IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA A RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO

Jacqueline Magalhães Rangel Cortes
Universidade Candido Mendes - Campos (UCAM-Campos)
Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Informática (NPDI)
Rua Anita Peçanha 100 – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil – CEP 28040-320
jacqueline@ucam-campos.br

Geraldo Galdino de Paula Jr.
Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) – CCT – LEPROD
Av. Alberto Lamego, 2000 – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil – CEP: 28015-620
galdino@uenf.br

Resumo

Este trabalho trata do problema de localização de atividades econômicas com restrições através de um modelo dinâmico multiobjetivo e considera um algoritmo genético para resolver tal modelo. As restrições limitam as associações entre as atividades instaladas e suas áreas de demanda ao longo do horizonte de planejamento. O algoritmo genético proposto trata deste problema restrito através da incorporação de específicos operadores de penalização e correção das soluções inviáveis. Este algoritmo foi executado considerando várias instâncias e os resultados computacionais são apresentados.
Palavras-chave: Algoritmo genético; Solução inviável; Problema de localização.

Abstract

This paper deals with the restricted location problem of economic activities through a multiobjective dynamic model and considers a genetic algorithm to solve such model. The restrictions limit the associations between the installed activities and its consuming centers to the long one of the planning horizon. The genetic algorithm deals with this restricted problem through the incorporation of specific operators of penalization and correction of inviable solutions. This algorithm was executed considering some instances and the computational results are presented.
Keyword: Genetic algorithm; Inviable solution; Location problem.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de decisão, em particular o de localização, envolvem muitos critérios, quantitativos e/ou qualitativos, que podem ser conflitantes por natureza. Para lidar com este dilema são necessárias ferramentas de auxílio à decisão que considerem fatores relevantes que afetam a decisão a ser tomada, como também o *tradeoff* entre eles [8].

Os objetivos dos modelos de localização podem ser estabelecidos a partir de fatores locacionais [9]. Tais fatores podem ser definidos como variáveis que influenciam a decisão locacional do empresário [7], podendo afetar a habilidade de um local em atrair e reter atividades econômicas [1]. Outros fatores podem ser encontrados em [4], [11] e [5].

Os altos custos associados à aquisição de propriedades e construção de facilidades estratégicas fazem dos projetos de localização e relocalização um investimento de longo prazo. Desta forma, a natureza destes problemas requer também que características dinâmicas sejam consideradas [10]. As formulações dinâmicas focam a questão do tempo que está envolvido na localização ao longo de um horizonte de planejamento.

Este trabalho trata do planejamento da localização de atividades econômicas sujeito a um conjunto de restrições através da consideração de um modelo dinâmico multiobjetivo

(PDM-01). No entanto, a principal dificuldade é a resolução do PDM-01 pelo fato de ser da classe NP-árduo [2]. Assim, há baixa possibilidade de existir algum algoritmo exato que o resolva em tempo polinomial. Nesse caso, um método heurístico pode ser mais apropriado para resolver tal modelo. O método chamado Algoritmo Genético (AG) tem obtido sucesso na resolução de problemas combinatórios complexos, o que o torna um forte candidato a resolver o problema de localização considerado.

AG é um algoritmo heurístico de busca estocástica baseado no processo de evolução biológica e que favorece o alcance do ótimo global. Sua utilização é adequada para resolver problemas complexos – tais como, 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 [3].

Além da simplicidade, uma outra característica marcante dos AGs é que eles trabalham com um conjunto de soluções ao invés de uma única solução, assim, em cada rodada do algoritmo um conjunto de soluções pode ser oferecido ao decisor. Essa última, em especial, é a característica principal que distingue e torna os AGs apropriados a resolução de problemas multiobjetivo, pois supre a necessidade que tais problemas têm de obtenção de um conjunto de soluções que sejam melhores em pelo menos um objetivo.

Os AGs trabalham muito bem na resolução de 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. 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 [6]. 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. Podem ser utilizadas as seguintes abordagens: técnicas de penalização, reparação de soluções inviáveis, tratamento por múltiplos objetivos, operadores modificados e modificação da formulação do problema [12].

Este trabalho considera um algoritmo genético que incorpora específicos operadores de penalização e reparação das soluções inviáveis do modelo dinâmico multiobjetivo tratado.

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

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 mudar de local durante o horizonte de tempo em estudo, ou seja, não é aceita uma relocalização. 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 locacionais.

Considera-se que o problema pode instalar até n atividades econômicas dentre os possíveis locais de um conjunto I = {1, 2, ..., n} ao longo de um horizonte de planejamento T = {1, 2, ..., t_f}. Cada local deve receber apenas uma atividade econômica. Considera-se que m áreas de demanda, ou centros de consumo, devem ser associados às atividades instaladas, então, seja J = {1, 2, ..., m} o conjunto destas áreas de demanda. Os conjuntos de potenciais locais e de clientes são fixos e conhecidos previamente. Os objetivos do modelo são fundamentados nos fatores que mais influenciam a decisão locacional de atividades econômicas, a saber, dois fatores quantitativos (k = 1 para custo e k = 2 para proximidade dos mercados consumidores) e um fator qualitativo (k = 3 para benefícios agregados). Sendo este último o resultado da agregação de cinco subfatores do conjunto P = {1, 2, 3, 4, 5}, onde p = 1 se refere ao subfator economia de aglomeração, p = 2 ao subfator disponibilidade de mão-de-obra qualificada, p = 3 ao subfator infra-estrutura local, p = 4 ao subfator tributação e incentivos fiscais e p = 5 ao subfator qualidade de vida. Desta forma, 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 a área de demanda $j \in$ 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:

c_{it} : custo de instalação e operação de uma atividade no local $i \in$ I no período $t \in$ T;

d_{ijt} : tempo médio de acesso/conexão entre a atividade instalada no local $i \in$ I e a área de demanda $j \in$ J no período $t \in$ T;

q_{it} : avaliação total do benefício agregado ao local $i \in$ I no período $t \in$ T;

q_{ijt} : avaliação total do benefício agregado a conexão entre a atividade instalada no local $i \in$ I e a área de demanda $j \in$ 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 a conexão entre a atividade instalada no local $i \in$ I e a área de demanda $j \in$ J no período $t \in$ T, segundo o subfator $p \in$ P;

b : capacidade de conexão da atividade instalada;

R : orçamento disponível para o período de planejamento.

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

$$\begin{array}{llll}
Min & [\, Z_1(y), \;\; Z_2(x), \;\; -Z_3(x,y)] & & \\
s.a. & \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} c_{it}\, y_{it} \;\le\; R & & (1) \\
 & \sum_{i\in I} x_{ijt} \;=\; 1 & \forall\, j \in \mathrm{J},\; \forall\, t \in \mathrm{T} & (2) \\
 & \sum_{j\in J} x_{ijt} \;\le\; b\, y_{it} & \forall\, i \in \mathrm{I},\; \forall\, t \in \mathrm{T} & (3) \\
 & \sum_{j\in J} x_{ijt} \;\ge\; y_{it} & \forall\, i \in \mathrm{I},\; \forall\, t \in \mathrm{T} & (4) \\
 & y_{it} \;\le\; y_{i\,t+1} & \forall\, i \in \mathrm{I},\; \forall\, t \in \mathrm{T} \setminus \{t_f\} & (5) \\
 & x_{ijt} \;\in\; \{0,1\} & \forall\, i \in \mathrm{I},\; \forall\, j \in \mathrm{J},\; \forall\, t \in \mathrm{T} & \\
 & y_{it} \;\in\; \{0,1\} & \forall\, i \in \mathrm{I},\; \forall\, t \in \mathrm{T} &
\end{array}$$

onde:

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

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

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

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

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

As restrições informam que: os gastos em todos os períodos não devem ultrapassar o orçamento disponível (1); cada área de demanda, 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 nenhuma área de demanda pode ser associada a este local, e, no caso de uma atividade ser instalada, o número de áreas de demanda associadas 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 uma área de demanda (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 e operação de atividades econômicas [$Z_1(y)$], minimizar o tempo de acesso/conexão da atividade a sua área de demanda [$Z_2(x)$] e maximizar obtenção dos benefícios agregados ao local e com suas conexões [-$Z_3(x,y)$]. Esta última função objetivo é o resultado do julgamento realizado de cada potencial localização e suas potenciais conexões. O decisor deverá fazer o julgamento dos benefícios de cada local e de cada conexão considerando uma escala de notas que varia 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 beneficio extremamente alto para os mesmos decisores.

3. O ALGORITMO GENÉTICO PROPOSTO

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

3.1. 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.

3.2. 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*:

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

A quantidade de genes que cada cromossomo possui, ou seja, a quantidade de variáveis de cada solução, é chamada de *lchrom* e é definido por $n\,m\,t_f + n\,t_f$.

3.3. 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 todas áreas de demanda.

3.4. AVALIAÇÃO

Um problema auxiliar de objetivo único é construído baseado no problema original (PDM-01) normalizado. A função escalar $Ze(x,y)$, montada pela soma ponderada dos três objetivos, é considerada para medir o desempenho (aptidão) das soluções. Assim:

$$Ze(x,y) = \lambda_1\, Z_1(y) \; + \lambda_2\, Z_2(x) \; - \; \lambda_3\, Z_3(x,y), \;\; \sum_{i \in K} \lambda_i = 1 \;\text{ e }\; \lambda_i \geq 0, \; \forall\, i \in K$$

Onde λ_i é o peso ou importância da função objetivo $i \in K = \{1, 2, 3\}$.

O melhor desempenho é o da solução que possuir o menor valor desta função.

3.5. ELITISMO

O operador elitismo é incorporado ao algoritmo de forma que uma elite seja montada para receber uma quantidade de indivíduos igual a *npop*. Inicialmente, a elite apresenta os mesmos elementos que a geração inicial. A cada geração, esta elite será atualizada com novos indivíduos presentes na população da geração em questão. Novos indivíduos são escolhidos para integrar a elite da próxima geração, caso os indivíduos presentes na população possuam aptidões melhores que as aptidões da elite atual.

3.6. SELEÇÃO

É adotada a seleção por torneio de dois para escolher os cromossomos que devem participar do processo reprodutivo e assim gerar descendentes. Neste critério de seleção, sorteiam-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 $Ze(x,y)$; em caso de empate, a escolha é feita aleatoriamente entre os dois. Esse procedimento é realizado *lchrom* vezes em cada geração.

3.7. CRUZAMENTO

Após a seleção, os cromossomos selecionados são agrupados aleatoriamente em pares e a uma probabilidade p_c ocorre o cruzamento entre tais pares. O operador de cruzamento considerado utiliza apenas um ponto. Este ponto, escolhido aleatoriamente entre 1 e $lchrom - 1$, indica a posição onde é feito um corte no cromossomo. Em seguida, as informações genéticas que estiverem à direita deste ponto são trocadas entre os pares de cromossomos pais, resultando nos cromossomos filhos. Caso não haja cruzamento, os filhos serão cópias idênticas dos pais. Uma característica desse procedimento é que, ao final do cruzamento, não se garante que os descendentes apresentem viabilidade.

3.8. MUTAÇÃO

Cada elemento do cromossomo é considerado e poderá sofrer uma mutação a uma determinada probabilidade p_m. Em caso de mutação, o gene do cromossomo terá seu valor trocado, de 0 para 1 ou de 1 para 0.

3.9. CORREÇÃO E PENALIZAÇÃO

Uma vez que os cromossomos filhos tenham sido gerados, é feita uma verificação de sua viabilidade em relação às restrições 2, 3 e 4. Em caso de violação destas restrições, realiza-se uma modificação na estrutura do cromossomo a fim de que tais restrições sejam respeitadas. De certa forma, este operador representa um tipo de mutação nos cromossomos filhos.

A correção é realizada primeiro nas variáveis x_{ijt} e, em seguida, nas variáveis y_{it}.

Inicialmente, a viabilidade pela restrição 2 é verificada. O não atendimento dessa restrição significa que se tem, em algum período, algum cliente que está associado a mais de uma atividade instalada ou a um local que não recebeu a instalação de alguma atividade.

Finalizada a correção das variáveis do tipo x_{ijt}, inicia-se a correção das variáveis y_{it}, tal procedimento diz respeito a satisfação das restrições 3 e 4. Os valores de y_{it} são ajustados de acordo com os valores das variáveis x_{ijt}.

Para a inviabilidade pelas restrições 1 ou 5, penaliza-se a função de avaliação $Ze(x,y)$ com um alto valor para cada restrição violada, desta forma a aptidão do indivíduo inviável será reduzida.

3.10. NÃO-DOMINÂNCIA

Após a finalização do processo evolutivo, os indivíduos não-repetidos presentes na elite passam por uma avaliação de não-dominância. A definição considerada para não-dominância é a seguinte:

O vetor objetivo $\check{Z} = (\check{z}_1, \check{z}_2, ..., \check{z}_k) \in R^k$ é chamado de não-dominado, se, e somente, se, não existir outro $Z = (z_1, z_2, ..., z_k) \in R^k$ tal que $Z \leq \check{Z}$ e $z_i < \check{z}_i$ para pelo menos algum $i \in \{1, 2, ... k\}$.

3.11. Critério de término

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

3.12. Passos do algoritmo

Os seguintes passos descrevem o Algoritmo Genético de Correção e Penalização (AGCP):

1) Leitura dos parâmetros.
2) Inicialização da população viável inicial, Geração := 0.
3) Inicialização da elite.
4) Cálculo da aptidão da população gerada e da elite.
5) Ordenação da população gerada e da elite.
6) Geração := Geração + 1.
7) Seleção.
8) Cruzamento e Mutação.
9) Correção, em caso de inviabilidade das restrições 2, 3 e 4.
10) Cálculo da aptidão da população gerada.
11) Penalização, em caso de inviabilidade das restrições 1 e 5.
12) Ordena nova população gerada.
13) Atualiza elite.
14) Ordena elite.

Se geração > (número máximo de gerações), então vá para o passo 15. Caso contrário, retorne ao passo 5.

Avalia não-dominância da elite.

Se elite não-dominada for satisfatória, então pare. Caso contrário, faça leitura dos novos λ's e retorne ao passo 3.

4. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

A implementação do algoritmo proposto foi realizada em Delphi 5.0 e os testes computacionais foram executados em microprocessador Pentium 933 MHz, com 512 MB de RAM.

Para efeito de testes computacionais, os parâmetros do modelo multiobjetivo dinâmico 0-1 foram gerados aleatoriamente, sendo distribuídos dentro dos limites dados abaixo, e considerou-se um orçamento disponível R de 75% do somatório de todos os coeficientes de custo gerados.

$$c_{it} = [0, ..., 10]; \quad d_{ijt} = [0, ..., 10]; \quad q_{it} = [-1, ..., -10]; \quad q_{ijt} = [-1, ..., -10];$$
$$R = 0{,}75 \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} c_{it} \,.$$

Três problemas teste de dimensões diferentes, P1, P2 e P3, foram gerados aleatoriamente respeitando os limites apresentados acima. As dimensões de tais problemas são apresentadas no quadro 1.

Problema	n	m	t_f	N° de restrições	N° de variáveis
P1	3	4	2	24	30
P2	5	5	3	56	90
P3	10	10	5	191	550

Quadro 1 - Dimensões dos problemas teste

Os seguintes valores foram considerados como constantes em todas as instâncias:

- importância dos fatores locacionais $\lambda_1 = 0,6$, $\lambda_2 = 0,1$, $\lambda_3 = 0,3$;
- probabilidade de mutação de valor pequeno $p_m = 0,001$, pois a necessidade de introdução ou manutenção da diversidade genética da população já é parcialmente suprida pelo operador de correção.

Cada uma das combinações dos parâmetros genéticos (tamanho da população, número máximo de gerações e probabilidade de cruzamento) apresentadas no quadro 2 foi rodada cinco vezes para o mesmo tipo de problema teste, em cada uma dessas vezes foi gerada uma população inicial diferente.

Problemas	*npop*	*maxgen*	p_c
P1 P2 P3	50	50	1 0,8 0,5
P1 P2 P3	100	50	1 0,8 0,5
P3	200	50	1
P3	400	50	1
P1 P2 P3	50	100	1 0,8 0,5
P1 P2 P3	100	100	1 0,8 0,5
P3	200	100	1
P3	400	100	1
P1 P2 P3	50	200	1 0,8 0,5
P1 P2 P3	100	200	1 0,8 0,5
P3	200	200	1
P3	400	200	1
P3	50	400	1
P3	100	400	1
P3	200	400	1
P3	400	400	1

Quadro 2 - Combinações de parâmetros genéticos utilizados

Os resultados apresentados a seguir são referentes às médias obtidas nas cinco rodadas de cada combinação, exceto os valores $\uparrow Ze$ e $\downarrow Ze$ que se referem, respectivamente, ao maior valor e ao menor valor de $Ze(x,y)$ obtido nas cinco rodadas. O termo ND significa a média de soluções não-dominadas na elite (considerou-se o valor aproximado por truncamento), t(s) é o tempo médio, em segundos, gasto nas gerações, $\overline{Ze}$ é a média dos $Ze(x,y)$ obtidos nas cinco rodadas, $\downarrow \overline{Ze}$ é a média dos $\downarrow Ze$ obtidos.

Npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	37	9	13,7	5,0	-0,2	-0,16
100	50	54	18	13,6	5,46	-0,2	-0,16
50	100	30	18	12,8	4,92	-0,2	-0,12
100	100	65	36	14,2	5,31	-0,2	-0,16
50	200	34	37	12,5	4,7	-0,2	-0,16
100	200	73	71	13,5	5,8	-0,2	-0,16

Tabela 1 - Resultados de P1 para p_c = 1

Npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	19	9	12,2	5,02	-0,2	-0,12
100	50	77	18	15,4	5,65	-0,2	0,2
50	100	35	19	13,4	4,67	-0,2	-0,16
100	100	73	34	12,9	5,81	-0,2	-0,16
50	200	33	36	12,1	5,33	-0,2	-0,16
100	200	75	74	13,5	5,64	-0,2	-0,2

Tabela 2 - Resultados de P1 para p_c = 0,8

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	24	9	12,6	5,17	-0,2	-0,08
100	50	58	15	13,4	5,79	-0,2	-0,12
50	100	31	18	13,3	5,2	-0,2	-0,12
100	100	77	36	13,4	5,66	-0,2	-0,12
50	200	20	36	14,8	5,74	$\cong 0$	$\cong 0$
100	200	69	72	14,8	6,5	-0,2	-0,16

Tabela 3 - Resultados de P1 para p_c = 0,5

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	32	10	11	3,14	-5,8	-3,9
100	50	47	19	23,1	2,58	-8,9	-5,28
50	100	27	19	15,2	5,12	-5,	-4,3
100	100	71	38	11	2,26	-6,2	-4,2
50	200	30	38	10,6	1,57	-5,6	-4,66
100	200	58	76	12,5	2,2	-6,2	-5,02

Tabela 4 - Resultados de P2 para p_c = 1

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	32	10	17	6,06	-8,9	-5,06
100	50	60	19	20	4,00	-8,3	-5,50

50	100	31	20	17,3	3,08	-8,9	-6,22
100	100	62	39	20	2,64	-8,3	-6,54
50	200	29	40	19,6	2,79	-8,3	-4,94
100	200	50	78	22,9	4,64	-8,9	-6,26

Tabela 5 - Resultados de P2 para p_c = 0,8

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	37	10	28,8	5,09	-6,8	-5,34
100	50	74	19	23,4	4,91	-8,9	-6,54
50	100	32	20	25,3	4,76	-8,9	-5,62
100	100	59	39	33,3	6,00	-8,9	-6,48
50	200	41	40	60,1	9,92	-5,8	-3,82
100	200	63	79	22,0	5,35	-8,9	-5,86

Tabela 6 - Resultados de P2 para p_c = 0,5

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	36	13	71,2	34,74	-10,9	1,08
100	50	72	26	68,8	28,98	-3,50	0,94
200	50	110	55	60,3	19,86	-5,10	-1,12
400	50	160	106	71,1	17,94	-17,9	-12,7
50	100	21	26	59,4	10,4	-2,3	1,22
100	100	76	56	49,5	9,55	-27,7	-8,32
200	100	143	111	60,3	16,92	-12,6	-6,04
400	100	257	210	53,0	6,36	-16,3	-13,72
50	200	34	57	85,2	33,23	-8,9	3,8
100	200	83	111	60,7	22,26	5,8	1,92
200	200	114	244	68,8	21,06	-8,2	-3,86
400	200	272	414	91,5	4,04	-12,2	-5,82
50	400	31	107	74	29,95	0,09	3,30
100	400	47	214	77,8	28,22	-8,6	-1,28
200	400	155	431	67,9	14,6	-11,5	-6,84
400	400	304	864	34,0	14,19	-27,9	-7,44

Tabela 7 - Resultados de P3 para p_c = 1

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	32	14	64,4	38,44	5,2	12,50
100	50	61	26	76,9	20,69	-8,8	-2,22
50	100	38	27	75,7	34,28	-3,0	5,94
100	100	90	54	68,4	30,04	-9,9	3,68
50	200	20	53	73,3	28,41	-2,0	3,82
100	200	52	103	66,4	66,73	-7,0	1,34

Tabela 8 - Resultados de P3 para p_c = 0,8

npop	*maxgen*	*AGCP*					
		ND	$t(s)$	$\uparrow Ze$	$\overline{Ze}$	$\downarrow Ze$	$\downarrow \overline{Ze}$
50	50	36	13	70,3	33,79	-5,89	1,02
100	50	61	27	81,3	32,16	-4,2	0,54

50 100	100 100	36 51	27 53	72,7 80,7	34,67 31,54	-14,1 -1,4	-3,08 4,88
50 100	200 200	30 68	55 103	77,2 83,1	28,86 35,94	-6,9 -2,4	-1,4 4,16

Tabela 9 - Resultados de P3 para $p_c = 0{,}5$

5. CONCLUSÃO

Este trabalho aborda o problema de localização de atividades econômicas através da consideração de um modelo multiobjetivo (PDM-01) e de um algoritmo genético (AGCP).

A abordagem dinâmica multiobjetivo proposta relaciona fatores locacionais dominantes, dois quantitativo e um qualitativo, aos objetivos do problema, a saber, minimizar os custos de instalação e operação da atividade, minimizar o tempo de conexão da atividade a sua área de demanda e maximizar obtenção dos benefícios agregados a localização e às associações, ao longo de um horizonte de planejamento. Sendo que a função deste último objetivo é o resultado da agregação de cinco subfatores.

O algoritmo genético proposto considera uma função escalar relacionada a um problema auxiliar com um único objetivo – formada pela soma ponderada dos três objetivos – para ser uma medida de desempenho das soluções.

O AGCP resolve o PDM-01, de forma interativa com o decisor, ao incorporar procedimentos apropriados para lidar com as soluções inviáveis do problema tratado e um teste de não-dominância nas melhores soluções viáveis obtidas. Esses procedimentos são relativos aos operadores de correção e penalização propostos. O operador de correção modifica as variáveis da solução para que algumas restrições sejam respeitadas, enquanto que o operador de penalização impõe uma pena caso as demais restrições (de orçamento e de não-relocalização) não sejam satisfeitas.

Além desses operadores, o AGCP considera um processo de geração aleatória orientada para a obtenção de soluções viáveis iniciais e um operador de elitismo para preservar as *npop* melhores soluções obtidas durante todo processo evolutivo.

Ao final da execução do AGCP, um conjunto de soluções não-dominadas da elite é fornecido para a apreciação do decisor. Caso estas soluções não sejam satisfatórias, ou não exista a certeza da importância dos fatores, inicia-se um processo interativo onde novos valores de parâmetros são introduzidos no processo de evolução. Caso contrário, o processo é finalizado.

O AGCP proposto foi implementado considerando algumas instâncias. Através dos resultados obtidos, constata-se a necessidade de se explorar mais o tratamento de problemas restritos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BLAIR, J.P. (1995) *Local economic development*: analysis and practice, Sage Publications, New Delhi, pp. 41-65.

[2] GAREY, M.R. & JOHNSON, D.S. (1979) *Computer and intractability*: a guide to the theory of NP competences. Addison-Wesley, Reading, MA.

[3] GOLDBERG, D.E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.

[4] 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.

[5] LEE. S.M.; GREEN, G.I. & KIM, C.S. (1981) A multiple criteria model for the location-

[6] MALECKI, E.J. (1997) *Technology & economic development*: the dynamics of local, regional allocation problem, *Computers and Operations Research*, vol. 8, pp. 1-8.

[7] LENIVE, D. (1997) Genetic algorithms: a practitioner's view. *Journal on Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 256-259.and national competitiveness, Longman, England, Second Edition, pp. 112-156.

[8] 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.

[9] 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.

[10] OWEN, S.H. & DASKIN, M.S. (1998) Strategic facility location: a review. *European Journal of Operation Research*, vol. 111, no. 3, pp. 423-447.

[11] REES, J. & STAFFORD, H.A. (1986) *Technology, regions and policy*. Rowan & Littlefield Publishers, New Jersey, 322 p.

[12] REEVES, C. R. (1997) Genetic algorithms for the operations researcher. *Journal on Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 231-250.