

Alguns modelos empíricos de localização industrial

CARLOS ALBERTO N. COSENZA *

PAULO R. NASCIMENTO *

1 — Introdução

O nosso esforço no sentido de desenvolver modelos matemáticos de localização industrial (alguns heurísticos) deveu-se inicialmente à existência de um problema concreto, qual seja, o de transformar um "Sistema de Informações", recém-estruturado à nível metodológico, em instrumento mais eficiente de política industrial.

Sendo o modelo ou os modelos apenas um dos vários componentes de um projeto maior, onde algumas partes destacavam-se pela sua extrema complexidade, a presente comunicação tem o objetivo de servir de introdução a um trabalho de maior profundidade a ser publicado brevemente.¹

Muito embora seja colocada em evidência a parte teórica e metodológica do trabalho, é justo destacar que ele se deriva dos "Princípios Metodológicos para a Implantação de um Programa de Informações para Localização Industrial", que a COPPE acaba de elaborar juntamente com a SOMEA e a CONCISA.²

Como raramente acontece, se disporá de dados concretos para avaliação sistemática desse estudo teórico, que, embora elaborado

* Respectivamente, do Programa de Engenharia da Produção da COPPE/UFRJ e da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Santa Catarina.

¹ Cabe destacar, no trabalho a ser publicado, a participação dos Professores Dino Attanasio, Giovanni Rottino e Renato Mateucci, pertencentes aos quadros da SOMEA — Società per la Matematica e l'Economia Applicate (Itália), Grupo Metra Internacional.

² Consultoria de Ciência Social Aplicada. Entidade responsável direta pela realização do projeto junto à "Fundação de Ciência e Tecnologia", órgão do Governo do Rio Grande do Sul, principal interessada.

em nível simples e estático, pode ser generalizado de modo a incluir características dinâmicas. Nesse sentido foram desenvolvidas várias metodologias, destacando-se aquelas que permitem, por exemplo, atuar sobre os coeficientes de uma matriz de relações técnicas e acompanhar a evolução dos perfis industriais.³

Foi também realizado um grande esforço no sentido de harmonizar a concepção teórica com as técnicas de computação existentes, levando-se em conta, inclusive, os recursos dispostos pelos equipamentos.⁴

2 — Idéias básicas sobre zoneamento territorial

O objetivo final do modelo é permitir o conhecimento, em termos de fatores locacionais, de um certo território ou área em estudo,⁵ a fim de orientar a política de desenvolvimento e de oferecer ao investidor privado as bases para a localização de determinado estabelecimento industrial.

Como primeira tarefa, trata-se de definir a análise territorial a partir do que denominamos de “zonas elementares de planificação”, sendo que a dimensão mais adequada dessas unidades depende das características do território. Com efeito, um erro na escolha da dimensão dessas unidades elementares pode conduzir à determinação de zonas onde não existe qualquer vantagem locacional. Além disto, se o território for demasiadamente extenso, o número elevado de zonas elementares pode tornar muito onerosa a coleta de dados a nível suficientemente desagregado.

³ Diferentemente da maioria dos trabalhos a este nível, dois dos modelos desenvolvidos (um pela COPPE e outro pela SOMEA) estão em fase de implementação pela FEE (Fundação de Economia e Estatística) do Rio Grande do Sul, entidade que na realidade concebeu toda a idéia do “Programa”, hoje denominado PLINCO (Programa de Informações para Localização Industrial e Comercial).

⁴ Destacamos nesta fase os trabalhos do Prof. Nelson Maculan Filho, Coordenador do Programa de Engenharia de Sistemas da COPPE que, paralelamente desenvolveu, em um outro nível de concepção, dois modelos de simulação que serão utilizados para testes periódicos e para o aperfeiçoamento da parte operacional do sistema.

⁵ O modelo na sua primeira versão foi aplicado ao Estado do Rio Grande do Sul.

Por outro lado, a utilização de zonas elementares com dimensões exageradas fornece poucos subsídios à política de industrialização e pouco ou nenhum auxílio ao empresário, no sentido de selecionar o melhor local para um determinado tipo de indústria.

Assim, é necessário definir alguns critérios que permitam reduzir o número de zonas, sem excluir *a priori* nenhuma área de importância no território. O primeiro critério refere-se à atual distribuição da população no território, com vistas à facilidade no recrutamento da mão-de-obra. O contingente de mão-de-obra necessária dependerá das dimensões do distrito industrial a ser implantado, da relação entre a mão-de-obra ocupada na indústria e nos demais setores e da relação entre a população ocupada e a população total. O segundo critério diz respeito à atual distribuição da atividade industrial no território em estudo, considerando-se como unidade de medida o número de pessoas ocupadas na indústria. O terceiro refere-se à orografia territorial. São excluídas as zonas com declividade média superior a 5%. O quarto critério leva em conta a existência de um sistema adequado de infra-estrutura, isto é, rodovias, ferrovias, hidrovias, portos, rede elétrica etc. Finalmente, o quinto critério considera os usos alternativos do território, tais como agricultura, pecuária ou turismo. Em princípio, estipulou-se que a atividade industrial não deve entrar em conflito com qualquer outra forma de utilização territorial, atual ou potencial.

Com base nesses critérios, é possível, portanto, individualizar as áreas viáveis para efeito de localização industrial. Evidentemente, as áreas assim selecionadas podem possuir dimensões consideradas ainda exageradas e, assim, podem ser objeto de zoneamento segundo novos critérios, a fim de definir as zonas elementares de planificação.

3 — Fatores de localização industrial

Trata-se aqui de desenvolver metodologicamente os elementos que possam servir de orientação na escolha da localização industrial, tanto com relação ao processo decisório do investidor privado como no que concerne à formulação de políticas de desenvolvimento.

3.1 — Conceito e seleção dos fatores de localização

Na indústria moderna verifica-se que o processo de decisão do investidor privado orienta-se, cada vez mais, não apenas em função de fatores técnico-econômicos tradicionais (transporte, matérias-primas, energia, água etc.), mas também por fatores de natureza mais complexa, de caráter qualitativo, ligados às condições sociais e ambientais do território. Do ponto de vista governamental, entretanto, assume maior importância a necessidade de maximizar a utilização dos recursos existentes, considerando os possíveis usos alternativos do território. Tal confronto de interesses conduz a uma consequência imediata: a de se considerar como fator de localização todo e qualquer elemento que as indústrias requeiram em forma quantitativa ou qualitativa e que tenham disponibilidade e distribuição não-homogênea no território em estudo.

O levantamento das condições de localização industrial abrange um número elevado de atividades, designadas comumente por ramos industriais.⁶ Como unidade de referência, porém, a noção de ramo industrial pode revelar-se inadequada para um levantamento das condições de localização requeridas pela indústria. Com efeito, num mesmo ramo industrial podem existir projetos ou unidades em operação diferenciados segundo a tecnologia ou dimensão, o que evidentemente implica uma demanda também diferenciada dos fatores de localização.

A fim de desagregar os vários setores industriais em unidades elementares da demanda desses fatores, pode-se tomar como referência a homogeneidade da estrutura de "insumos" e "produtos" de cada estabelecimento. Assim, a dimensão e a tecnologia são considerados como elementos determinantes da alteração na demanda pelos fatores.

De acordo com as considerações expostas, os fatores de localização devem ser levantados tanto do lado da oferta (território) como do lado da demanda (indústria) e devem ser mensurados de modo a permitir o confronto entre ambas. Para esse fim, os fatores são individualizados com base na sua disponibilidade. No confronto entre as condições de oferta e demanda, deve-se considerar, nas di-

⁶ Segundo a mesma classificação setorial adotada pelo IBGE.

versas áreas, os diferenciais quanto a escala de produção, preços ou tarifas dos insumos e pesos desses insumos na composição dos custos.

O último problema a ser resolvido diz respeito às modalidades de mensuração dos fatores de localização, dado que as unidades de medida podem ser extremamente variáveis. Propõe-se, assim, para resolver tal problema, um método de mensuração de tipo qualitativo, adotando-se uma das seguintes alternativas:

i) uma escala de duas modalidades, baseada essencialmente no princípio de presença/ausência;

ii) uma escala de mais de duas modalidades que configure, para cada uma delas, a adequação entre a demanda e a oferta segundo diversos níveis qualitativos.

O segundo critério foi preferido na prática, uma vez que permite descrever melhor as exigências da indústria e as disponibilidades do território. Evidentemente, é sempre possível passar à escala de duas modalidades, mediante reagrupamento, caso o fator não seja suficientemente diferenciado ou não se disponha de dados suficientes para diferenciá-lo convenientemente.

Nos modelos apresentados adiante são utilizadas as duas modalidades de mensuração, de modo a permitir uma implementação gradativa e de acordo com a disponibilidade de dados.

4 — Modelo “A” de localização

Considera-se, inicialmente, a classificação dos fatores de localização, para cada tipo de indústria, como Cruciais (A), Condicionantes (B), Pouco Condicionantes (C) e Irrelevantes (D). Em seguida, constrói-se uma matriz (tipos de indústria *versus* fatores estratégicos) onde aquela classificação é substituída por um critério de pesos apoiados nas seguintes premissas:

i) o número de pontos atribuídos a um fator condicionante deve ser maior que a soma dos pontos atribuídos aos demais fatores pouco condicionantes e irrelevantes;

ii) o número de pontos atribuídos a um fator pouco condicionante deve ser maior que a soma dos pontos atribuídos aos fatores irrelevantes;

iii) a inexistência de um fator crucial elimina a alternativa de localização.

Como passo seguinte, define-se uma segunda matriz (fatores estratégicos *versus* zonas elementares), que fornece uma indicação da existência ou ausência de um determinado fator estratégico em uma zona elementar. A definição de existência é bastante flexível, ou seja, pode-se definir um fator como existente se e somente se esse fator tem disponibilidade (oferta) igual ou acima de um nível prefixado.

O produto da primeira pela segunda matriz resulta numa nova matriz (tipos de indústria *versus* zonas elementares), que indica, para cada tipo de atividade industrial, aquelas zonas elementares mais bem dotadas em termos dos fatores considerados. Tal matriz ainda fornece informações para orientação da política governamental de investimentos e incentivos, dando também ao empresário privado uma visão global da atividade industrial na área em estudo. Essas informações seriam basicamente de dois tipos:

i) a média “ponderada” dos elementos de cada linha fornece um índice para o território relativo a cada tipo de indústria;

ii) a média “ponderada” dos elementos de cada coluna fornece um índice para a zona elementar relativo ao conjunto de atividades industriais.

4.1 — Formalização inicial do modelo

A partir das premissas enunciadas na seção anterior e levando em conta as dificuldades iniciais para um levantamento completo das informações estatísticas, é possível desenvolver o seguinte:

Sejam $A = (a_{ij})_{h \times n}$ e $B = (b_{jk})_{n \times m}$ matrizes binárias que representam, respectivamente, a demanda industrial de h tipos industriais relativamente a n fatores de localização e a oferta territorial de n fatores de localização apresentados por m zonas elementares de planificação.

Os elementos das matrizes, tanto no caso da oferta como no da demanda, obedecerão à seguinte convenção:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o fator é} \\ 0, & \text{se o fator é} \end{cases} \begin{cases} \text{Crucial} \\ \text{ou} \\ \text{Condicionante} \\ \text{Pouco Condicionante} \\ \text{Irrelevante} \\ \text{e} \end{cases}$$

$$b_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{existe o fator no nível estabelecido} \\ 0, & \text{não existe o fator no nível estabelecido} \end{cases}$$

Seja $C = A \cdot B = (c_{ij})_{h \times m}$ a matriz produto representativa das possibilidades de localização dos i tipos de indústria nas k zonas elementares de planificação, tal que $\max_k c_{ik} = \bar{c}_i$ indica a melhor localização do tipo de i e o $\max_i c_{ik} = \bar{c}_k$ indica o melhor tipo de indústria para a zona elementar k .

Nesta multiplicação de matrizes, será obedecida a seguinte convenção: Para 2 elementos genéricos, a_{ij} e b_{jk} , o produto $a_{ij} \cdot b_{jk}$ é definido como sendo a operação binária:

Produto	0	1
0	$1/n^2$	$1/n$
1	0	1

Onde n é igual ao número de fatores considerados.

Seja $E = (e_{il})_{h \times h}$ a matriz, tal que

$$e_{il} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq l \\ 1 / \sum_j a_{ij}, & \text{se } i = l \end{cases}$$

Defina-se ainda $D = (ExC) = (d_{ik})_{h \times m}$ como a matriz representativa das possibilidades de localização dos i tipos de indústrias nas k zonas elementares de planificação, agora representados por índices em relação aos fatores de localização demandados. Ou seja, cada elemento d_{ik} da matriz D representa o índice dos fatores de

localização satisfeitos na localização do tipo de indústria i na zona elementar de planificação k .

A existência de um índice maior que a unidade significa que a zona elementar de planificação oferece melhores condições de localização do que as demandadas por aquele tipo de indústria, enquanto que a existência de um índice menor que a unidade indica que ao menos um dos fatores demandados não foi atendido.

De posse destas informações pode-se ainda definir os índices:

$$t_i = 1/m \sum_k d_{ik} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, h$$

$$z_k = 1/h \sum_i d_{ik} \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, m$$

que indicam, respectivamente, a disponibilidade de recursos locacionais do território para cada tipo de indústria i e o grau de recursos locacionais do setor industrial em cada zona elementar de planificação k .

O primeiro aspecto a ser considerado, quanto à implantação do modelo, diz respeito à alteração da matriz A , de 2 para 4 níveis. O problema seguinte consiste em redefinir a operação produto entre os elementos das matrizes, de modo a permitir que os critérios de pesos do modelo sejam obedecidos.

Uma idéia possível é a seguinte:

“Os elementos a_{ij} e b_{jk} assumem os valores A, B, C e D , de acordo com o comportamento da demanda industrial e da oferta territorial. E, o produto entre eles, ou seja $a_{ij} \cdot b_{jk}$, obedecerá à convenção abaixo esquematizada:

<i>Produto</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	n^2	0	0	0
<i>B</i>	$n + 1$	n	0	0
<i>C</i>	$\frac{n + 2}{n}$	$\frac{n + 1}{n}$	1	0
<i>D</i>	$\frac{n + 3}{n^2}$	$\frac{n + 2}{n^2}$	$\frac{n + 1}{n^2}$	0

onde n é igual ao número de fatores a considerar no modelo.

Conforme ficou evidente, o modelo pode ser generalizado em várias direções sem perder suas características básicas. Assim, pode-se permitir níveis diferenciados para um mesmo fator de localização quando confrontado com os vários tipos de indústrias. Isto ocorre, por exemplo, com as características do terreno (ou sítio) de localização da indústria, ou com a qualificação da mão-de-obra.

5 — Modelo “B” de localização

Seja a matriz A : $(a_{ij})_{m \times n}$ a representação matricial da demanda industrial, de m indústrias em relação a n fatores de localização.

Seja a matriz B : $(b_{kj})_{z \times n}$ a representação matricial da oferta territorial, de z zonas elementares em relação a n fatores de localização.

Os fatores de localização podem ser específicos, quando caracterizados para cada tipo de indústria (ex.: matéria-prima), ou comuns, quando sua caracterização independe do tipo de indústria (ex.: transporte rodoviário). Os fatores específicos são avaliados em termos de ausência (0) ou presença (1). Já os fatores comuns são classificados em Cruciais (A), Condicionantes (B), Pouco Condicionantes (C) e Irrelevantes (D), de tal maneira que:

$$A - B = B - C = C - D = \text{constante}$$

5.1 — Análise dos fatores específicos de localização

Seja e o número de fatores específicos a serem verificados. A análise dos fatores específicos consiste em calcular, para cada i da matriz A e cada k da matriz B , o somatório das diferenças entre a_{ij} e b_{kj} , com j variando entre 1 e e , ou seja:

$$P_{ik}^* = - \sum_{j=1}^e (a_{ij} - b_{kj}); \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, z$$

Além disto, se $(a_{ij} - b_{kj}) > 0$, para um determinado j , elimina-se do estudo a zona k para efeito de localização do tipo de indústria i .

Isto feito, as zonas são hierarquizadas de acordo com os P_{ik}^* obtidos, de tal maneira que quanto maior for este valor maior será a adaptabilidade da zona não eliminada k ao tipo de indústria i .

5.2 — Análise dos fatores comuns de localização

A partir dos dados obtidos da hierarquização das zonas elementares de planificação através dos P^*_{ik} , pode-se verificar quais os fatores comuns para as zonas que apresentaram maior adaptabilidade ao tipo de indústria i .

Em seguida, trata-se de calcular para cada i da matriz A e cada k da matriz B , reduzida pela hierarquização anterior, através de:

$$P_{ik} = - \sum_{j=e-1}^n (a_{ij} - b_{k'j}) \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad k' = 1, 2, \dots, z'$$

e obedecida a convenção:

$$(a_{ij} - b_{k'j}) = \begin{cases} (a_{ij} - b_{k'j}), & \text{se } a_{ij} \geq b_{k'j} \\ 0, & \text{se } a_{ij} < b_{k'j} \end{cases}$$

Assim será obtida uma nova hierarquização, de acordo com o decréscimo de P_{ik} .

De posse destas duas classificações, pode-se verificar qual a melhor zona elementar de planificação para a localização da indústria do tipo i .

A principal idéia para a implementação do modelo consiste em eliminar a restrição $A-B = B-C = C-D = \text{constante}$, apresentada anteriormente.

Esta eliminação acarreta maior flexibilidade ao modelo, fazendo com que seja possível:

- i) distinguir-se o nível de oferta e demanda de um fator, para tipos diferentes de indústrias;
- ii) que se pondere os diversos níveis de oferta e de demanda de cada fator, de acordo com a influência deste fator sobre os custos de produção e comercialização do produto industrializado.

6 — Conclusões

Ao admitir-se que hoje o Governo possui instrumentos de política econômica, tais como investimentos em infra-estrutura, subsídios etc., para orientar os padrões de localização industrial, novas concepções em termos de modelos e métodos de análise quantitativa são necessárias.

A participação crescente dos recursos governamentais em projetos, principalmente de médio e grande portes, vem exigindo dos órgãos públicos a formulação de políticas globais de desenvolvimento industrial que objetivem a adequada alocação dos recursos escassos da economia. Em outras palavras, pretende-se uma maior eficiência econômica e social dos investimentos públicos.

Nesses termos, modelos do tipo apresentados neste estudo podem ser úteis para indicar às autoridades estaduais ou regionais aqueles setores da economia local onde a atuação do governo torna-se mais necessária. Por outro lado, os resultados obtidos com o modelo podem servir de orientação para o investidor privado em potencial, pois relevam as atividades para as quais a região encontra-se melhor dotada de recursos.

