

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1134

MODELO DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL PARA O PLANEJAMENTO DE UM PÓLO DE ALTA TECNOLOGIA

**Daniel Oliveira Cajueiro
Alexandre X. de Carvalho
Evandro Maciel
Gustavo Amaral Ferreira de Melo
Rodrigo Fontes Souto
Thyago Antônio de Moraes**

Brasília, novembro de 2005

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1134

MODELO DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL PARA O PLANEJAMENTO DE UM PÓLO DE ALTA TECNOLOGIA

Daniel Oliveira Cajueiro*

Alexandre X. de Carvalho**

Evandro Maciel***

Gustavo Amaral Ferreira de Melo****

Rodrigo Fontes Souto****

Thyago Antônio de Moraes****

Brasília, novembro de 2005

* Coordenador do Mestrado em Economia de Empresas da Universidade Católica de Brasília (UCB).

** Técnico de Planejamento e Pesquisa do Ipea.

*** Sócio-Presidente da Diferencial Consultoria.

**** Alunos da Universidade de Brasília (UnB).

Governo Federal

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

Ministro – Paulo Bernardo Silva

Secretário-Executivo – João Bernardo de Azevedo Bringel



Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Glauco Arbix

Diretora de Estudos Sociais

Anna Maria T. Medeiros Peliano

Diretora de Administração e Finanças

Cinara Maria Fonseca de Lima

Diretor de Estudos Setoriais

João Alberto De Negri

Diretor de Cooperação e Desenvolvimento

Luiz Henrique Proença Soares

Diretor de Estudos Regionais e Urbanos

Marcelo Piancastelli de Siqueira

Diretor de Estudos Macroeconômicos

Paulo Mansur Levy

Chefe de Gabinete

Persio Marco Antonio Davison

Assessor-Chefe de Comunicação

Murilo Lôbo

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou o do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

ISSN 1415-4765

JEL C61, R12

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	7
2	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	8
3	SOLUÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO UTILIZANDO ALGORITIMOS GENÉTICOS	12
4	RESULTADOS	13
5	CONCLUSÕES	16
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

SINOPSE

Esse trabalho introduz um modelo de localização cuja principal diferença em relação à maioria daqueles já encontrados na literatura é a modelagem explícita da sinergia entre os atividades de um aglomerado industrial. Esse modelo é introduzido para estudar um problema real de alocação de empresas na região compreendida entre Brasília e Goiânia. Como grande parte dos modelos de localização, este é formulado como um problema de programação binária com as mesmas dificuldades computacionais presentes nos problemas de otimização combinatória. Ele é um problema do tipo NP-Árduo, isto é, computacionalmente muito difícil de ser resolvido por meio de algoritmos exatos. Adicionalmente, esse modelo possui uma não-linearidade explícita na função custo e, também, um conjunto de restrições dinâmicas (muda dependendo da alocação escolhida) que impedem que parte dos desenvolvimentos recentes para programação linear binária possa ser usada. Dessa forma, propõe-se uma solução heurística para esse problema baseada em computação evolucionária. Finalmente, uma análise cuidadosa mostra o interesse prático da solução encontrada.

ABSTRACT

This paper introduces a new location model, which the main difference from most already presented in the literature is the explicit modeling of the synergy among activities of an industrial cluster. This model is introduced to study a real problem of company allocation in a region located between Brasília and Goiânia. As most location models, this model is formulated as a problem of binary programming with the same computational difficulties presented in usual combinatorial optimization problems. It is a NP-Hard problem and, actually, very difficult to be solved by exact algorithms. Moreover, this model presents an explicit nonlinearity inside the cost function and also a set of dynamic constraints (constraints that change depending on the chosen test solution) not allowing that the recent developments in binary linear programming can be used. Thus, we propose a heuristic solution based on evolutionary computation to deal with this problem. Finally, a careful analysis shows the practical appealing of the found solution.

1 INTRODUÇÃO

Em 2004, o Governo do Distrito Federal (GDF) e o Governo de Goiás se uniram para estudar projetos que propiciem o desenvolvimento da região compreendida entre Brasília e Goiânia. Entre esses projetos, os principais são: *i*) estruturar a região em questão nos moldes de um *cluster* de alta tecnologia; e *ii*) implantar um trem de alta velocidade que melhorará o acesso à região e que servirá como um catalisador dessa estrutura.

Em razão da complexidade e do custo desse projeto, apenas com um estudo apropriado, que indique a localização das empresas e outras facilidades ao longo desse eixo, seria possível a elaboração de políticas governamentais adequadas que pudessem estimular a vocação da região e, então, propiciar a formação de um *cluster* amplo, diversificado e integrado.

Nas últimas três décadas, a onipresença de tomada de decisão sobre questões de localização, como por exemplo a apresentada anteriormente, trouxe grande interesse ao campo de pesquisa, conhecido como a Modelagem e a Análise de Localização, dentro da comunidade que estuda problemas de pesquisa operacional. A teoria da localização, de fato, iniciou-se em 1909 com o trabalho seminal de Alfred Weber (1909), que considerou o problema de situar um único depósito que minimize a distância entre esse depósito e um conjunto de consumidores espacialmente distribuídos. Entretanto, apesar de vários trabalhos nas décadas de 1950 e 1960 lidarem com a classe de problemas introduzida por Weber (1909), até o trabalho de Hakimi (1964), que considerou o problema geral de estudar a localização de facilidades, a teoria de localização não era uma área unificada. Desde então, um grande número de trabalhos tem estudado de forma unificada o que se chama hoje de teoria de localização – para uma detalhada revisão dessa área, consultar, por exemplo, Francis e Goldstein (1974), Brandeau e Chiu (1989) e Daskin (1995). A grande maioria desses trabalhos apresenta problemas que são apenas generalizações do problema introduzido por Weber, isto é, são questões que lidam com a minimização de custo de transportes (ou outros custos) para encontrar a localização de facilidades dentro de uma área. Diz-se que eles pertencem a uma classe de problemas generalizados de Weber, visto que a alocação de uma facilidade independe da alocação das outras facilidades. Exceções explícitas a essa classe de problemas são os conhecidos *p-dispersion problem* (Kuby, 1987) e *hub location problem* (O’Kelly, 1987).

Nesse contexto, o presente trabalho introduz um modelo de localização, na linha da idéia proposta por Brotchie (1969),¹ que representa com detalhes a situação de estruturar o *cluster* de alta tecnologia com os detalhes descritos. Obviamente, uma vez que o objetivo principal do modelo introduzido neste texto é estudar a localização de empresas em um aglomerado industrial (especificamente, neste caso, é um pouco mais que isso – é também desenvolver a região do eixo), esse modelo não pertence à classe de modelos generalizados de Weber. De fato, a principal contribuição deste estudo é modelar explicitamente a sinergia entre as facilidades (empresas ou algum tipo de infra-estrutura)

1. De acordo com Brotchie (1969), um modelo de planejamento de atividades deveria incluir em sua função de desempenho, além dos benefícios e dos custos usuais de operar uma determinada atividade em uma determinada região, os benefícios e custos das interações das atividades em uma determinada região.

no contexto de um aglomerado industrial. Conseqüentemente, de acordo com a teoria econômica (Venables, 1995; Fujita *et al.*, 1999), o modelo aqui apresentado considera que as firmas em aglomerados industriais produzem com retornos crescentes de escala, isto é, um aumento do número de indústrias de um determinado grupo em uma localização aumenta o retorno de todas as indústrias desse grupo nessa localização.

Esse modelo, como grande parte dos modelos de localização, é formulado como um problema de programação binária com várias das dificuldades presentes nos problemas de otimização combinatória. Ele é um problema do tipo NP-Árduo – ver, por exemplo, Papadimitrou e Steiglitz (1998) ou Golbarg e Luna (2000) –, isto é, computacionalmente muito difícil de ser resolvido por meio de algoritmos exatos (apenas computacionalmente factível para problemas de tamanho médio). Adicionalmente, esse problema possui uma não-linearidade explícita na função custo e, também, um conjunto de restrições dinâmicas (mudam dependendo da alocação escolhida) que impedem que parte dos desenvolvimentos recentes para programação linear binária possam ser usados² – ver, Crowder *et al.* (1983), Johnson *et al.* (1985), Van Roy e Wolsey (1987) e Hoffman e Padberg (1991). Sendo assim, propõe-se uma solução heurística para esse problema, baseada em computação evolucionária – ver Holland (1975) e Golberg (1989). É importante explicitar que a utilização de soluções heurísticas para problemas de localização é muito comum – ver Maranzana (1964) e Teitz e Bart (1968). Aliás, em alguns artigos é possível encontrar aplicações de algoritmos genéticos dentro desse contexto – ver Lorena e De Souza-Lopez (1977), Hosage e Goodchild (1986) e Beasley e Chu (1996), Ramírez-Rosado *et al.* (1998), Preston and Kozan (2001), Arapoglu *et al.* (2001), e Topcuoglu *et al.* (2005).

Este trabalho prossegue da seguinte forma. Na seção 2, o problema em questão é apresentado e o modelo de localização é formulado matematicamente. A seção 3 introduz com detalhes a formulação desse problema utilizando algoritmos genéticos. Na seção 4, o resultado encontrado para o problema proposto na seção 2, utilizando a metodologia apresentada na seção 3, é apresentado, e sua robustez é discutida. Finalmente, a seção 5 apresenta as conclusões deste estudo.

2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O modelo de localização introduzido neste trabalho tem como objetivo definir a localização dos setores de Alta Tecnologia, Tecnologia de Informação e Comunicação (AT&TIC) e outras facilidades ao longo do eixo Brasília–Goiânia. Para a formulação desse modelo, foram considerados os seguintes critérios: *i*) as características econômicas de cada área do eixo, como logística, infra-estrutura e disponibilidade de terra; *ii*) a sinergia das atividades entre si e destas com o meio físico; *iii*) as características específicas do setor de alta tecnologia, especialmente aquelas relacionadas a logística,

2. De fato, uma vez que o problema considerado aqui é um problema de programação polinomial binária, se não fosse o conjunto de restrições dinâmicas, de acordo com o trabalho de Waltters (1967), seria possível resolver “matematicamente” esse problema utilizando programação linear binária. A dificuldade nesse caso seria o alto custo computacional que ocorre quando o número de produtos polinomiais presentes na função custo é grande (que é o caso desse trabalho), pois cada produto polinomial é transformado em uma nova restrição.

escala, estrutura em rede, pesquisa e desenvolvimento; e *iv*) a equidade social, entendida em termos de renda gerada em cada área e de seus efeitos demográficos.

A relevância de tais critérios é evidenciada pelas experiências brasileiras (aglomerado de empresas de grande porte do setor de alta tecnologia localizado em Campinas, *cluster* farmacêutico em Anápolis) e internacionais (aglomerado de alta tecnologia na Índia, *cluster* de biotecnologia na Finlândia) de arranjos produtivos locais (*clusters*). Tais experiências sugerem que o setor de AT&TIC, quando baseado numa estrutura produtiva capaz de conduzir à exploração dos ganhos econômicos de externalidades de rede, é capaz de alavancar o desenvolvimento da região, bem como das próprias atividades envolvidas.

Dessa forma, o eixo foi dividido em dez áreas (polígonos irregulares) segundo características do meio físico, da estrutura de transporte e distribuição e da infraestrutura existente (ver tabela 1). Os critérios utilizados foram as características locais já existentes, as possíveis estações do trem de alta velocidade e também as áreas próximas a essas estações. Cada região possui pelo menos uma característica mais marcante. Uma estação do trem de alta velocidade é sem dúvida considerada um fator de destaque na região. Por outro lado, grandes cidades, como Brasília ou Goiânia, também são fatores relevantes. Outro fator de destaque é o lago, principalmente pela sua alta vocação turística. E, finalmente, regiões entre Anápolis e Goiânia têm se mostrado com bastante potencial para o armazenamento e distribuição de produtos.

TABELA 1

Regiões consideradas pelo modelo de localização

Região	Localização
1	Situada ao sul de Brasília
2	Situada ao norte de Brasília
3	Engloba a cidade de Alexânia
4	Ao sul da região 3 e ao norte do lago
5	Onde se localizará o lago Corumbá IV
6	Região de transição entre o lago e Anápolis
7	Engloba a cidade de Abadiânia
8	Corresponde à cidade de Anápolis
9	Envolve a cidade de Goiânia
10	Localizada entre as cidades de Anápolis e Goiânia

Elaboração dos autores.

Por outro lado, foram considerados 25 setores específicos que contêm ao todo 35 atividades econômicas de AT&TIC ou facilidades relacionadas (ver tabela 2), selecionadas por: *i*) destacarem-se como nichos de grande potencial; *ii*) relações sinérgicas; e *iii*) necessidades de inter-relacionamento e infra-estrutura.

TABELA 2

Atividades consideradas pelo modelo de localização

Atividade	Descrição
1	Serviços de automação de processos e equipamentos/robótica/logística
2	Montagem de robótica
3	Farmacêutica
4	Laboratório de farmacêutica
5	Fármacos e aditivos
6	Laboratório de nanotecnologia
7	Laboratório de biotecnologia
8	Mecânica Fina
9	<i>Data Centers</i>
10	<i>Call Centers</i>
11	Produção de Terminais celulares
12	Produção de ERB e CCC
13	Produção de Antenas e torres
14	Produção de Fios e cabos
15	Desenvolvimento de sistemas (nível 1: especificação, prototipagem e <i>design</i>)
16	Pacotes fechados (nível 1: especificação, prototipagem e <i>design</i>)
17	E-tecnologias (nível 1: especificação, prototipagem e <i>design</i>)
18	<i>Softwares</i> embarcados (nível 1: especificação, prototipagem e <i>design</i>)
19	Nível 2: codificação, teste e manutenção
20	<i>Design House</i> nível 1 e Fabricação nível 3
21	<i>Design House</i> nível 2
22	<i>Design House</i> nível 3
23	Fabricação nível 1
24	Fabricação nível 2
25	Encapsulamento e teste
26	Produção Eletroeletrônica
27	Computadores pessoais e periféricos
28	Computadores de alto desempenho
29	Equipamentos de redes LAN e WAN
30	Laboratório de <i>hardware</i>
31	Automotivo
32	Serviços de geotecnologia
33	Galpões
34	Gráficas/embalagens/ <i>design</i>
35	Serviços de automação bancária

Elaboração dos autores.

Seja m o número de atividades e n o número de regiões, então o problema de localização foi formulado matematicamente da seguinte forma:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C_{I_{ij}} X_{ij}) + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=j+1}^m (C_{S_{jk}} + C_{S_{ik}}) X_{jk} X_{ik} \quad (1)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \geq 1 \quad \text{para } i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq 1 \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq \max_ativ_i \quad \text{para } i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq \max_regiao_j \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m F_{ij} X_{ij} \geq \min_fat_j \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m E_{ij} X_{ij} \geq \min_emp_j \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{para } i = 1, \dots, m \text{ e para } j = 1, \dots, n \quad (8)$$

A equação (1) define o custo a ser minimizado. O termo $C_{I_{ij}}$ mede a necessidade de uma determinada atividade i estar próxima de algum tipo de infraestrutura específica como, por exemplo, a malha do trem ou o lago. Por outro lado, a matriz C_s mede a sinergia entre as atividades. Conforme já mencionado, a proximidade estratégica entre distintas atividades implica redução de custos e ganhos de eficiência para as empresas por meio do aumento de sinergia.³ Desta forma, utilizaram-se índices para o ganho de sinergia quando setores estão próximos uns dos outros. É fundamental notar que essa matriz não é simétrica, visto que não necessariamente a importância de uma atividade i estar próxima da atividade j não é a mesma importância de a atividade j estar próxima da atividade i . Claramente, a segunda parte da equação (1) introduz a não linearidade do modelo aqui apresentado.

A equação (2) apenas diz que todas as atividades devem aparecer pelo menos uma vez no eixo.

A equação (3) diz que todas as regiões devem possuir pelo menos uma atividade.

A equação (4) limita o número de vezes que uma determinada atividade aparece no eixo. Por exemplo: não faz sentido o setor automobilístico aparecer em todas as regiões do eixo.

A equação (5) limita o número de atividades que pode aparecer numa região. Essa restrição visa garantir a maior equidade na distribuição dos setores. É conhecido o número máximo de aparições das atividades que podem estar presentes no eixo. Assim, tem-se qual seria a média máxima de atividades por região. A restrição impede que o número de atividades em uma região exceda esse valor.

A equação (6) força uma equidade financeira mínima ao longo do eixo, onde todas as regiões devem possuir um conjunto de atividades que formem um faturamento mínimo. É essa restrição que dá uma visão mais econômica ao modelo utilizando o faturamento que foi estimado para cada atividade.

A equação (7) determina o número mínimo de empregos ao longo do eixo por região.

As equações (6) e (7) são restrições dinâmicas, isto é, elas mudam dependendo da solução escolhida. Isso ocorre porque se espera que o faturamento de uma atividade e o número de empregos gerados por ela no eixo seja dividido pelas regiões que detém essa atividade.

3. Se em vez de atividades ou setores fossem consideradas empresas, os C_s poderiam também ser considerados negativos quando representassem perda de uma empresa causada pela proximidade à outra.

A partir da descrição do modelo, pode-se perceber a dificuldade computacional para a solução do problema. Obviamente, nenhum método propõe enumeração de todas as soluções possíveis; entretanto caso se tentasse fazer isso seria necessário testar $2^{350} \approx 2.2935 \times 10^{105}$ soluções para então encontrar uma ótima. Dessa forma, sugere-se que esse problema seja resolvido por meio de um algoritmo genético.

3 SOLUÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Um algoritmo genético – ver, Holland (1975), Golberg (1989) e Mitchell (1998) – é um algoritmo de busca estocástico baseado na idéia de evolução natural que encontra soluções subótimas (em geral, próximas das ótimas) em grandes espaços.

Os algoritmos genéticos usam diretamente a idéia de evolução trabalhando com uma população de indivíduos. Cada indivíduo representa uma possível solução no espaço de busca para um problema particular. Os indivíduos são representados por um código genético, usualmente um vetor binário. Todos os genes no código genético representam uma propriedade particular da solução – ou uma variável ou parte de uma de uma variável.

A cada indivíduo é associada uma aptidão que mede a sua qualidade em termos de adaptação ao ambiente – ou seja, mede a otimalidade da solução em questão. De fato, o valor médio da aptidão de toda a população pode ser visto como uma boa medida da qualidade de solução durante as várias gerações. Um algoritmo genético melhora sua solução de uma geração para outra utilizando os operadores genéticos: seleção, cruzamento e mutação.

O cruzamento é uma operação associada apenas aos melhores indivíduos (aqueles mais bem adaptados de acordo com a função de aptidão). No cruzamento, os genes dos pais são misturados para a formação do filho. Mais especificamente, considerando que dois indivíduos possuam respectivamente os códigos genéticos 1111 e 0000, uma operação de cruzamento pode gerar os seguintes filhos 1000, 1100, 1110. De acordo com essa regra, espera-se que os filhos sejam mais adaptados que os pais.

Por outro lado, a mutação é uma regra estocástica de alteração de um gene do código genético de um indivíduo. Considerando um indivíduo com o código genético 1111, uma operação de mutação pode gerar um indivíduo com um dos códigos genéticos 0111, 1011, 1101 ou, finalmente, 1110.

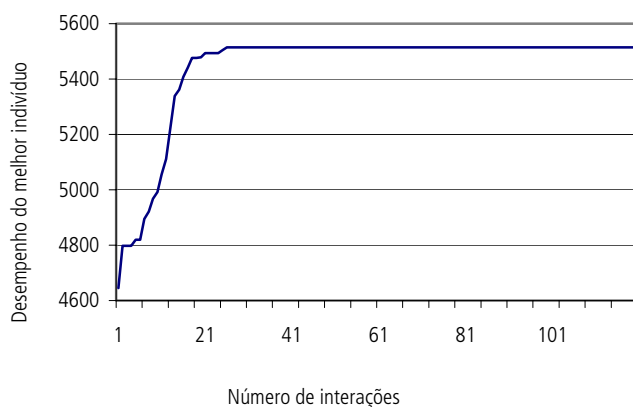
A aplicação do algoritmo para a solução do problema de localização apresentado na seção anterior foi explícita e trivial. Deve-se notar que a solução do problema de localização é uma matriz formada por 0s e 1s. Logo, para formar o código genético dos indivíduos, apenas enfileiraram-se as linhas das matrizes de solução. Por outro lado, definiu-se que os indivíduos mais aptos são aqueles que apresentavam o menor custo dado pela equação 1. Mais ainda, somou-se um valor de ordem de grandeza bem maior – algo tipo o *big M method*, ver Hillier e Lieberman (2001) – para aqueles indivíduos (soluções) que não eram factíveis – isto é, não satisfaziam pelo menos uma das equações (2) - (7).

4 RESULTADOS

Esta seção tem o objetivo de relatar a solução encontrada com o algoritmo genético. Com essa solução, será possível apresentar estimativas de faturamento e de empregos diretos ao longo do eixo. Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam os resultados de uma típica solução do algoritmo genético. Em particular, o gráfico 1 mostra a evolução do custo do melhor indivíduo da população, o gráfico 2 mostra a evolução do valor médio do custo dos indivíduos da população e, finalmente, o gráfico 3 mostra a proporção de indivíduos factíveis na população.

GRÁFICO 1

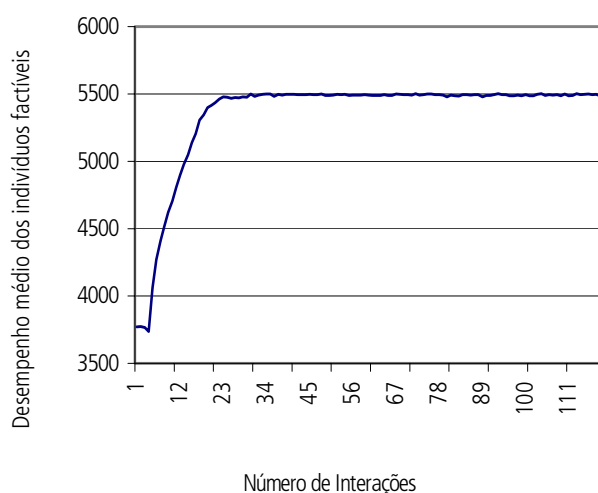
Evolução do custo do melhor indivíduo da população



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 2

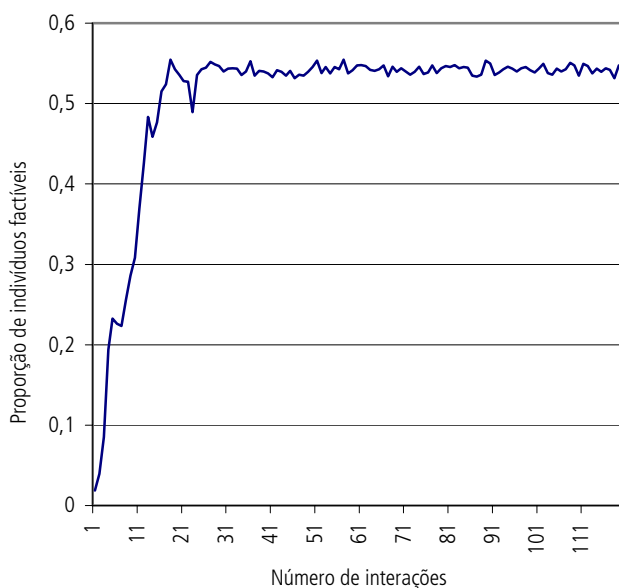
Evolução do custo médio dos indivíduos factíveis da população



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 3

Evolução da proporção de indivíduos factíveis da população



Elaboração dos autores.

De acordo com o modelo de localização, encontra-se o seguinte resultado:

Na Região 1, situada ao sul de Brasília, localizam-se, de acordo com o modelo, as seguintes atividades: Microeletrônica; *Design House* nível 1 e Fabricação Nível 3; *Design House* nível 2; *Design House* nível 3; *Software*: E-Tecnologias: (*E-Commerce*, *E-Business*, *E-Learning* e *E-Government*); Computadores Pessoais e Periféricos; Computadores de Alto Desempenho; e Serviço de Automação Bancária e Comercial.

Na Região 2, localizada ao norte de Brasília, encontram-se as seguintes atividades: Serviços de Automação de Processos e Logística; Produção de Sistemas Automatizados; Laboratório de Nanotecnologia; Laboratório de *Hardware*; Automotivo; Mecânica de Alto Valor Agregado; e *Softwares* Embarcados;

Na Região 3, que engloba a cidade de Alexânia: Microeletrônica (Fabricação nível 1; Fabricação nível 2); Produção de Eletroeletrônicos; Galpões; Produção de ERBs e CCCs; *Software*: Nível 2 (Codificação, Testes e Manutenção).

Na Região 4, ao sul da Região 3 e ao norte do Lago: Serviços de Automação de Processos e Logística; Serviços de Automação Bancária e Comercial; Laboratório de Biotecnologia; *Call Centers*; e *Software*: Desenvolvimento de Sistemas.

Na Região 5, onde se localizará o Lago de Corumbá IV: Serviços de Automação de Processos e Logística; *Software*: Pacotes Fechados; *Software*: Desenvolvimento de Sistemas; *Software*: E-Tecnologias – *E-Commerce*, *E-Business*, *E-Learning* e *E-Government*.

Na Região 6, área de transição entre o Lago e Anápolis: Serviços de Automação de Processos e Logística; Serviços de Automação Bancária e Comercial; *Data Centers*;

Call Centers; Microeletrônica (Encapsulamento e Teste); Software Nível 2 (Codificação, Testes e Manutenção); e Computadores Pessoais e Periféricos.

Na Região 7, que engloba a cidade de Abadiânia: Produção de Antenas e Torres; Produção de Fios e Cabos; Produção de Equipamento de Redes para LAN e WAN; Produção de Eletroeletrônicos; Galpões; Serviços de Geotecnologia; Gráficas, e *Design* e Embalagens.

Na Região 8, correspondente à cidade de Anápolis: Produção de Terminais Celulares; Fármacos e Aditivos; Indústria Farmacêutica; Laboratório de Farmacêutica; Serviços de Automação de Processos e Logística; *Software*: Desenvolvimento de Sistemas; e Microeletrônica (Encapsulamento e Teste).

Na região 9, que envolve Goiânia: Indústria Farmacêutica; Fármacos e Aditivos; *Call Centers*; Automotivo; Gráficas, *Design* e Embalagens; *Software*: E-Tecnologias; *E-Commerce*, *E-Business*, *E-Learning* e *E-Government*.

Na região 10, localizada entre as cidades de Anápolis e Goiânia, mais ao norte: Serviços de Automação de Processos e Logística; Produção de Sistemas Automatizados; Mecânica de Alto Valor Agregado; Produção de Terminais Celulares; Galpões; e Microeletrônica (*Design House* nível 2 e *Design House* nível 3).

O resultado encontrado correspondeu ao esperado. As regiões mais próximas a Brasília possuem características específicas. A Região 1 apresenta um perfil de mais alta tecnologia, recebendo alguns setores de microeletrônica, como os três níveis de *Design Houses*, e a Fabricação de Nível 3. Também foram localizadas nesta região as atividades de E-Tecnologias. Esses setores de alta tecnologia, localizados na região, beneficiar-se-ão com a proximidade dos clientes, ferrovias e do aeroporto de Brasília, por onde poderão escoar suas produções.

Na Região 2, encontram-se atividades muito relacionadas com a produção de automóveis, mecânica de alto valor agregado, além de Laboratórios de *Hardware* e de Nanotecnologia. Esses dois últimos se beneficiam bastante pela proximidade entre si e de Brasília.

As Regiões 3 e 7 apresentam atividades mais convencionais, como indústria eletroeletrônica e parque gráfico. Também se encontrarão atividades de maior valor agregado, como as Fabricações de nível 1 e 2 que, próximas às Regiões 1 e 2, se beneficiarão pelos potenciais consumidores.

Nas Regiões 4 e 5, ocorre predominância de serviços e de atividades relacionadas a *softwares*. Esse resultado é interessante pelo fato de a região do Lago de Corumbá IV ser um ambiente voltado ao desenvolvimento técnico e não à produção pesada.

A Região 6 possui tanto atividades de serviços, como Automação Bancária e *Data Centers*, quanto atividades de produção, como Computadores Pessoais e Periféricos e Encapsulamento e Teste. Esse fato mostra que o modelo tirou vantagem do fato de esta região se encontrar próxima ao Lago, onde se encontram muitas atividades de *software*, e próxima a Anápolis, por onde poderá ser escoada a produção.

A Região 8, da cidade de Anápolis, recebe o setor de Farmacêutica. Ou seja, o resultado do modelo está de acordo com a vocação de Anápolis, onde já existe pólo desse setor. Destaca-se, principalmente, a produção de medicamentos genéricos.

Nesta região, também foram localizadas algumas atividades de produção como a de Celulares e Encapsulamento e Teste.

Na Região 9, aparecem atividades de diversos tipos, aproveitando as diversas vantagens que se encontram em Goiânia e nas proximidades.

A Região 10 recebe várias atividades de produção e algumas atividades de Microeletrônica de alto nível, como as *Design Houses* 2 e 3.

A partir dos resultados da localização das atividades, foi possível estimar o faturamento e o número de empregos em cada região. Esta é uma estimativa para um horizonte de 5 a 7 anos. O resultado pode ser visto na tabela 3 a seguir:

TABELA 3

Distribuição do faturamento e do número de empregos por região

Região	Faturamento (US\$ milhões)	Total de Empregos	Empregos Diretos	Empregos Indiretos
1	1.025,00	42.500	14.000	28.500
2	1.700,00	42.200	15.000	27.200
3	1.400,00	72.600	20.200	52.400
4	683,33	57.300	20.100	37.200
5	915,00	38.900	13.800	25.100
6	808,33	83.600	28.200	55.400
7	720,00	62.100	16.400	45.700
8	1.872,50	43.100	14.500	28.600
9	2.365,83	101.300	31.500	69.800
10	965,00	29.600	10.300	19.300
Total	12.455,00	573.200	184.000	389.200

Elaboração dos autores.

5 CONCLUSÕES

Este estudo introduziu um modelo de localização cujo principal diferencial é a modelagem explícita da sinergia entre as empresas de um parque industrial. Além dessa particularidade, uma característica interessante pôde ser encontrada nesse modelo – a preocupação com equidade econômica do eixo.

Por outro lado, enquanto o principal objetivo deste trabalho está no planejamento eficiente do eixo, para que, no caso de ser viabilizado, os governos em questão tomem as medidas de governança adequadas, esse tipo de modelo também pode ser útil para a avaliação dos *clusters* industriais já existentes. De fato, esse modelo poderia ser útil para responder a questões do tipo: será que a disposição geográfica de empresas em *clusters* já existentes é ótima? As políticas governamentais realizadas nesses aglomerados são eficientes?

Finalmente, podem ser considerados vários caminhos futuros interessantes para essa linha de pesquisa: *i*) propor outros algoritmos eficientes para a solução do problema introduzido; e *ii*) estudar alguns *clusters* já existentes, utilizando essa metodologia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAPOGLU, R. A.; NORMAN, B. A.; SMITH, A. E. Locating input and output points in facilities design: a comparison of constructive, evolutionary, and exact methods. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, n. 5, p. 192-203, 2001.
- BEASLEY, J. E.; CHU, P. C. A genetic algorithm for the set covering problem. **European Journal of Operational Research**, n. 94, p. 392-404, 1996.
- BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S. An overview of representative problems in location research. **Management Science**, n. 35, p. 645-674, 1989.
- BROTCHIE, J. F. A general planning model. **Management Science**, n. 16, p. 265-266, 1969.
- CROWDER, H.; JOHNSON, E. L.; PADBERG, M. Solving large-scale zero-one linear programming problems. **Operations Research**, n. 31, p. 803-834, 1983.
- DASKIN, M. S. **Network and discrete location: models, algorithms and applications**. New York: John Wiley and Sons, 1995.
- FRANCIS, R. L.; GOLDSTEIN, J. M. Location theory: a selective survey. **Operation Research**, n. 22, p. 400-410, 1974.
- FUGITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A. J. **The spatial economy: city, regions and international trading**. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.
- GOLBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- GOLBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning**. [S.l.]: Addison-Wesley, 1989.
- HAKIMI, L. S. Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations Research**, n. 12, p. 450-459, 1964.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. Boston: McGraw Hill, 2001.
- HOFFMAN, K. L.; PADBERG, M. Improving LP-representations of zero-one linear programs for branch-and-cut. **ORSA Journal on Computing**, n. 3, p. 121-134, 1991.
- HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- HOSAGE, C. M.; GOODCHILD, M. F. Discrete space location-allocation solutions for genetic algorithms. **Annals of Operations Research**, n. 6, p. 35-46, 1986.
- JARAMILLO, J. H.; BHADURY, J.; BATTÀ, R. On the use of genetic algorithms to solve location problems. **Computers and Operations Research**, n. 29, p. 761-779, 2002.

- JOHNSON, E. L.; KOSTREVA, M. M.; SUHL, U. H. Solving 0-1 integer programming problems arising from large scale planning models. **Operations Research**, n. 33, p. 803-819, 1985.
- KUBY, M. The p-dispersion and maximum dispersion problems. **Geographical Analysis**, n. 19, p. 315-319, 1987.
- LORENA, L.; LOPEZ, L. S. Genetic algorithms applied to computationally difficult set covering problems. **Journal of Operational Research Society**, n. 48, p. 440-445, 1977.
- MARANZANA, F. E. On the location of supply points to minimize transport costs. **Operation Research Quarterly**, n. 15, p. 261-270, 1964.
- MITCHELL, M. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- O'KELLY, M. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. **European Journal of Operation Research**, n. 32, p. 393-404, 1987.
- PAPADIMITRIOU, C. H.; KENNETH, S. **Combinatorial optimization: algorithms and complexity**. New York: Dover, 1998.
- PRESTON, P.; KOZAN, E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. **Computers and Operations Research**, n. 28, p. 983-995, 2001.
- RAMÍREZ-ROSADO, I. J.; BERNAL-AUGUSTÍN, J. L. Genetic algorithms applied to the design of large power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, n. 13, p. 696-703, 1998.
- VAN ROY, T. J.; WOLSEY, L. A. Solving mixed 0-1 programs by automatic reformulation. **Operations Research**, n. 35, p. 45-57, 1987.
- TEITZ, M. B.; BART, P. (1968). Heuristic methods for estimating generalized vertex mediano of weighted graph. **Operations Research**, n. 16, p. 955-961, 1968.
- TOPCUOGLU, H.; CORUT, F.; ERMIS, M.; YIMAZ, G. Solving the uncapacitated hub location problem using genetic algorithms. **Computers and Operations Research**, n. 32, p. 967-984, 2005.
- VENABLES, A. J. Economic integration and the location of firms. **American Economic Review**, n. 85, p. 296-300, 1995.
- WALTERS, L. J. Reduction of integer polynomial programming problems to zero-one linear programming problems. **Operations Research**, n. 15, p. 1171-1174, 1967.
- WEBER, A. **Alfred Weber's theory of the location of industries**. University of Chicago, 1929.

EDITORIAL

Coordenação

Silvânia de Araujo Carvalho

Supervisão

Iranilde Rego

Revisão

Sarah Ribeiro Pontes

Naiane de Brito Francischetto (estagiária)

Raquel do Espírito Santo (estagiária)

Editoração

Aeromilson Mesquita

Elidiane Bezerra Borges

COMITÊ EDITORIAL

Secretário-Executivo

Marco Aurélio Dias Pires

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES,
9º andar, sala 908

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5406

Correio eletrônico: madp@ipea.gov.br

Brasília

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, 9º andar

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5090

Fax: (61) 3315-5314

Correio eletrônico: editbsb@ipea.gov.br

Rio de Janeiro

Av. Nilo Peçanha, 50, 6º andar – Grupo 609

20044-900 – Rio de Janeiro – RJ

Fone: (21) 2215-1044 R. 234

Fax: (21) 2215-1043 R. 235

Correio eletrônico: editrj@ipea.gov.br

Tiragem: 130 exemplares