

# UMA ABORDAGEM PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

**Jacqueline Magalhães Rangel Cortes**

Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

CCT – Laboratório de Engenharia de Produção

Av. Alberto Lamego, 2000 – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil – CEP: 28015-620

[jmrc@uenf.br](mailto:jmrc@uenf.br)

**Geraldo Galdino de Paula Jr**

Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

CCT – Laboratório de Engenharia de Produção

Av. Alberto Lamego, 2000 – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil – CEP: 28015-620

[galdino@uenf.br](mailto:galdino@uenf.br)

## Resumo

Neste trabalho, a decisão de localizar atividades econômicas sujeito a um conjunto de restrições está sob a forma de um modelo multiobjetivo dinâmico. Os objetivos considerados no horizonte de planejamento são: minimizar os custos de instalação/operação da atividade econômica, minimizar o tempo de acesso/conexão/atendimento da atividade ao seu centro de consumo e maximizar a obtenção de benefícios esperados através das instalações e conexões. As restrições limitam as associações entre as atividades instaladas e seus centros consumidores ao longo do horizonte de planejamento. O algoritmo proposto para resolver tal problema é um algoritmo genético que considera uma função escalar formada pela soma ponderada dos três objetivos como uma medida avaliação de desempenho das soluções. Este algoritmo também considera elitismo e operadores de penalização e correção das soluções inviáveis.

**Palavras-chave:** Modelo multiobjetivo dinâmico, Algoritmo genético, Localização, Restrições.

## 1. Introdução

A análise locacional é um tema de pesquisa de interesse de pesquisadores de diversas áreas: economia, engenharia, geografia, logística, pesquisa operacional, marketing, matemática, planejamento, ciência regional, entre outros. Considera-se como atividade econômica aquela socialmente organizada para produção de bens e serviços que apresenta resultado econômico. De forma geral, o planejamento locacional de atividades econômicas consiste em escolher um ou mais locais entre um conjunto de possíveis locais para a instalação destas atividades satisfazendo a um conjunto de restrições (por exemplo, restrições de atendimento de todos os clientes, de orçamento, de tempo, etc.) e considerando uma medida de avaliação das alternativas possíveis (por exemplo, menor custo, menor contaminação, maior satisfação, etc.).

Os problemas de decisão, em particular o de localização, envolvem muitos critérios, quantitativos e/ou qualitativos, que podem ser conflitantes por natureza – por exemplo, em alguns momentos, minimizar custos totais e maximizar qualidade. Para lidar com este dilema são necessárias ferramentas de auxílio a decisão que considerem os fatores relevantes que afetam a decisão a ser tomada, como também o *tradeoff* entre eles (MELACHRINOUDIS & MIN, 2000). O problema de localização reflete, em essência, a influência exercida desses fatores locais sobre a distribuição da atividade econômica.

A importância dos fatores locais depende do tipo e do tamanho da atividade econômica, a abrangência considerada no estudo (macrolocalização ou microlocalização), o setor

interessado na análise (público ou privado), o período de tempo considerado (presente ou futuro), entre outros.

Segundo Owen & Daskin (1998), os altos custos associados a aquisição de propriedades e construção de facilidades estratégicas fazem dos projetos de localização e realocação um investimento de longo prazo. Desta forma, a natureza dos problemas de localização requer também que características dinâmicas sejam consideradas. As formulações dinâmicas focam a questão do tempo que está envolvido na localização ao longo de um horizonte.

Para auxiliar o planejamento da localização, neste trabalho é considerado um problema multiobjetivo dinâmico 0-1 (PMD-01). Contudo, a principal dificuldade para a resolução do PMD-01 é que este é da classe NP-árduo, desde que uma classe simplificada deste problema, o problema de localização considerado, é mostrada ser NP-árduo (GAREY & JOHSON, 1979). Assim, existe baixa possibilidade de existir algum algoritmo exato que resolva-o em tempo polinomial.

Os objetivos do PMD-01 podem ser estabelecidos a partir de fatores locacionais (MIN & MELACHARINOUDIS, 1999). Tais fatores podem ser definidos como variáveis que influenciam a decisão locacional do empresário (MALECKI, 1997), podendo afetar a habilidade de um local em atrair e reter atividades econômicas (BLAIR, 1995). Uma lista destes fatores pode ser encontrada em Kowalska & Funck (2000), Rees & Stafford (1986) e Lee *et al.* (1981).

De acordo com Hoover & Giarratani (1999), o meio mais comum de se medir a importância relativa dos fatores locacionais é o método mais direto, através de consulta ao decisor. Podem ser utilizados questionários contendo uma lista de fatores que devem receber uma avaliação com relação à importância relativa através de adjetivos (“extremamente importante”, “não muito importante”, e assim por diante) ou por algum tipo de sistema de pontuação simples através de uma escala de preferências.

## 2 Algoritmos genéticos: uma revisão

Algoritmo Genético (AG) é um método heurístico de busca estocástica baseado no processo biológico de evolução. Sua utilização é adequada para resolver problemas complexos – tais como, otimização de funções numéricas em geral, otimização combinatória, aprendizado de máquina, processamento de imagem, robótica, etc – fornecendo soluções de boa qualidade em tempos computacionais aceitáveis a partir de fácil implementação em computadores (GOLDBERG, 1989).

O conceito de AG foi inicialmente tratado por Holland (1975), e popularizado por Goldberg (1989), tendo sido inspirado no princípio de Seleção Natural de Darwin – uma das maiores contribuições à teoria da evolução. Darwin considera que as espécies evoluem pelo princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto.

Os AGs trabalham paralelamente com um conjunto de soluções potenciais disponíveis chamadas de população (*population*). Normalmente, os AGs criam aleatoriamente sua população inicial. Uma outra forma de obter tais soluções é através de algum processo heurístico.

Cada indivíduo da população, chamado de cromossomo (*chromosome* ou *string*), representa uma solução para o problema. Esta representação é feita através de codificação e dependerá da classe do problema que se deseja resolver. Atualmente, existem três tipos de representações possíveis para os cromossomos: binária, inteira ou real.

O cromossomo, que é uma cadeia de símbolos (*string* de *bits*), evolui através de sucessivas iterações, chamadas gerações (*generation*). Os cromossomos são avaliados durante cada geração usando-se algumas medidas de aptidão (*fitness*) para dar uma nota que deverá refletir a habilidade de adaptação do cromossomo ao ambiente. Essa aptidão pode ser representada de diversas maneiras, entre outras, pode ser igual ao valor da função objetivo, pode ser o resultado do escalonamento da função objetivo ou pode ser baseado no ranqueamento do indivíduo na população.

Para criar geração seguinte, novos cromossomos, chamados de descendentes (*offspring*), são formados por meio de operadores genéticos: seleção (*selection*), cruzamento (*crossover*) e mutação

(*mutation*).

Seleção é o processo de escolha dos melhores indivíduos da população a partir das medidas de aptidão. Os membros selecionados serão utilizados para a reprodução. Desta forma, os indivíduos com maior aptidão têm maiores chances de se reproduzirem. Após várias gerações, a melhor solução converge, e espera-se que seja a solução ótima ou sub-ótima para o problema (REEVES, 1997; GOLDBERG, 1989).

Cruzamento é o operador de combinação dos genes da geração atual que possuem as características dos cromossomos pais, possibilitando que as gerações seguintes herdem essas características. No entanto, os descendentes podem ser inviáveis. O processo consiste em dividir aleatoriamente os cromossomos em um ou muitos pontos de cruzamento, produzindo a troca de material genético entre segmentos dos cromossomos pais. Uma outra forma de cruzamento é a uniforme, que não utiliza pontos de cruzamentos, mas determina, através de um parâmetro global, qual é a probabilidade de cada variável ser trocada entre os pais. O operador cruzamento é aplicado com uma probabilidade dada pela taxa de cruzamento  $P_c$ .

Mutação é o operador responsável pela modificação arbitrária de um ou mais genes do indivíduo escolhido, introduzindo ou mantendo a diversidade genética da população, visto que permite que o algoritmo manipule uma outra solução do espaço de soluções. É aplicado com uma probabilidade dada pela taxa de cruzamento  $P_m$ .

Um outro operador genético é o Elitismo, que é uma variação do operador de seleção. Geralmente, os AG's guardam o mesmo número de melhores indivíduos de cada geração para que não sejam destruídos pelos operadores de Cruzamento e Mutação, ou perdidos se não forem selecionados para reproduzir. O objetivo é a preservação das melhores soluções e é uma versão artificial da seleção natural.

Apesar da simplicidade, os AGs são suficientemente complexos para fornecer mecanismos de busca adaptativo poderosos e robustos que não são sensíveis a erros de arredondamento. Contudo, o resultado do uso dos AGs dependerá da codificação, da medida de aptidão, e de parâmetros tais como tamanho da população, número máximo de gerações, probabilidade de ocorrência de cruzamento e probabilidade de ocorrência de mutação.

Os AGs trabalham muito bem para problemas de otimização irrestrito. No entanto, quando o problema é restrito, caso do problema de localização considerado neste trabalho, os operadores originais de busca do AG não garantem o fornecimento de soluções viáveis. Estudos sobre o desenvolvimento e uso de AGs para a resolução de problemas desta classe são recentes.

De acordo com Lenive (1997), a resolução de problemas com restrições limita o uso dos AGs em sua forma original, principalmente pelo fato de não existir a garantia de que a viabilidade será mantida após o cruzamento ou mutação, como também quando a população inicial é gerada. O problema principal é tratar as soluções inviáveis. O tratamento das restrições é recente e proporciona uma ampla área de pesquisa a ser desenvolvida.

Alguns procedimentos podem ser adotados para tratar dos problemas com restrições. Segundo Reeves (1997), podem ser utilizados as seguintes abordagens: técnicas de penalização, reparação de soluções inviáveis, tratamento por múltiplos objetivos, operadores modificados e modificação da formulação do problema.

As técnicas de penalização penalizam a função objetivo em caso de solução inviável. Entretanto, esta tentativa geralmente falha. Isto porque, se a penalidade for muito suave, muitas soluções inviáveis são permitidas na propagação, por outro lado, se a penalidade for muito severa, o cromossomo não participa mais do processo de evolução, ou seja, a busca ficará confinada ao interior do espaço de busca, longe dos extremos da região viável.

A reparação de soluções inviáveis aceita uma solução inviável, mas a corrige antes de devolvê-la à população. Alguma justificativa biológica é frequentemente usada para sustentar esta abordagem. Seguindo esta linha, a solução inviável poderia ser tratada como um cromossomo imaturo. Embora inicialmente demonstrado inadequado para sua finalidade, no entanto, pode ao

longo do tempo levar a uma solução razoável.

O tratamento multiobjetivo das restrições sugere que seja usada a inviabilidade como um objetivo adicional ao problema, e, assim, evita-se a introdução de penalidades. A modificação de operadores também pode ser utilizada para tratamento das restrições e, assim, torná-los apropriado para resolver o problema. Uma outra abordagem é a modificação da formulação do problema para o tratamento dos problemas restritos.

### 3 Formulação proposta

O modelo de planejamento de localização desenvolvido neste trabalho considera que a análise da localização da atividade econômica é realizada em nível macrogeográfico e que, uma vez instalada, a atividade não poderá realocar-se durante o horizonte de tempo em estudo, ou seja, não é aceita uma realocação. Assume-se, também, que as condições futuras são as mais prováveis de ocorrer e que as funções objetivo podem ser estabelecidas a partir de determinados fatores locais.

Assume-se que o problema pode instalar até  $n$  atividades econômicas dentre os possíveis locais de um conjunto  $I = \{1, 2, \dots, n\}$  ao longo de um horizonte de planejamento  $T = \{1, 2, \dots, t_p\}$ . Cada local deve receber apenas uma atividade econômica. Considera-se que  $m$  centros consumidores/clientes devem ser associados às atividades instaladas, então, seja  $J = \{1, 2, \dots, m\}$  o conjunto dos centros consumidores. Os conjuntos de potenciais locais e de clientes são considerados fixos e conhecidos previamente. Para estabelecer seus objetivos, o modelo fundamenta-se nos fatores que mais influenciam a decisão locacional de atividades econômicas: dois fatores locais quantitativos (custo e proximidade dos mercados consumidores) e um fator locacional qualitativo (benefícios agregados). Sendo este último o resultado da agregação de cinco subfatores do conjunto  $P = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ : economias de aglomeração ( $p = 1$ ), disponibilidade de mão-de-obra qualificada ( $p = 2$ ), infra-estrutura local ( $p = 3$ ), tributação e incentivos fiscais ( $p = 4$ ) e qualidade de vida ( $p = 5$ ). Assim, três funções objetivo foram estabelecidas.

A escolha locacional deverá proporcionar vantagem competitiva para a empresa e satisfação para os funcionários. Para tanto, o benefício agregado ao local e o benefício agregado ao atendimento dos mercados pelas atividades instaladas devem refletir o julgamento subjetivo das localizações e das possíveis conexões à luz dos 5 subfatores considerados.

As variáveis de decisão do modelo são booleanas e definidas da seguinte forma:

$y_{it} = 1$ , se a atividade for instalada no local  $i \in I$  no período  $t \in T$ , ou 0, caso contrário.

$x_{ijt} = 1$ , se o centro consumidor  $j \in J$  for associado a atividade instalada no local  $i \in I$  no período  $t \in T$ , ou 0, caso contrário;

Os seguintes parâmetros definem o modelo multiobjetivo:

$f_{it}$  é o custo de investimento/instalação/operação de uma atividade no local  $i \in I$  no período  $t \in T$ ;

$q_{it}$  é o benefício agregado ao local  $i \in I$  no período  $t \in T$ ;

$q_{ijt}$  é o benefício agregado ao acesso/conexão/atendimento entre a atividade instalada no local  $i \in I$  e o centro consumidor  $j \in J$  no período  $t \in T$ ;

$F_{pit}$ , julgamento do benefício agregado ao local  $i \in I$  no período  $t \in T$ , segundo o subfator  $p \in P$ ;

$F_{pijt}$ , julgamento do benefício agregado ao acesso/conexão/atendimento entre a atividade instalada no local  $i \in I$  e centro consumidor  $j \in J$  no período  $t \in T$ , segundo o subfator  $p \in P$ ;

$d_{ijt}$  é o tempo de acesso/conexão/atendimento médio entre a atividade instalada no local  $i \in I$  e o centro consumidor  $j \in J$  no período  $t \in T$ ;

$R$  é o orçamento disponível;

$b$  é a capacidade de associação da atividade instalada.

O considerado problema multiobjetivo de localização de atividades econômicas é formulado como o seguinte problema multiobjetivo dinâmico 0-1 (PMD-01):

$$\text{Min} \quad [Z_1(y), Z_2(x), -Z_3(x,y)]$$

$$s.a. \quad \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} f_{it} y_{it} \leq R \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} = 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq by_{it} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \geq y_{it} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4)$$

$$y_{it} \leq y_{it+1} \quad \forall i \in I, \forall t \in T / t_f \quad (5)$$

$$x_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (6)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (7)$$

onde

$$Z_1(y) = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} f_{it} y_{it}$$

$$Z_2(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} d_{ijt} x_{ijt}$$

$$Z_3(x,y) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} q_{ijt} x_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} q_{it} y_{it}$$

$$q_{ijt} = \sum_{p \in P} F_{pjit} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad \text{e} \quad q_{it} = \sum_{p \in P} F_{pit} \quad \forall i \in I, \forall t \in T$$

As restrições informam que: os gastos em todos os períodos não devem ultrapassar o orçamento disponível (1); cada centro consumidor, em cada período, deve ser associado, e a apenas uma atividade econômica (2); em cada período, se nenhuma atividade for instalada no local  $i$ , então nenhum centro consumidor pode ser associado a este local, e, no caso de uma atividade ser instalada, o número de centros consumidores associados a ela não deve ser superior à sua capacidade (3); em cada período, se uma atividade for instalada no local  $i$ , então esta atividade deverá atender a pelo menos um centro consumidor (4); e, a atividade que for instalada no local  $i$  não poderá ser removida durante o horizonte de tempo considerado (5). Os objetivos no horizonte de planejamento são: minimizar os custos de instalação/operação de atividades econômicas [ $Z_1(y)$ ], minimizar o tempo de acesso/conexão/ atendimento da atividade ao seu centro de consumo [ $Z_2(x)$ ] e maximizar obtenção dos benefícios agregados ao local e às suas associações [ $-Z_3(x,y)$ ]. Esta última função objetivo é o resultado do julgamento realizado de cada potencial localização e suas potenciais conexões. Deve ser dada uma classificação de 1 a 5, sendo a nota 1 para o caso do local possuir um conjunto de vantagens e benefício extremamente baixo de acordo com o julgamento de decisores e a nota 5 para o caso de possuir vantagem e benefício extremamente alto para os mesmos decisores.

A solução deste modelo informará os locais mais apropriados para a instalação das atividades econômicas e as associações entre centros consumidores e atividades instaladas ao longo do horizonte de planejamento.

Os problemas de localização podem tornar-se bastante complexos, visto que envolvem a análise de uma grande quantidade de variáveis relacionadas a decisão locacional e de escolhas viáveis que necessitam ser consideradas para a implantação. Além disso, sua natureza combinatorial faz com que o custo computacional para sua resolução seja alto. Dessa forma, a principal dificuldade para a resolução do problema PMD-01 é sua dificuldade, pois a obtenção de soluções

exatas em tempo polinomial não é possível. Isto porque, sendo um problema simplificado da classe NP-árduo, o problema de localização considerado também será da mesma classe (KRARUP & PRUZAN, 1983; GAREY & JOHNSON, 1979). Portanto, um método de resolução heurístico pode ser o mais apropriado para resolver o modelo proposto. O sucesso dos algoritmos genéticos na resolução de problemas combinatórios os torna fortes candidatos para resolver o problema PMD-01.

#### 4. O algoritmo genético proposto

O algoritmo genético proposto para resolver o modelo multiobjetivo proposto (PMD-01) considera os elementos descritos a seguir:

##### 4.1. Parâmetros do algoritmo

Os parâmetros genéticos considerados são: o tamanho da população, o número máximo de gerações, a taxa de cruzamento e a taxa de mutação.

##### 4.2. Codificação do cromossomo

Devido ao problema considerado possuir variáveis do tipo 0-1, optou-se pela codificação binária para os cromossomos. Cada componente do cromossomo corresponde a uma variável da solução 0-1 e respeita a seguinte seqüência do cromossomo  $k$ :

$$X_k = (x_{ijt} \ y_{it}) \quad i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$X_k = (x_{111} \ x_{121} \ \dots \ x_{1m1}) (x_{211} \ x_{221} \ \dots \ x_{2m1}) \ \dots \ (x_{n11} \ x_{n21} \ \dots \ x_{nm1}) \\ (x_{112} \ x_{122} \ \dots \ x_{1m2}) (x_{212} \ x_{222} \ \dots \ x_{2m2}) \ \dots \ (x_{n12} \ x_{n22} \ \dots \ x_{nm2}) \\ \dots (x_{11t} \ x_{12t} \ \dots \ x_{1mt}) (x_{21t} \ x_{22t} \ \dots \ x_{2mt}) \ \dots \ (x_{n1t} \ x_{n2t} \ \dots \ x_{nmt}) \\ (y_{11} \ y_{21} \ \dots \ y_{n1}) (y_{12} \ y_{22} \ \dots \ y_{n2}) \ \dots \ (y_{1t} \ y_{2t} \ \dots \ y_{nt})$$

##### 4.3. Inicialização

A geração da população inicial de  $npop$  indivíduos é feita de forma parcialmente aleatória dentro do espaço de soluções viáveis para agilizar a geração, o que representa um processo geração orientada para o caso particular do modelo considerado. Os parâmetros do problema multiobjetivo dinâmico 0-1, também são gerados aleatoriamente. A princípio, cada atividade instalada possui capacidade para atender a todos os centros consumidores.

##### 4.4. Avaliação

Um problema auxiliar com um único objetivo é construído baseado no problema original (PMD-01) já normalizada. Uma função escalar, montada pela soma ponderada dos três objetivos é considerada para a medida de desempenho (aptidão) das soluções. O melhor desempenho  $s$  é o da solução que possuir o menor valor da função escalar.

$$\text{Função Mono} = \lambda_1 Z_1(y) + \lambda_2 Z_2(x) - \lambda_3 Z_3(x,y)$$

Onde  $\lambda_v$  é o peso da função objetivo  $v = 1, 2, 3$ . Considerou-se  $\lambda_1 = 0,6$ ,  $\lambda_2 = 0,1$  e  $\lambda_3 = 0,3$ .

##### 4.5. Elitismo

A elite é composta por indivíduos com as melhores aptidões. Inicialmente a elite apresentará os mesmos elementos da geração inicial. A cada geração, esta elite será atualizada com novos indivíduos presentes na população da geração em questão. Escolhe-se novos indivíduos para integrar a elite da próxima geração, caso os indivíduos presentes na população possuam aptidões melhores que as aptidões da elite atual.

##### 4.6. Seleção

È considerada a seleção estocástica por torneio para escolher os cromossomos que formam descendentes. Neste critério, sorteia-se dois indivíduos da população e então é realizado um torneio entre eles. Vence aquele indivíduo que possuir maior aptidão, o que é representado pelo menor

valor da função objetivo escalar.

#### 4.7. Cruzamento

O cruzamento considerado é o de um ponto.

#### 4.8. Mutação

Cada elemento do cromossomo é considerado e poderá sofrer uma mutação a uma determinada probabilidade. Em caso de mutação, haverá a troca de seu valor de 0 para 1 ou de 1 para 0.

#### 4.9. Correção e penalização

Uma vez os cromossomos descendentes tenham sido gerados, é feita uma verificação de sua viabilidade. Inicialmente, verifica-se a viabilidade da restrição (2). Quando houver inviabilidade por esta restrição em algum período de tempo, o centro consumidor está associado a nenhuma ou mais de uma atividade econômica, nesta situação escolhe-se aleatoriamente algum local para instalar a atividade. Faz-se novo ajuste para que o número de associações em cada período seja exatamente igual ao número de centros consumidores. Por fim, as variáveis do tipo  $y$  são modificadas de acordo com os valores das variáveis do tipo  $x$ . Em caso de violação das restrições (3) e (4), realiza-se uma modificação na estrutura do cromossomo a fim de que tais restrições sejam satisfeitas. Para a inviabilidade pelas restrições (1) ou (5), penaliza-se a função de avaliação com um alto valor.

#### 4.10. Não-dominância

Após a finalização do processo evolutivo, os indivíduos não-repetidos presentes na elite passam por uma avaliação de não-dominância.

#### 4.11. Critério de término

O algoritmo é finalizado depois de se alcançar o número máximo de gerações.

#### 4.12. O Algoritmo

Os seguintes passos descrevem o algoritmo proposto:

Passo 0: Leitura dos parâmetros.

Passo 1: Inicialização (geração) da população viável inicial.

Passo 2: Inicialização da elite.

Passo 3: Cálculo da aptidão da população gerada e da elite.

Passo 4: Ordenação da população gerada e da elite.

Passo 5: Geração := 0.

Passo 6: Geração := geração + 1.

Passo 7: Seleção.

Passo 8: Cruzamento e Mutação.

Passo 9: Correção, em caso de inviabilidade das restrições do tipo 2, 3 e 4.

Passo 10: Cálculo da aptidão da população gerada.

Passo 11: Penalização, em caso de inviabilidade das restrições do tipo 1 e 5.

Passo 12: Ordena nova população gerada.

Passo 13: Atualiza elite.

Passo 14: Ordena elite.

Passo 15: Se geração > (número máximo de gerações), então Continue. Caso contrário, Retorne ao passo 6.

Passo 17: Avalia não-dominância da elite.

Passo 18: Se elite não-dominada for satisfatória, então Pare. Caso contrário, Leitura dos novos  $\lambda$ 's; e Retorne ao passo 3.

## 5. Resultados computacionais

A implementação foi realizada em Borland Delphi e os testes computacionais foram executados em um processador Pentium 450. O algoritmo genético com o operador de correção e penalização foi comparado com o algoritmo genético que apresenta somente o procedimento penalização das soluções inviáveis – neste caso, acrescenta-se um valor alto para a função de aptidão em caso de inviabilidade. O algoritmo proposto também foi comparado com um algoritmo genético tradicional, cujos procedimentos não incorporam os operadores de correção e de penalização.

Considerando os mesmos parâmetros e a mesma geração inicial, o algoritmo de correção e penalização alcançou uma melhor qualidade de soluções presentes na elite do que com os outros dois algoritmos. O algoritmo proposto também obteve um melhor desempenho com relação ao alcance da solução ótima do problema auxiliar em menor tempo.

## 6. Conclusão

Neste trabalho considerou-se o problema multiobjetivo dinâmico de localização de atividades econômicas. A abordagem multiobjetivo proposta relaciona fatores locais quantitativos e qualitativos aos objetivos do problema, a saber, minimizar os custos de instalação/operação da atividade, minimizar o tempo de acesso/conexão/atendimento da atividade ao seu centro de consumo e maximizar obtenção dos benefícios agregados a localização e às associações. Foi apresentado um algoritmo genético que considera uma função escalar relacionada a um problema auxiliar com um único objetivo. Esta função foi construída pela soma ponderada dos três objetivos para ser uma medida de desempenho das soluções. Considerou-se, também, a operação de correção e penalização das soluções inviáveis para a resolução deste problema de localização.

O algoritmo genético de correção e penalização foi comparado com o algoritmo genético que possui apenas o operador de penalização e com o algoritmo genético tradicional (sem correção ou penalização). Em mesmas condições, o algoritmo de correção e penalização alcançou uma melhor qualidade de soluções da elite do que os outros dois algoritmos, chegando até a alcançar a solução ótima do problema auxiliar em menos tempo. Verifica-se a necessidade de se explorar mais o tratamento de problemas restritos.

## 7. Referências

- BLAIR, J.P. (1995) *Local economic development: analysis and practice*, Sage Publications, New Delhi, pp. 41-65.
- GAREY, M.R.; JOHNSON, D.S. (1979) *Computer and intractability: a guide to the theory of NP competences*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- GOLDBERG, D.E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- HOLLAND, J.H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press, Reprinted in 1992 by MIT Press.
- HOOVER, E.M.; GIARRATANI, F. (1999) *An introduction to regional economics*. Disponível em: <<http://rri.wvu.edu/WebBook/Giarratani/preface.htm>>. Acesso em: 27/ABR/01.
- KOWALSKA, J.D.; FUNCK, R.H. (2000) Cultural activities as a location factor in european competition between regions: concepts and some evidence, *Regional Science*, vol. 34, no. 1, pp. 1-12.
- KRARUP, J.; PRUZAN, P.M. (1983) The simple plant location problem: survey and synthesis, *European Journal of Operational Research*, vol. 12, pp. 36-81.
- LEE, S.M.; GREEN, G.I.; KIM, C.S. (1981) A multiple criteria model for the location-allocation problem, *Computers and Operations Research*, vol. 8, pp. 1-8.



- LENIVE, D. (1997) Genetic algorithms: a practitioner's view. *Journal on Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 256-259.
- MALECKI, E.J. (1997) *Technology & economic development: the dynamics of local, regional and national competitiveness*, Longman, England, Second Edition, pp. 112-156.
- MELACHRINOUDIS, E.; MIN, H. (2000) The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: a multiple objective approach. *European Journal of Operational Research*, vol. 123, no. 1, pp. 1-15.
- MIN, H.; MELACHRINOUDIS, E. (1999) The relocation of a hybrid manufacturing/ distribution facility from supply perspectives: a case study, *Omega*, vol. 27, no.1, pp. 75-85.
- REES, J.; STAFFORD, H.A. (1986) *Technology, regions and policy*. Rowan & Littlefield Publishers, New Jersey, 322 p.
- OWEN, S.H.; DASKIN, M.S. (1998) Strategic facility location: a review. *European Journal of Operation Research*, vol. 111, no. 3, pp. 423-447.
- REEVES, C. R. (1997) Genetic algorithms for the operations researcher. *Journal on Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 231-250.