

## Crêterios de Aspira o

Removem o estado tabu-ativo de um atributo

Cr terio largamente utilizado: executar um movimento tabu se este fornece um valor de fun o melhor que o encontrado até o momento

Outro cr terio importante usa o conceito de influência, que mede o grau de mudança induzida na estrutura da soluço

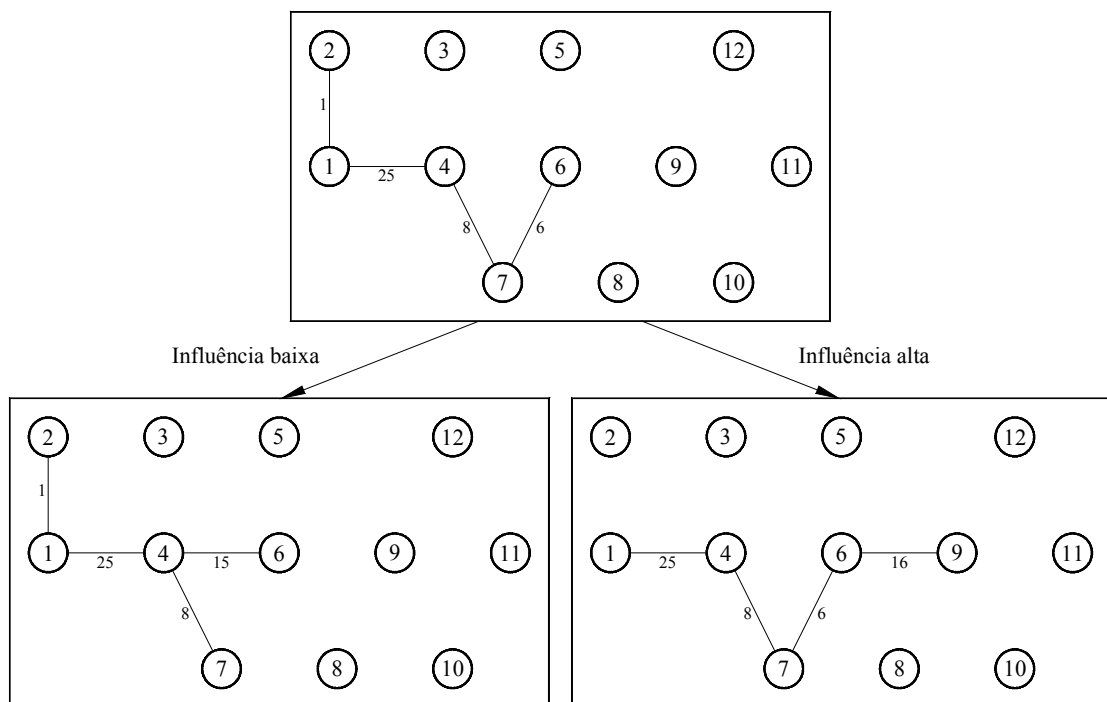


Figura 4.7 : Nível de Influência de Dois Movimentos

Movimento de alta influência é importante quando se deseja afastar de um ótimo local

Influência é freqüentemente associada com noção de distância de movimento

Exemplo: problema de seqüenciamento

solução (1, 4, 2, 3, 6, 5) com atraso total 19 é um ótimo local em relação à vizinhança definida por movimento de trocas

Tabela 4.5: Comparação de Dois Movimentos de Troca

Características	Troca (1, 4)	Troca (4, 5)
Valor do movimento	0	36
Distância do movimento	1	4
Diferença de data de entrega	1	12
Influência	Baixa	Alta

Movimentos de baixa influência podem ser tolerados, por exemplo, se o valor de movimento é negativo

Quando o valor de movimento é positivo, a busca pode ser direcionada para regiões distintas por funções tais como

valor do movimento / distância do movimento

ou

valor do movimento / diferença na data de entrega

# ASPECTOS ADICIONAIS DE MEMÓRIA DE CURTO PRAZO

## Listas de Candidatos

*Aspecto agressivo da BT:* escolha do melhor movimento baseado na função objetivo e influência do movimento

*Lista de candidatos:* quando  $N^*$  é grande e/ou seus elementos são de avaliação cara, é essencial utilizar lista de candidatos com bons movimentos

## *Cálculo dos valores dos movimentos*

Muitas vezes movimentos podem ser avaliados sem a avaliação completa da função objetivo

Exemplo: problema de seqüenciamento de tarefas

tempos de processamento: (6, 4, 8, 2, 10, 3)

datas de entrega: (9, 12, 15, 8, 20, 22)

Seqüência atual	Atraso	Troca	Valor do movimento
(1, 2, 3, 4, 5, 6)	36	(4, 6)	4
(1, 2, 3, 6, 5, 4)	40	-	-

$$C_4' = C_4 + p_5 + p_6$$

$$C_5' = C_4' - p_4$$

$$C_6' = C_5' - p_5$$

$$\begin{aligned}\text{Valor do movimento} &= T_4' + T_5' + T_6' - T_4 - T_5 - T_6 \\ &= 25 + 11 + 1 - 12 - 10 - 11 = 4\end{aligned}$$

## Estratégias Gerais de Listas de Candidatos

- Independentes do contexto
- Medida de qualidade da estratégia: qualidade da melhor solução em tempo especificado

### *Aspiração Mais (Plus)*

Examina movimentos até achar o primeiro (first) que satisfaça um limiar de qualidade (aspiração)

A partir do first examina mais movimentos e o melhor é escolhido

Número mínimo (min) e máximo (max) de movimentos examinados são especificados

$\text{first} + \text{plus} < \text{min} \Rightarrow \text{min movimentos são examinados}$

$\text{first} + \text{plus} > \text{max} \Rightarrow \text{max movimentos são examinados}$

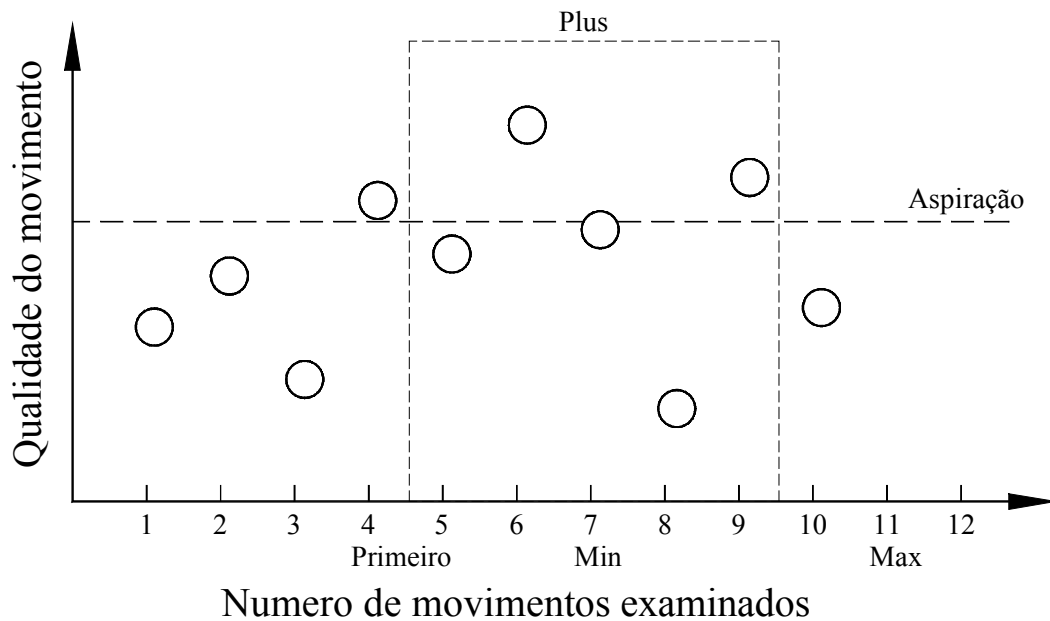


Figura 4.8 : Estratégia Aspiração Plus

first = 4; plus = 5; min = 7; max = 11

Limiar, plus, min e max são dinâmicos

- Seqüência de movimentos sem melhoria: limiar deve ser mais baixo que numa fase de melhoria  
Limiar deve crescer com o número de iterações e é função da qualidade dos movimentos examinados
- Min e Max: função do número de movimentos para atingir o limiar
- Plus: pode ser aumentado ou diminuído de acordo com a variância da qualidade dos movimentos

*Caso especial:* estratégia first improving: plus = 0 e min e max são ignorados

## Lista de Candidatos de Mudança Limitada

Restringe o domínio dos movimentos de forma que a solução não mude mais que um grau limitado em qualquer iteração. Para isso é necessário definir uma métrica (distância entre duas soluções)

Exemplo: problema de permutação

$\pi(i)$  = posição ocupada pelo elemento  $i$

$\pi'(i)$  = nova posição ocupada pelo elemento  $i$  através de movimento de inserção

Restrição de movimentos:

$$\pi(i) - k \leq \pi'(i) \leq \pi(i) + k$$

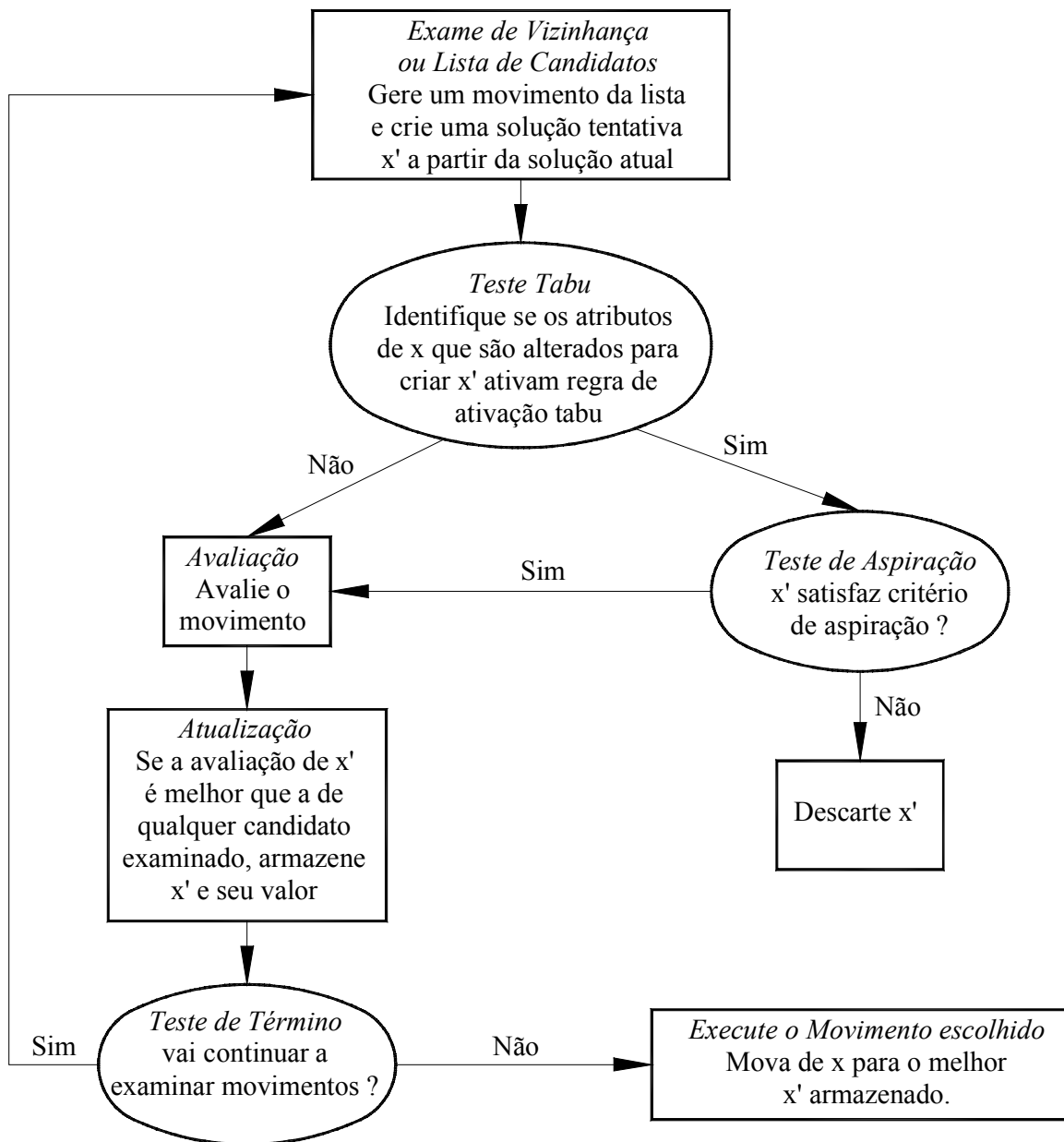


Figura 4.9 : Operação da Memória de Curto Prazo

## MEMÓRIA DE LONGO PRAZO

Em geral, BT torna-se mais eficaz ao se incluir memória de longo prazo e estratégias associadas

Vizinhança modificada de BT pode conter soluções de elite selecionadas (ótimos locais de alta qualidade) durante a busca

Tipicamente, soluções de elite são:

- elementos de um cluster regional em estratégias de intensificação
- elementos de clusters distintos em estratégias de diversificação

Componentes de soluções de elite são incluídos entre os elementos a serem armazenados e integrados na busca

Memória de longo prazo produz em vários casos soluções de melhor qualidade em tempo relativamente pequeno

## **Enfoque Baseado em Frequência**

Memória baseada em frequência fornece informação complementar àquela obtida por memória baseada em recência para seleção de movimentos

Frequências consistem de razões que expressam duas medidas diferentes

*Frequência de transição*: frequência de mudança de atributos

Numerador: número de iterações onde um atributo muda (entra ou sai) as soluções visitadas em uma trajetória

*Frequência de residência*: frequência de permanência de atributos

Numerador: número de iterações onde um atributo pertence a soluções visitadas em uma trajetória ou soluções de um subconjunto particular

Denominador das frequências:

número total de iterações

soma dos numeradores

valor máximo do numerador

## *Exemplos de Medidas de Frequência*

Problema de seqüenciamento (permutação)

Medida de Residência

número de vezes que a tarefa  $j$  ocupou a posição  $\pi(j)$

soma dos atrasos da tarefa  $j$  quando  $j$  ocupou a posição  $\pi(j)$

Medida de Transição

número de vezes que a tarefa  $i$  trocou de posição com a tarefa  $j$

número de vezes que a tarefa  $j$  se moveu para uma posição à esquerda na seqüência

## Problema da k-árvore

### Medida de Residência

número de vezes que a aresta  $(i, j)$  fez parte da solução

soma do peso total quando a aresta  $(i, j)$  fez parte das soluções

### Medida de Frequência

número de vezes que a aresta  $(i, j)$  foi adicionada à solução

número de vezes que a aresta  $(i, j)$  foi retirada da solução quando a aresta  $(k, \ell)$  foi adicionada à solução

número de vezes que a aresta  $(i, j)$  foi adicionada à solução durante movimentos de melhoria

## **Implicações de Frequências de Residência e Transição**

Frequência de residência alta

domínio das soluções de alta qualidade: atributo muito atrativo

domínio das soluções de baixa qualidade: atributo pouco atrativo

Frequência de residência alta (ou baixa)

domínio das soluções de alta e baixa qualidade: pode apontar para um atributo muito (pouco) presente que torna a busca restritiva e que precisa ser expelido (ou incorporado) para permitir maior diversidade

Exemplo: tarefa programada na mesma posição durante uma seqüência de iterações que incluem soluções de alta e baixa qualidade

## Frequência de transição alta

Pode indicar que um atributo entra e sai das soluções para desempenhar uma função de ajuste fino

Exemplo: arestas (3, 5) e (6, 7) com peso 6 são atrativas em relação a outras arestas, mas não fazem parte da solução ótima. É possível que elas entrem e saiam da solução de forma a desviar a busca pela solução ótima

Um atributo com estas características é determinado por custo e estrutura. Por exemplo, aresta (6, 7) entra e sai frequentemente da solução, mas isto não ocorre para a aresta (3, 5)

## Uso Produtivo de Memória Baseada em Frequência

regras de ativação tabu são convertidas em valores de penalidade e incentivo para alterar a qualificação de movimentos atrativos ou não atrativos

obtem-se então estados tabu com gradação, ao invés de estados tabu ou não tabu na memória de curto prazo

## Estratégias de Intensificação

Tipos mais comuns de estratégias:

- 1) modificam regras de escolha para estimular combinação de movimentos e características de soluções historicamente boas
- 2) podem também retornar a regiões atrativas para pesquisa mais detalhada

### Enfoque Simples do 2º Tipo

Aplique memória de curto prazo de BT

Aplique estratégia de seleção elite

faça {

Escolha uma solução de elite

Reinicie a memória de curto prazo a partir da solução escolhida

Adicione novas soluções à lista de soluções de elite quando aplicável

} enquanto (iterações < limite e lista não vazia)

### *Variantes mais usadas para seleção de soluções de elite*

1) Introduza medida de distância para garantir que as soluções de elite armazenadas se diferenciam de um grau desejado

2) Mantenha uma lista limitada de soluções de elite;

Adicione uma nova solução no fim da lista se for melhor que as anteriores;

Escolha o último elemento da lista para reiniciar a busca;

Guarde a memória de curto prazo associada essa solução e proíba o primeiro movimento a partir desta solução, de forma a iniciar uma nova trajetória.

3) Reinicie a busca de vizinhos gerados e não visitados, como por exemplo, vizinhos de um ótimo local ou vizinhos de soluções visitadas em passos imediatamente antes de atingir um ótimo local

### *Intensificação por decomposição*

Impõe restrições em partes do problema ou na estrutura da solução para gerar uma decomposição que permita um foco maior em outras partes da estrutura

Exemplo clássico: arestas que pertencem à interseção de tours de elite no problema do caixeiro viajante podem ser fixadas na solução a fim de manipular outras partes do tour

## **Estratégias de Diversificação**

São projetadas para dirigir a busca para novas regiões do espaço de soluções. Em geral, diversificação é ativada da solução corrente ou da solução incumbente.

### *Regras de Escolha Modificadas*

valor do movimento' = valor do movimento + d\*penalidade

d = parâmetro de diversificação

Penalidade: função das medidas de frequência

atributos com alta frequência são penalizados e os de baixa frequência são estimulados (penalidades negativas podem ser usadas para estímulo)

## *Reinício (Restarting)*

Informação de frequência pode ser usada para reinício em BT

Regra EDD (earliest due date) para o problema de seqüenciamento

datas de entrega (9, 12, 15, 8, 20, 22)

seqüência EDD: (4, 1, 2, 3, 5, 6)

Nova seqüência para reinício: obtida pela modificação de prioridade de cada tarefa

índice de prioridade' = índice de prioridade + d\*medida de frequência

medida de frequência de uma tarefa em uma iteração: porcentagem do número de vezes que a tarefa j foi completada até sua data de entrega, a partir do último reinício

Para diversificação:

diminuir a prioridade das tarefas com alta medida de frequência

aumentar a prioridade das tarefas com baixa medida de frequência

### Ilustração do Mecanismo de Reinício

Tarefa	Índice de Prioridade	Medida de Frequência	Índice de Prioridade'
1	9	0,01	9,1
2	12	0,23	14,3
3	15	0,85	23,3
4	8	0,13	9,3
5	20	0,31	23,1
6	22	0,93	31,3

Assuma  $d = 10$

Da tabela acima a seqüência de reinício é (1, 4, 2, 5, 3, 6)