

UTILIZAÇÃO DOS ALGORITMOS GENÉTICOS COMO FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO

USE OF GENETIC ALGORITHMS AS OPTIMIZATION TOOL IN ROUTING PROBLEMS

Celso Correia de SOUZA

Universidade Anhanguera Uniderp
csouza939@gmail.com

José Francisco dos REIS NETO

Universidade Anhanguera Uniderp
jfreisneto@terra.com.br

Wesley Osvaldo Pradella RODRIGUES

Universidade Anhanguera Uniderp
wesley174@uol.com.br

Francisco Sebastião RAMOS

Universidade Anhanguera Uniderp
fsrney@gmail.com

Recebido em 04/2012 – Aprovado em 12/2012

Resumo

Em um roteiro de entrega, o planejamento é o principal instrumento no qual o gestor deve-se basear para tomar as suas decisões. Os modelos matemáticos são os grandes aliados do gestor para a minimização de custos operacionais, simulando situações idealizadas, que não poderiam ser facilmente testadas no decorrer das operações de distribuição, mas que são fundamentais nas tomadas de decisões. Nesse trabalho de pesquisa utilizou-se a técnica dos Algoritmos Genéticos na otimização de um roteiro de distribuição de bebidas de uma empresa, visando obter a melhor rota de distribuição com o menor custo/distância entre o centro de distribuição e os clientes. Os resultados foram considerados muito bons visto que foi possível otimizar a rota de distribuição de bebidas, obtendo o menor custo/distância possível para a ótima execução do processo, evidenciando a eficiência dos Algoritmos Genéticos como ferramenta de otimização no auxílio à tomada de decisão.

Palavras-Chave: pesquisa operacional - roteirização de veículos - tomada de decisão - minimização de custos

Abstract

On a delivery route, planning is the main instrument in which the manager must rely on to make their decisions. Mathematical models are great allies of the manager to minimize operating costs, simulating idealized situations, which could not easily be tested in the course of distribution operations, but are fundamental in decision making. In this research work we used the technique of genetic algorithms on optimization of a route for a beverage distribution company in order to obtain the best distribution route with the lowest cost /distance between the center of distribution and customers. The results were considered very good since it was possible to optimize the route for the distribution of beverages with the lowest possible cost / distance to the optimal execution of the process, demonstrating the efficiency of genetic algorithms as optimization tool to help decision making.

Keywords: *operational research - vehicle routing - decision making - minimizing costs.*

1 INTRODUÇÃO

As empresas comerciais estão em constante transformação buscando cada vez mais alternativas para se aproximarem dos clientes. A distribuição de mercadorias é um item importante nesse relacionamento empresa-cliente, pois, compete à empresa facilitar ao cliente o acesso à mercadoria, evitando-se, assim, a formação de estoque pelo cliente, aliviando os seus gastos. Não basta às empresas oferecerem um produto ou um serviço de alta qualidade se a entrega desses for feita à revelia e em condições precárias, frustrando as expectativas do cliente.

Segundo Bowersox (2007, p. 19), o objetivo da logística dos transportes é tornar disponíveis, ao menor custo possível, produtos e serviços no local onde são necessários, no momento em que são desejados. A roteirização de veículos, braço da logística de dos transportes, tem como finalidade

resolver problemas que estão relacionados com a distribuição física de produtos e serviços através de problemas de otimização, que envolvem maximização de lucros ou receitas, ou minimização de custos. Esses problemas estão ligados à Pesquisa Operacional.

O conceito de modelagem matemática é essencial na formulação de problemas ligados à Pesquisa Operacional, e consiste em uma abstração simplificada da realidade, representada por um conjunto de equações e relações. A partir dessa idealização simplificada, o modelo emprega símbolos matemáticos para representar as variáveis de decisão do sistema real.

A Programação Linear (PL), ramo da Pesquisa Operacional, foi desenvolvida durante a segunda guerra mundial com o objetivo de resolver problemas de logística militar. Segundo Caixeta Filho (2001), a evolução da Pesquisa Operacional teve início com o matemático norte-americano George B. Dantzig e sua equipe, que foram convocados para a guerra, no início da década de 1940, para oferecer subsídios técnicos para as tomadas de decisão que envolvesse uma distribuição ótima de tropas entre as diferentes frentes de batalhas. Dantzig percebeu que problemas que envolviam limitação de recursos podiam ser resolvidos através de uma sistemática de busca de solução ótima. O método desenvolvido na época popularizou-se no ano de 1947.

Existem softwares computacionais consagrados para a solução de um problema de PL, podendo destacar a ferramenta Solver do MS Excel. Com a ajuda dos softwares e os modernos computadores, a PL passou a ser utilizada como ferramenta de gestão empresarial e tem sido aplicada para a resolução de vários problemas de produção, de armazenamento de produtos, distribuição dos recursos da indústria, entre outras diversas atividades de produção.

Outro aplicativo que vem ganhando destaque é a metha-heurística Algoritmo Genético, que tem sido muito utilizada na resolução de problemas de Programação Linear, que consiste em uma busca estocástica e tem o seu desenvolvimento e funcionamento vinculado à genética, em que todas as novas espécies são produzidas por meio de uma seleção natural em que os mais aptos sobrevivem gerando descendentes. O Algoritmo Genético básico é o que realiza as seguintes funções: inicializa uma população de cromossomos; avalia cada cromossomo da população; cria novos cromossomos a partir da população atual (realiza cruzamentos e mutações); e termina, se o critério estabelecido for alcançado, se não, reinicializa o processo (VIANA, 1998).

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo otimizar uma rota de distribuição de mercadorias de uma empresa do setor varejista de Campo Grande, MS, a um custo mínimo, desde o seu centro de distribuição, para uma série de nove clientes situados a diferentes distâncias desse centro, utilizando a metha-heurística Algoritmos Genéticos como ferramenta de otimização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LOGÍSTICA EMPRESARIAL

O conceito de logística é muito abrangente e complexo, pois não se resume apenas às atividades de transporte e entrega de produtos, mas sim, de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de matérias primas até as empresas e o fluxo dos produtos até os clientes, a um custo razoável (BALLOU, 1993, p. 16).

Ainda, de acordo com o mesmo autor, a logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente

eficaz de matérias primas, estoques, produtos acabados e informações relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender as exigências dos clientes. “A missão da logística é fornecer mercadorias e serviços a clientes de acordo com as suas necessidades e exigências de maneira mais eficiente possível”.

2.2 TRANSPORTE

O transporte é, na maioria das vezes, o principal elemento dos sistemas logísticos das empresas. Sua importância pode ser medida pelo menos por três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro. O transporte representa cerca de 64% dos custos logísticos de uma empresa, 4,3% do faturamento e, em alguns casos, mais que o dobro do lucro das empresas (FIGUEREDO, 2006; BALLOU, 2001).

Bowersox e Closs (2001), afirmam que três fatores são fundamentais para o desempenho do transporte:

- custo – que é o pagamento pela movimentação entre dois pontos geográficos e as despesas relacionadas com o gerenciamento e a manutenção de estoque em trânsito. Os sistemas de logísticas devem ser projetados para utilizarem o tipo de transporte que minimizarem o custo total do sistema;
- velocidade – é o tempo necessário para completar uma movimentação específica. A velocidade e os custos de transporte estão relacionados de duas maneiras: a primeira relação, quanto mais rápido o serviço de entrega, mais altas são as taxas de transporte; a segunda relação, não menos importante, refere-se quanto mais rápido o serviço de transporte, mais curto será o intervalo de tempo durante o qual o estoque ficará em trânsito;

- consistência – abrange as variações do tempo necessário para executar uma movimentação específica, considerando diversos carregamentos, a consistência é um reflexo da confiabilidade do transporte. A consistência afeta o risco de falta de produto, comprometendo o nível de estoque, tanto do vendedor como do comprador. A combinação entre velocidade e consistência forma a percepção sobre a qualidade do transporte por parte do usuário.
- economia de escala - é obtida através da redução dos custos de transporte por unidade de peso com cargas maiores e/ou consolidadas. Isso acontece porque as despesas fixas de transporte são diluídas quando há uma maior quantidade transportada, isto é, quanto maior a carga, menor será o custo por unidade de peso;
- economia de distância - caracteriza-se pela redução dos custos de transporte por unidade de distância, à medida que ela aumenta, ou seja, distâncias mais longas permitem que o custo fixo seja distribuído por mais quilômetros, provocando taxas menores por quilômetros.

Conforme Manfroi (2008), “os estudos na área de transportes são de fundamental importância para a logística, na qual o transporte é normalmente seu principal componente”. O autor afirma que a logística de transporte está muito além da melhor forma de transferir uma mercadoria do seu ponto de origem ao seu destino final com preço, qualidade e tempo compatíveis com as necessidades e desejos dos consumidores.

O transporte não se limita apenas ao traslado de mercadorias, deve ser considerado em sua execução de forma otimizada, em que os fatores tempo, custo e eficiência são indispensáveis para cada empresa. Transporte implica fazer uma reflexão sobre todos os aspectos da operação de movimentação na distribuição física (MANFOI, 2008).

A função de transporte por muito tempo já foi considerada a própria logística, onde os profissionais da área visualizavam que transporte significava movimentar os materiais desejados de um ponto a outro da cadeia de suprimento (FIGUEREDO, 2006; MANFROI, 2008; ENOMOTO, 2005 e BALLOU, 2001).

Segundo Bowersox e Closs (2001), os principais norteadores das operações e gerenciamento do transporte são dois:

Segundo Ballou (2001), um sistema de transporte eficiente e barato contribui para:

umentar a concorrência no mercado – o transporte de alta qualidade e barato encoraja a competição, disponibilizando mercadorias para um mercado que não poderia suportar aos altos custos de na entrega da mercadoria, aumentando as vendas através da penetração de produtos que não eram disponíveis em certas regiões;

escala de produção – o transporte barato possibilita a descentralização de mercados e de locais de produção, de forma que a produção pode ser instalada onde há vantagem geográfica. O transporte barato e eficiente contribui para redução dos preços dos produtos.

Segundo Enomoto (2005), as características dos produtos influenciam o custo do transporte. Os produtos podem ser classificados nas seguintes formas:

- densidade – que se refere ao índice de peso/volume; facilidade de armazenagem – é o grau em que o produto preenche um espaço no veículo de transporte;

- facilidade ou dificuldade de manutenção – está relacionada com a facilidade de armazenagem.

Para Figueiredo (2006), “administrar transporte significa tomar decisão sobre um amplo conjunto de aspectos, que podem ser classificadas em dois grandes grupos:

- decisões estratégicas – são as decisões que se caracterizam pelos impactos de longo prazo e se referem, basicamente, a aspectos estruturais. As decisões estratégicas no transporte são as escolhas dos modais, decisões sobre propriedades da frota, seleção e negociação com transportadores, e políticas de consolidação de cargas;
- decisões operacionais – são geralmente as decisões de curto prazo e se referem às tarefas do dia a dia dos responsáveis pelo transporte. As principais decisões de curto prazo são planejamentos de embarques, programação de veículos, roteirização, auditoria de fretes, e gerenciamento de avarias.

Saber gerenciar as interferências do meio, de modo que não haja prejuízos para a empresa contratante, faz com que todos os envolvidos obtenham vantagens competitivas no mercado que atuam (ENOMOTO, 2005).

2.3 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Antes de se estudar os tipos de roteirização e alguns dos mais frequentes problemas de roteirização, é necessário tomar como diretrizes oito princípios básicos, que podem auxiliar ao longo do processo de desenvolvimento de boas rotas. Para Ballou (2001), esses princípios são: carregar os caminhões com volumes cujas entregas estão próximas entre si; as paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos densos; a construção de

rotas começando com a parada mais distante do depósito; a sequência das paradas em uma rota rodoviária deve formar um padrão de gota d’água; as rotas mais eficientes são constituídas usando os maiores veículos disponíveis; as coletas devem ser combinadas com as rotas de entrega em vez de serem deixadas para o final das rotas; uma parada que é removível de um agrupamento de rota é uma boa candidata para um meio alternativo de entrega e; as limitações das janelas de tempo estreitas devem ser evitadas.

Esses princípios usados em projetos de formação de rotas podem oferecer melhorias substanciais sobre outros métodos de roteirização que serão mencionados ao longo deste trabalho.

2.4 ALGORITMOS GENÉTICOS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO

Os Algoritmos Genéticos (AGs) são algoritmos de busca, criados por John Holland em 1975, baseado nos processos observados na evolução natural das espécies. O conceito básico consiste em que, de forma similar à teoria biológica dos sistemas naturais, os “melhores” indivíduos sobrevivem e geram descendentes com suas características hereditárias, no qual esses novos elementos tendem a ter a mesma aparência, ou fenótipo, que seus antecessores (RODRIGUES, 2009).

Conforme Rodrigues (2009, p. 3), “o que o AG faz é buscar aquela solução que seja ótima, ou a melhor do problema analisado, através da criação de população de indivíduos cada vez mais aptos, levando à otimização da função objetiva”.

A implementação dos AGs parte de uma população indivíduos gerados aleatoriamente (configurações iniciais de um problema), realiza-se a avaliação de cada indivíduo (em relação a função objetiva), seleciona os mais aptos e promove os manipuladores ou operadores genéticos como cruzamentos e mutações,

originando novas gerações de indivíduos. Cada indivíduo na população representa uma possível solução para um dado problema (SOUZA, 2010). Na Figura 1 pode-se resumir os Algoritmos Genéticos através do fluxograma.

Os Algoritmos Genéticos permitem uma simplificação na formulação e solução de problemas de otimização, pois incorporam uma solução possível para o problema utilizado numa estrutura semelhante à estrutura de um cromossomo, aplicam operadores de seleção e cruzamentos a essas estruturas de forma a preservar informações importantes para a solução de problema (LINDEN, 2008).

2.4.1 Função de avaliação

Segundo Linden (2008), a função de avaliação, também chamada de função de custo, calcula então o valor numérico que reflete quão bons os parâmetros representados no cromossomo resolvem o problema. Em virtude dos parâmetros do problema serem conflitantes, a função de

aptidão é construída para encontrar o ponto ótimo, em problemas de otimização ela pode representar a função objetiva do problema.

A função de avaliação deve, portanto, ser escolhida com grande cuidado. Ela deve embutir todo o conhecimento que se possui sobre o problema a ser resolvido, tanto suas restrições quanto seus de qualidade (LINDEN, 2008).

2.4.2. Escolha da população inicial

A inicialização da população é feita da forma mais simples possível, fazendo-se uma escolha aleatória independente para cada indivíduo da população inicial ou por processo heurístico, isto é, simplesmente escolher *n* indivíduos dentro do espaço de busca. Essa técnica permite gerar uma boa distribuição, cobrindo um espaço maior no espaço de busca, sem interessar se são boas soluções ou não, assim como na natureza para haver evolução é necessário diversidade (LINDEN, 2008; VIANA, 1998 e SOUZA, 2010).

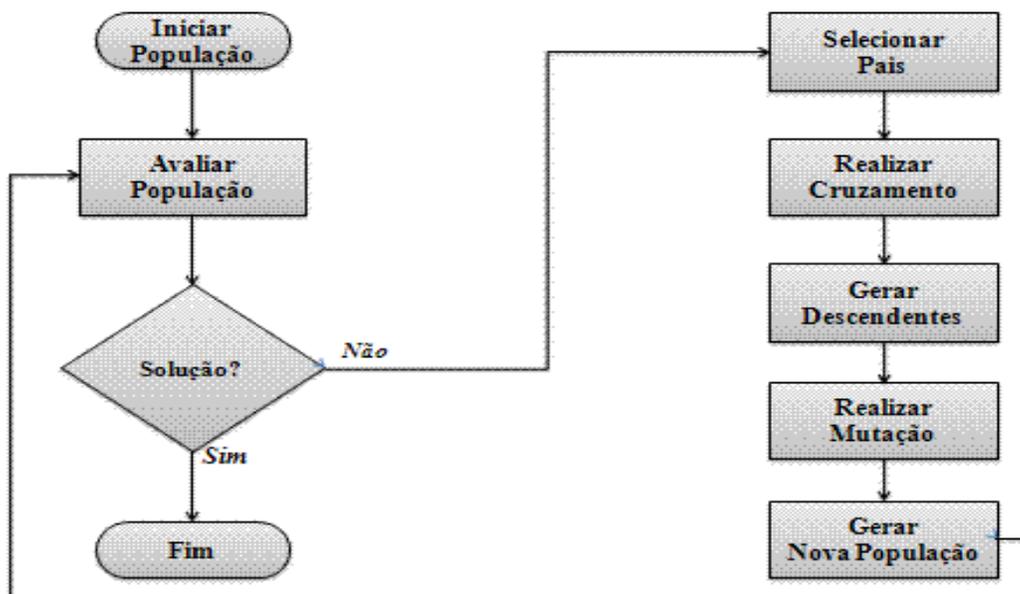


Figura 1 – Fluxograma da solução de problemas de otimização com Algoritmos Genéticos

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2009, p. 3)

2.4.3 Seleção

A seleção dos indivíduos da população deve simular o mecanismo de seleção natural, “sobrevivência dos mais fortes”, em que os pais mais aptos geram mais filhos. O algoritmo permite, também, que alguns indivíduos menos aptos gerem filhos, garantindo a diversidade entre os indivíduos melhores e os piores. Se apenas os melhores indivíduos se reproduzirem a população tenderá a ser cada vez mais semelhante, não ocorrendo a evolução (LINDEN, 2008 e VIANA, 1998).

A seleção via roleta viciada emprega o princípio da probabilidade de sobrevivência do mais apto, ou seja, que possui a melhor função objetiva associada. Com base nos valores de $f_i(x_i)$, onde x_i é o indivíduo i avaliado de n indivíduos amostrados. Os indivíduos mais aptos são selecionados e duplicados em substituição aos menos aptos. Nessa etapa é quantificada a probabilidade p_i de i -ésimo indivíduo da população vir a ser selecionado é proporcional à sua probabilidade de seleção

2.4.4 Elitismo

O elitismo visa preservar os melhores cromossomos de uma geração para outra sem alterações, garantindo sempre melhor solução encontrada em qualquer uma das gerações será mantida até o final do processo. Geralmente usa-se nos Algoritmos Genéticos uma taxa de elitismo de 30% do total de indivíduos gerados (LINDEN, 2008 e VIANA, 1998).

A principal vantagem deste método é que a convergência é garantida, isto é, se o máximo global for descoberto, o Algoritmo Genético converge para esse máximo, entretanto, da mesma forma existe o risco da estagnação em um máximo local.

2.4.5 Crossover

O cruzamento ou *crossover* é em processo de recombinação de partes das sequências de caracteres entre pares de cromossomos, com o objetivo de gerar nova descendência. Esta troca de material genético garante a recombinação da população, possibilitando, assim, uma probabilidade maior de produzir indivíduos mais evoluídos que seus pais.

O operador *crossover* escolhe aleatoriamente dois pais e troca parte de seu padrão genético. A escolha do ponto de corte do cromossomo é feita aleatoriamente; após esses passos são gerados dois filhos em substituição aos pais. No cruzamento é usual atribuir um percentual PX (indivíduos para cruzamentos), na faixa de 25% a 75% da população, recomenda-se preservar os primeiros e últimos gens do cromossomo (LINDEN, 2008; VIANA, 1998; RODRIGUES, 2009 e SOUZA, 2010).

2.4.6 Mutação

Este operador é responsável pela introdução e manutenção da diversidade genética na população. O operador de mutação inverte os valores de bits, ou seja, muda o valor de dado bit de 1 para 0 ou de 0 para 1, com o objetivo de tentar regenerar algum indivíduo que possa ter sido eliminado de forma inesperada. Para que uma determinada população não sofra muitas alterações, esta operação é processada para um pequeno percentual PM de seus elementos, em torno de 1% de todos os genes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi do tipo exploratória que, de acordo com Gil (1999, p. 43), “as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista formulação de problemas mais precisos

ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”.

A pesquisa foi fundamentada por meio de fontes bibliográficas, partindo de referências teóricas já publicadas em documentos e coleta de dados da empresa varejista da cidade de Campo Grande, MS, que distribui mercadorias, a partir do seu centro de distribuição, para nove postos de vendas, situados em diferentes pontos da cidade, com coordenadas cartesianas conhecidas. Todas as distâncias entre o centro de distribuição e os nove postos de vendas foram determinadas através de georreferenciamento, bem como todas as distâncias entre todos os nove pontos de venda. Para o tratamento dos dados, a simulação de roteiros e para a determinação do roteiro otimizado, utilizou-se o *toolbox* sobre Algoritmos Genéticos do *software* Matlab®, utilizando-se o operador de *crossover* de mapeamento parcial (PMX) e o operador de mutação por troca (EM) desse aplicativo.

Existe um centro de distribuição (CD), denominado de Cliente 1 (C1), e nove pontos de entregas, denominados clientes C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10. No protótipo implementado, para resolver esse problema, os clientes e o CD são representados pelas coordenadas cartesianas em um mapa. Estas coordenadas permitem o cálculo da distância linear entre dois pontos quaisquer. As distâncias entre os pontos serão utilizadas para a determinação da distância total percorrida na rota a ser otimizada. Na Tabela 1 estão representadas as coordenadas cartesianas, em km, do CD (cliente C1) e dos nove clientes C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10.

Na Figura 2 estão representadas, no plano

cartesiano as posições dos nove clientes C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 e do centro de distribuição CD = C1.

Na Tabela 2 foram calculadas as distâncias entre todos os clientes, inclusive o centro de distribuição (CD = C1), para facilitar o entendimento e a visualização do problema, lembrando que as distâncias estão quilômetros (km).

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Neste trabalho utilizou-se, no processamento, a representação ordinal, onde cada cliente é representado por um algarismo de 1 a 10, representando os clientes $C_i, i = 1,2,3, \dots, n$. O Quadro 1 mostra as 10 primeiras rotas, de uma população inicial de 20 rotas, geradas aleatoriamente, utilizadas na execução do programa. Observe-se deve aparecer como ponto de partida e como ponto de chegada de cada rota.

A primeira rota gerada pelos Algoritmos Genéticos, do *software* Matlab, está representada graficamente na Figura 3, com percurso total de 129,25 km.

O Quadro 2 mostra as 10 primeiras rotas, de um total de 20 rotas, da população final, após 545 iterações, com a convergência do algoritmo, gerando a melhor rota (CD=C1, C8, C7, C6, C10, C5, C3, C4, C9, C2, CD = C1), com percurso mínimo de 76,70 km.

A Figura 4 mostra, graficamente, a melhor rota (C1, C8, C7, C6, C10, C5, C3, C4, C9, C2, C1), obtida através dos Algoritmos Genéticos, implementado

Tabela 1 - Relação das coordenadas cartesianas do Centro de Distribuição (CD=C1) e dos nove clientes

Cientes	CD=C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Coord.(km)	(1, 1)	(8, 5)	(17, 1)	(13, 8)	(17, 17)	(9, 9)	(1, 17)	(5, 9)	(9, 13)	(10, 15)

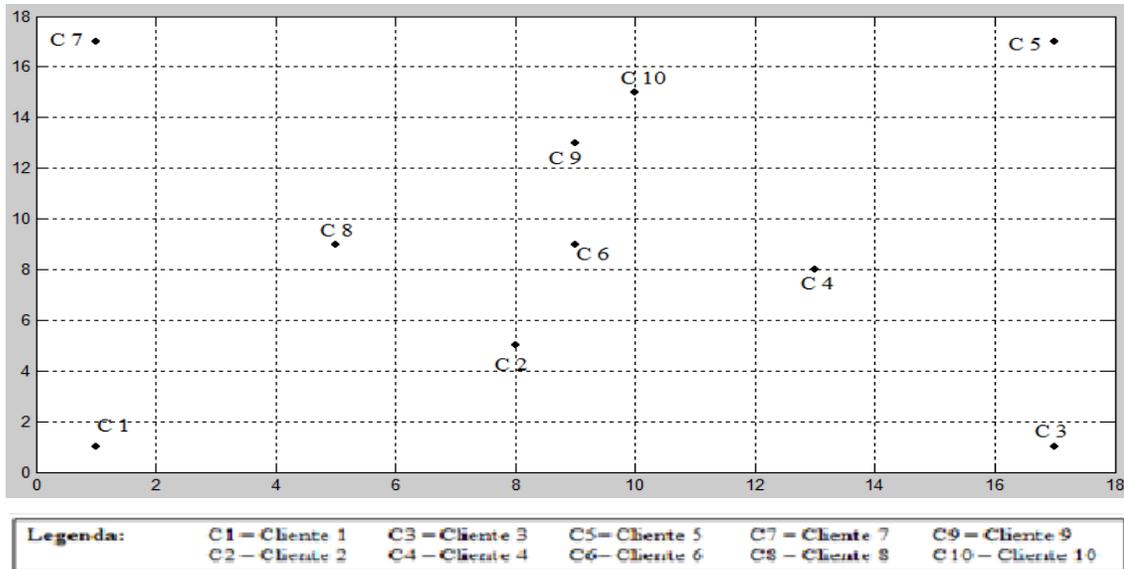


Figura 2 – Localização dos clientes C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 no plano cartesiano e do centro de distribuição CD = C1

Tabela 2 – Tabela das distâncias calculadas entre todos os clientes, valores situados nos cruzamentos de linhas e colunas.

	CD=C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
CD=C1	0,00	8,06	16,00	13,89	22,83	14,42	16,00	8,94	11,31	16,64
C2	8,06	0,00	9,85	5,83	15,00	8,06	13,89	5,00	4,12	10,20
C3	16,00	9,85	0,00	8,06	16,00	14,42	22,63	14,42	11,31	15,65
C4	13,89	5,83	8,06	0,00	9,85	6,40	15,00	8,06	4,12	7,62
C5	22,83	15,00	16,00	9,85	0,00	8,04	16,00	14,42	11,31	7,28
C6	14,42	8,06	14,42	6,40	8,94	0,00	8,94	5,67	4,00	2,24
C7	16,00	13,89	22,63	15,00	16,00	8,94	0,00	8,94	11,31	9,22
C8	8,94	5,00	14,42	8,06	14,42	5,67	8,94	0,00	4,00	7,81
C9	11,31	4,12	11,31	4,12	11,31	4,00	11,31	4,00	0,00	6,08
C10	16,64	10,20	15,65	7,62	7,28	2,24	9,22	7,81	6,08	0,00

no Matlab.

Comparando a o custo, por exemplo, da rota (C1, C4, C7, C3, C6, C2, C9, C10, C8, C5, C1), gerada aleatoriamente na primeira iteração do

algoritmo, com um percurso total de 129,25 km, com a melhor rota calculada, última interação do algoritmo, com percurso de 76,70 km, pode-se perceber que houve uma redução de custo de

Quadro 1 – Conjunto das dez primeiras rotas da população inicial, gerada através dos Algoritmos Genéticos no *software* Matlab 7.0

CD=C1	C4	C7	C3	C6	C2	C9	C10	C8	C5	CD=C1
CD=C1	C3	C8	C5	C9	C6	C7	C10	C2	C4	CD=C1
CD=C1	C3	C5	C2	C9	C4	C8	C6	C10	C7	CD=C1
CD=C1	C7	C3	C6	C8	C4	C2	C9	C10	C5	CD=C1
CD=C1	C10	C5	C3	C9	C4	C8	C7	C2	C6	CD=C1
CD=C1	C3	C4	C8	C9	C7	C6	C2	C10	C5	CD=C1
CD=C1	C6	C5	C7	C4	C3	C10	C9	C2	C8	CD=C1
CD=C1	C8	C2	C5	C9	C7	C6	C2	C10	C4	CD=C1
CD=C1	C8	C3	C9	C7	C6	C10	C4	C5	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C3	C9	C7	C6	C10	C4	C5	C2	CD=C1

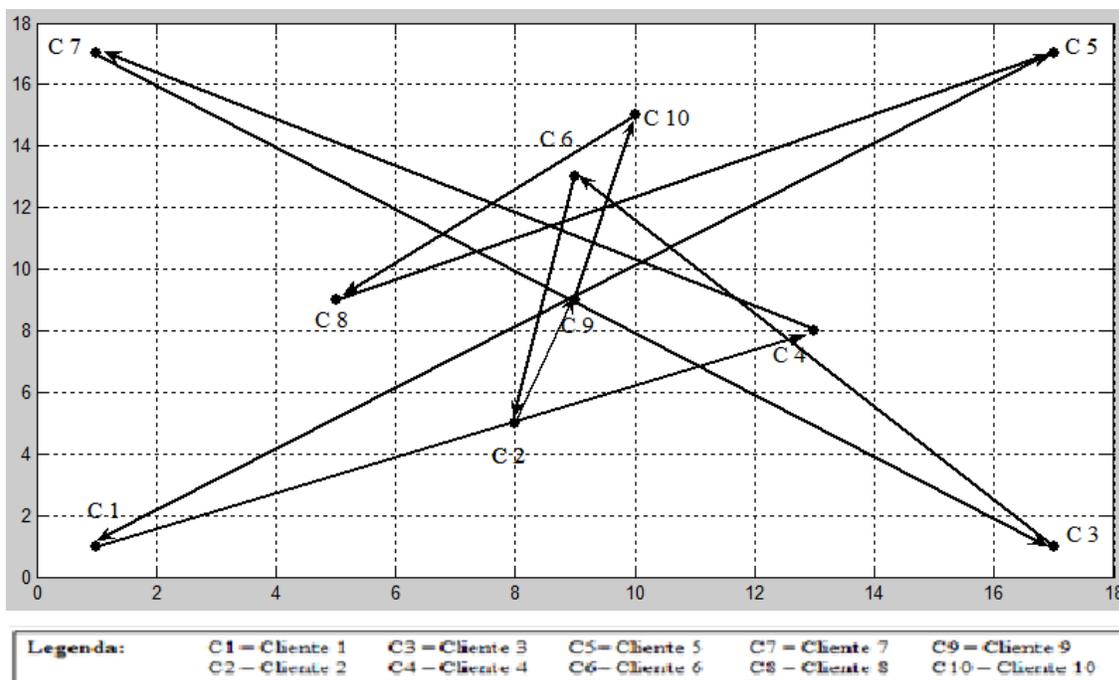


Figura 3 - Representação gráfica da primeira rota no plano cartesiano (CD = C1)

aproximadamente 40,65%, equivalente a uma redução de 52,55 km.

O gráfico da Figura 5 apresenta a representação da evolução do algoritmo

5 CONCLUSÕES

Os resultados podem ser considerados bons, visto que o objetivo do trabalho, que era otimizar uma rota de distribuição de bebidas, utilizando os

Quadro 2 – População final, após a convergência do algoritmo para a rota (CD=C1, C8, C7, C6, C10, C5, C3, C4, C9, C2, CD = C1), gerada através dos Algoritmos Genéticos no *software* Matlab.

CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1
CD=C1	C8	C7	C6	C10	C5	C3	C4	C9	C2	CD=C1

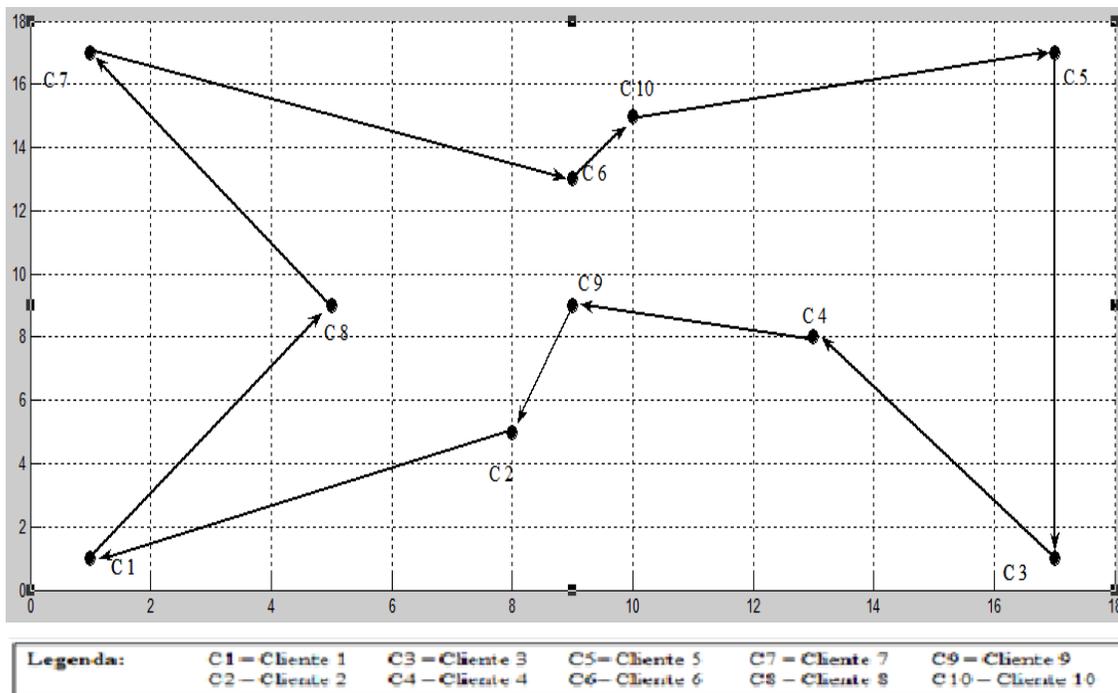


Figura 4 – Representação da rota com menor custo no plano cartesiano

Algoritmos Genéticos como ferramenta de otimização, foi alcançado.

Os Algoritmos Genéticos se mostraram uma ferramenta eficiente na otimização desse problema de roteirização, além de não necessitar

nenhuma propriedade especial sobre a função objetiva.

Os Algoritmos Genéticos possuem a desvantagem de demandarem um maior custo computacional, se comparados com outros algoritmos clássicos.

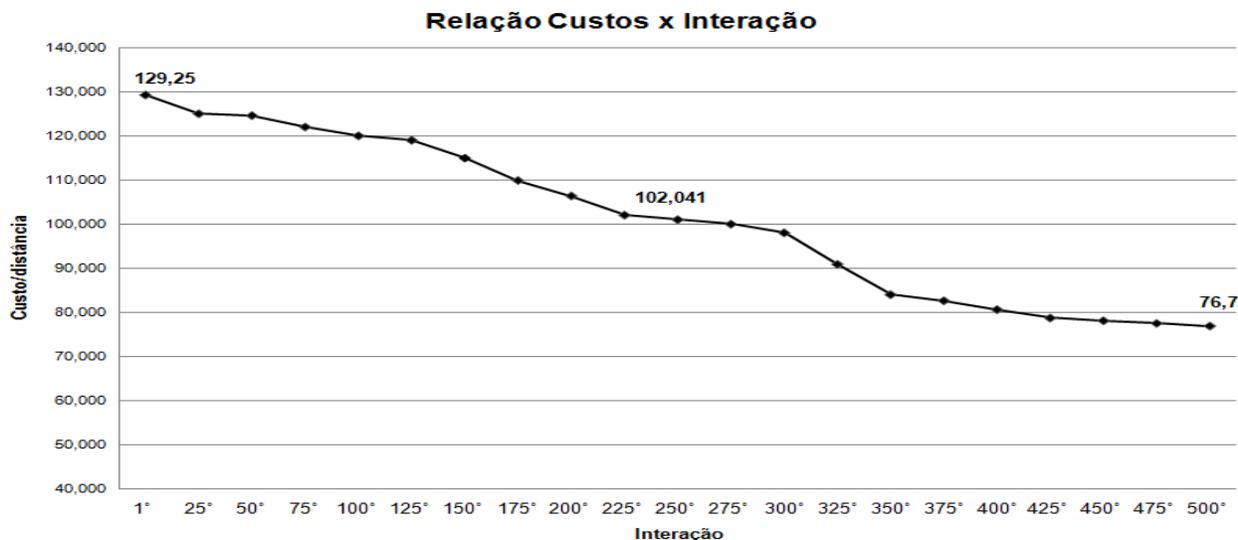


Figura 5 – Representação da evolução do algoritmo

Os Algoritmos Genéticos possuem a vantagem de, após, gerada a população inicial, realizar melhorias sobre a mesma no espaço de busca, visando a otimização da função, não necessitando uma nova programação a cada vez que se for criada um novo roteiro de distribuição ou otimizar um roteiro de distribuição.

O uso do *software* Matlab foi de extrema importância na execução deste trabalho, pois o mesmo possui uma ferramenta especial (*toolbox*) dedicada aos Algoritmos Genéticos, facilitando sobremaneira o seu uso em aplicações práticas.

Sendo assim, os Algoritmos Genéticos se comprovam como uma importante ferramenta de otimização no auxílio da tomada de decisão, especialmente na Gestão Logística – roteirização de veículos – como sendo um dos objetivos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BOWERSOX, D. J. e CLOSS, D. J. . Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. 1 ed. 1 reimpr. São Paulo: Atlas, 2007.

ENOMOTO, L. M. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista da sul de Minas Gerais. Itajubá, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F. e WANKE, P. (Org). logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. 1 ed. 3 reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDBARG, M. C. e PACCA, H. L. L. Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

GUERVÓS, J. J. M. Informática Evolutiva: Algoritmos Genéticos. Disponível em: <http://geneura.urg.es/~jmerelo/ie/ags.htm>. Acesso em: 05 jun. 2009.

KOBAYASHI, S. Renovação da logística: como definir as estratégias de distribuição física global. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LINDEN, R. Algoritmos Genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional. 2 ed. Rio de Janeiro: BRASPORT, 2008.

MALAQUIAS, N. G. L. Uso dos Algoritmos Genéticos para a otimização de rotas de distribuição. Uberlândia, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

MANFROI, A. S. A logística de transporte e as cadeias agropecuárias avícola e suinícola, impacto social e econômico no desenvolvimento local do município de Toledo – PR. Santa Maria, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade da Universidade Federal de Santa Maria.

MATSUMOTO, É. Y. Matlab®7: fundamentos. 1 ed. São Paulo: Érica, 2004.

NOGUEIRA, K. P. Abordagem logística da distribuição física: uma revisão da literatura. Revista da FARN. Natal, v. 5, nº 1/2, p. 13-25, jan./dez. 2006.

NOVAES, A. G. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

RODRIGUES, W. O. P.; SOUZA, C. C. de; REIS NETO, J. F. dos. Uma ferramenta para suporte à decisão no planejamento de produção de uma indústria utilizando Algoritmos Genéticos. In: ADMPG, II. 2009. Anais. Ponta Grossa: ADMPG, 2009.

SILVA JUNIOR, O. S. ; LOPES, L. A. S.; BERGMANN, U. Roteirização de veículos com múltiplos depósitos em Sistema de Informação Geográfico Livre. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, XXIII. 2009, Vitória. Anais. Vitória: ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2009.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, A. C. de. Algoritmos Genéticos: alguns experimentos com os operadores de cruzamento (“Crossover”) para o problema do caixeiro viajante assimétrico. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE

PRODUÇÃO, XXVI. 2006, Fortaleza. Anais. Fortaleza: ABEPRO – Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENESEP), 2006.

SOUZA, C. C de; REIS NETO, J. F. dos; ARIAS, E. R. A.; RODRIGUES, W. O. P. Uso de Algoritmos Genéticos como ferramenta auxiliar no processo decisório em atividades de gestão empresarial. Informe Gepec. Toledo, PR, v14, n. 1, p. 113-126, jan./jun. 2010. 14 p.

SOUZA, D. O. de. Algoritmos Genéticos aplicados ao planejamento do transporte principal de madeira. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

VIANA, G. V. R. Meta-heurísticas e programação paralela em otimização combinatória. 1 ed. Fortaleza: EUFC, 1998.