

Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante na otimização do roteiro de entregas de uma empresa de confecção

Alana Corsi (Universidade Estadual de Maringá) aaacorsi@gmail.com
Ana Carolina Bossonario (Universidade Estadual de Maringá) carolinabossonario@uol.com.br
Grasiely Rocha (Universidade Estadual de Maringá) grasy.rocha@gmail.com

Resumo:

O presente trabalho utiliza-se da estratégia de busca evolutiva do Algoritmo Genético para tratar um problema de alta complexidade, baseado no Problema do Caixeiro Viajante, que tem como objetivo a otimização da rota de entregas de uma empresa do ramo de confecção. As entregas devem ser feitas em nove cidades do Paraná, a fim de reabastecer os estoques, voltando para o Centro de Distribuição, situado em Maringá. Assim, utilizando a Meta-heurística evolutiva, juntamente com a implementação do problema em linguagem de programação C, foram realizadas simulações a fim de encontrar a rota ótima para realizar as entregas das mercadorias, sendo que a rota ótima é representada pela menor distância entre as cidades visitadas, além de apoiar a tomada de decisão do gestor da organização na escolha do local para alocar o centro de distribuição. O resultado obtido foi considerado satisfatório, e demonstrou a importância da otimização de roteiros.

Palavras chave: Meta-heurística, Algoritmo Genético, Problema do Caixeiro Viajante, Otimização, Rota.

The application of the Travelling Salesman Problem in the optimization of the delivery route of a clothing company

Abstract

This work is used the evolutionary search strategy of Genetic Algorithm to treat a highly complex problem, based on the Travelling Salesman Problem, which aims to optimize the delivery route of a company's manufacturing branch. Deliveries must be made in nine cities of Paraná, in order to replenish stocks, going back to the distribution center, located in Maringá. Thus, using the evolutionary meta-heuristic, with the implementation of the problem in C programming language, simulations were performed in order to find the optimum route to make deliveries of goods, where the optimal route is represented by the shortest distance between the cities visited, as well as support the manager's decision making in choosing the best place to allocate the distribution center. The result was considered satisfactory, and demonstrated the importance of rout optimization.

Key-words: Meta-heuristic, Genetic Algorithm, Travelling Salesman Problem, Optimization, Route.

1. Introdução

A Meta-heurística surgiu a partir da heurística, que de acordo com Becceneri (2012) origina-se da palavra grega *heuriskein*, que é traduzida como descobrir. O método heurístico é capaz de apresentar soluções subótimas aliando baixo custo computacional com qualidade de solução, para problemas computacionalmente intratáveis a partir de métodos exatos, ou seja, para

aqueles que não apresentem uma formulação matemática conhecida ou cujos requisitos são difíceis de serem atendidos via abordagem de otimização convencional (GOMES, 2006). Devido aos extensos espaços de soluções e da ausência de condições que permitam definir se a solução encontrada é local ou global, ocorrendo confinamentos, houve a necessidade da criação de técnicas que possibilitassem a exploração eficiente do espaço de busca, considerando as limitações computacionais. Tais técnicas foram denominadas meta-heurística.

A meta-heurística é a união de um ou mais métodos heurísticos combinados de forma a gerar soluções de alta qualidade, aplicada geralmente a problemas aos quais não apresentam um algoritmo exato para sua solução ou ainda quando dependem de grandes esforços computacionais, inviabilizando sua aplicação prática heurística (GOMES, 2006). De acordo com Becceneri (2012) a meta-heurística é caracterizada por apresentar uma estratégia de busca diferente para cada problema tratado, que pesquisa soluções viáveis e capazes de evitar confinamento em mínimos e máximos locais, sendo um mecanismo de busca de soluções em alto nível. Existem diferentes estratégias de busca, sendo elas: meta-heurística construtiva; de Busca de Entornos; Evolutiva; de Relaxação, e a Híbrida, e cada estratégia de busca apresenta algumas metodologias (VIANA, 2013). O presente trabalho utiliza a meta-heurística evolutiva, apresentando o Algoritmo Genético (AG) para tratar um problema baseado no Problema do Caixeiro Viajante (PCV).

O AG é uma técnica de busca aleatória direcionada, desenvolvida por Holland em 1975, que é capaz de obter a solução ótima global, em um espaço de busca multidimensional, baseando-se na teoria da evolução das espécies, denominada seleção natural (KONZEN *et al.*, 2003).

Conforme Konzen *et al.* (2003), os parâmetros utilizados pelo AG, advindos da teoria da seleção natural, são conhecidos como operadores genéticos de *crossover* e mutação, e são responsáveis por manipular indivíduos de uma população, através de gerações, para melhorar aperfeiçoar e adaptar (*fitness*) gradativamente a mesma. A representação dos indivíduos, denominados cromossomos, para o AG é a partir de cadeias (*string*) de número binário, 0 e 1, e a função de avaliação (*fitness*) determina a relação entre o AG e o problema de otimização. Pacheco (1999) descreve o cromossomo para o AG como uma estrutura de dados que representa uma das possíveis soluções do espaço de busca do problema, sendo que esses são submetidos a um processo de evolução que se baseia em avaliação, seleção, recombinação sexual (*crossover*) e por fim, mutação, e após vários ciclos de evolução a população apresentará indivíduos mais aptos.

Guedes, Figueiredo e Aloise (p. 18, 2005) descrevem as etapas do pseudocódigo do AG como demonstrado na tabela 1.

-
- | |
|---|
| i. [Inicialização] Gerar uma população inicial n de cromossomos, aleatoriamente, e determinar a fitness de cada cromossomo; |
| ii. [Geração da nova população] Criar uma nova população através da aplicação das seguintes etapas:
a) [Seleção] Selecionar dois cromossomos-pais da população atual de acordo com sua fitness; b) [Crossover] Fazer o cruzamento dos pais para formar novos indivíduos, chamados de filhos; c) [Mutação] Aplicar a mutação nos novos indivíduos |
| iii. [Avaliar nova população] Calcular a fitness de cada cromossomo da população recém gerada; |
| iv. [Teste de parada] Se a condição de parada for satisfeita: finalizar retornando a melhor solução encontrada. Caso contrário, voltar ao passo ii. |
-

Fonte: Guedes, Figueiredo e Aloise (2005)

Tabela 1 – Etapas do Algoritmo Genético

Os autores ainda explicam que o processo de *crossover* e mutação podem ou não ocorrer, dependendo de uma probabilidade fixa de cada indivíduo, e ainda podem ocorrer de diversas formas, dependendo do tipo de representação que se utiliza.

A seleção dos pais podem ocorrer de diversas formas, sendo um fator importante no resultado final, pois dependendo do tipo de seleção pode-se acelerar ou retardar a ocorrência da convergência genética, sendo assim, alguns dos métodos de seleção, de acordo com Linden (2008), são: Método do Torneio; Seleção Local, e Seleção por *ranking*.

O *crossover* é aplicado a um par de cromossomos retirados da população gerada, resultando em dois filhos. Os cromossomos pais tem sua cadeia de *bits* cortadas em uma posição aleatória, gerando duas cabeças e duas caudas, a partir daí as caudas são trocadas gerando dois novos cromossomos, denominados de filhos (LACERDA e CARVALHO, p.96, 1999).

Já a mutação, que ocorre a partir do *crossover*, é aplicada com certa probabilidade em cada *bit* dos dois filhos, invertendo os valores dos *bits*, ou seja, se estiver zero muda para um, e vice-versa. A mutação melhora a diversidade dos cromossomos, entretanto destrói informações contidas no cromossomo, necessitando assim de uma taxa de mutação baixa, entre 0,1% e 5% (LACERDA e CARVALHO, p.97, 1999).

Conforme Linden (p.54,2008), os AG's são indicados para problemas com alta complexidade de tempo e de dimensão, que não podem ser resolvidos por técnicas tradicionais. Um exemplo é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), caracterizado como de alta complexidade e intratável, classificado como NP-hard, apresentando um número de opções fatorial, impossibilitando a utilização de métodos exatos para sua solução.

De acordo com Silva e Oliveira (2006) o PCV é um problema clássico de otimização combinatória, que visa determinar uma rota que percorra n cidades, uma única vez, pela menor distância possível, retornando a cidade de origem, tendo como objetivo menor custo (SILVA e OLIVEIRA, 2006). É considerado um problema muito importante, visto que pode ser utilizado para resolver uma infinidade de outros problemas reais, como a otimização de roteirização para entrega de mercadorias, chegando ao menor custo (LINDEN, 2008).

Dantzig-Fulkerson-Johnson (DFJ) representa o PCV a partir do grafo $G=(N,A)$, com N representando os nós e A as arestas. Sua função objetivo será minimizar o custo das distâncias (SELONG e KRIPKA, 2009). As etapas da formulação matemática do PCV serão representadas posteriormente, já com as variáveis do problema tratado neste documento.

Assim, o objetivo deste trabalho é resolver um problema de roteirização de distribuição de uma empresa do ramo de confecção, situada na cidade de Maringá, baseada no PCV. O intuito é encontrar a melhor solução para o problema, sendo nesse caso a rota que representa a menor distância para as entregas, saindo de um Centro de Distribuição, reabastecendo nove estoques em nove cidades diferentes, e retornando para o ponto de partida. Para isso, o problema foi modelado utilizando a linguagem de programação C, baseando-se na metodologia do Algoritmo Genético, com o método de seleção *ranking*.

2. Metodologia

O presente trabalho pode ser classificado, do ponto de vista dos procedimentos técnicos utilizados, como um estudo de caso, que de acordo com Gil (2002) é um “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”. De acordo com seus objetivos, é classificado como pesquisa exploratória, que segundo o autor tem finalidade de proporcionar maior familiaridade com o problema tratado.

Para sua elaboração, inicialmente foi realizado um estudo sobre o problema a ser tratado,

levantando as características, restrições do problema e seu objetivo. Nesta primeira etapa, utilizou-se as ferramentas da qualidade Diagrama de Causa e Efeito, para evidenciar os motivos para atrasos e alto custo de entregas, e um Fluxograma para demonstrar as possíveis rotas de entrega. Após, foi realizado um estudo bibliográfico sobre o tema, buscando maior familiaridade com o assunto. Posteriormente, realizou-se a matriz de distâncias entre as cidades, seguida da formulação matemática do problema, baseado no PCV, e então a representação do problema em linguagem de programação C, utilizando-se dos conceitos de Algoritmo genético, visto que este é uma das meta-heurísticas capazes de solucionar este problema. Após a implementação em linguagem C, e a seleção dos parâmetros adotados, realizou-se 3 simulações, e a partir dessas foi encontrado a solução ótima, melhor roteiro de entrega, que convergiam para a menor distância de entrega possível, cumprindo assim sua função objetivo.

3. Problema tratado

Uma empresa do ramo de confecção situada na cidade de Maringá, no estado do Paraná, realiza a distribuição dos seus produtos em suas nove lojas, as quais são localizadas em nove diferentes cidades, também situadas no estado do Paraná, a fim de reabastecer o estoque da marca em cada cidade. As cidades as quais a empresa possui lojas são: Maringá, Terra Boa, Itambé, Cianorte, Londrina, Astorga, Apucarana, Arapongas e Umuarama, saindo de seu centro de distribuição, situado ao lado de sua loja de Maringá, e retornando para o mesmo ao fim da distribuição. Inicialmente a entrega era realizada de forma aleatória, ou seja, o motorista do veículo decidia a rota, sendo que o transporte não era uma tarefa desenvolvida por uma pessoa específica, e sim realizado por algum colaborador, que no momento de entregas estivesse disponível na organização. Com isso, a ordem da rota de entregas ficava a critério do transportador, e muitas vezes, o tempo de entrega e custo eram muito altos, gerando a necessidade de um estudo detalhado dos motivos para a ocorrência destes fatores, possibilitando solucioná-los. A ideia inicial foi realocar o depósito de modo que a rota para a entrega fosse a menor possível, sendo que o depósito poderia ficar em qualquer uma de suas lojas, independente da cidade, além de criar uma rota padrão para as entregas, a fim de criar uma rota com melhor custo x benefício para a empresa.

Utilizando um Diagrama de causa e efeito (Figura 1), foram identificados alguns dos motivos para que houvesse atrasos nas entregas e também majoração dos custos de distância das viagens..



Figura 1 – Causas para tempo e custo elevados

- a) **Pessoal não especializado:** Como já abordado, a empresa não tem uma pessoa fixa responsável pelas entregas. Isso faz com que a cada entrega haja uma rota nova, dependente do

critério do colaborador, o que muitas vezes aumenta a distância da viagem, aumentando consequentemente os custos para a realização da mesma;

b) Não conhecimento das rotas: O não conhecimento das distâncias e ordens das cidades faz com que alguns colaboradores adotem rotas aleatoriamente, sem pensar na ordem mais lógica e podendo desperdiçar tempo/dinheiro com erros de percurso;

c) Manutenção do transporte: Devido ao número elevado de cidades que se deve realizar a entrega e as distâncias percorridas, o transporte sofre com desgaste, necessitando muitas vezes que o motorista faça paradas para realizar a manutenção, gerando gastos com materiais, atrasos de mercadoria, e, consequentemente, custos extras para a matriz;

d) Rota grande: As entregas são realizadas por apenas um transporte, acarretando desgaste do transporte e do colaborador, incorrendo em paradas tanto para manutenção do veículo como para descanso ou necessidades fisiológicas do colaborador, podendo gerar atrasos no cronograma de entrega, além de custos para a empresa.

Assim, após identificar alguns dos motivos para as causas de elevado tempo e custo das viagens, a empresa estudou as possíveis soluções e decidiu focar inicialmente na escolha da nova instalação do depósito e a escolha de uma rota padrão percorrida para entregas a fim de minimizar as distâncias percorridas. Para tratar o problema, contratou uma empresa especializada em roteirização, e demonstrou os problemas presentes no setor de entregas da organização.

4. Desenvolvimento

A partir do entendimento do problema tratado, juntamente com a contratação da empresa de roteirização, iniciou-se a busca pela solução ótima do problema. A empresa contratada irá trabalhar juntamente com a empresa que a contratou a fim de coletar dados, além de demonstrar o passo a passo do que será feito. Assim, a empresa de roteirização selecionou o método do Algoritmo Genético para tratar o problema, visto que esse se assemelha ao PCV, tratável pelo AG entre outros métodos, e tomará como base as cidades envolvidas no processo para estabelecer o melhor local de instalação do depósito e a melhor rota, objetivando redução de distâncias e custos.

Inicialmente foi realizada uma matriz das distâncias entre as cidades envolvidas, utilizando para isso o Google Maps, resultando na tabela 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	76	46	81	99	53	63	64	166
B	76	0	73	25	173	128	140	138	110
C	46	73	0	97	132	101	76	94	182
D	81	21	97	0	181	134	143	144	87
E	99	173	132	181	0	67	54	37	264
F	53	128	101	134	67	0	51	34	219
G	63	140	76	143	54	51	0	22	228
H	64	138	94	144	37	34	22	0	229
I	167	110	182	87	264	219	228	229	0

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Matriz de distâncias

Legenda:

A: Maringá;

B: Terra Boa;

C: Itambé;

D: Cianorte;

E: Londrina;

F: Astorga;

G: Apucarana;

H: Arapongas, e

I: Umuarama.

Após, realizou-se um fluxograma demonstrando todas as possíveis rotas para as entregas, simulando a saída de todas as cidades, sendo que o algoritmo escolherá a que apresentar melhor custo x benefício, com 9 nós, conforme ilustrado na Figura 2.

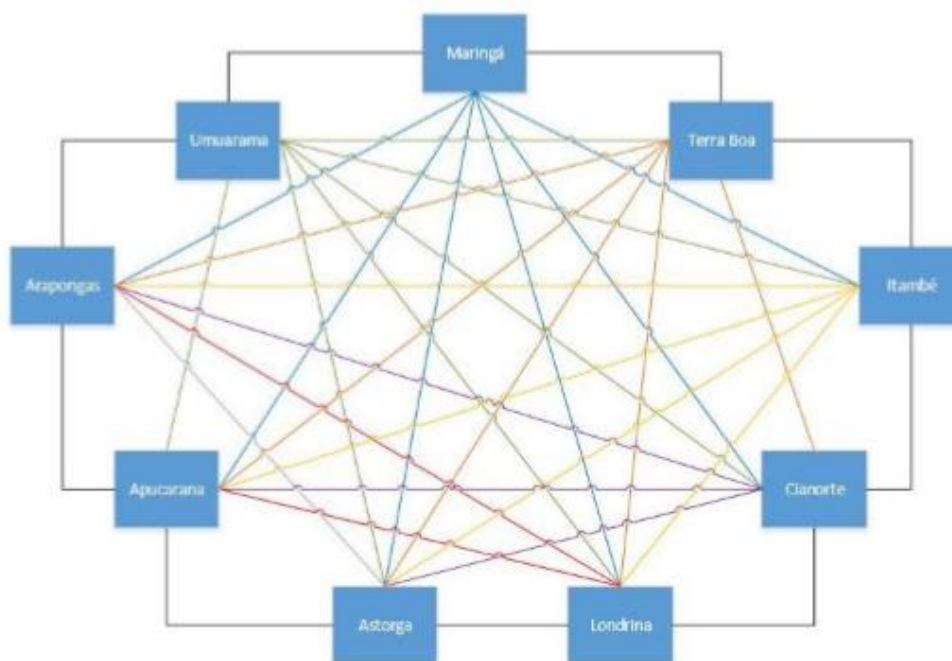


Figura 2 – Fluxograma de rotas

Assim, após o entendimento do problema e da demonstração das possibilidades de rotas e distâncias entre elas, iniciou-se o processo de formulação matemática do problema, viabilizando encontrar a função objetivo e suas restrições para a possibilidade de solução através do Algoritmo Genético.

4.1 Formulação matemática do problema tratado

A partir da formulação matemática do PCV, pode-se realizar a formulação do problema a ser tratado neste trabalho.

Com um número de nós (n) igual a 9, representado pelo número de cidades visitadas, a função objetivo é minimizar as distâncias para a realização da entrega, assim, temos:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^9 c_{ij} x_{ij}$$

Onde: c_{ij} : custo do arco (i,j); x_{ij} : fluxo no arco (i,j), e arco (i,j) representa a linha de distância entre as cidades.

Suas restrições são:

a) O fluxo de entrada em cada nó deve ser igual a 1, para que não haja mais de um caminho convergindo para um único nó.

$$\sum_{i=1}^9 x_{ij} = 1, \forall j \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

b) O fluxo de saída de cada nó deve ser igual a 1, pois de cada nó poderá partir um único caminho.

$$\sum_{j=1}^9 x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

c) O fluxo do nó para ele mesmo deverá ser igual a zero.

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \rightarrow 1 - 1 = 0$$

d) Evitar caminhos que não percorram todos os nós do problema, não satisfazendo o objetivo principal do mesmo.

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \leq 2 - 1 \leq 1$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \leq 3 - 1 \leq 2$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \leq 4 - 1 \leq 3$$

e) As variáveis devem ser binárias.

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Onde: $|S|$: é o número de vértices do subgrafo S; com S sendo um subgrafo de G.

$x_{ij} = \{1, \text{ se fluxo passar pelo arco } i,j; \quad 0, \text{ caso contrário.}\}$

Após a formulação matemática do problema, este foi implementado na linguagem de programação C. Para a programação do problema tratado em linguagem C inicialmente as variáveis foram declaradas: número de cidades; número de população; taxa de sobrevivência ou mortalidade e o número de evoluções que ocorreriam, sendo este o critério de parada do algoritmo. A partir das variáveis a população de indivíduos foi gerada, ordenada e selecionada, sendo o método de seleção por *ranking*, armazenando os de melhor aptidão, estes sofrerão mutação e os melhores aptos serão selecionados. O ciclo de escolha dos mais aptos ocorrerá até que o critério de parada pré estipulado seja atingido.

4.2 Simulações

Após a implementação do problema real na linguagem C, realizou-se três simulações, a fim de demonstrar para o gestor da organização. Para isso, os seguintes parâmetros foram adotados:

Número da população	15
Taxa de sobrevivência ou mortalidade	0,5
Número de Evoluções	3500

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Parâmetros para simulação

Assim, após adotar os parâmetros, foram realizadas 3 rodadas de simulação, com 3500 iterações, objetivando encontrar a rota que representasse a menor distância. Os resultados obtidos foram:

a) Primeira simulação

Na primeira rodada os resultados obtidos, sendo que a solução é o valor das distâncias percorridas em quilômetros, foram:

Geração	Solução (km)
1	874
2	776
5	689
32	625
122	605

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Resultados da primeira simulação

As gerações seguem as seguintes rotas:

Geração 1: Maringá > Apucarana > Arapongas > Londrina > Terra boa > Astorga > Itambé > Cianorte > Umuarama > Maringá;

Geração 2: Astorga > Maringá > Arapongas > Apucarana > Londrina > Itambé > Cianorte > Terra boa > Umuarama > Astorga;

Geração 5: Cianorte > Apucarana > Arapongas > Londrina > Astorga > Itambé > Maringá > Terra boa > Umuarama > Cianorte;

Geração 32: Terra boa > Maringá > Astorga > Londrina > Arapongas > Apucarana > Itambé > Umuarama > Cianorte > Terra boa;

Geração 122: Terra boa > Itambé > Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama > Cianorte > Terra boa.

Ao continuar gerando novas soluções, percebeu-se que a partir da geração 122 as soluções eram as mesmas, não havendo evolução, e igual a 605 quilômetros. Os dados podem ser analisados a partir da Figura 3.



Figura 3 – Resultados da primeira simulação

b) Segunda simulação

Na segunda rodada, os resultados obtidos foram:

Geração	Solução (km)
1	827
4	800
6	772
23	639
642	605

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Resultados da segunda simulação

As rotas para as seguintes gerações foram:

GERAÇÃO 1: Astorga > Apucarana > Maringá > Itambé > Londrina > Arapongas > Umuarama > Terra boa > Cianorte > Astorga;

GERAÇÃO 4: Itambé > Apucarana > Maringá > Londrina > Astorga > Arapongas > Umuarama > Terra boa > Cianorte > Itambé;

GERAÇÃO 6: Itambé > Astorga > Maringá > Apucarana > Arapongas > Londrina > Umuarama > Terra boa > Cianorte > Itambé;

GERAÇÃO 23: Maringá > Apucarana > Arapongas > Londrina > Astorga > Umuarama > Cianorte > Terra boa > Itambé > Maringá;

GERAÇÃO 642: Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama > Cianorte > Terra boa > Itambé > Apucarana.

A partir da geração 642 os dados não apresentaram evolução. Os dados podem ser analisados a partir da figura 4.



Figura 4 – Resultados da segunda simulação

c) Terceira simulação

Na terceira simulação os resultados obtidos foram:

Geração	Solução (km)
1	779
11	725

13	646
50	637
134	605

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Resultados da terceira simulação

As rotas de cada geração foram:

GERAÇÃO 1: Astorga > Londrina > Arapongas > Terra boa > Itambé > Umuarama > Cianorte > Maringá > Apucarana > Astorga;

GERAÇÃO 11: Apucarana > Cianorte > Terra boa > Umuarama > Itambé > Maringá > Arapongas > Astorga > Londrina > Apucarana;

GERAÇÃO 13: Umuarama > Cianorte > Terra boa > Itambé > Londrina > Apucarana > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama;

GERAÇÃO 50: Umuarama > Cianorte > Terra boa > Itambé > Londrina > Apucarana > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama;

GERAÇÃO 134: Cianorte > Umuarama > Terra boa > Itambé > Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Cianorte.

Percebeu-se que a partir da 134 geração, não houve mais evolução, com a distância igual a 605 quilômetros.

Os dados foram representados na figura 5 para melhor visualização.



Figura 5 – Resultados da terceira simulação

4.3 Tomada de decisão

A partir das análises das rodadas, observou-se que em todas as execuções do Algoritmo Genético, o custo da melhor solução foi de 605 quilômetros para o percurso da rota, mudando as rotas e a quantidade de gerações resultantes em cada rodada até convergir para o determinado custo.

O próximo passo foi apresentar ao representante da empresa de confecção que a menor distância percorrida era de 605 quilômetros e as inúmeras opções de rotas possíveis que acarretariam no mesmo custo ótimo final, partindo de origens diferentes, lembrando-o que todas as cidades seriam contempladas, para que assim esse pudesse tomar a sua decisão.

Para isso, a empresa de soluções entregou-o uma tabela demonstrando as possíveis rotas com seus respectivos pontos de partida, lembrando de que todas as rotas representadas convergiam para o mesmo custo, sendo 605 quilômetros totais, conforme tabela 7.

ROTA 1	Terra boa > Itambé > Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama > Cianorte > Terra boa
ROTA 2	Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Umuarama > Cianorte > Terra boa > Itambé > Apucarana
ROTA 3	Cianorte > Umuarama > Terra boa > Itambé > Apucarana > Londrina > Arapongas > Astorga > Maringá > Cianorte

Tabela 7 – Resultados das simulações

Assim, vendo que diferentes rotas com diferentes pontos de partidas convergiam para o mesmo custo, e tomando o conhecimento de que o ponto de partida pode ser qualquer umas das nove cidades, devendo apenas seguir a ordem encontrada nas simulação para obter o resultado ótimo, o representante da empresa de confecção optou por manter o centro de distribuição na cidade de Maringá, pois assim evitaria o inconveniente de realizar obras nas lojas das outras cidades para alocar o depósito, decidindo optar pela Rota 3, saindo da cidade de Maringá e retornado para a mesma, conforme representado pela figura 6.

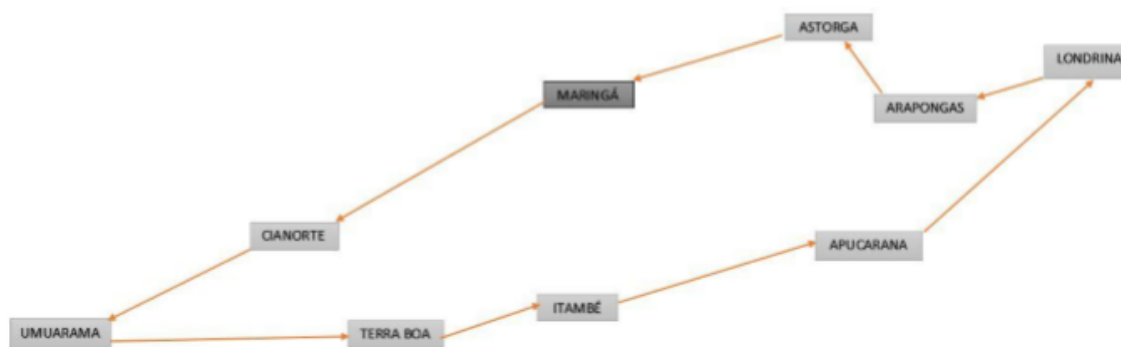


Figura 6 – Rota escolhida

Para resolver alguns dos problemas de transporte do material, o representante irá padronizar a rota e ensina-la ao encarregado das entregas, que deverá sempre cumpri-la, para que assim a distância a percorrer seja sempre a mesma e a mínima, visto que, analisando os resultados, pode-se observar que a escolha de uma rota errônea, não ótima, pode acarretar em até 40% de distância percorrida a mais do que a ideal, representando assim custos de transporte maiores para a organização.

5. Considerações finais

Com o auxílio do Algoritmo Genético e do Problema do Carteiro Viajante, foi possível solucionar um problema real de otimização de roteirização, que objetiva determinar a melhor rota de entrega de mercadorias, atingindo todos os clientes e retornando ao depósito com o menor custo de deslocamento. Viu-se que o método em questão proporciona, através de diversas simulações e iterações, a busca por soluções ótimas viáveis, atingindo o objetivo principal que é a redução de custos, sendo nesse caso, a redução dos quilômetros percorridos para a realização da entrega.

Através deste trabalho observou-se a complexidade deste tipo de problema, além da importância desse para a otimização dos resultados da empresa, visto que, nesse caso, se outra rota fosse escolhida, ao invés da solução ótima encontrada, haveria um aumento significativo

no custo com o deslocamento, podendo ser de até 40% superior à solução ótima. Logo, é uma ferramenta a ser utilizada pelas organizações em busca por competitividade, pois ajuda a reduzir os custos e consequentemente aumentar os lucros, que é o objetivo principal das organizações.

Referências

- BECCENERI, J. C.** *Meta-heurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações em Problemas Ambientais*. Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC, 2012.
- GIL, A. C.** *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª Edição. São Paulo: ATLAS S.A., 2002.
- GOMES, L.C.T.** *Inteligência Computacional na Síntese de Meta-heurísticas para Otimização Combinatória e Multimodal*. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Engenharia de Computação, Campinas-São Paulo, 2006.
- GUEDES, A. C. B.; FIGUEIREDO J. N.; e ALOISE D. J.** *Um algoritmo genético com infecção viral para o problema do caixeiro viajante*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal/RN, 2005.
- KONZEN, P. H. A.** *Otimização de métodos de controle de qualidade de fármacos usando algoritmo genético e busca tabu*. Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Santa Cruz do Sul – RS, 2003.
- LACERDA, E. G. M; CARVALHO, A. C. P. L. F.** *Introdução aos algoritmos genéticos*. In: Galvão, C. O.; Valença, M. J. S. *Sistemas inteligentes*. Porto Alegre: Editora da Universidade da UFRGS – ABRH, 1999.
- LINDEN, R.** *Algoritmos Genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional*. 2 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.
- PACHECO, M. A. C.** *Algoritmos Genéticos: princípios e aplicações*. Departamento de Engenharia Elétrica - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- SELONG, L. M. e KRIPKA, R. M. L.** *Otimização de Roteiros: estudo de caso de uma distribuidora de ferro de Passo Fundo/RS para a região*. Revista CIATEC – UPF, vol.1 (1), p.p.14-31, 2009.
- SILVA, A. F. e OLIVEIRA, A. C.** *Algoritmos genéticos: alguns experimentos com os operadores de cruzamento (“Crossover”) para o problema do caixeiro viajante assimétrico*. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.
- VIANA, G. V. R.** *Meta-heurísticas para Problemas de Otimização Combinatória*. Revista Científica da Faculdade Lourenço Filho, v.9, n.1, 2013.