

ALGORITMO GENÉTICO NA LOCALIZAÇÃO DE GERÊNCIAS REGIONAIS EM UMA COMPANHIA AÉREA

Carolina Amorim Oliveira Cruz

CEFET/RJ - Av. Maracanã, 229, Rio de Janeiro

carolina.cruz@uol.com.br

Tania Querido

CEFET/RJ - Av. Maracanã, 229, Rio de Janeiro.

querido@openlink.com.br

Resumo

Problemas de localização de facilidades se aplicam a uma ampla variedade de contextos. Este trabalho propõe a utilização do Algoritmo Genético para a busca de locais ótimos para gerências regionais em uma companhia aérea, tendo como conceito básico o estudo de p-medianas e clustering. São consideradas as distâncias entre os aeroportos que conjugam as mesmas gerências a partir do “grande círculo” e os pesos dados a estes aeroportos correspondem, por proporcionalidade, ao número de seus funcionários.

Palavras-chave: Algoritmos Genéticos, p-Mediana, Clustering, Companhia aérea.

Abstract

Facilities location problems arise in many contexts. This work proposes the application of Genetic Algorithm to the optimization of regional administrations location of an airline company, based on p-medians and clustering concepts. Distances between airports under the same administration are obtained from the “great circle distance” and the weights associated to the airports are proportional to the number of their employees.

Keywords: Genetic Algorithms, p-Median, Clustering, Airline Company.

1. Introdução

O objetivo teórico de um problema de localização requer que se escolha um subconjunto de nós de uma dada rede aos quais são associados serviços tais que cada nó esteja a uma distância mínima das referidas facilidades mais próximas, podendo ser consideradas ponderações por um fator de demanda.

Este problema encontra aplicações em modelos tais como gerenciamento de dados, desenho de rede ótica, localização de centros de comutação em redes telefônicas (GUHA et al., 1998), localização de unidades de saúde (ROSÁRIO et al., 2001), depósitos de fornecimento em uma rede de distribuição rodoviária (NUNES, 1998) e a distribuição de jornais a assinantes (FLEISCHFRESSER et al., 2001).

Neste trabalho, serão aplicados conceitos de Localização em Grafos como estratégia gerencial das operações de uma companhia aérea, com foco na melhor localização de cada gerência regional e na distribuição adequada dos aeroportos em regiões geográficas.

Para este fim, serão introduzidos, na segunda e terceira seções deste trabalho, uma descrição do problema proposto e um desenho do modelo através de Teoria dos grafos, respectivamente. Na quarta seção, será apresentada a implementação do problema adaptado ao Algoritmo Genético, junto aos resultados computacionais obtidos por uma série de simulações de possíveis cenários (diferentes conjuntos de regiões). Finalmente, na quinta seção, serão apresentadas as conclusões sobre os resultados obtidos.

2. Descrição do Problema

Para conseguir um gerenciamento eficiente das atividades dos aeroportos, as empresas aéreas precisam investir em ferramentas para alcançar um modelo de organização e de gerenciamento que possibilite um melhor controle dessas atividades. O interesse em matérias correlatas à Análise da Decisão encontram aí um campo fértil para a otimização de recursos e de procedimentos.

O modelo de organização que prevê a distribuição dos aeroportos em regiões, onde cada região deve possuir um gerente responsável pelas operações dos aeroportos a ele subordinados é um modelo eficiente que tem sido adotado por companhias aéreas. Uma melhor localização das gerências regionais de um aeroporto e melhor alocação dos aeroportos nestas regiões é fundamental para que se consiga um gerenciamento com eficiência, qualidade e finalmente, com baixo custo logístico.

Neste sentido, a utilização de um sistema que auxilie um administrador a encontrar a melhor organização dessas gerências regionais contribui para que a decisão seja feita baseada em informações consistentes e critérios quantitativos.

Um gerente regional precisa visitar os aeroportos de sua região periodicamente, sendo importante que ele esteja localizado em um ponto onde sua distância entre os aeroportos a ele subordinados seja a menor possível. Assim, a busca pelas menores distâncias entre os aeroportos é uma preocupação importante para a escolha da posição da gerência regional e para a distribuição dos aeroportos entre as regiões a fim de que o tempo e o custo de deslocamento dos gerentes regionais pelos aeroportos seja reduzido. No entanto, outros critérios devem ser considerados, como por exemplo, uma grandeza relacionada a cada aeroporto que referencie o número de passageiros e o conseqüente número de funcionários naquele aeroporto.

3. Modelo proposto

Os problemas de localização de facilidades têm como objetivo selecionar a melhor localização, em uma região específica, para a facilidade de serviços, tendo como objetivo final a localização de facilidades ao longo de uma rede definida por um grafo.

O problema das medianas é um problema clássico em Teoria dos Grafos e tem como objetivo minimizar a soma da distância de cada um dos vértices à facilidade mais próxima, ponderada por um fator de demanda, não incluindo, habitualmente, conotações de urgência (BOAVENTURA NETTO, 2000). Mais especificamente busca-se a localização de um certo número p de instalações ou facilidades em um conjunto predefinido com n ($n > p$) instalações candidatas a fim de minimizar a distância média que separa os consumidores da instalação mais próxima. Essas instalações podem ser localizadas nos vértices e/ou nas arestas e são chamadas de medianas.

O problema das p -medianas é um problema clássico de localização de facilidades e consiste em localizar em uma rede p facilidades (medianas) minimizando-se a soma de todas as distâncias de cada ponto de demanda à sua mediana mais próxima (ROSÁRIO et al., 2001).

De acordo com definição de Fleischfresser (2001), seja um grafo um conjunto constituído de pontos (ou vértices) e linhas (ou arcos) que ligam todos ou alguns desses pontos, o problema de se achar p -medianas em um dado grafo é o problema da localização ótima de um certo número de p facilidades, de tal forma que a soma das menores distâncias aos pontos (ou vértices) do grafo, a partir da facilidade mais próxima, seja minimizada.

O objetivo do problema das p -medianas é encontrar o conjunto de medianas de maneira que o número de transmissão seja mínimo. O número de transmissão é a soma do produto das distâncias entre os pontos de demanda e sua mediana mais próxima pelo peso de cada ponto.

No contexto de Teoria dos Grafos, o problema das p -medianas adaptado à busca de uma localização ótima para a eficiente integração entre as gerências regionais e seus respectivos aeroportos pode ser modelado a partir do grafo $G = (V, A)$, onde os vértices $v \in V$ representam os

aeroportos e as arestas $(v_i, v_j) \in A$ indicam a existência de conexão entre os aeroportos v_i e v_j . O mapeamento $f: V \rightarrow \mathfrak{R}$, onde $f(v_i) = a_i \in \mathfrak{R}$ associa um valor a cada vértice, indicando a demanda, ou o número de funcionários do aeroporto associado ao vértice.

Para a resolução do problema das p-medianas, é necessário identificar um subconjunto de vértices $V_p \subset V$, chamado conjunto de medianas, com cardinalidade p, tal que a soma das distâncias de cada vértice restante em $V - V_p$ até seu vértice mais próximo em V_p seja mínima.

A formulação deste problema como um problema de Programação Inteira, permite que cada vértice do grafo seja considerado, ao mesmo tempo, como demanda e instalação (potencial mediana), embora em muitos casos demandas e instalações pertençam a conjuntos disjuntos. O modelo matemático desenvolvido por Reville et al. (1970) é apresentado a seguir.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

$$\text{s.a: } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.2)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (3.4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (3.5)$$

onde n é o número de vértices, a_i representa a demanda do vértice j, d_{ij} é a distância do vértice i ao vértice j e p o número de instalações utilizadas como medianas.

Nesta formulação, tem-se:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o vértice } i \text{ for designado à instalação } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o vértice } j \text{ for uma instalação usada como mediana} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A função objetivo (3.1) minimiza a soma das distâncias (com pesos) dos vértices de demanda até o conjunto de medianas. O conjunto de restrições (3.2) garante que todos os vértices demanda serão designados para exatamente uma única mediana e a restrição (3.3) proíbe que um vértice demanda seja designado para uma instalação que não esteja selecionada

Na literatura é possível encontrar alguns métodos para a resolução do problema das medianas. Para problemas de pequeno porte, a solução pode ser encontrada por formas exatas, tais como o modelo de programação inteira e a enumeração exaustiva (ou busca em árvore). Em casos mais complexos é comum o uso de técnicas de programação mista e de algoritmos heurísticos.

4. Implementação do algoritmo e análise dos resultados

Para sua resolução, o problema foi dividido em duas partes. Na primeira parte foi feita a localização das gerências regionais considerando este como um problema de localização de p-medianas (p-gerências regionais) e adotando-se para sua resolução o Algoritmo Genético. Em

seguida realizou-se a distribuição dos aeroportos entre as regiões, considerando a seleção prévia da localização ótima de cada uma.

4.1 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AG's) constituem um método de otimização inspirado no processo Darwiniano de seleção natural dos seres vivos. Na realidade, os AG's fazem parte de uma classe de paradigmas e técnicas computacionais inspiradas na evolução natural, denominada de Computação Evolucionista (NUNES, 1998). Segundo Reeves (1995), o AG teve sua origem na analogia entre a representação de uma estrutura complexa, por meio de um vetor de componentes, e a idéia da estrutura genética de um cromossomo.

Os AG's pertencem a uma classe de heurísticas que trata de técnica de busca inteligente ou meta heurística e foi inicialmente apresentado por Holland (1975). AG's derivam da biologia, onde estruturas genéticas entram em processo de otimização com a seleção de indivíduos. Uma população de possíveis soluções para o problema em questão evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua.

Conforme Grefenstette (1986), um AG é um procedimento iterativo que mantém uma população de estruturas, chamadas de "indivíduos", que representam as possíveis soluções para um determinado problema. A cada iteração ("geração"), os indivíduos da população passam por uma avaliação que verifica sua capacidade em oferecer uma solução satisfatória para o problema. Esta avaliação é feita conforme uma função que recebe o nome de função de aptidão, ou função de fitness. Com a avaliação através da função de fitness, alguns indivíduos são selecionados, de acordo com uma regra probabilística, para passar por um processo de reprodução. Neste processo, aplicam-se os chamados operadores genéticos sobre os indivíduos selecionados gerando uma nova população de possíveis soluções. Admite-se que a população vai ficando cada vez mais apta para solucionar o problema. Após um grande número de gerações, de acordo com um critério de término do algoritmo, o indivíduo mais apto até então é indicado como uma possível solução para o problema.

Alguns dos principais fatores que têm feito do Algoritmo Genético uma técnica bem sucedida é a sua simplicidade de operação, facilidade de implementação e a eficácia em realizar um passo na direção de uma busca ótima global.

O sucesso da aplicação de AG's a um problema de natureza combinatória, como o problema da p-mediana, depende da representação adotada. A solução de uma instância de um problema de otimização deve ser representada por um vetor de atributos semelhante a um cromossomo.

Em resumo, o AG opera tipicamente através de um ciclo simples de 4 estágios:

- criação de uma população de indivíduos;
- avaliação de cada indivíduo;
- seleção dos melhores indivíduos;
- manipulação genética, para criar uma nova população de indivíduos.

De acordo com Smiderle (2001), as principais características que diferenciam os AG's de outras técnicas de programação matemática, são as seguintes:

- empregam uma população de indivíduos, ou soluções, que pode ter tamanho fixo ou variável, ao contrário da maioria das técnicas que efetuam uma busca "ponto-a-ponto";
- não trabalham diretamente com as possíveis soluções do problema, chamadas de fenótipos, mas sobre uma codificação das mesmas chamadas de genótipos;
- empregam regras de transição probabilísticas ou estocásticas, sendo que a maioria dos algoritmos tradicional usa regras determinísticas;

- não exigem maiores informações adicionais sobre a função a otimizar.

4.2 Algoritmo para formação de Clusters

Além da determinação da localização dos pontos ótimos para as instalações, este trabalho envolve o agrupamento dos pontos “não escolhidos” de acordo com a posição das instalações selecionadas. Sendo assim, os vértices não escolhidos como medianas serão distribuídos em clusters de acordo com a posição das medianas.

Neste trabalho, o algoritmo utilizado para a formação dos clusters utiliza o método proposto por Gillet e Johnson, utilizado por Smiderle (2001), realiza a distribuição das unidades nos clusters priorizando a proximidade destas unidades às medianas e considerado a restrição de capacidade de cada cluster.

4.3. Implementação Computacional e Análise dos Resultados

Toda a implementação computacional foi feita utilizando a linguagem de programação DELPHI.

A primeira implementação realizada foi a geração da matriz das distâncias entre os aeroportos. O cálculo destas distâncias considerou o arco que conecta os dois pontos na Terra baseado no conceito de “Grande círculo” que assume que a Terra é uma esfera. Para a determinação dos pontos do arco foram utilizadas as coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos aeroportos e as distâncias foram expressas em quilômetros.

De posse das distâncias e dos pesos de cada aeroporto (totais de funcionários), iniciou-se a implementação computacional do algoritmo genético para localização das p-gerências regionais, onde ao término do número de iterações definidos pelo usuário, o programa indica as p-medianas ou os aeroportos onde serão localizadas cada uma das gerências regionais.

Dado o número de aeroportos $n = 51$ que foi utilizado para a seleção da localização das p-gerências regionais, optou-se pela utilização de $p = 7$, que era o número de regiões usado pela companhia aérea pesquisada para este trabalho.

Definido o valor de p e o valor de n , foi gerado um programa no computador que fizesse a combinação dos n elementos (aeroportos) agrupados p a p . Essas combinações representam as possíveis soluções para o problema (população inicial), ou seja, cada uma delas é uma possível solução para a localização das regiões.

Após gerar a população inicial, o algoritmo faz a verificação da aptidão de cada indivíduo pertencente à população. Para cada indivíduo gerado é calculada a função de fitness mostrada abaixo:

$$C_i = fitness(r_i) = \sum_{x_j \in X} c_j \cdot \left\{ \min_{x_k \in P_i} [d(x_k, x_j)] \right\}$$

Onde,

c_j = total de funcionários do aeroporto (vértice) j .

Calculada a aptidão de cada indivíduo, estes foram ordenados crescentemente por valor de fitness encontrado. Feita a ordenação dos indivíduos, determinou-se o número k de iterações que serão realizadas até ser apresentada a solução. Esse k irá determinar o número de vezes que os indivíduos serão selecionados e reproduzidos até encontrar a solução mais próxima da solução ótima para o problema. Quanto maior for o valor de k , o resultado estará mais próximo da solução ótima.

A seleção dos dois indivíduos que serão cruzados é feita utilizando a fórmula:

$$Select(R) = \left\{ r_j \in R / j = \left\lceil \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 \cdot rnd(m^2 + m)}}{2} \right\rceil \right\}$$

Onde,

$R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$ com m indivíduos viáveis de p elementos cada

$rnd \in [0, 1)$ é um número aleatório uniformemente distribuído

$[b]$ é o menor inteiro maior do que b .

Essa fórmula irá indicar, aleatoriamente, os dois indivíduos a serem selecionados que, de acordo com Smiderle (2001), provavelmente serão os indivíduos de melhor fitness.

Entre os dois indivíduos selecionados foi realizado o processo de cruzamento ou crossover a fim de se obter dois novos indivíduos. O processo de crossover adotado começa com a escolha aleatória de um número entre 1 e p (total de medianas). Esse número representa o total de elementos (aeroportos) que serão trocados entre os indivíduos. É feita, então, uma análise dos novos indivíduos para saber se eles são viáveis ou não.

Os indivíduos viáveis são comparados aos piores indivíduos da população e, caso o novo indivíduo seja melhor que o pior indivíduo da população, é realizada uma troca entre eles. Desta forma a população inicial vai se aproximando cada vez mais de uma população perfeita, consequentemente se aproximando da solução ótima para o problema.

Ao término do número de iterações definidos pelo usuário, o programa indica as p -medianas ou os aeroportos onde serão localizadas cada uma das 7 regiões. A partir destes aeroportos selecionados como medianas, o programa realiza a distribuição dos aeroportos restantes em regiões. Para essa distribuição foi desenvolvido o algoritmo de designação citado anteriormente.

4.4. Análise dos resultados

Com o sistema finalizado, foi possível testar sua eficiência quanto à proposta de organização das regiões. Com base em um estudo realizado em uma companhia aérea foram selecionados 51 aeroportos para serem organizados em sete regiões como citado anteriormente. As coordenadas geográficas e os totais de funcionários foram obtidos através deste estudo.

Para a análise dos resultados foram realizadas cinco simulações para uma população de 1000 indivíduos e 3500 iterações, considerando a capacidade de cada região como sendo de 450 funcionários. A tabela 1 apresenta as medianas e seus respectivos números de transmissão obtidos com as simulações.

Simulação	Medianas	Nº transmissão (km)
1	GRU, JPA, NGO, FLN, JFK, MCP, MXP	785.874
2	MEX, GIG, NAT, CPQ, POA, FRA, BVB	781.670
3	GRU, MAO, BSB, CDG, MEX, FLN, REC	726.509
4	GRU, FRA, NRT, MAO, FLN, LAX, REC	756.691
5	JPA, NRT, MIA, TFF, GRU, POA, CDG	708.242

Tabela 1 – Medianas para população de 1000 indivíduos e 3500 iterações

A tabela 2 mostra os clusters formados a partir das medianas encontradas em cada uma das 5 simulações. Para cada cluster são apresentados seus respectivos aeroportos e totais de funcionários.

Simulação	Região	Aeroportos	Funcionários
1	1	GRU, CGH	494
	2	JPA, REC, NAT, MCZ, AJU, FOR, SSA, VIX, CNF, BSB	370
	3	NGO, NRT	14
	4	FLN, CWB, POA, IGU, CPQ, MVD, EZE, ASU, GIG	584
	5	JFK, MIA, LAX, CUN, MEX	41
	6	MCP, BEL, BVB, MAO, TFF, PVH, TBT, RBR, CCS, BOG, LIM, SLZ, VVI, CGB, CGR, SCL	159
	7	MXP, FRA, CDG, LHR, CPH, MAD, LIS	75
2	1	MEX, LAX, CUN, MIA, JFK	41
	2	GIG, VIX, CNF, BSB	471
	3	NAT, JPA, REC, FOR, MCZ, AJU, SLZ, SSA	243
	4	CPQ, CGH, GRU	495
	5	POA, MVD, EZE, FLN, IGU, ASU, SCL, CWB, VVI, CGR, CGB	290
	6	FRA, CDG, MXP, CPH, LHR, MAD, LIS, NGO, NRT	89
	7	BVB, MAO, TFF, CCS, TBT, BOG, PVH, MCP, RBR, LIM, BEL	108
3	1	GRU, CGH	494
	2	MAO, TFF, BVB, PVH, TBT, CCS, RBR, BOG, MCP, LIM, BEL	108
	3	BSB, CNF, CGB, VIX, CGR, VVI	170
	4	CDG, LHR, FRA, MXP, CPH, MAD, LIS, NGO, NRT	89
	5	MEX, CUN, LAX, MIA, JFK	41
	6	FLN, POA, CWB, MVD, IGU, EZE, ASU, CPQ, SCL, GIG	592
	7	REC, JPA, MCZ, NAT, AJU, FOR, SSA, SLZ	243
4	1	GRU, CGH	494
	2	FRA, CDG, MXP, CPH, LHR, MAD, LIS	75
	3	NRT, NGO	14
	4	MAO, TFF, BVB, PVH, TBT, BOG, RBR, CCS, LIM, VVI, MCP, CGB, SCL, BEL, CGR	145
	5	FLN, CWB, POA, IGU, CPQ, MVD, EZE, ASU, GIG	584
	6	LAX, MEX, JFK, CUN, MIA	41
	7	REC, JPA, MCZ, NAT, AJU, FOR, SSA, VIX, CNF, SLZ, BSB	384
5	1	JPA, REC, NAT, MCZ, FOR, AJU, SSA, SLZ, VIX, CNF, BSB, BEL	422
	2	NRT, NGO	14
	3	MIA, CUN, JFK, MEX, LAX	41
	4	TFF, TBT, MAO, PVH, BVB, RBR, LIM, BOG, CCS, MCP, VVI, CGB	85
	5	GRU, CGH	494
	6	POA, FLN, MVD, CWB, IGU, EZE, ASU, CPQ, CGR, SCL, GIG	606
	7	CDG, LHR, FRA, MXP, CPH, MAD, LIS	75

Tabela 2 – Clusters formados para população de 1000 indivíduos e 3500 iterações

Os resultados apresentados pelas simulações realizadas pelo programa permitem avaliar qual a melhor organização das gerências regionais. Dentro de cada simulação estão as sete regiões com seus aeroportos e totais de funcionários. Cada aeroporto está designado por uma sigla padronizada pela IATA (*International Air Transport Association*).

Com base nestes resultados é verificada a melhor distribuição geográfica dos aeroportos entre as regiões, ou seja, aquela que possibilita um menor número de transmissão. Também está expresso nos resultados a distribuição do total de funcionários onde o analista avaliará qual a solução mais adequada para a situação proposta.

Analisando as tabelas 1 e 2 observa-se que a quinta simulação apresentou o melhor número de transmissão, ou seja, uma melhor localização das gerências regionais. Contudo, a distribuição dos aeroportos nesta simulação se mostrou pouco homogênea pois, enquanto a região 6 ficou com 606 funcionários, a região 2 ficou somente com 14 funcionários.

A segunda simulação apresentou um número de transmissão menor que a quinta mas, de todas as cinco simulações, foi a que apresentou uma distribuição dos funcionários de maneira mais regular. Uma distribuição mais homogênea da quantidade de funcionários é essencial para que não haja uma sobrecarga no gerenciamento de determinadas regiões.

Na figura 2 é possível visualizar as regiões localizadas no Brasil encontradas na segunda simulação.

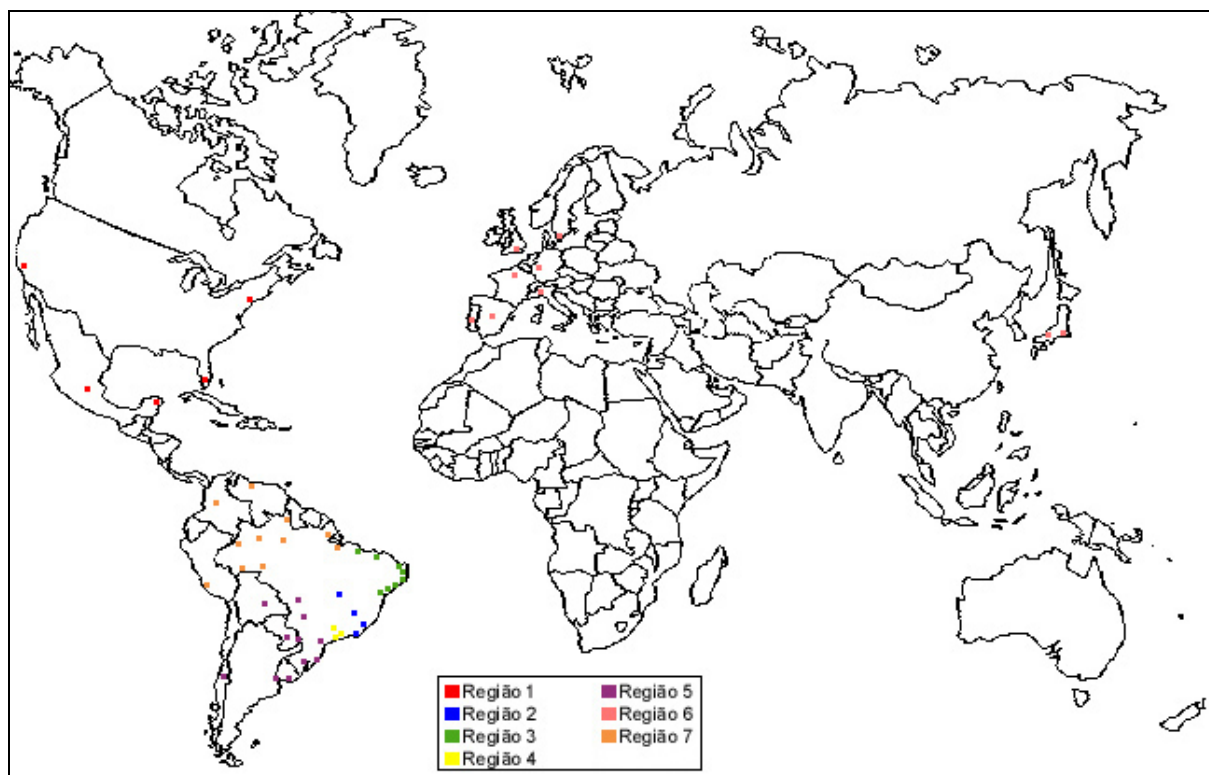


Figura 2 – Mapa das gerências regionais distribuídas sem a utilização do algoritmo

Comparando-se a solução encontrada com a utilização dos algoritmos propostos neste trabalho e a atual distribuição das gerências regionais da companhia aérea em questão pode-se observar, como mostrado na tabela 3 que a localização das gerências regionais e os agrupamentos propostos apresentam um ganho no número de transmissão em relação à atual organização desta companhia.

O total de funcionários para cada região apresenta-se homogêneo em ambos os cenários o que

mostra que este fator é de extrema importância na determinação das regiões mesmo sem a utilização de um algoritmo para tal finalidade.

	Localização da Gerência Regional	Aeroportos	Total Funcionários	Transmissão (km)
Cenário Atual	GRU	GRU, CGH, CPQ	495	788.578
	GIG	GIG	330	
	CWB	CWB, IGU, FLN, POA, MVD, EZE, SCL, ASU, VVI	265	
	FOR	FOR, SSA, VIX, CNF, AJU, MCZ, REC, JPA, NAT, SLZ	256	
	BSB	BSB, CGR, CGB, PVH, RBR, BVB, BEL, MCP, MAO, TFF, TBT, LIM, BOG, CCS	261	
	MIA	MIA, JFK, LAX, NRT, NGO, MEX, CUN	55	
	LHR	LHR, FRA, MXP, MAD, LIS, CDG, CPH	75	
Cenário Proposto	MEX	MEX, LAX, CUN, MIA, JFK	41	781.670
	GIG	GIG, VIX, CNF, BSB	471	
	NAT	NAT, JPA, REC, FOR, MCZ, AJU, SLZ, SSA	243	
	CPQ	CPQ, CGH, GRU	495	
	POA	POA, MVD, EZE, FLN, IGU, ASU, SCL, CWB, VVI, CGR, CGB	290	
	FRA	FRA, CDG, MXP, CPH, LHR, MAD, LIS, NGO, NRT	89	
	BVB	BVB, MAO, TFF, CCS, TBT, BOG, PVH, MCP, RBR, LIM, BEL	108	

Tabela 3 – Comparação entre o resultado do sistema e a organização atual da empresa.

5. Conclusões

O modelo apresentado como solução para o auxílio na escolha da melhor organização das gerências regionais de uma companhia aérea apresentou resultados confiáveis para a sua aplicação.

O sistema desenvolvido utilizando os algoritmos genético e de designação mostrou-se consistente na resolução do problema proposto. Tais algoritmos trabalham com uma busca aproximada da solução ótima, o que permite ao usuário realizar diversas simulações e escolher, dentre os resultados obtidos, aquele que melhor se adequar ao modelo desejado.

Os algoritmos utilizados mostraram-se estáveis para o volume de dados processado. E, pôde-se comprovar que para os AG's, quanto maior o tamanho da população e quanto maior o número de iterações o algoritmo chega mais próximo da solução ótima.

Foi possível verificar que os aeroportos foram agrupados próximos um do outro e o total de funcionários de cada região foi coerente com a localização de cada região, pois alguns aeroportos, como GRU que possui sozinho 448 funcionários, fazem com que sua região tenha um peso maior que outras.

Entretanto, ao se comparar o resultado proposto com a atual organização de uma companhia aérea constatou-se que o ganho pode ser mais significativo se for aumentado o número de iterações e o tamanho da população inicial do algoritmo genético, o que justifica o uso desta ferramenta como um diferencial para as companhias aéreas que buscam redução de custos através da otimização nas suas operações.

Referências

- BOAVENTURA NETTO, P. O. (2001). *Grafos: Teoria, Modelos e Algoritmos*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher.
- CORRÊA, E. S. (2000). *Algoritmos Genéticos e Busca Tabu aplicados ao Problema das P-Medianas*. Dissertação de M. Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil.
- FLEISCHFRESSER, S.A.; STEINER, M.T.A.; CARNIERI, C.; CORREA, E.S.; ROSÁRIO, R.R.L. (2001). Abordagem de um problema de entrega de jornais aos assinantes por métodos heurísticos e estatísticos. In: *XXXIII – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – A Pesquisa Operacional e o Meio Ambiente*, pp. 959-970, Campos do Jordão, SP, Nov.
- FLEISCHFRESSER, S.A. (2001). *Abordagem de um problema de entrega de jornais a assinantes por métodos heurísticos e estatísticos*. Dissertação de M. Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil.
- GREFENSTETTE, J.J. (1986). Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v.16, n.1, p.122-128.
- GUHA, S., KHULLER, S. (1998). Connected Facility Location Problems, *DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, vol. 40, pp 179-190.
- HOLLAND, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- NUNES, L. F. (1998). *Algoritmos Genéticos aplicados na abordagem de um problema real de roteirização de veículos*. Dissertação de M. Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil.
- REEVES, C. R.; DOWSLAND, K. A. (1995). *Modern Heuristic techniques for combinatorial problems*. London: McGraw-Hill Books.
- REVELLE, C.; SWAIN, R. (1970). Central Facilities Location. *Geographical Analysis*, v. 2, p 30-42.
- ROSÁRIO, R.R.L.; CARNIERI, C.; STEINER, M.T.A.; FLEISCHFRESSER, S.A.; CORREA, E.S. (2001). Aplicação do Problema das P-medianas para determinar a localização de unidades de saúde 24 horas. In: *XXXIII – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – A Pesquisa Operacional e o Meio Ambiente*, pp. 1155-1166, Campos do Jordão, SP, Nov.
- SMIDERLE, A. (2001). *Técnicas da Pesquisa Operacional Aplicadas a um Problema de Cobertura de Arcos*. Dissertação de M. Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil.