Revista Científica da Escola de Administração do Exército, v.2, p.120-134, 2008

BUSCA TABU E O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA NO EXÉRCITO BRASILEIRO

Arakén Pereira da Silva[1], Éldman de Oliveira Nunes[2]

Resumo. Os Processos de Distribuição são serviços pelos quais uma entidade é responsável por fornecer um produto ou serviço a um conjunto de outras entidades, tal como ocorre com o serviço de correspondência. Dentre os principais problemas relacionados ao serviço de distribuição, destaca-se o Problema de Roteamento de Veículos, que consiste em alocar caminhos ou rotas às unidades móveis encarregadas do transporte, de modo que cada unidade é responsável por parte da área total a ser atendida e o objetivo do problema consiste em encontrar as rotas para os veículos, de forma que os custos de transporte sejam mínimos. Busca Tabu é uma metaheurística que guia uma busca heurística local, atribuindo-lhe o uso de memória adaptativa para criar uma busca mais flexível e diversificada. Este artigo analisa a utilização da metaheurística Busca Tabu na resolução do Problema de Roteamento de Veículos, com o objetivo de propor um mecanismo computacional de otimização para o processo de distribuição de água desempenhado pelo Exército Brasileiro nas missões que realiza no Nordeste, buscando assim auxiliar o processo decisório e reduzir os custos logísticos durante a alocação das rotas.

Palavras-chave: Distribuição. Roteamento. Busca Tabu. Otimização.

Abstract. The Processes of Distribution are services where an entity is responsible for supplying to a product or service to a set of other entities, as it occurs with the correspondence service. Amongst the main problems related to the distribution service, the Vehicle Routing Problem is distinguished, that consists of placing ways or routes to in charge mobile units it transport, in way that each unit is responsible on the part of the total area being taken care of and the objective of the problem consists of finding the routes for the form vehicles that the transport costs are minimum. Tabu Search is a metaheuristic that guides a local heuristic search, attributing the use to it of adaptativa memory to create a more flexible and diversified search. This article analyze the use of the metaheuristic Tabu Search in the resolution of the Vehicle Routing Problem, with the objective to consider a computational mechanism of optimization for the process of water distribution played for the Exército Brasileiro in the missions that carry through Nordeste, thus searching to assist the decision process and to reduce the logistic costs during the allocation of the routes.

[1] Bacharelado em Ciência da Computação/Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Escola de Administração do Exército (EsAEx), Salvador/BA Brasil. arakenp@gmail.com

[2] Doutorado em Ciência da Computação/Universidade Federal Fluminense. Escola de Administração do Exército (EsAEx), Salvador/BA, Brasil.eldman@bol.com.br

Keywords: Distribution. Routing. Tabu Search. Optimization.

1 Introdução

A Otimização de Processos é atualmente uma prática importante que vem tornando-se cada vez mais comum nas organizações. Empresas privadas valem-se da otimização para oferecerem serviços e/ou produtos cada vez melhores e em menos tempo, obtendo maior lucro e tornando-se mais competitivas. Instituições públicas geralmente otimizam seus processos para sobreviverem a restrições orçamentárias ou reduzirem os gastos, permitindo um melhor emprego das reservas governamentais.

Os Processos de Distribuição são serviços pelos quais uma entidade é responsável por fornecer um produto ou serviço a um conjunto de outras entidades, tal como ocorre com o serviço de correspondência, entrega de mercadorias, rotas de ônibus escolar, coleta de lixo, entre outros. Esses serviços de distribuição são providos de uma série de problemas relacionados com a entrega, tais como a quantidade a ser entregue, o tempo disponível para a entrega, as rotas a serem percorridas pelas unidades móveis etc.

Dentre os problemas relacionados à distribuição, o roteamento das unidades móveis encarregadas do transporte costuma ser o de maior complexidade, visto que envolve variáveis consideravelmente reentrantes, dificultando assim seus ajustes. Esse problema consiste em alocar caminhos ou rotas às unidades móveis, de modo que cada unidade é responsável por parte da área total a ser atendida e o objetivo do problema consiste em encontrar as rotas para os veículos, de forma que os custos de transporte sejam mínimos.

Neste trabalho, será abordado o Problema de Roteamento de Veículos com enfoque nas Missões de Distribuição de Água desempenhadas pelo Exército Brasileiro. Nessas missões, o Exército atua principalmente na região Nordeste, levando água a milhares de sertanejos durante o período das secas. Em seguida, será apresentada, em linhas gerais, a metaheurística Busca Tabu juntamente com suas principais características e um exemplo de utilização desse peculiar mecanismo de busca. Por fim, será desenvolvida uma estratégia de solução para o Problema de Roteamento de Veículos utilizando a Busca Tabu, na qual os resultados do processamento serão apresentados e discutidos, de forma a se conseguir propor um mecanismo computacional de otimização para o processo de distribuição de água desempenhado pelo

Exército Brasileiro nas missões que realiza no Nordeste, buscando auxiliar no processo decisório e reduzir os custos logísticos durante a alocação das rotas.

2 As Missões de distribuição de água

O Nordeste Brasileiro é uma região escassa em água e anualmente torna-se palco da atuação de diversos programas governamentais de combate à seca.

Segundo o Portal do CMNE (2007), o Exército Brasileiro presta socorro às vítimas das estiagens do Nordeste e do norte de Minas Gerais, distribuindo água potável para a população através da chamada Operação Pipa, que, só em Fevereiro de 2007, atendeu a mais de um milhão de pessoas em 351 municípios.

De acordo com o Exército Brasileiro (2007), a última atuação do serviço de abastecimento de água iniciou-se em Setembro de 2006 e foi suspensa em Janeiro de 2007 devido à falta de dotação orçamentária, uma vez que mobilizou, nesse período, 19 unidades do Exército e 1.096 carros-pipa, que percorreram aproximadamente 35 quilômetros distribuindo 1.793.440 m^3 de água tratada a cerca de 3.066.000 pessoas em 447 municípios.

Atualmente, os esforços da operação estão concentrados nos estados de Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Piauí e Ceará, onde 248 municípios estão sendo atendidos, beneficiando a vida de cerca de novecentos mil sertanejos.

O Exército, antes de dar início ao processo de distribuição de água em uma determinada região, recebe informações a respeito dos municípios a serem atendidos e em seguida faz um levantamento das necessidades da população e dos pontos de coleta e de distribuição de água. Feito isso, contrata e fiscaliza a ação dos chamados "pipeiros", verifica a qualidade da água, a regularidade da distribuição e a gerência dos recursos, conforme descreve o Portal do CMNE (2007).

Uma vez tomadas as determinações iniciais da missão, o Exército realiza a alocação de carros-pipa que serão destinados às regiões necessitadas. São traçadas rotas com pontos de coleta e de distribuição de água, tais como: cisternas, adutoras, barragens, açudes e poços, a fim de atender o mais rapidamente possível a população. A busca por rotas que consumam o mínimo de recursos, isto é, minimizem o número de quilômetros rodados e consequentemente o tempo destinado à operação, pode ser observada como

um **problema de otimização** (CORMEN, 2002) conhecido como o Problema de Roteamento de Veículos.

3 O Problema de Roteamento de Veículos

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é um exemplo clássico de um problema de otimização combinatória e pode ser definido da seguinte forma: dado um conjunto de cidades ou consumidores, cada qual com uma demanda q_i por um produto, e um depósito com veículos de capacidade ***Q***, encontrar as rotas para os veículos de forma que os custos de transporte sejam mínimos.

Matematicamente, o Problema de Roteamento de Veículos é representado por um grafo (CORMEN, 2002) não direcionado $G=(V, E)$ no qual $V = (v_0, v_1, \ldots, v_n)$ é o conjunto dos vértices e $E = \{ (v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i<j \}$ é o conjunto das arestas. O vértice v_0 representa o depósito onde estão os veículos idênticos e com capacidade Q, enquanto os demais vértices representam as cidades ou os consumidores. Cada consumidor v_i tem uma demanda não negativa q_1 e $q_0 = 0$. A cada aresta (v_i, v_j) está associada uma distância não negativa c_{ij} que representa a distância entre os consumidores. O PRV consiste em determinar o conjunto de rotas que deverão ser seguidas pelos veículos de forma que os custos sejam mínimos e sejam respeitadas as seguintes condições: 1) Cada rota começa e termina no depósito, 2) A demanda de uma rota não deve superar a capacidade Q de um veículo. A Figura 1 ilustra essa situação.

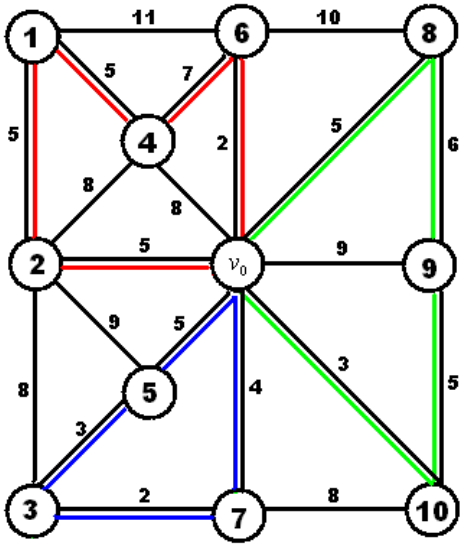

Figura 1 – Os valores entre os vértices (cidades) representam as distâncias e os ciclos destacados representam as rotas encontradas

Conforme apresentado anteriormente, o PRV enquadra-se numa categoria de problemas conhecida como "problemas de otimização combinatória". Nesses problemas, considera-se um conjunto de soluções possíveis,

isto é, válidas, onde cada solução tem um valor associado e deseja-se encontrar a solução possível com o melhor valor. Esses problemas são classificados, na literatura, como NP-difícil, uma vez que não existem algoritmos que os resolvam em tempo polinomial (CORMEN, 2002).

De acordo com Souza (2007), os problemas de otimização combinatória são modelados da seguinte forma: Dado um conjunto *S* de variáveis discretas *s* (chamadas soluções) e uma função objetivo $f: S \longrightarrow R$, que associa cada solução $s \in S$ a um valor real $f(s)$, encontre a solução $s^* \in S$, dita ótima, para a qual $f(s)$ é também ótima, isto é, $f(s)$ assume um valor mínimo ou máximo para um problema de minimização ou maximização, respectivamente.

Uma questão intrigante que se observa em problemas de otimização combinatória é que nem sempre é possível encontrar a solução ótima em tempo razoável, isto é, alguns problemas podem requerer anos de computação de alto desempenho para que se possa atingir a solução ótima. Resolver esses problemas com pouco esforço computacional torna-se então um desafio, de modo que, para problemas cuja complexidade é elevada, encontrar uma solução viável e próxima da ótima, em tempo de execução razoável, é mais adequado que investir muito tempo e processamento computacional na busca pela solução ótima. O desafio de encontrar soluções ótimas, ou mesmo aproximadas, pode ser auxiliado pelo uso de métodos computacionais, dentre as quais se destaca a Busca Tabu.

4 Busca Tabu

Algoritmos heurísticos são algoritmos que não garantem encontrar a solução ótima para um determinado problema; porém, são capazes de melhorar uma solução existente e retornar uma solução viável e de qualidade em tempo razoável (CONSTANTINO, 2007).

Metaheurísticas são paradigmas de desenvolvimento de algoritmos heurísticos, muitas vezes baseados em leis naturais ou procedimentos cotidianos, tais como o processo de evolução das espécies, o comportamento de uma colônia de formigas ou o resfriamento de ligas metálicas industriais.

Busca Tabu (do inglês: *Tabu Search*) é uma metaheurística que guia uma busca heurística local, atribuindo-lhe o uso de memória adaptativa para criar uma busca mais flexível e diversificada. Foi proposta por Fred Glover, em 1986, e tem como principais características a memória

adaptativa (responsável por guardar o histórico da busca) e as estratégias de busca baseadas em memória, que ajudam a explorar a busca por regiões distintas e intensificá-la por regiões promissoras (LAGUNA, 1994).

O uso da memória realizado pela Busca Tabu segue quatro princípios básicos:

· **Recentidade (*recency*)**: refere-se a uma memória de curto prazo, na qual são armazenados atributos de soluções que mudaram em um passado recente.

· **Frequência**: refere-se a uma memória de longo prazo, são contabilizadas informações que dizem respeito a residência e a transição dos atributos das soluções.

· **Intensificação**: constitui a ação de se intensificar a busca em regiões nas quais há mais chance de se encontrar soluções de qualidade.

· **Diversificação**: explorar regiões ainda não exploradas ou pouco exploradas.

A idéia principal da Busca Tabu consiste em classificar como "proibido" certos movimentos ou soluções. Os movimentos proibidos (chamados Tabu) são armazenados em uma lista (Lista Tabu) durante certo período de tempo. Com o intuito de tornar a busca mais flexível, é possível durante o seu processamento, desmarcar um movimento de Tabu para "não Tabu", retirando-o da Lista Tabu. Tempo Tabu é o tempo ou o número de iterações durante o qual um movimento ou solução permanece na condição de Tabu, de modo que, decorrido esse tempo, um movimento que estava na Lista Tabu será liberado e poderá ser realizado novamente, isto é, não estará mais proibido (LAGUNA, 1994).

A Figura 2 apresenta uma visão simplificada das estruturas fundamentais utilizadas na Busca Tabu. A sequência $S = 1,2,4,3$ é uma solução para um determinado problema, como por exemplo, um problema de roteamento de veículos, na qual a sequência dos valores de S representa a sequência das cidades visitadas por um veículo. A Lista Tabu L, que armazena o histórico dos movimentos recentemente realizados, apresenta o valor 3 para a combinação 3,4 da lista, indicando que durante a busca foi recentemente realizado um movimento (permuta) entre esses valores e que esse movimento não poderá ser realizado durante 3 iterações (Tempo Tabu).

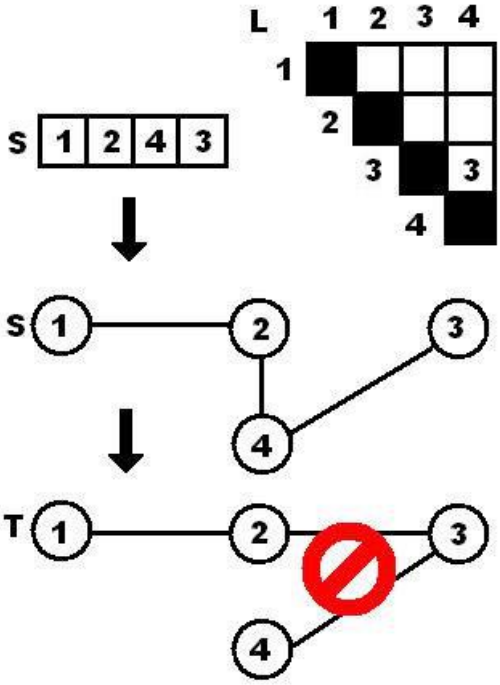

Figura 2 – Representação de um movimento proibido na Busca Tabu

Outra estratégia utilizada na Busca Tabu é o "Critério da Aspiração", na qual uma situação especial faz com que um movimento ou solução que está na condição de Tabu, passe para a condição de "não-Tabu" antes de decorrido o seu Tempo Tabu. Em geral o Critério da Aspiração é utilizado quando, ao longo da busca, encontra-se uma solução melhor que a solução incubente (melhor solução armazenada até o momento).

Em Busca Tabu geralmente inicia-se o procedimento de busca partindo de uma solução conhecida, aplicando em seguida uma técnica de geração de vizinhança, seguida da seleção dos melhores vizinhos. Após selecionada a melhor solução, atualiza-se a Lista Tabu e refina-se a busca aplicando técnicas mais sofisticadas como intensificação e diversificação. A Figura 3 apresenta um algoritmo simplificado de Busca Tabu.

Passo 1: Gerar uma solução inicial
Passo 2: Repetir
Início
(a) Gerar a vizinhança
(b) Avaliar a vizinhança
(c) Determinar a melhor solução da vizinhança
(d) Atualizar a lista tabu
(e) Intensificar e Diversificar
Fim
(f) Até que o critério de parada seja atendido

Figura 3 – Algoritmo simplificado de BT

As ações transcorridas dentro do laço de repetição constituem o núcleo do algoritmo, de modo que cada repetição corresponde a uma iteração na qual é atualizada a solução corrente e modificada a Lista Tabu, transformando continuamente o espaço de busca. A sequência das figuras 4 a 9 apresenta o comportamento das estruturas durante uma típica operação de busca.

A Figura 4 apresenta a situação ini-

cial na qual se tem uma solução inicial *S* que corresponde ao valor 25, conforme verificado na função objetivo *f (S)*. No início do processamento, a Lista Tabu *L* está vazia, uma vez que nenhum movimento foi realizado até esse instante, assim como ocorre com as listas P (permuta) e G (ganho), que não são preenchidas pelo algoritmo até que os vizinhos de *S* sejam selecionados.

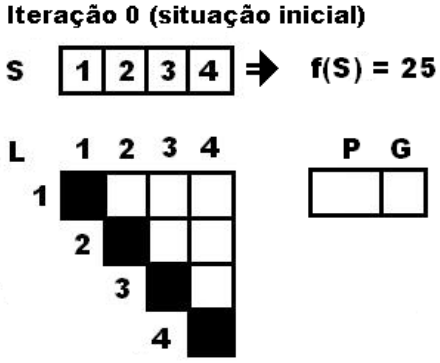

Figura 4 – Início do processamento

Admitindo-se que o objetivo do algoritmo é minimizar o valor de *f (S)* são selecionados os melhores vizinhos, dentre os demais, representados pelas permutas na lista P.

Na Figura 5, os vizinhos selecionados na lista P foram analisados e ordenados em ordem decrescente de ganho pelo algoritmo. O vizinho 3,4 representa uma permuta entre os valores 3 e 4 em *S*, e foi o vizinho selecionado pelo algoritmo, uma vez que apresenta maior ganho (G) e o movimento não está marcado na Lista Tabu. Após a primeira iteração a nova solução é apresentada e a Lista Tabu atualizada.

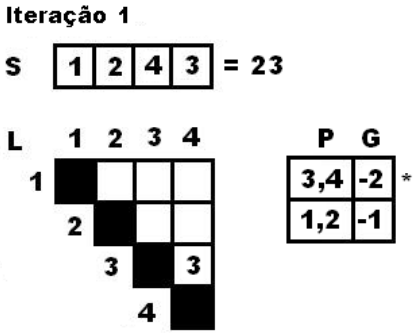

Figura 5 – Situação após a primeira iteração

A Figura 6 apresenta a situação após a segunda iteração, na qual o algoritmo executa seu fluxo normal, gera uma lista com os melhores vizinhos, atualiza a solução corrente (*S*) e atualiza a Lista Tabu, atribuindo o valor 3 ao movimento 1,3 e diminuindo em uma unidade o Tempo Tabu dos demais movimentos marcados como Tabu.

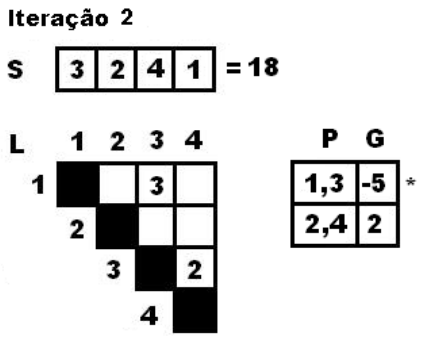

Figura 6 – Situação após a segunda iteração

Após a terceira iteração, Figura 7, o algoritmo realiza as operações já conhecidas e segue seu processamento nas demais iterações. Dessa vez, encontra-se no topo da lista P um movimento Tabu (T) o qual não pode ser selecionado, fazendo com que o vizinho seguinte seja selecionado. Caso o movimento 3,4 melhorasse o valor da solução incubente poderia então valer-se do "Critério da Aspiração" e realizar o movimento aplicando-o a condição de "não-Tabu".

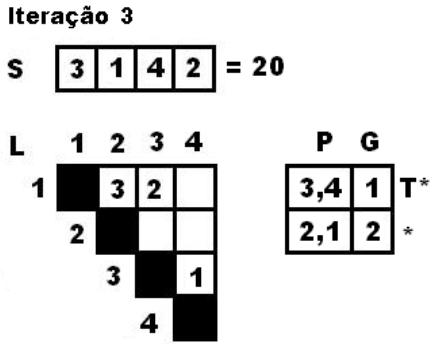

Figura 7 – Situação após a terceira iteração

Novamente, a busca prossegue pela nova vizinhança e após a quarta iteração configura-se conforme observado na Figura 8. Observe que o movimento 3,4 já não é mais Tabu, indicando que poderá ser realizado nas próximas iterações.

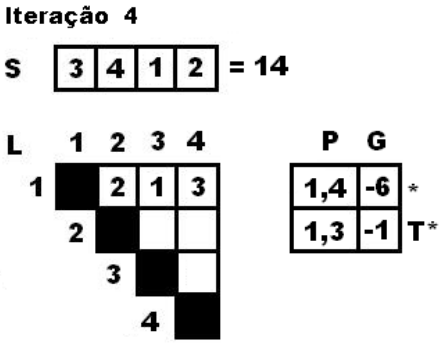

Figura 8 - Situação após a quarta iteração

Após a quinta iteração, Figura 9, o algoritmo realiza os procedimentos já conhecidos, gerando a listas P e G, selecionando o melhor vizinho e atualizando a solução corrente e a Lista Tabu. Nessa situação, o melhor vizinho possui um ganho igual a 2 indicando que ocorrerá um salto de uma solução melhor para uma pior (assim como ocorreu durante a terceira iteração), já que o objetivo é minimizar o valor da função objetivo *f (S)*. No entanto, esta mudança não acarretará em uma piora no resultado do

algoritmo, pois a melhor solução encontrada até o momento ($S = 14$) fica armazenada em memória e é atualizada sempre que o algoritmo encontra uma solução melhor. Além disso, permitir que soluções que apresentem menor ganho sejam admitidas torna a busca mais flexível, fazendo com que o espaço de busca seja mais bem explorado.

Na seção 5, será apresentada uma implementação de Busca Tabu para a resolução de uma situação particular de um Problema de Roteamento de Veículos, na qual será descrito um procedimento baseado no algoritmo da Figura 3.

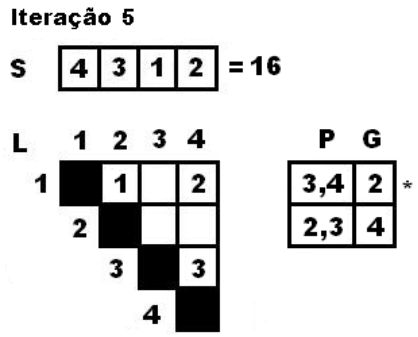

Figura 9 - Situação após a quinta iteração

5 Solução do problema

Com o intuito de resolver o Problema de Roteamento de Veículos através da metaheurística Busca Tabu, foi implementado um algoritmo de Busca Tabu que, conforme apresentado na seção 1, propõe um mecanismo computacional de otimização para o processo de distribuição de água desempenhado pelo Exército Brasileiro nas missões que realiza no Nordeste.

A implementação do algoritmo desenvolveu-se tomando por base uma situação típica de distribuição na qual foram fixadas algumas variáveis do problema: a quantidade de cidades, de rotas, de carros-pipa e a capacidade dos carros. Essas variáveis foram fixadas com o objetivo de direcionar a resolução do problema para fins experimentais e específicos, simplificando o processo de implementação e possibilitando uma maior concentração dos esforços nos mecanismos de busca. No entanto, foi dado a essas variáveis um tratamento adequado de modo a facilitar a parametrização do algoritmo, permitindo maior flexibilidade para analisar o seu desempenho em situações diversas.

Na situação analisada, admitiu-se uma missão de distribuição abrangendo 50 cidades, todas dependentes de um único ponto de coleta de água. Para esta missão, foram alocados 100 carros-pipa idênticos com capacidade igual a $5m^3$ e foi fixado o número de rotas em 5, cada rota envolvendo 10 cidades, de modo que uma cidade só poderia estar presente em uma única rota. A Figura 10 apresenta a configu-

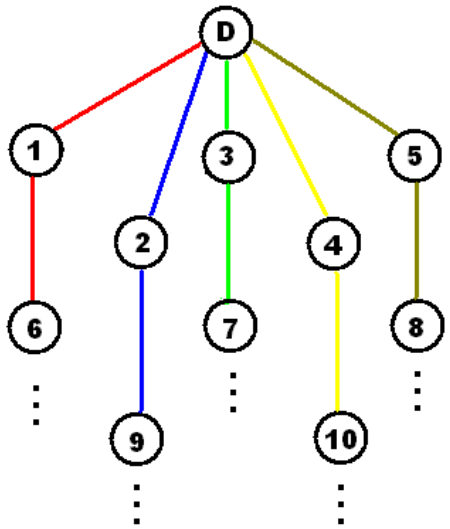

Figura 10 – Configuração gráfica da relação entre o ponto de coleta ou depósito (D) e as cidades, através das cinco rotas

A implementação da busca foi desenvolvida na linguagem C/C++ (DEITEL, 2001), a qual é amplamente utilizada em ambiente acadêmico e comercial devido ao seu poder de representatividade e estrutura consistente.

No código implementado, foi utilizada a linguagem C++ apenas para o tratamento dos arquivos, os quais foram utilizados na entrada de dados do programa para a inicialização da matriz de distâncias entre as cidades e na saída de dados para a impressão do processo de busca. Todo o restante do código foi desenvolvido na linguagem C.

Na Figura 11, encontra-se uma ilustração da principal função, isto é, do principal procedimento do algoritmo implementado, cuja finalidade é ditar a sequência das tarefas a serem executadas durante a busca.

A função *BuscaTabu*( ) implementa o núcleo da busca através de um laço de repetição que itera uma quantidade de vezes igual ao valor da variável *numIter*. As variáveis *custoInc* e *custoCorr* representam o custo incubente e o custo corrente respectivamente. Uma vez dentro do laço *While* é inicialmente impresso o estágio atual da busca através da função *Imprimir*( ) que recebe como parâmetro a iteração corrente e imprime o *status* da busca em um arquivo (Figura 12). Em seguida o algoritmo realiza uma pesquisa na vizinhança em busca do melhor vizinho através da função *SelecionaVizinho*( ) atualizando logo após a Lista Tabu (*AtualizaLista*( )). Por fim é verificado se a nova solução encontrada é melhor que a solução incubente, e caso seja, computa as devidas atualizações.

O arquivo gerado contém a solução corrente e a solução incubente, juntamente com as rotas e respectivos custos.

```
void BuscaTabu(int numIter)
{
    int custoInc, custoCorr;
    custoInc=custoCorr=CalculaCusto(SolCorr);

    while(numIter--){
        Imprimir(NUM_ITERACOES - numIter);
        SelecionaVizinho();
        AtualizaLista();
        custoCorr = CalculaCusto(SolCorr);
        if(custoCorr < custoInc){
            for(int i=1; i<=NUM_CIDADES; i++)
                SolInc[i] = SolCorr[i];
            custoInc = custoCorr;
        }
    }
}
```

Figura 11 – Função BuscaTabu ( )

```
------------ Iteração: 2 ------------
-- Solução corrente:
-- Rota 1: 0 1 7 11 16 21 26 31 36 41 46 -- Custo: 256
-- Rota 2: 0 2 6 12 17 22 27 32 37 42 47 -- Custo: 256
-- Rota 3: 0 3 8 14 18 23 28 33 38 43 48 -- Custo: 339
-- Rota 4: 0 4 9 13 19 24 29 34 39 44 49 -- Custo: 351
-- Rota 5: 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 -- Custo: 424
Custo total: 1626

-- Melhor Solução:
-- Rota 1: 0 1 7 11 16 21 26 31 36 41 46 -- Custo: 256
-- Rota 2: 0 2 6 12 17 22 27 32 37 42 47 -- Custo: 256
-- Rota 3: 0 3 8 14 18 23 28 33 38 43 48 -- Custo: 339
-- Rota 4: 0 4 9 13 19 24 29 34 39 44 49 -- Custo: 351
-- Rota 5: 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 -- Custo: 424
Custo total: 1626
```

Figura 12 – Trecho do arquivo gerado durante a busca mostrando a situação após a segunda iteração

6 Conclusão

Neste trabalho foi abordado o Problema de Roteamento de Veículos com enfoque nas Missões de Distribuição de Água desempenhadas pelo Exército Brasileiro no Nordeste. Encontrar a solução exata para o PRV é uma tarefa árdua e dispendiosa, além do que, dependendo da complexidade do problema, reentrância das variáveis envolvidas e restrições adotadas, pode tornar-se inviável a utilização de um mecanismo de computação simples que não faça uso de técnicas mais apuradas de busca, tais como a Busca Tabu.

A utilização de metaheurísticas aplicadas à resolução de problemas de natureza combinatória, tais como o PRV e o PCV (Problema do Caixeiro

Viajante), representou um enorme avanço na Ciência da computação, pois dessa forma muitos dos problemas que antes eram considerados intratáveis puderam ser mais bem explorados, dando origem a uma série de aplicações práticas do cotidiano nas mais diversas áreas, como: escalonamento de tarefas em indústrias, transporte, projeto de circuitos, telecomunicações, grafos, redes neurais, entre outras.

O objetivo deste trabalho foi propor um mecanismo computacional de otimização para o processo de distribuição de água desempenhado pelo Exército Brasileiro nas missões que realiza no Nordeste, buscando dessa forma auxiliar no processo de decisão e reduzir os custos logísticos durante a alocação das rotas.

O trabalho realizado no decorrer desta pesquisa deu origem a uma implementação de Busca Tabu que simula uma situação típica de um problema de distribuição de água e processa uma busca no universo das soluções do problema, visando otimizar a solução. É importante ressaltar que o contexto que envolve a situação analisada é experimental e não prático, já que uma situação prática envolveria outras variáveis além das tratadas e exigiria um tratamento mais restritivo com relação aos seus valores (por exemplo, em uma situação prática normalmente os veículos não apresentam a mesma capacidade). No entanto, uma vez desenvolvido o mecanismo de busca e garantindo que as restrições sejam devidamente tratadas e obedecidas, é possível tornar o programa susceptível de ser utilizado em situações reais.

Os resultados atingidos após rodar o algoritmo com um caso de teste foram bastante satisfatórios, uma vez que a solução incubente melhorava conforme o algoritmo processava as iterações, significando que a busca estava explorando regiões distintas do espaço de busca, o que torna o processo mais confiável no que diz respeito à qualidade da solução encontrada. A Figura 13 apresenta um gráfico relacionando as soluções obtidas em cada iteração.

Conforme descrito na seção 4, algoritmos heurísticos são algoritmos que não garantem encontrar a solução ótima para um determinado problema, porém, são capazes de melhorar uma solução existente e obter uma solução viável e de qualidade em tempo razoável, o que torna o mecanismo de busca abordado neste trabalho uma alternativa auxiliar ao processo de decisão que envolve a alocação de rotas nas missões de distribuição de água.

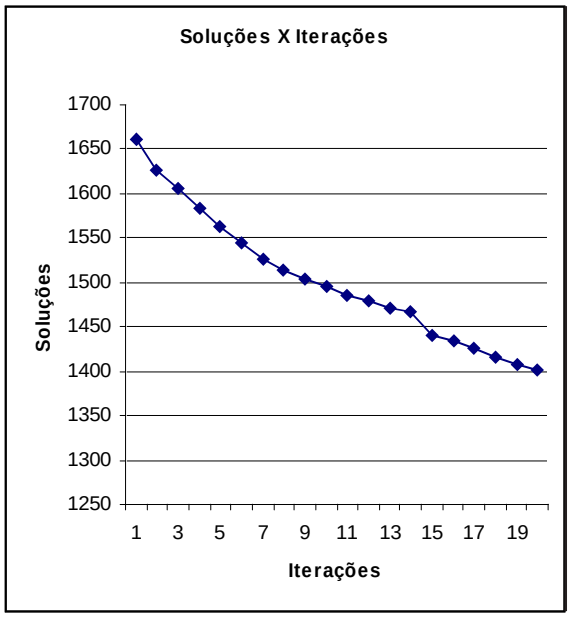

Figura 13 – Gráfico relacionando as soluções com as iterações

Um aspecto importante a ser levado em consideração diz respeito à aplicabilidade dos mecanismos de otimização ao Exército Brasileiro. Neste trabalho foi dado um enfoque especial às missões de distribuição de água no Nordeste; no entanto, diversos outros processos verificados nas Organizações Militares, sejam de transporte ou não, enquadram-se como problemas de otimização combinatória, tais como: missões de distribuição de alimentos, roteamento de viaturas internas às Organizações Militares, alocação de máquinas e planejamento da produção de asfalto em Batalhões de Engenharia de Construção, entre outros; o que faz do modelo de otimização combinatória um importante recurso, capaz de agregar valor e reduzir custos no Exército Brasileiro.

Referências

CONSTANTINO, Ademir A. **"Projeto e Análise de Algoritmos" + "Estrutura de Dados" + "Matemática" = "Otimização Combinatória".** Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ademir/Otimizacao.html >. Acesso em: 3 jun. 2007.

CORMEN, Thomas H. et al. **Algoritmos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 916p.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. **C++ Como Programar.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 1098p.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Exército volta a distribuir água no NE.** Disponível em: <http://www.exercito.gov.br/05notic/Imprensa/impnot/2006/02fev06/agua.htm>. Acesso em: 15 jun. 2007.

LAGUNA, M. **II Escuela de Verano Latino-Americana de Investigación Operativa:** Tabu Search Tutorial, 1994. Notas prévias. Digitado.

PORTAL DO CMNE. **Exército distribui água a mais de um milhão de pessoas no semi-árido nordestino.** Disponível em: <http://www.cmne.eb.mil.br/noticiascmne/2007_ummilhao.html>. Acesso em: 15 jun. 2007.

SOUZA, Marcone J. F. et al. **Otimização Combinatória.** 82 f. Notas de Aula. Digitado. 2007.

ISSN 1808-5784

Escola de Administração do Exército

Rua Território do Amapá, 455 - Pituba
Salvador - BA
CEP: 41830-540
http://www.esaex.ensino.eb.br

Revista Científica da Escola de Administração do Exército Ano 4 Nº 2 2008

ISSN: 1808 - 5784

Revista Científica da Escola de Administração do Exército

Ano 4 Nº 2 - 2º semestre de 2008

Revista Científica da
Escola de Administração do Exército

Ano IV N° 1 - 1° semestre de 2008
ISSN: 1808-5784

Escola de Administração do Exército – EsAEx

Comandante – Cel Júlio Cesar de Arruda
Subcomandante – Cel Carlos Cordeiro da Silva Santos
Chefe da Divisão de Ensino – Tenente-Coronel Gérli Nazareno Pimenta de Melo

CONSELHO EDITORIAL
Júlio Cesar de Arruda **– Presidente**
Gérli Nazareno Pimenta de Melo **– Vice-presidente**

CONSELHO DE SUBMISSÃO
José Pereira Emiliano, Éldman de Oliveira Nunes, Cláudio Rianelli Grosso,
José Roberto Pinho de Andrade Lima, Adones José Gonçalves Padilha,
Nadja de Assis Mendonça e Selma Lúcia de Moura Gonzales

COMISSÃO EDITORIAL
Felipe José Ferreira da Silva, Ana Vera Falcão de Nantua, Carlos Eduardo Arruda de Souza,
Luiz Fernando Sousa da Fonte, Marcus Cesar Oliveira Assis e Antônio José Costa Rangel

ANALISTA-COLABORADORA
Fernanda Pigozzi e Socorro Maria de Jesus Seabra Sarkis

REVISÃO LINGÜÍSTICA
Felipe José Ferreira da Silva

Revista digital disponível no sítio da Escola de Administração do Exército
http://www.esaex.ensino.eb.br

Colaborações para:
revistacientifica@esaex.ensino.eb.br

Aceita-se permuta - Pidese cambio - We ask for exchange

Escola de Administração do Exército - EsAEx
Rua Território do Amapá, 455 – Pituba - Salvador - BA - CEP: 41830-540 - Fone: (71) 3205-8800

Revista Científica da Escola de Administração do Exército. - ano 4, n. 1 (2005) - Salvador: EsAEx, 2005 -

Periodicidade semestral
ISSN 1808-5784

1. Administração. 2. Educação. 3.Saúde. 4.Tecnologia. I. Escola de Administração do Exército.

Este material poderá ter reprodução autorizada, após consulta, desde que citada a fonte.
As informações técnicas são de responsabilidade dos autores

omni ergo ®

Sumário

Editorial

Educação, 5

• 1808 - Motivos reais para a vinda da corte portuguesa ao Brasil: fuga ou estratégia política?.....6
Miguel Martinho Coelho de Andrade

• Uma pesquisa qualitativa realizada por meio da análise de conteúdo: uma abordagem multifocal.....16
Renata Rovaris Diorio

• Introdução ao *software tabulae* para a sua aplicação no ensino de geometria dinâmica no Colégio Militar de Salvador.....31
Nelson Claudiano da Silva Junior

Administração, 43

• O pregão eletrônico como instrumento de transparência fiscal: um estudo de sua utilização pela Escola de Administração do Exército.....44
Antônio José Costa Rangel

Saúde, 62

• Situação vacinal dos alunos do Curso de Formação de Oficiais da Escola de Administração do Exército no ano de 2008.....63
Ana Emilia Oliveira dos Santos Ferreira da Rocha

• Estratégias de mobilização e participação popular no sistema de coleta seletiva de lixo em Jequié / BA: um estudo de caso.....79
Josemar Santos Cunha, Fábio Matos Fernandes, Marcelo Santana Silva, Eduardo Ferreira dos Santos, Ronaldo Bruno Ramalho Leal

Direito, 95

• Direitos fundamentais dos prisioneiros de guerra.....96
Rogério Paiva Cietto

• Lesão ao princípio do contraditório e da isonomia na esfera da instância superior, no que pertine à manifestação da Procuradoria de Justiça.....108
Tarcisio Marques, Edson Alexandre da Silva

Informática, 119

• Busca tabu e o problema de roteamento de veículos: uma aplicação prática no Exército Brasileiro.....120
Arakén Pereira da Silva, Éldman de Oliveira Nunes

• Refatoração: Uma metodologia de aplicabilidade das técnicas baseada em um modelo em níveis de qualidade e maturidade de código.....135
Manoel Sancho da Silva Neto, Éldman de Oliveira Nunes

Editorial

Esta é mais uma edição da REVISTA CIENTÍFICA DA ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DO EXÉRCITO. Ela ratifica a consolidação da nossa produção científica, graças à contribuição dos representantes dos corpos docente e discente, dos ex-integrantes e colaboradores externos. Essa publicação consolida as Ciências Militares e comprova a evolução da doutrina do Exército Brasileiro.

Este ano foi bastante profícuo porque foram realizadas várias atividades nas quais os integrantes da Escola de Administração do Exército e Colégio Militar de Salvador tiveram a oportunidade de interagir com profissionais de outras instituições. Tal fato possibilitou a troca de conhecimento e experiências. Dentre elas destacamos a I Semana Nacional do Quadro Complementar de Oficiais que reuniu um número expressivo de oficiais oriundos de vários Estados do Brasil. E o IV Simpósio Interdisciplinar que promoveu debates e ampliou a interação entre as diversas instituições de ensino superior.

A excelência do trabalho desenvolvido na EsAEx/CMS, é fruto do auto-aperfeiçoamento constante buscado pelos nossos profissionais. Eles participam como ouvintes de simpósios, congressos, seminários ou expõem trabalhos oriundos de suas pesquisas dos cursos de mestrado e doutorado. Tudo em função de melhorar a capacitação do nosso corpo docente buscando um ensino de excelência.

Esta edição da nossa revista científica é o canal de divulgação de textos de várias áreas do conhecimento: Educação, Administração, Informática, Direito, Saúde e Meio Ambiente e busca divulgar as experiências, as lições aprendidas e as conclusões obtidas pelos estudiosos. Os artigos explicitam análises interessantes de assuntos específicos. Aqui, abordam-se assuntos de crítica histórica como a vinda da Familia Real até reflexões sobre o tratamento de prisioneiros de guerra. Essa diversidade de temas serve de subsídios para o trabalho de muitos pesquisadores, podendo ajudá-los também na rotina do trabalho, da escola e da vida.

Manter um patamar de excelência na edição da revista é a nossa meta. A colaboração de todos é imprescindível para atingirmos esse objetivo, por isso queremos um canal permanente de comunicação com você leitor para recebermos suas contribuições, sugestões, críticas e tornamo-nos mais conhecidos e próximo. Esse enlace é mais efetivo se utilizarmos as facilidades e a instantaneidade da internet. Junte-se a nós para sermos parceiros nas próximas edições, assim poderemos aprimorá-las e ter uma revista ainda mais útil, atrativa, atual e inovadora.

Muito obrigado a todos aqueles que nos apoiaram direta ou indiretamente neste ano. Um agradecimento especial aos instrutores e monitores que estão sendo transferidos, afastando-se do nosso convívio. Que todos tenham um Ano de 2009 repleto de realizações.

Júlio Cesar de Arruda - Coronel
Comandante da EsAEx/CMS

Informática