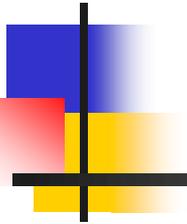
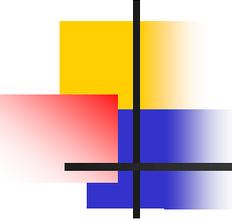


Otimização em Colônias de Formigas



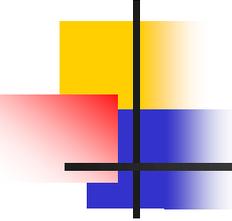
Prof. Eduardo R. Hruschka

(Slides adaptados dos originais elaborados pelo
Prof. André C. P. L. F. de Carvalho)



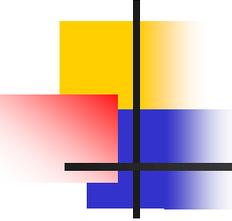
Principais tópicos

- Introdução
- Colônias de Formigas
- Formação de Colônias de Formigas
- Simulações



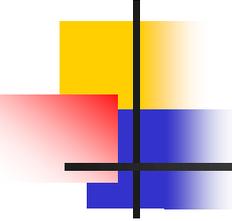
Introdução

- Colônias de formigas (e de outros insetos sociais) são sistemas distribuídos
 - Seus indivíduos são simples
 - Grupo apresenta uma organização social fortemente estruturada
 - Colônias podem lidar com tarefas complexas



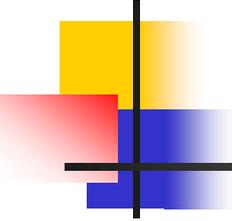
Introdução

- Algoritmos de formigas investigam novos modelos computacionais
 - Baseados no comportamento de formigas
 - Colônias são fonte de inspiração para o desenvolvimento de novos algoritmos
 - Utilizados para:
 - Problemas de otimização
 - Problemas de controle distribuído



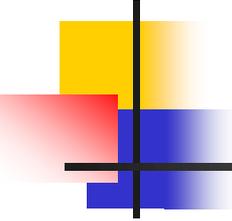
Introdução

- Princípios de auto-organização
 - Permitem o comportamento coordenado
 - Podem ser utilizados para coordenar populações de agentes artificiais



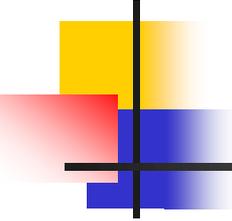
Introdução

- Diversos comportamentos das colônias têm inspirado estes algoritmos
 - Criação de trilhas
 - Divisão de trabalhos
 - Transporte cooperativo
 - ...
 - Stigmergia norteia o processo



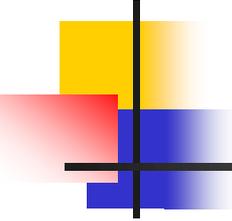
Introdução

- Stigmergia
 - Forma indireta de comunicação que ocorre por modificações no ambiente
 - Ex: formiga deposita feromônio em uma trilha



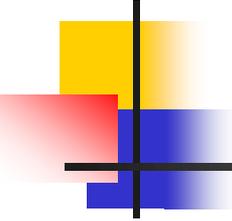
Colônias de formigas

- Maioria das formigas exerce atividades benéficas
 - Espalham sementes, contribuindo para o reflorestamento de muitos ecossistemas
 - Promovem a germinação das sementes, ao remover a polpa de frutas
 - Polenizam flores, quando se alimentam de substâncias vegetais (seiva, néctar, sucos) e de líquidos açucarados secretados por outros insetos



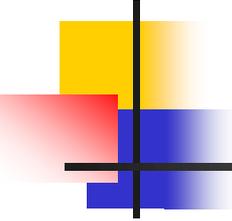
Colônias de formigas

- Maioria das formigas exerce atividades benéficas ...
 - Realizam a poda de algumas plantas, estimulando seu crescimento
 - Auxiliam na aeração do solo
 - Introduzem matéria orgânica à terra, tornando-a mais fértil
 - São predadoras de diversos artrópodes, muitos deles pragas agrícolas



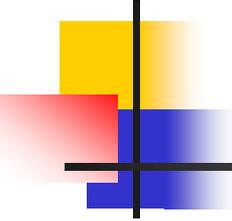
Colônias de formigas

- Divisão de tarefas está relacionada à presença de diferentes castas
- Em um formigueiro geralmente existem 2 castas de formigas
 - Casta das reprodutoras
 - Rainhas
 - Machos
 - Casta das estéreis ou operárias



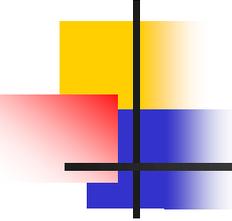
Colônias de formigas

- Casta das reprodutoras
 - Rainhas:
 - As maiores formigas da colônia
 - Aladas até serem fecundadas
 - Vivem muitos anos controlando a colônia
 - Rainhas de saúvas podem viver até 20 anos
 - Rainhas de colônias domésticas vivem de 2 a 4 anos
 - Responsáveis pela postura dos ovos



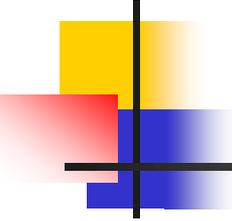
Colônias de formigas

- Casta das operárias
 - Escavação e limpeza do ninho
 - Procura/transporte de água/alimento para o ninho
 - Alimentação:
 - Larvas e rainha(s)
 - Outras operárias
 - Cuida da prole
 - Defesa da colônia, etc



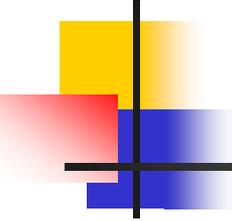
Comunicação

- Formigas se comunicam através de:
 - Substâncias químicas voláteis (odores)
 - Substâncias solúveis (sabores)
- Quando produzidas para se comunicar com outros indivíduos da sua espécie, essas substâncias são denominadas **feromônios**



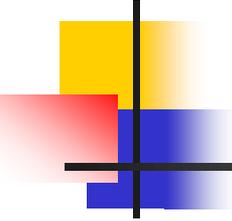
Comunicação

- Existem diferentes tipos de feromônio
 - Feromônio de alarme
 - Altamente volátil
 - Se dispersa no ar por grandes distâncias (≈ 60 cm)
 - Alerta as companheiras sobre perigos
 - Toda a colônia pode ser alertada em segundos
 - Feromônio de recrutamento
 - Depositado no solo, em forma de trilha, para informar às companheiras da presença de alimento
 - Feromônio territorial
 - marcar os territórios de uso exclusivo da colônia



Feromônio de Recrutamento

- Frequentemente utilizado para encontrar fonte de alimento
- Depositado na trilha percorrida pela formiga em sua busca por alimento (e retorno ao ninho)
 - Quanto mais formigas passarem na trilha, maior a quantidade de feromônio depositada
 - Quanto mais recente a passagem da formiga, maior a quantidade de feromônio na trilha
 - Quanto maior a quantidade de feromônio na trilha, mais formigas são atraídas



Feromônio de Recrutamento

- Permite encontrar menor caminho:
 - No início, formigas percorrem caminhos aleatórios
 - Feromônio permite que o caminho mais curto entre o ninho e a fonte de alimento seja encontrado
 - Caminho mais curto entre ninho e fonte de alimento
 - Percorrido com maior frequência
 - Recebe mais feromônio
 - Atrai mais formigas (*feedback* positivo)
- 

Ilustração

Formiga 2

Instante de tempo i

Ponte B

Ponte A

Formiga 1

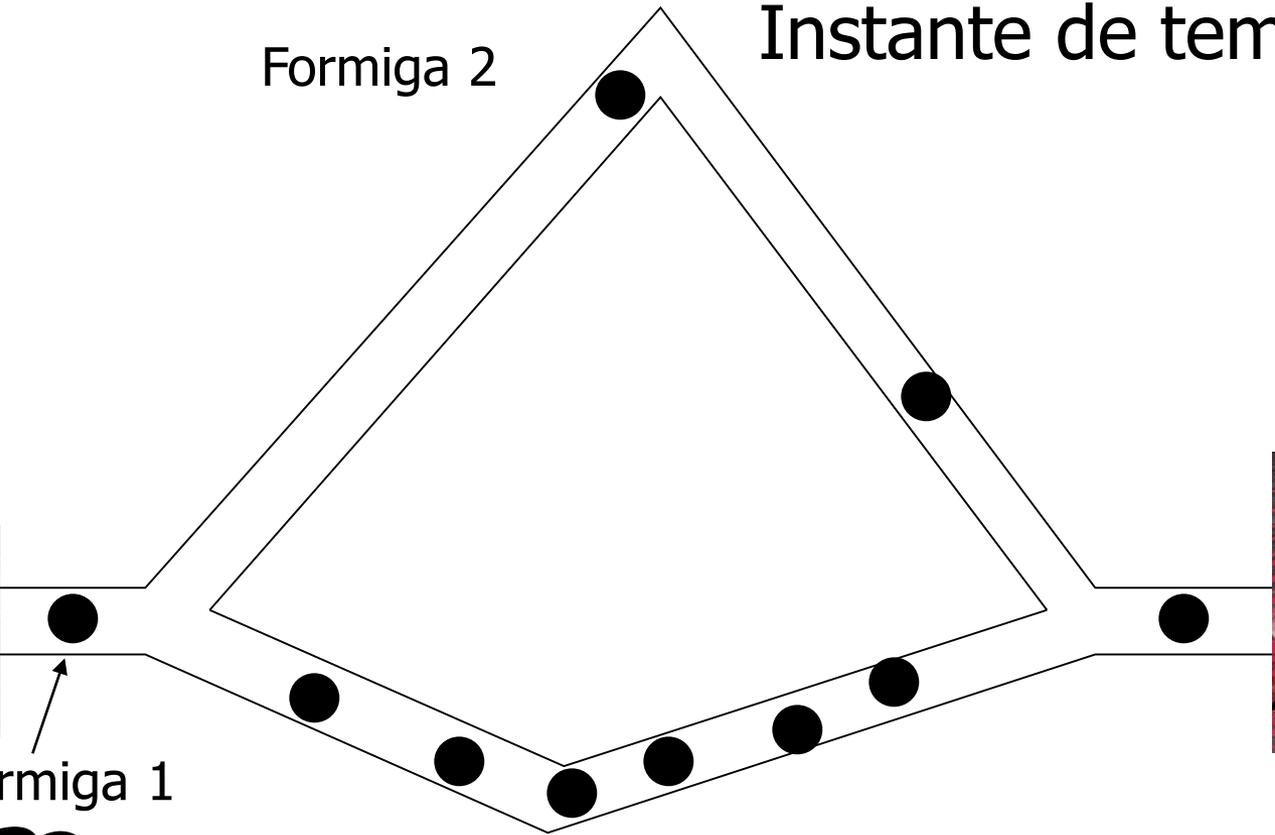


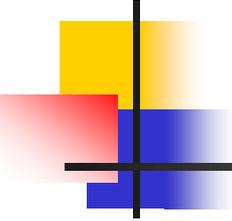
Ilustração

Instante de tempo $i + k$

Formiga 2

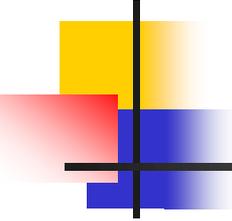
Formiga 1





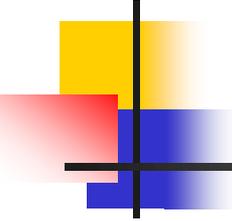
Otimização baseada em Colônias de Formigas (OCF)

- Modelo computacional distribuído
 - Inspirada na disposição de feromônio de recrutamento realizado pelas formigas
 - Problemas de otimização discreta
 - Baseado em:
 - Feedback positivo
 - Heurística gulosa construtiva



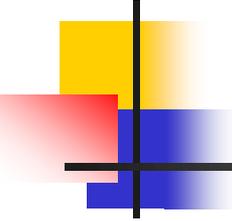
OCF

- *Feedback* positivo
 - Exemplo de auto-organização das formigas
 - Um padrão macroscópico emerge de processos e iterações que ocorrem em um nível microscópico
 - Comportamento macroscópico coletivo:
 - Convergência do caminho das formigas
 - A partir de interações locais entre formigas



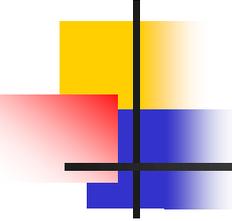
OCF

- Heurística gulosa construtiva
 - Escolhe melhor alternativa corrente, sem considerar futuras consequências;
 - Uma vez tomada uma decisão, ela não é mais alterada



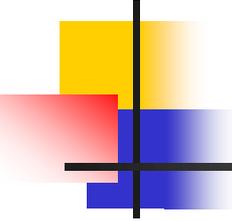
Colônias Artificiais

- (Dorigo, 1992): Formigas artificiais apresentam características que não estão presentes nas formigas naturais
 - Vivem em um mundo discreto
 - Seus movimentos são transições de um estado discreto para outro estado discreto
 - Têm um estado interno
 - Memórias das ações anteriores da formiga
 - Período para atualização do depósito de feromônio pode depender de encontrar ou não uma solução
 - Podem apresentar capacidades adicionais



Algoritmo OCF

- Formigas podem percorrer dois caminhos:
 - Ninho – fonte
 - Fonte – ninho
- Neste algoritmo, formigas podem ter memória das trilhas percorridas anteriormente
 - permitem encontrar eficientemente soluções para o problema de menor caminho

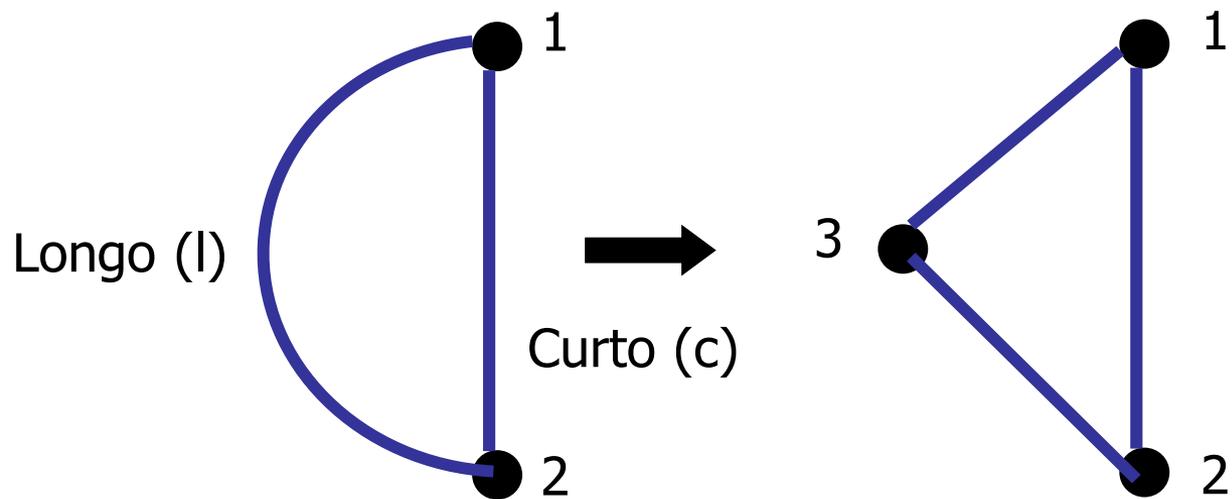


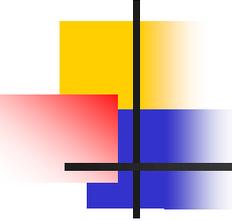
Algoritmo OCF

- Comportamentos:
 - Construção de soluções probabilísticas influenciadas pelas trilhas de feromônio
 - Sem atualização dos feromônios nas trilhas
 - Caminho de volta determinístico com eliminação de *loops* e atualização de feromônio na trilha
 - Avaliação da qualidade das soluções geradas
 - Usar avaliação para definir quantidade de feromônio a ser depositada
 - Também pode ter evaporação de feromônio

Algoritmo OCF

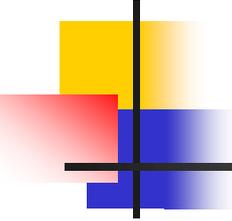
- Alterar representação dos caminhos
 - Facilita uso de grafos





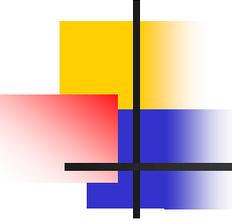
Algoritmo OCF

- Caminhos representados por $G = (N, A)$
 - Onde $N =$ nós e $A =$ arcos do grafo G
 - Dois nós i e $j \in N$ são vizinhos se:
 - existe arco $(i, j) \in A$



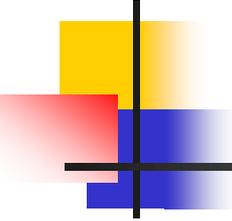
Algoritmo OCF

- Inicialmente, a cada arco (trilha) do grafo $G = (N, A)$ é associada uma quantidade inicial de feromônio
 - Quantidade de feromônio entre i e j : f_{ij}
 - Trihas de feromônio são atualizadas pelas formigas



Algoritmo OCF

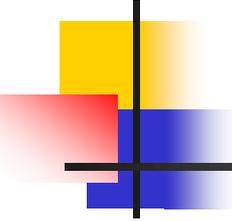
- Cada formiga constrói, a partir do ninho, uma solução para o problema aplicando uma política de decisão passo-a-passo
 - Em cada nó
 - Informações armazenadas no nó ou em nós dos arcos saindo dele são percebidas pela formiga
 - Informações são usadas estocasticamente para decidir a qual nó deve se mover
 - No início da busca, todos os arcos recebem a mesma quantidade de feromônio
 - Ex.: $f_{ij} = 1 \quad \forall (i, j) \in A$



Algoritmo OCF

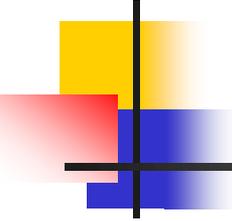
- No nó i , formiga k usa a trilha de feromônio f_{ij} para computar p_{ij}^k de escolher j como próximo nó
 - V_i^k é a vizinhança da formiga k no nó i
 - Não inclui o nó visitado antes do nó i

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{f_{ij}^\alpha}{\sum_{l \in V_i^k} f_{il}^\alpha} & \text{se } j \in V_i^k \\ 0 & \text{se } j \notin V_i^k \end{cases}$$



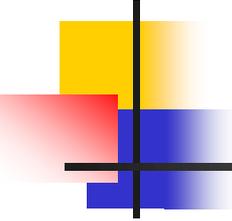
Algoritmo OCF

- Vizinhança do nó i
 - Contém todos os nós diretamente conectados a i no grafo $G = (N, A)$
 - Exceto o predecessor do nó i
 - Evitar retornar para o mesmo nó que visitaram imediatamente antes do nó i
 - Predecessor só é incluído quando $v_i^k = \emptyset$
 - Corresponde ao final do grafo



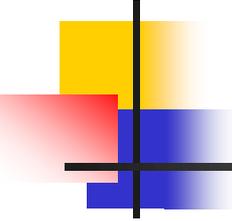
Algoritmo OCF

- Formigas caminham repetidamente de nó em nó usando esta política de decisão até atingir o nó destino
 - Diferentes caminhos, encontrados por diferentes formigas, fazem com que elas atinjam o destino em tempos distintos



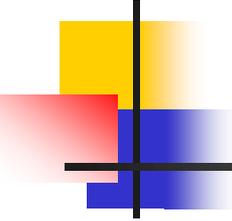
Algoritmo OCF

- Alteração do feromônio
 - Ocorre no retorno ao ninho
 - $f_{ij} = f_{ij} + \Delta f^k$
 - Escolha do Δf^k
 - Mesmo valor para todas as formigas
 - Função do tamanho da trilha
 - Quanto mais curta a trilha, mais feromônio é depositado pela formiga



Evaporação do feromônio

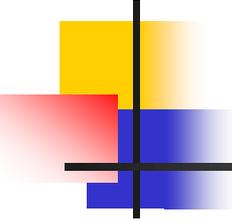
- Mecanismo de exploração que evita convergência rápida para um caminho sub-ótimo
- Favorece:
 - Exploração de caminhos diferentes
 - Esquecimento de erros ou caminhos ruins
- Permite o contínuo aprimoramento da solução
- Quantidade máxima de feromônio presente em um caminho não assume um valor muito elevado



Algoritmo OCF

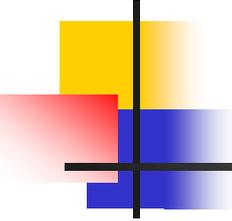
- Evaporação do feromônio
 - Pode ser intercalada com o depósito de feromônio
 - Após formiga k ter se movido para um novo nó, trilhas de feromônio podem ser evaporadas:

$$f_{ij} = (1 - \rho) f_{ij} \quad \forall (i, j) \in A, \rho \in (0, 1] \text{ é um parâmetro.}$$



Algoritmo OCF

Inicializar valores de feromônio nas arestas
Enquanto critério de parada não for atingido faça
 Para toda formiga faça
 Mover a formiga por um caminho completo até
 obter uma solução
 Avaliar a solução obtida
 Atualizar quantidade de feromônio em cada aresta
 Aumentar quantidade nas arestas percorridas
 Evaporar uma parte de todas as arestas
Até critério de parada ser atingido



Observações

- Poucas formigas podem fazer com que o algoritmo convirja para caminhos mais longos
 - Aleatoriedade nas primeiras decisões
 - Número de formigas tem que ser muito maior que um para garantir convergência para o menor caminho
 - Depositar quantidade de feromônio proporcional à qualidade da solução pode melhorar o algoritmo
 - Quanto maior o número de formigas, melhor é a convergência (maior tempo de execução).