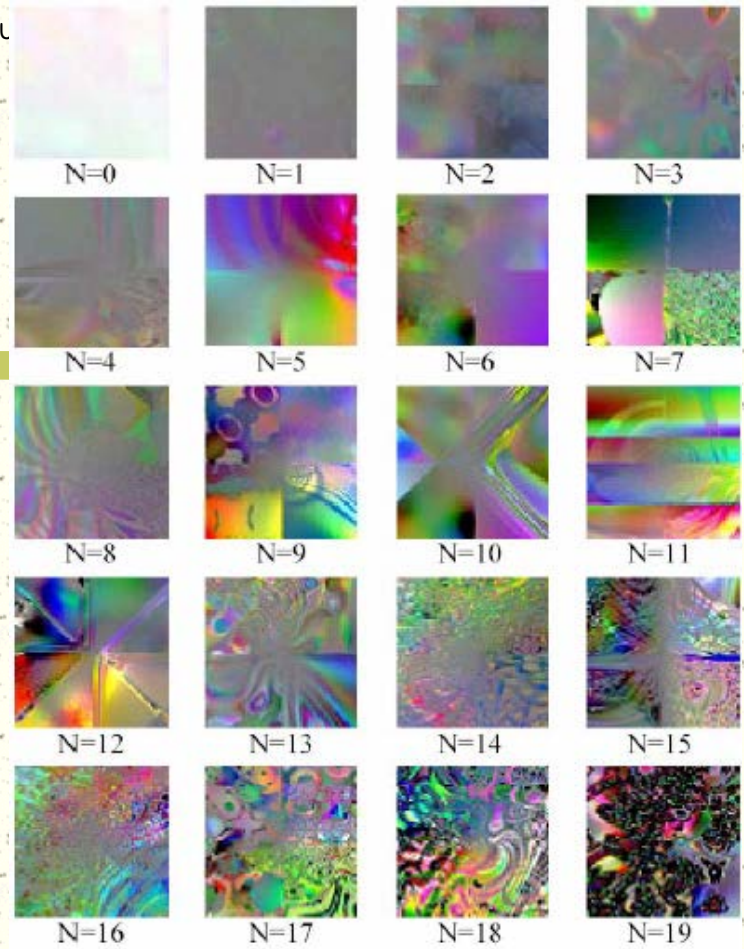


Arte evolutiva

- ✦ Inspiração para a criatividade computacional:
 - Criatividade humana
 - Natureza: a evolução é criativa
- ✦ Possibilidades:
 - O usuário gera a idéia e o computador evolui
 - A idéia surge da interação entre usuário e computador
 - O computador gera a idéia e o usuário é passivo
- ✦ Abordagem mais popular para música e imagem: criatividade assistida por computador: o computador gera idéias e o usuário as avalia



Arte evolutiva



- # PG para gerar imagens a partir de primitivas
- # AG acoplado a RN para gerar música

Alguns links:

- # <http://www.biota.org/ksims>
- # <http://helios.hampshire.edu/ljspector>
- # <http://graphics.stanford.edu/~bjohanso/gp-music>
- # <http://www.dei.uc.pt/~machado/NEvAr>



Arte evolutiva

