

LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES PRODUTORAS DE FARINHA DE MILHO PARA A UTILIZAÇÃO EM MISTURA COM O TRIGO¹

LAURA A.S. BROCHADO DE ALMEIDA², PAULO MORELATO FRANÇA³
e JOAQUIM JOSÉ DE CAMARGO ENGLER⁴

RESUMO - O trabalho refere-se ao estudo de localização de unidades produtoras de farinha de milho integral e desengordurada (FMID), para utilização em mistura com o trigo, no Estado de São Paulo. Para estudo de localização das unidades produtoras utilizou-se da programação linear mista, com variáveis binárias, utilizando-se o algoritmo de fluxo de custo mínimo, aplicado sobre uma rede de "transshipment". Adotou-se o enfoque de estudo de cenários ou alternativas de localização, para reduzir o problema a um tamanho manejável. Pelos resultados obtidos, a alternativa de localização que melhor minimiza os custos de coleta do milho, processamento e distribuição aos moinhos de trigo é a que se refere à instalação de uma fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 500 t/dia em Santos e 500 t/dia em Campinas. A diferença de custo total (coleta, processamento e distribuição) entre as primeiras classificadas é pequena e entre elas estão presentes tanto alternativas com poucas fábricas grandes como alternativas com muitas fábricas pequenas, havendo sempre uma compensação entre os custos de transporte e de processamento. Ficou evidente, porém, que o importante é adotar a localização que evite a duplicidade de percurso.

Termos para indexação: farinha de milho, farinha de trigo.

LOCATION OF CORN FLOUR PRODUCTION FOR MIXTURE WITH WHEAT

ABSTRACT - This paper refers to the economic feasibility and location of production units for fat free integral corn flour, for use in mixtures with wheat flour in the State of São Paulo. For location study the zero-one mixed linear programming was used, with the algorithm of minimum cost flow applied on a transshipment network. In order to keep the problem manageable, a focus on the study of settings of alternative locations was adopted. The results have shown that the location alternatives presenting inferior costs of corn collection, processing and distribution to the wheat mills, are the installation of factories with capacities

¹ Recebido em 15 de julho de 1982.

Aceito para publicação em 16 de novembro de 1982.

² Economista, M.S., do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) - Caixa Postal 139, CEP 13100 - Campinas, SP.

³ Eng.^o - Mecânico, Ph.D., Professor-Assistente, Doutor, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Caixa Postal 1170, CEP 13100 - Campinas, SP.

⁴ Eng.^o - Agr.^o, Ph.D., Professor-Titular do Departamento de Economia e Sociologia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) - Caixa Postal 9, CEP 13400 - Piracicaba, SP.

of 1,000 t/day in São Paulo, 500 t/day in Santos and 500 t/day in Campinas. The difference in total cost (collection, processing and distribution) amongst the alternatives considered was small, showing that between alternatives with few large factories and several small factories a compensation between the transport and processing costs was always present. It became clear, that the important point was to adopt a location avoiding duplication of routes.

Index terms: corn flour, wheat flour.

INTRODUÇÃO

Sabe-se das atuais necessidades do País em proporcionar uma maior disponibilidade de produtos no mercado interno e reduzir a evasão de divisas.

O trigo tem sido responsável, em grande parte, pela elevação do déficit nacional, dado o volume de importação e a política oficial adotada, de subsídio do produtor ao consumidor.

Como alternativa de substituição parcial do trigo, o milho, na forma de farinha integral e desengordurada, mostra-se como produto potencial a ser utilizado, dadas suas características agrônômicas e nutricionais (São Paulo 1981 e Vitti et al. 1980).

A farinha de milho integral e desengordurada (FMID) é uma farinha especial obtida da moagem do grão de milho inteiro e posterior separação do óleo por meio de solvente. Sobrepõe-se às farinhas tradicionais do milho, tanto no aspecto técnico como nutricional (São Paulo 1980).

Utilizada em mistura com o grão de trigo na proporção de 25% e 75%, respectivamente, para a fabricação de pães, biscoitos, macarrão e bolos, tem sua eficácia comprovada por pesquisas realizadas pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas (São Paulo 1980).

Estudo realizado sobre viabilidade econômica da implantação de unidades industriais de FMID, com diferentes capacidades produtivas, indica a viabilidade do empreendimento (Almeida 1981). Fábricas de 100, 200, 500 e 1.000 toneladas de milho a ser processadas por dia apresentam-se lucrativas logo nos primeiros anos de funcionamento, sendo possível mostrar aos empresários a potencialidade econômica, dadas as elevadas taxas internas de retorno obtidas com a instalação das unidades industriais (Almeida 1981).

Uma vez obtida a viabilidade dessa nova atividade industrial, o estudo da localização das unidades produtoras de FMID, no Estado de São Paulo, tem como objetivo propor o mínimo custo de coleta da matéria-prima, processamento e distribuição do produto final aos moinhos de trigo desse Estado.

REVISÃO DE LITERATURA

Alguns estudos importantes relacionados com a localização de unidades industriais e minimização do custo de transporte por meio da programação linear podem ser citados.

Stollsteimer (1963) desenvolveu um modelo analítico para determinar o número e localização de fábricas que minimizam o custo combinado de reunir e processar qualquer quantidade total de matéria-prima produzida em quantidades variadas, em pontos de produção diversos. Os métodos utilizados são uma extensão do modelo básico de transporte de programação linear, incluindo números de fábrica e localizações como variáveis e o reflexo de economias de escala no custo de fábrica.

King & Logan (1964) utilizaram o modelo "transshipment" da programação linear para considerar simultaneamente o custo de transporte de matéria-prima, processamento e transporte do produto final. Estudaram localização e tamanho de plantas de abatedouro de reses, dada a localização e quantidade de animais abatidos e a demanda do produto final. Consideram economia de escala no processamento, em adição ao custo de transporte para obter uma solução de mínimo custo.

Amaro et al. (1973) estudaram o desenvolvimento da citricultura e localização de novas indústrias para processamento no Estado de São Paulo. A metodologia utilizada foi baseada no "modelo de transporte", da programação linear, procurando obter solução ótima.

Norton et al. (1974) estudaram a minimização do custo de tratamento de resíduo de água via unidades de tratamento regionalizadas. Para refletir a existência de investimentos indivisíveis associados com unidades de tratamento e tubulações com economias de escala, aplicou-se o modelo de programação linear mista inteira de variáveis zero-um, com adaptações que vieram permitir um "transshipment" ou fluxo de custo mínimo.

METODOLOGIA

Introdução

A solução da questão quanto à localização das unidades industriais de FMID, quantas fábricas instalar e qual a sua capacidade de processamento de modo a minimizar os custos de coleta, processamento e distribuição pode ser buscada com o auxílio da Pesquisa Operacional. Para tal, constrói-se um modelo matemático que reflita o comportamento do sistema a ser estudado e tiram-se conclusões que orientam o processo de

tomada de decisão por meio do modelo e da análise de seus resultados.

As unidades industriais contam com quatro diferentes capacidades de processamento, ou seja, 100, 200, 500 e 1.000 toneladas de milho a ser processadas por dia. Os referidos tamanhos de fábricas, bem como os custos de produção são baseados no Estudo de viabilidade econômica desenvolvido por Almeida (1981).

Serão consideradas economias de escala no processamento e custo de operação das fábricas independentes das localizações.

Modelo matemático

De modo a facilitar o equacionamento do problema por meio de um modelo, faz-se, inicialmente, uma representação gráfica do referido problema. O que se deseja é retirar o milho de centros produtores no Estado e fora dele, levá-lo até outros pontos do Estado onde devem ser instaladas as fábricas de FMID e daí transportar a farinha até os moinhos de trigo localizados em outras localidades do Estado de São Paulo.

Faz-se uma seleção criteriosa dos possíveis pontos onde as fábricas poderiam se instalar, e constrói-se um modelo gráfico do problema (Fig. 1).

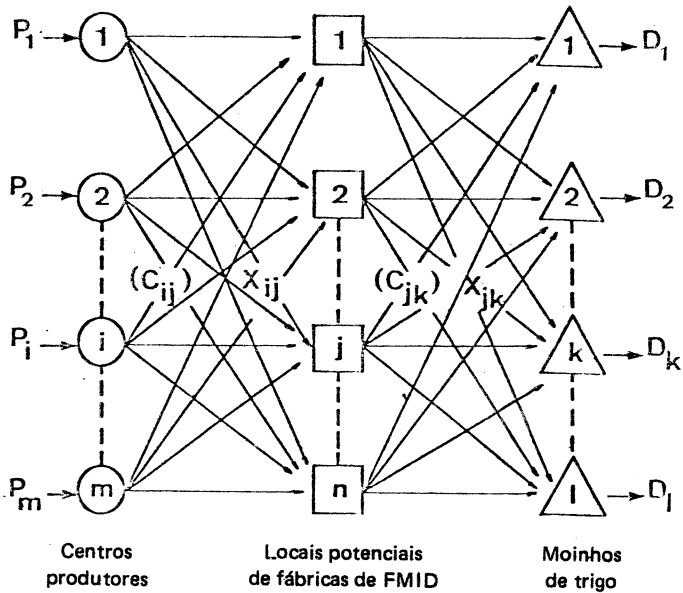
Nesta analogia gráfica, o problema se resume a fazer escoar o milho e a farinha pelos arcos da rede com uma determinada localização de fábricas (e de suas capacidades de processamento), de modo a atender à demanda dos moinhos, sem ultrapassar as disponibilidades dos centros produtores, a um custo total mínimo.

Sabe-se, também, que há dois meios de transporte concorrentes entre dois pontos i e j do gráfico: o rodoviário e o ferroviário. Porém, como se está pressupondo que não há limitação na capacidade de escoamento desses meios de transporte, será sempre usado o de menor custo unitário. Além disso, as fábricas devem ter uma capacidade de processamento limitada e que também é uma variável do problema.

Com essas considerações é possível escrever um modelo matemático. Deseja-se encontrar todos os fluxos x_{ij} e x_{jk} com:

$$\begin{aligned} i &\in \{1, 2, \dots, m\} \\ j &\in \{R, C, \{1, 2, \dots, n\}\} \\ k &\in \{1, 2, \dots, l\} \end{aligned}$$

de modo a satisfazer todas as restrições do problema a um custo total mínimo. O conjunto k representa uma escolha qualquer de localização das fábricas de FMID. Um certo k será chamado de uma configuração de localização.



- P_i = Disponibilidade anual de milho no centro produtor i
 D_k = Demanda anual de FMID no moinho k
 C_{ij} = Custo unitário de transporte do milho entre centro i e fábrica j
 C_{jk} = Custo unitário de transporte da FMID entre fábrica J e moinho k
 X_{ij} = Fluxo de milho escoando pelo arco (ij)
 X_{jk} = Fluxo de farinha escoando pelo arco (jk)

FIG. 1. Representação gráfica do modelo.

Dadas n possíveis localizações potenciais para as fábricas, e sabendo-se que existem quatro diferentes capacidades de fábricas, o número possível de configurações é

$$C_{4n}^0 + C_{4n}^1 + \dots + C_{4n}^n = 2^{4n}$$

Resolver o problema é achar qual dessas configurações proporciona custo mínimo. Um possível modelo matemático é um modelo de programação mista, onde as configurações são representadas por variáveis do tipo zero ou um.

Dessa forma, deseja-se minimizar uma função-objetivo sujeita às restrições, conforme se segue:

Minimizar:

$$\underbrace{\sum_{t=1}^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^t X_{ij}^t}_{A} + \underbrace{\sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m X_{ij}^t \sum_{p=1}^4 Z_j^p \mu_j^p}_{B} + \underbrace{\sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{\ell} C_{jk}^t X_{jk}^t}_{C}$$

Sujeito às restrições:

$$(1) \sum_{t=1}^2 \sum_{i=1}^m X_{ij}^t < \sum_{p=1}^4 O_j^p \dots Z_j^p \quad ; j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{p=1}^4 Z_j^p < 1 \quad ; j = 1, 2, \dots, n$$

$$(2) \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^m X_{ij}^t < P_i \quad ; i = 1, 2, \dots, m$$

$$(3) \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^m X_{jk}^t > D_k \quad ; k = 1, 2, \dots, \ell$$

$$(4) 0,94 \sum_{t=1}^2 \sum_{i=1}^m X_{ij}^t = \sum_{t=1}^2 \sum_{k=1}^{\ell} X_{jk}^t \quad ; j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij}^t > 0 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2$$

$$(5) X_{jk}^t > 0 \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, \ell, \quad t = 1, 2$$

$$Z_j^p = 0/1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad e \quad p = 1, 2, 3, 4.$$

t = meio de transporte

A função objetivo inclui as seguintes partes:

A = custos de coleta do milho

B = custos de processamento

C = custos de distribuição de FMID aos moinhos.

As restrições representam:

(1) = a quantidade de milho processado por uma fábrica de tipo p não deve exceder à capacidade Q_j^p dessa fábrica.

$$\sum_{p=1}^4 Z_j^p \leq 1 \quad \text{significa que no local } j \text{ pode ser instalada uma fábrica do tipo } p \text{ ou não.}$$

(2) = de cada centro produtor i, só se pode retirar no máximo aquilo que ele produz.

(3) = para cada moinho k, deve-se mandar FMID suficiente, para, pelo menos, atender à demanda.

(4) = equação de conservação nas fábricas, levando-se em conta a perda de 6% no processo de transformação do milho em FMID.

(5) = restrição de não-negatividade, e possibilidade de localizar, ou não, uma fábrica do tipo p no local j.

Custos

C_{ij}^t = custo unitário de transporte entre centro produtor i e fábrica j pelo meio de transporte t.

C_{jk}^t = custo unitário de transporte entre fábrica j e moinho k pelo meio de transporte t.

μ_j^p = custo de produção unitário da fábrica tipo p no local j.

Parâmetros

Q_j^p = capacidade da fábrica de tipo p no local j.

P_i = disponibilidade de milho no centro produtor i.

D_k = demanda de FMID no moinho k.

Variáveis

X_{ij}^t = quantidade de milho transportado do centro produtor i à fábrica j pelo meio de transporte t.

X_{jk}^t = quantidade (fluxo) de FMID transportada da fábrica j ao moinho k pelo meio de transporte t.

Z_j^p = variável binária.

$Z_j^p = 1$, deve ser construída uma fábrica do tipo p no local j.

$Z_j^p = 0$, não deve ser construída tal fábrica.

A solução do modelo apresentado por meio de um algoritmo de programação mista fornece a localização ótima das fábricas de FMID no Estado de São Paulo, além de suas capacidades produtivas e a maneira ótima de escoar o milho e a farinha. Porém, se se supõem onze locais candidatos potenciais para fábricas, já estabelecidos, têm-se 44 variáveis do tipo zero-um e 2^{44} configurações possíveis de localização. Mesmo que se argumente que muitas configurações sejam não-viáveis, dado o possível não-atendimento da demanda de FMID, este problema requer técnicas computacionais sofisticadas que devem ser buscadas na programação matemática de grande porte (França 1979). Enfim, este é um problema de difícil solução exata.

Uma maneira largamente utilizada de se contornar as dificuldades inerentes aos problemas de grande dimensão é lançar mão do estudo de cenários, ou seja, elege-se criteriosamente configurações diversas de localização das fábricas (cenários) e avalia-se computacionalmente tais escolhas, selecionando-se, assim, o melhor cenário (ou melhores) dentre os estudados.

Ao nível do modelo matemático apresentado, escolher um determinado cenário é definir onde instalar fábricas de FMID e suas capacida-

des, ou seja, fixar valores para as variáveis Z_j^p ; $j = 1, 2, \dots, n$; $p = 1, 2, 3, 4$. Saliente-se que, com as variáveis Z_j^p fixadas, o problema resultante é um problema de fluxo de custo mínimo numa rede⁵ que é uma generalização do clássico problema de transporte da programação linear. Avaliar um dado cenário restringe-se a rodar um problema de fluxo de custo mínimo por meio de um algoritmo conveniente. A definição criteriosa de 21 cenários já foi apresentada.

Quantidades ofertadas

O milho é produzido de forma muito pulverizada pelo Brasil todo, concentrando-se, porém, nas regiões sul e sudeste do País.

A participação dos estados, na produção brasileira nos últimos cinco anos, apresentada na Tabela 1, mostra que apenas seis estados representam, em 1980, 98% da produção do País.

De acordo com a Comissão de Financiamento da Produção - CFP, São Paulo se constitui no maior consumidor de milho e não dispõe de uma produção suficiente. Daí a necessidade de se adquirir o produto junto aos estados exportadores, considerando como disponível o milho excedente estimado pela CFP.

TABELA 1. Produção de milho e participação estadual na produção brasileira em 1980.

Unidades da Federação	1980 (1.000 t)	1980 %
Paraná	5.621	27,0
Rio Grande do Sul	3.587	17,0
Minas Gerais	3.506	17,0
Santa Catarina	3.143	15,0
São Paulo	2.880	14,0
Goiás	1.700	8,0
Total	21.074	98,0

Fonte: CFP 1980.

Por outro lado, São Paulo é o estado de maior produtividade, seguido por Goiás e Paraná (Fundação IBGE 1980).

A região de Ribeirão Preto é a de maior produção, 554 mil toneladas, e maior produtividade, com um rendimento de 2.935 kg/ha no Estado de São Paulo (São Paulo 1981).

⁵ Na realidade, trata-se de um problema de "transshipment", com a particularidade de ter uma capacidade associada aos nós intermediários (fábricas).

A matéria-prima milho, neste estudo, é ofertada pelos municípios maiores produtores e pelos estados tidos como exportadores (MG, GO, PR, MT). No Estado de São Paulo, foram classificados 160 municípios como maiores produtores, os quais respondem por uma produção igual ou superior a 100.000 sacas de 60 kg ou 6.000 toneladas/safra.

No que se refere à oferta de FMID, esta é determinada em função da distribuição de grão de trigo aos moinhos por ser utilizada na mistura em proporção de 25%.

Quantidades demandadas

A quantidade de milho e de FMID demandada está em função da distribuição do grão de trigo, pela SUNAB, aos moinhos de trigo, uma vez que se estabeleceu a necessidade de FMID em 25% da cota de trigo específica anual dos moinhos.

A distribuição da cota específica de trigo em grão, número de moinhos e demanda de FMID, no Estado, pode ser observada na Tabela 2.

Ao se estabelecer uma demanda de 475.287 t/ano de FMID, com base nos 25% de mistura, a quantidade de milho a ser demandada é de aproximadamente 513.000 t/ano.⁶

TABELA 2. Localização de moinhos de trigo no Estado de São Paulo, suas cotas específicas de grão e demanda de FMID, 1981.

Municípios	Cota específica de trigo em grão (t/ano)	Número de moinho	Demanda de FMID (t/ano)
São Paulo	707.449	8	176.862
Santos	544.120	4	136.030
Santo André	411.124	3	102.781
Campinas	73.269	2	18.317
São Caetano do Sul	64.243	1	16.061
Jundiaí	57.593	1	14.398
Guarulhos	25.817	1	6.454
Nova Odessa	17.535	1	4.384
Total	1.901.150	21	475.287

Fonte: Superintendência Nacional do Abastecimento - SUNAB
Portaria n.º 90 - 22.12.80.

⁶ Considerou-se 2% de perda em impurezas, 4% de óleo e 2% de outras perdas.

Localização potencial das unidades produtoras

As localizações potenciais foram determinadas, levando-se em consideração a proximidade dos centros maiores produtores de milho, dos centros consumidores de FMID, como também foram escolhidos municípios localizados ao redor dos centros consumidores e ao mesmo tempo grandes produtores de milho. A proximidade dos estados exportadores de milho foi considerada uma vantagem para alguns municípios. Para todos os casos, as facilidades de transporte, ferroviário e rodoviário, foram verificadas.

Algumas agregações foram realizadas para a localização das unidades de FMID, tais como: São Joaquim da Barra representará o Centro de pelo menos nove outros municípios maiores produtores da região de Ribeirão Preto, a qual é responsável pela maior produção do Estado. Bariri representará os maiores produtores da região de Bauru e Tatuí, os maiores produtores da região de Sorocaba.

Dos oito municípios com moinhos de trigo, foram agregados a Campinas a cidade de Nova Odessa; e a São Paulo, as cidades de São Caetano, Guarulhos, Santo André; Santos e Jundiá foram considerados individualmente.

Assim sendo, foram determinadas onze localizações potenciais: Campinas, Jundiá, São Paulo, Santos, São Joaquim da Barra, Bariri, Tatuí, Araçatuba, Bragança Paulista, Sorocaba, Moji Guaçu.

A distribuição geográfica dos moinhos de trigo no Estado de São Paulo, bem como as localizações potenciais das fábricas de FMID estão apresentadas na Fig. 2.

Definição dos cenários

As alternativas de localização entre os onze locais potenciais foram baseadas na demanda total de FMID estabelecida em 475.287 t/ano, nas necessidades de cada região, nas proximidades dos centros produtores ou consumidores e nas direções dos fluxos da comercialização do milho.

A grande maioria do milho provém das regiões centro-oeste e sul do estado. Para evitar duplicidade de percurso, ou seja, a farinha percorrer parte do percurso já percorrido pelo milho, o município de Santos deverá manter fábricas de capacidade máxima igual a 500 t/dia, ou seja, o suficiente para atender à demanda dos moinhos ali instalados. O problema da duplicidade de percurso foi observado para cada localização sugerida.

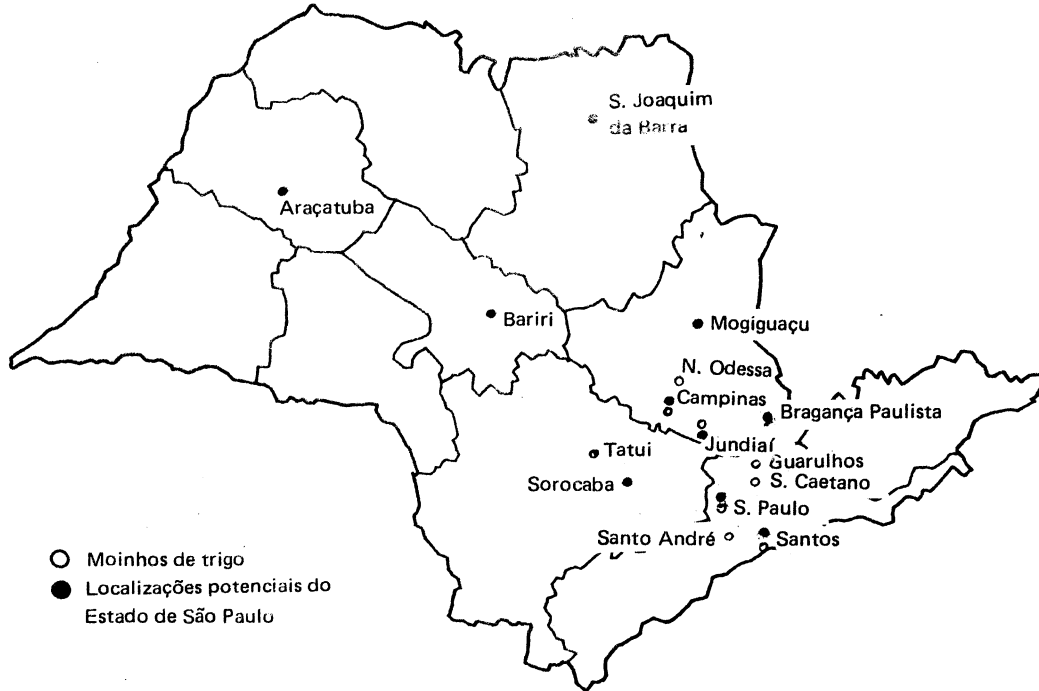


FIG. 2. Distribuição geográfica dos moinhos de trigo e das localizações potenciais do Estado de São Paulo.

Assim sendo, cada alternativa representará um cenário diferente a ser analisado independentemente.

Dentre as 21 alternativas, ou cenários, serão selecionados os considerados mais adequados a atender os requisitos de mínimo custo de coleta, processamento e distribuição da FMID.

A relação dos cenários a ser analisados é apresentada na Tabela 3.

Para a minimização do custo de transporte de coleta e distribuição, simultaneamente, as tarifas semelhantes para o milho em grão ou processado e a pequena perecibilidade da farinha parecem tornar quase que indiferente localizar as fábricas junto aos centros produtores ou centros consumidores; quando não se transporta o milho, tem-se que transportar a farinha e vice-versa. O importante é evitar a duplicidade de percurso, a qual encarecerá o custo de transporte.

Custo de transporte

Conforme estimativas da EMBRATER, o milho está concentrado em pequenas e médias propriedades e aproximadamente 70% da produção ficam armazenadas a nível de fazenda. Dessa forma, para o transporte, será considerado o milho sendo adquirido dos centros produtores.

Dentre as modalidades de transporte utilizadas pelo milho, rações e subprodutos, destaca-se o rodoviário, chegando a representar 85,5% da movimentação do milho (Brasil 1977). Sendo um produto que não apresenta nenhuma exigência específica quanto a embalagens, pode ser transportado em sacaria ou a granel, não necessitando de transporte especial. Por se tratar de uma carga de distribuição pulverizada, atendendo às pequenas distâncias em sua maioria, o transporte em sacaria de 60 kg é predominante, e o rodoviário, o mais adequado. As rotas mais utilizadas são as rodovias pavimentadas, tanto federais como estaduais, preferindo os transportadores dar voltas de 100 a 200 km para transitarem somente em asfalto, a percorrer 50 km em estradas de terra (Brasil 1978).

Quanto aos subprodutos, dentre eles as farinhas para alimentação humana, o transporte em sacaria também é predominante e são utilizados para embalagem desde sacos plásticos de 500 g até sacaria de algodão de 50 kg (Brasil 1978).

O milho em grão e seus produtos recebem tarifas idênticas para o transporte.

Transporte rodoviário

Para o cálculo do custo de transporte rodoviário, considerou-se a

TABELA 3. Relação dos cenários com os respectivos números de fábricas e capacidades produtivas.

Localizações potenciais cenários	São Paulo		Campinas		Santos		Jundiaí		Bragança Paulista		Sorocaba		Moji Guaçu		Tatuf		Bariri		Araçatuba		São Joaquim da Barra		
	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	N.º	t/dia	
1	2	1.000																					
2																					2	1.000	
3																							
4											2	1.000											
5	1	1.000											2	1.000									
6	1	1.000									1	1.000									1	1.000	
7											1	1.000	1	1.000									
8	1	1.000	1	1.000																			
9	1	1.000									1	500										1	
10	1	1.000	1	500	1	500																500	
11	1	500	1	1.000	1	500																	
12	1	1.000	1	100	1	500	1	100	1	100	1	100											
13																							
14															1	500		1	500	1	500	1	1.000
15	1	1.000	1	100	1	500			1	100	1	200						1	500	1	500	1	1.000
16					1	500	1	100	1	200								1	100			1	1.000
17	1	1.000				200			1	200	1	200	1	200	1	200							
18									1	200			1	200	1	200	1	200	1	100	1	1.000	
19	1	200	1	1.000	1	200			1	200	1	200											
20	1	500	1	500	1	500			1	100	1	200	1	100					1	100			
21	1	500	1	200	1	200			1	200	1	200	1	200	1	200	1	100			1	100	

Fonte: dados da pesquisa.

distância entre os municípios maiores produtores de milho às onze localizações potenciais de FMID, e destas às cidades com moinhos de trigo.

No que se refere às regiões que exportam o milho para o Estado de São Paulo, adotou-se a determinação de municípios fronteiriços que vêm agindo como "pontos de entrada" do milho no Estado. O custo do transporte foi calculado sobre a distância entre esses municípios e as localizações potenciais.

A tarifa aplicada foi baseada na Tabela de Tarifas de Transporte Rodoviário de Cargas, do Conselho Nacional de Estudos de Tarifas (1981).

Transporte ferroviário

Dada a grande incidência de baldeação, ou seja, troca de bitolas, o transporte a granel torna-se difícil, exigindo a troca de trens dos trens ou a transferência manual do produto para outros vagões. Nesses casos, a sacaria facilita a operação.

Por outro lado, a maior parte do milho, na fazenda, é armazenada e transportada em sacarias que dispensam maiores investimentos em silos e caminhões graneleiros (Brasil 1978).

Dessa forma, foi considerado o transporte do milho apenas ensacado em sacos de 60 kg.

Para o Estado de São Paulo, foram incluídos os municípios maiores produtores que dispunham de facilidades de transporte ferroviário, ou seja, estação de embarque de cargas. Quanto às regiões que exportam o milho para o Estado de São Paulo, a falta de informação a nível de município e a quase inexistência de facilidades de estação de embarque fez com que se optasse por determinar os "pontos de entrada" de milho, também por via férrea, no Estado de São Paulo.

O custo do transporte ferroviário foi baseado em tabelas do sistema Ferroviário do Brasil RFFSA e Ferrovias Paulistas S.A. (1974, 1980, 1981a, b) FEPASA e (Rede Ferroviária Federal S.A. 1975).

Considerou-se para o cálculo do custo: existência de estação de embarque, escolha das rotas, mudanças de bitola, tarifas ferroviárias, frete rodoviário auxiliar e frete de entrega.

RESULTADOS

A localização das fábricas, bem como suas capacidades, foram for-

necidas pelos cenários. A capacidade anual máxima foi estabelecida em 26.000 t, 52.000 t, 130.000 t e 260.000 t, respectivamente, para as fábricas de 100, 200, 500 e 1.000 toneladas por dia de milho a ser processado. A demanda anual do moinhos, após a agregação já descrita, foi estabelecida em 22.701 t para Campinas, 320.158 t para São Paulo, 136.030 t para Santos e 14.398 t para Jundiá, totalizando 475.287 t.

A capacidade total de produção de FMID estipulada nos cenários é superior à demanda total dos moinhos de trigo. Porém, ao se estabelecerem os fluxos de distribuição, a quantidade total ofertada de FMID é determinada conforme a demanda total dos moinhos, destinando, dessa forma, uma certa ociosidade à fábrica menos atraente em termos de custo total do cenário.

Utilizando-se a metodologia descrita, foram estudados os 21 cenários, visando a realização da coleta do milho, processamento da FMID e sua distribuição aos moinhos de trigo, a um custo mínimo.

Para a resolução do problema de fluxo de custo mínimo utilizado na avaliação dos cenários, empregou-se o algoritmo "out-of-kilter", o qual foi implementado computacionalmente na Faculdade de Engenharia da UNICAMP. Esse algoritmo é uma especialização clássica da programação linear aplicada a problemas de fluxo (Baazara & Jarvis 1977).

A linguagem utilizada foi o FORTRAN IV, e os ensaios computacionais foram realizados no sistema DEC-10 da UNICAMP.

Os dados utilizados no estudo de localização referem-se a janeiro/fevereiro de 1981.

Meios de transporte

Os meios de transporte considerados na coleta de milho e distribuição da FMID foram o rodoviário e o ferroviário. Quanto ao ferroviário, os custos apresentaram-se sempre menores que o rodoviário, e pode-se constatar a existência de grande número de locais com falta de disponibilidade de ferrovia. Para os locais que não dispunham de ferrovias, criou-se um custo elevado, para que, nesses casos, o sistema ferroviário automaticamente fosse excluído do processo de escolha.

Contatos estabelecidos durante a pesquisa evidenciaram as dificuldades inerentes ao sistema ferroviário atual, mesmo quando esse se apresenta disponível, tais como: a necessidade de transporte auxiliar, problemas de baldeios ocasionados por diferentes tamanhos de bitola em um mesmo percurso, morosidade e inflexibilidade do sistema. Os fretes do sistema rodoviário auxiliar, bem como a taxa de baldeios, foram computados no custo de transporte ferroviário, mas os custos das dificuldades que essas partições nos transportes causam, bem como a moro-

sidade e inflexibilidade do sistema não foram incluídos.

Dessa forma, procurando melhor representar a realidade, encareceu-se o custo de transporte do sistema ferroviário, em aproximadamente 50%, valor esse que proporcionou a participação da ferrovia, ao redor de 15% do transporte total. Essa participação do sistema ferroviário é comprovada através da preferência atual pelo transporte rodoviário, conforme já citada.

Custo dos cenários

O custo total dos cenários está apresentado na Tabela 4, sendo composto pelo custo de transporte, custo fixo total e custo de processamento. No custo de transporte, inclui-se coleta e distribuição e o custo de processamento refere-se ao custo variável de produção da FMID.

O custo unitário dos cenários é resultado da divisão do custo total do cenário pela quantidade de FMID produzida pelas fábricas nele localizadas. Considerou-se como quantidade produzida a equivalente à demanda total dos moinhos de trigo, ou seja, 475.287 toneladas/ano.

Os menores custos de transporte são apresentados, em ordem decrescente, pelos cenários de números 15, 12, 10 e 17, incluindo localização de, respectivamente, 5, 6, 3 e 6 fábricas junto aos centros consumidores e ao redor deles. O custo fixo total é menor nos cenários que determinam a localização de grandes unidades industriais (1.000 t/dia, ou seja, o de número 1 até o de número 8), aumentando conforme se adota a localização de muitas fábricas pequenas. O mesmo acontece com o custo de processamento.

Considerando o custo total do cenário, observa-se que as alternativas de localização mais econômicas são as indicadas em ordem decrescente, pelos cenários de números 10, 15, 12, 8, 1, 6, 11, 17, 9, 5, 20, 19, 7, 21, 3, 16, 4, 14, 2, 18 e 13.

As quatro melhores alternativas referem-se a localizações junto aos centros de consumo e/ou ao redor deles e podem ser observadas na Fig. 3.

O cenário de número 10, ou seja, localização de uma fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 1 de 500 t/dia em Santos e 1 de 500 t/dia em Campinas foi o que apresentou menor custo total, ou seja, aproximadamente Cr\$ 8.266 milhões/ano. A participação do custo de transporte é de 14%, do custo fixo de 4% e do custo de processamento de 82%. Os resultados indicam que, nesse cenário, a fábrica que incorre em maiores custos é a estabelecida em Campinas, uma vez que essa não se apresenta utilizando toda sua capacidade de produção instalada.

TABELA 4. Custo de transporte, custo fixo total, custo de processamento, custo total e custo unitário da FMID, obtidos com o estudo dos cenários - fev./1981.

Cenário	Custo de transporte	Custo fixo total	Custo de processamento	Custo total do cenário	Custo unitário de FMID
	Cr\$ 1.000,00/ano	Cr\$ 1.000,00/ ano	Cr\$ 1.000,00/ano	Cr\$ 1.000/ano	Cr\$ 1.000/t
1	1.390.404	273.536	6.744.322	8.408.262	17,7
2	2.270.894	273.536	6.744.322	9.288.752	19,5
3	1.888.325	273.536	6.744.322	8.906.184	18,7
4	2.011.003	273.536	6.744.322	9.028.861	19,0
5	1.530.832	273.536	6.744.322	8.548.740	18,0
6	1.414.688	273.536	6.744.322	8.432.546	17,7
7	1.851.141	273.536	6.744.322	8.869.000	18,6
8	1.359.734	273.536	6.744.322	8.377.592	17,6
9	1.435.959	313.460	6.795.991	8.545.411	18,0
10	1.156.484	313.460	6.795.991	8.265.936	17,4
11	1.340.075	313.460	6.806.722	8.460.257	17,8
12	1.155.294	418.235	6.801.191	8.374.720	17,6
13	2.293.961	313.460	6.795.991	9.403.413	19,8
14	2.162.687	313.460	6.795.991	9.272.139	19,5
15	1.154.062	378.950	6.798.924	8.331.937	17,5
16	1.794.388	378.950	6.803.602	8.976.941	18,9
17	1.301.570	423.147	6.798.144	8.522.861	18,0
18	2.090.701	414.152	6.799.184	9.304.037	19,6
19	1.557.411	423.147	6.798.144	8.778.703	18,5
20	1.355.493	467.155	6.862.811	8.685.459	18,3
21	1.487.360	528.562	6.863.924	8.879.846	18,7

Fonte: dados de pesquisa.

O segundo cenário de menor custo refere-se à localização de 1 fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 1 de 500 t/dia em Santos, 1 de 200 t/dia em Sorocaba, 1 de 100 t/dia em Bragança Paulista e 1 de 100 t/dia em Campinas. O custo total apresentado é de aproximadamente Cr\$ 8.332 milhões/ano, apenas 0,7% superior ao primeiro cenário de menor custo. A participação do custo de transporte, custo fixo e custo de processamento no custo total é de 13,8%, 4,5% e 81,6%. Quanto à fábrica com maiores custos, tem-se a estabelecida em Sorocaba.

O terceiro cenário de menor custo, com a localização de 1 fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 1 de 500 t/dia em Santos, 1 de 100 t/dia em Jundiá, 1 de 100 t/dia em Sorocaba, 1 de 100 t/dia em Bragança Paulista e 1 de 100 t/dia em Campinas, conta com o custo de transporte, custo fixo e processamento, participando em 13,8%, 4,9% e 81,2%, respectivamente, do custo total de aproximadamente Cr\$ 8.375 milhões/ano. A fábrica de Santos foi a indicada como a menos econômica do cenário.

O quarto cenário de menor custo, ou seja, a localização de 1 fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo e 1 fábrica de 1.000 t/dia em Campinas, tem seu custo de transporte, custo fixo e custo de processamento representados, respectivamente, em 16%, 3,26% e 80,5% do custo total. A fábrica localizada em Campinas foi a que apresentou capacidade ociosa, indicando ser a que está incorrendo em maiores custos nesse cenário.

A diferença no custo total dos cenários, que separa o mais econômico do terceiro e quarto colocados é também muito pequena, sendo 1% e 1,4%, respectivamente.

Dessa forma, tem-se que os quatro melhores cenários estão próximos, em termos de custo total, e referem-se à localização de 3, 5, 6 e 2 fábricas, pela ordem crescente de custo total dos cenários. Pode-se observar que alternativas com número maior de fábricas pequenas incorreram em menor custo de transporte e maior custo fixo. O inverso aconteceu com alternativas formadas por um número menor de fábricas de grande porte.

A maneira ótima de se escoar o milho e a FMID, apresentada pelo cenário de menor custo total, o de número 10, pode ser observada na Fig. 4; os números de referência dos centros produtores, bem como as quantidades transportadas pelos fluxos estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

No que se refere às piores alternativas de localização, tem-se, em ordem crescente de custo total, os cenários de números 4, 2, 18 e 13, que dizem respeito a localizações junto aos centros produtores e/ou ao redor deles. Os fluxos de coleta do milho e distribuição da FMID reali-

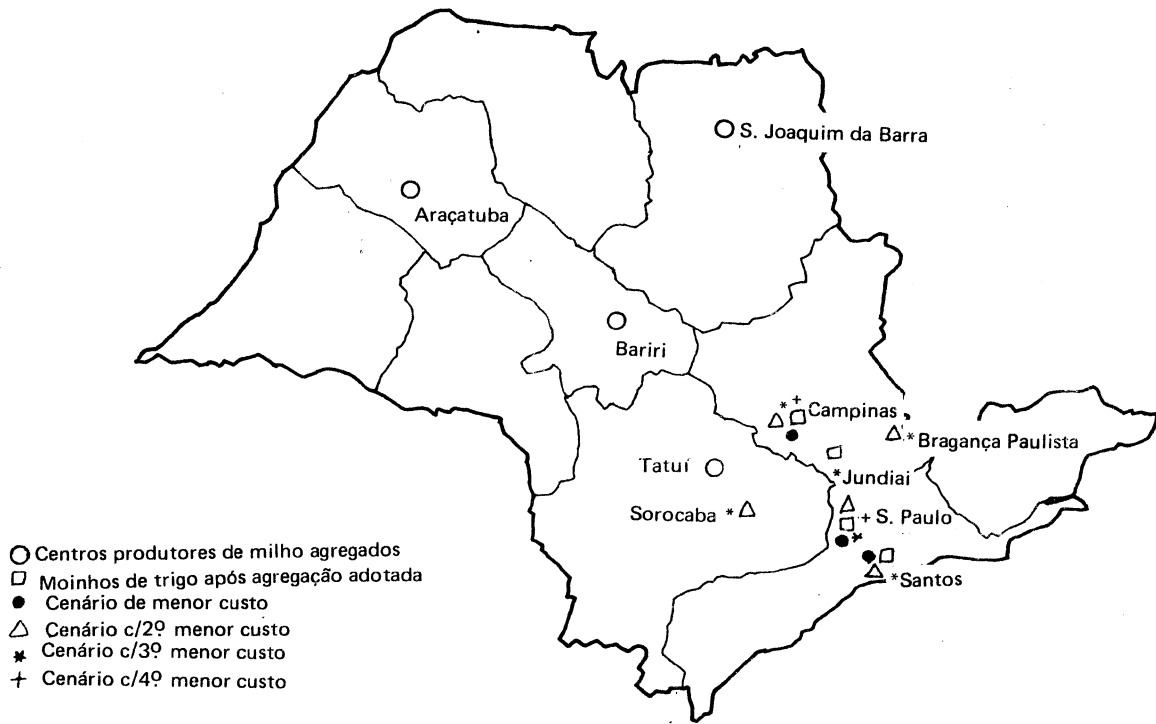


FIG. 3. Localização geográfica dos cenários com menor custo total.

zados pelo cenário de maior custo total, o de número 13, são apresentadas nas Tabelas 7 e 8 e Fig. 5.

Pode-se justificar o elevado custo de transporte total (coleta e distribuição), junto aos centros produtores, mesmo considerando-se que o milho e a farinha contam com tarifas de transporte semelhantes. Isso porque os centros produtores não são suficientes para suprir a demanda das fábricas neles instaladas, necessitando do milho de outras regiões, muitas vezes próximas aos centros consumidores. Dessa forma, acontece a duplicidade de percurso, não dispensando como se pensou, nessa situação, os custos de coleta do milho.

CONCLUSÕES

A localização das unidades industriais, considerado o custo de processamento e custo de transporte, tanto do milho como da farinha, indica uma série de alternativas compostas de número e tamanhos de fábricas diferentes.

Dada a característica de um sistema de produção disperso por todo o País, mesmo os grandes centros produtores não se mostraram auto-suficientes no suprimento da matéria-prima, o milho. A necessidade de adquirir o milho de outras regiões torna o custo de transporte total, coleta do milho e distribuição da FMID mais elevado quando se instalam fábricas junto a regiões produtoras.

As melhores alternativas de localização são as próximas aos centros consumidores; apresentam entre elas pequenas diferenças de custo e incluem poucas fábricas de grande capacidade de produção, bem como muitas fábricas de menor capacidade produtiva. Os menores custos de processamento das grandes fábricas são compensados por maiores custos de transporte.

Dessa forma, torna-se difícil concluir sobre a preferência por fábricas grandes ou um número maior de fábricas pequenas. Por outro lado, fica evidente que é importante considerar um tamanho de fábrica igual ou acima do economicamente viável e adotar uma localização que evite a duplicidade de percurso no transporte, tanto do milho como da farinha. A alternativa que melhor atende esses requisitos minimizando, simultaneamente, o custo de coleta do milho, processamento da FMID e custo de distribuição do produto aos moinhos de trigo é a de localizar uma fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 500 t/dia em Santos e 500 t/dia em Campinas.

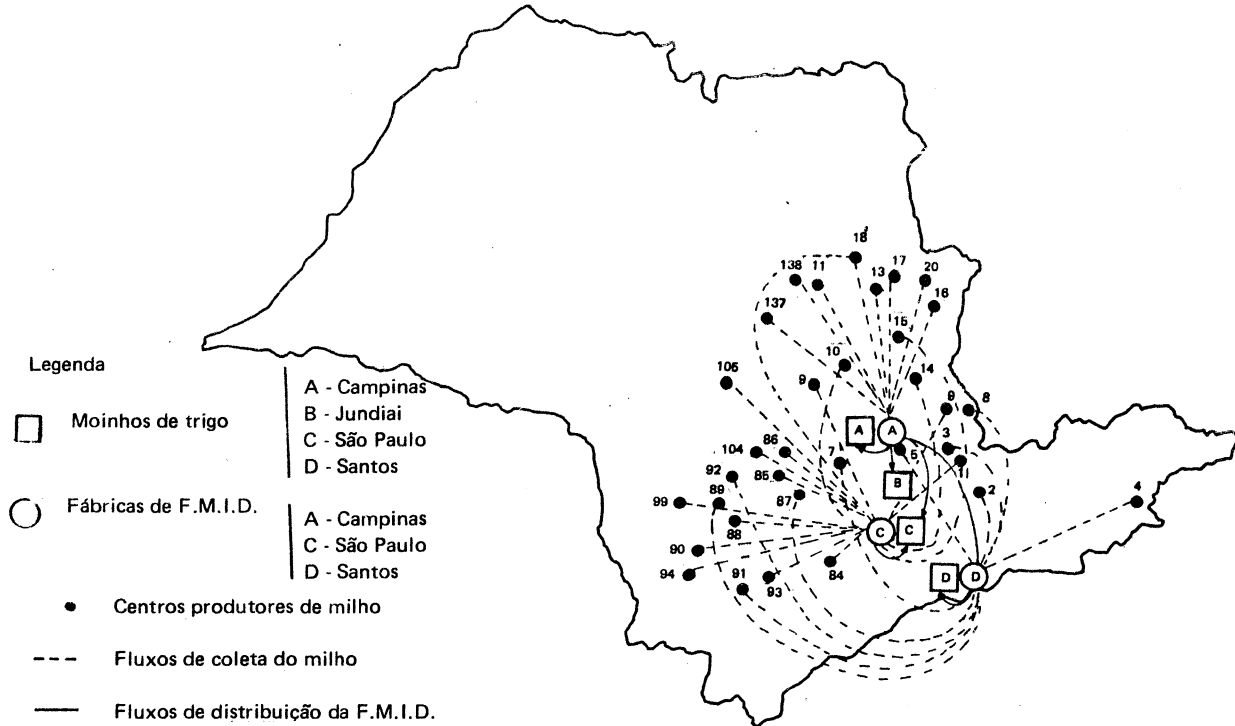


FIG. 4. Distribuição geográfica dos fluxos realizados no cenário de menor custo total.

TABELA 5. Fluxos realizados na coleta do milho no cenário de menor custo total - 1981.

Origem	Destino	São Paulo	Campinas	Santos
Nº Municípios		(Tonelada/ano)		
94	Itapeva	21.780		
99	Avaré	6.750		
105	São Manoel	6.300		
1	Bragança Paulista	24.000		
2	Atibaia	4.610		3.640
6	Amparo	9.000		
9	Piracicaba	8.250		
10	Araras	8.880		
14	Itapira	12.600		
15	Moji Guaçu	19.440		
18	Itobi	2.070	3.930	
84	Pilar do Sul	18.000		
85	Tatuí	39.000		
86	Boituva	7.200		
88	Itapetininga	40.590		
90	Buri	7.200		
92	Guareí	2.010		9.390
93	São Miguel Arcanjo	16.320		
104	Conchas	6.000		
3	Itatiba			11.520
4	Cunha			21.600
5	Campinas			10.800
7	Indaiatuba			6.300
8	Socorro			21.600
87	Porto Feliz			15.750
89	Angatuba			18.900
91	Capão Bonito			10.500
11	Pirassununga		9.750	
12	São João da Boa Vista		6.000	
13	Aguai		9.600	
16	Pinhal		9.720	
17	Casa Branca		18.000	
20	Divinolândia		6.387	
137	São Carlos		9.600	
138	Descalvado		12.300	
Total		260.000	85.287	130.000

Fonte: dados da pesquisa.

TABELA 6. Fluxos realizados na distribuição da FMID pelo cenário de menor custo total - 1981.

Origem	Destino	São Paulo	Campinas	Jundiaí	Santos
		(tonelada/ano)			
São Paulo		260.000			
Campinas		42.158	22.701	14.398	6.030
Santos					130.000
Total		302.158	22.701	14.398	136.030

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 7. Fluxos realizados na coleta do milho no cenário de maior custo total - 1981.

Nº	Origem	Destino	São Joaquim da Barra	Bariri	Araçatuba
			(Tonelada/ano)		
		Municípios			
106		Ribeirão Preto	11.520		
107		Brodosqui	6.000		
109		Cravinhos	18.000		
110		Jardinópolis	2.810		
112		Restinga	7.200		
114		São José da Bela Vista	14.400		
115		Orlândia	9.240		
116		Guará	34.650		
118		Buritizal	9.720		
119		Ipuã	53.760		
120		Ituverava	43.200		
122		Morro Agudo	30.000		
123		Nuporanga	12.000		
124		Sales de Oliveira	7.500		
9		Piracicaba		8.250	
11		Pirassununga		9.750	
13		Aguaí		9.600	
17		Casa Branca		18.000	
18		Itobi		6.000	
20		Divinolândia		7.500	
21		Mococa		9.814	
23		Tanabi		6.000	
28		Pirajuí		7.956	
31		Itaju		7.590	

TABELA 7. Continuação.

Origem	Destino	São Joaquim da Barra	Bariri	Araçatuba
Nº	Municípios	(Tonelada/ano)		
99	Avaré		6.750	
105	São Miguel		6.300	
136	Matão		6.090	
137	São Carlos		9.600	
139	Dourados		10.800	
140	Lins			16.800
29	Promissão			18.720
33	Guararapes			12.150
34	Val Paraíso			15.000
36	Mirandópolis			4.617
41	Birigui			9.600
42	Coroados			8.400
Total		260.000	130.000	85.287

Fonte: dados da pesquisa.

TABELA 8. Fluxos realizados na distribuição da FMID pelo cenário de maior custo total - 1981.

Origem	Destino	Campinas	Jundiaí	São Paulo	Santos
(Tonelada/ano)					
São Joaquim da Barra		22.701	14.398	86.871	136.030
Araçatuba				85.287	
Bariri				130.000	
Total		22.701	14.398	302.158	136.030

Fonte: dados da pesquisa.

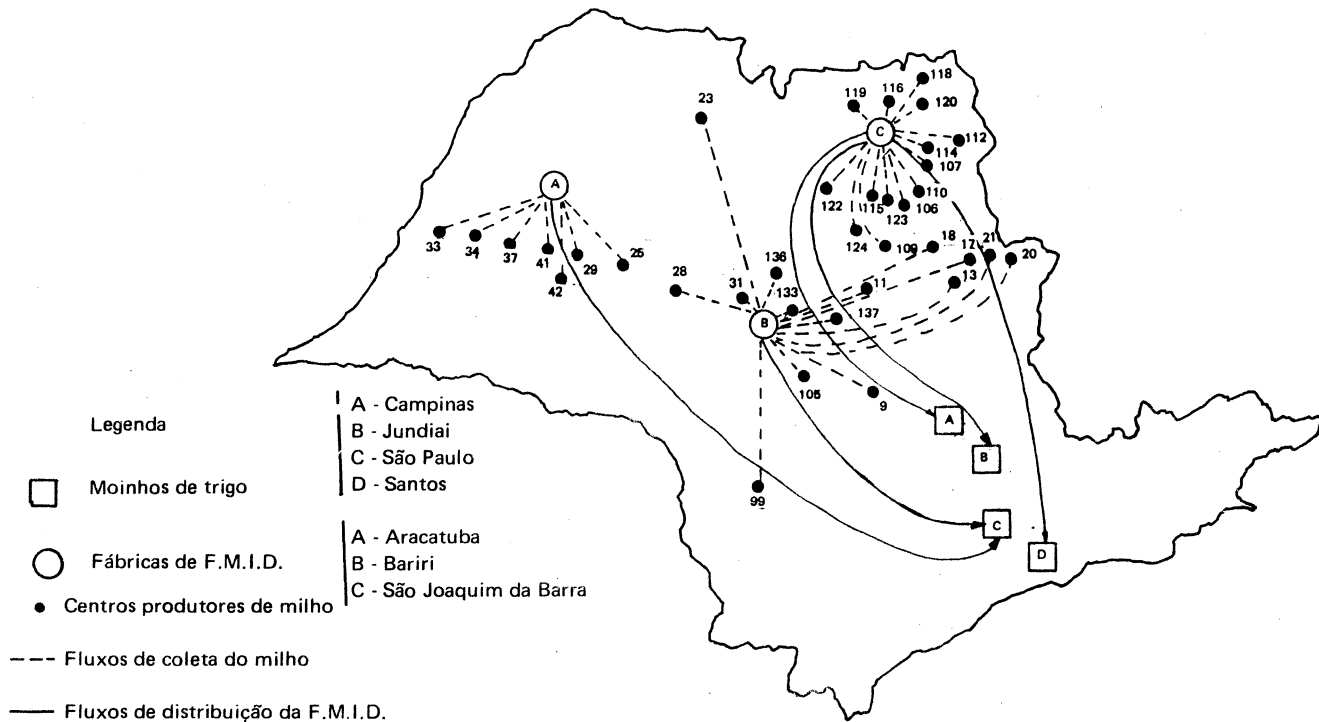


FIG. 5. Distribuição geográfica dos fluxos realizados no cenário de menor custo total.

Do ponto de vista social, a instalação de um número maior de pequenas fábricas seria preferível à instalação de poucas fábricas grandes. Assim sendo, a pequena diferença de custo total (coleta, processamento e distribuição) entre as melhores alternativas de localização permite indicar a instalação de 1 fábrica de 1.000 t/dia em São Paulo, 1 de 500 t/dia em Santos, 1 de 100 t/dia em Jundiáí, 1 de 100 t/dia em Sorocaba, 1 de 100 t/dia em Bragança Paulista e 1 de 100 t/dia em Campinas, como a que apresenta menores custos aliados a um maior bem-estar social.

As conclusões do trabalho permitem também indicar algumas implicações de política econômica, tais como:

1. Maior atenção aos sistemas de transporte, principalmente ferroviário, poderá resultar em menores custos de transporte e, por conseguinte, em um produto final a preço mais baixo.

2. Política de apoio à produção e comercialização; fatores como sementes selecionadas, estocagem, preço mínimo e outras medidas de racionalização da comercialização deverão favorecer o incremento da produção de milho.

3. Incentivos de plantio próximo às áreas de transformação poderão tornar menores os custos das alternativas de localização estudadas e, principalmente, poderão possibilitar a instalação de fábricas junto aos centros produtores, dada a redução ou eliminação do custo de coleta de milho. O desenvolvimento de agro-indústrias, além de estimular a produção, descentralizará o desenvolvimento industrial do Estado.

É importante salientar que o estudo de localização de unidades produtoras de FMID deve ser considerado como uma indicação de minimização de custos de transporte e processamento. Poderá, porém, ser adaptado para atender problemas mais específicos ou mais abrangentes de localização de fábricas.

Uma análise das variações nas quantidades de matéria-prima ofertada, bem como a determinação de regiões mais receptivas a incrementos na sua produção ficam como sugestões a futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.A.S.B. Viabilidade econômica e localização de unidades produtoras de farinha de milho para utilização em mistura com o trigo no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, Universidade de São Paulo, 1981. 159p. Tese Mestrado.

- AMARO, A.A.; SILVA, J.F.G.; PERES, M.C. & LARSON, D.W. **Desenvolvimento da citricultura e localização de novas indústrias para processamento no Estado de São Paulo**. Piracicaba, ESALQ, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, 1973. 78p. (Série de Pesquisa, 21).
- BAAZARA, M.S. & JARVIS, J.J. **Linear programming and network flows**. New York, John Wiley, 1977.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Geral. **Áreas de concentração da agricultura brasileira**. Brasília, 1977. s.p.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte, 1978. **Plano operacional de transportes - Milho Fase I**. Brasília. 497p.
- BRASIL. Superintendência Nacional de Abastecimento. Portaria SUPER n.º 90. Rio de Janeiro, 1980. 14p.
- BRASIL. Superintendência Nacional de Abastecimento. Portaria SUPER n.º 85. Rio de Janeiro, 1980. 2p.
- BRASIL. Superintendência Nacional de Abastecimento. Portaria SUPER n.º 17. Rio de Janeiro, 1981a. 3p.
- BRASIL. Superintendência Nacional de Abastecimento. Portaria SUPER n.º 23. Rio de Janeiro, 1981b. 2p.
- CONSELHO NACIONAL DE ESTUDOS DE TARIFAS. **Transporte rodoviário de cargas**. Tabela de Tarifas. São Paulo, 1981. 15p.
- FERROVIAS PAULISTAS S.A. **Quadro de distâncias quilométricas**. São Paulo, 1974. 50p.
- FERROVIAS PAULISTAS S.A. **Transporte ferroviário de mercadorias e animais**. São Paulo, 1980. 10p.
- FERROVIAS PAULISTAS S.A. **Tabelas de tarifas**. São Paulo, 1981a. 10p.
- FERROVIAS PAULISTAS S.A. **Serviço rodoviário auxiliar**. São Paulo, 1981b. s.p.
- FRANÇA, P.M. **Problemas de localização; solução por decomposição**. Campinas, FEC/UNICAMP. 1979. Tese Doutorado.
- FUNDAÇÃO IBGE, Rio de Janeiro, RJ. **Anuário Estatístico 1979**. Rio de Janeiro, 1980. 840p.
- HUGO, C. & PHILLIPS, R. **Rice mill feasibility analysis**. Manhattan, Food and Feed Grain Institute, Kansas State University, 1975. 149p.
- R. Econ. rural, Brasília, 20(4) :625-653, out./dez. 1982**

- KING, G.A. & LOGAN, S.H. Optimum location, number and size of processing plants with raw product shipments. *J. Farm Econ., Wisconsin*, 46(1): 94-108, 1964.
- NORTON, V.J.; GATES, J.M. & MULHER, J.J. **The economics of waste disposal in the marine environment.** Rhode Island, Department of Resource Economics, University of Rhode Island, 1974. 108p.
- REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A. **Sistema ferroviário do Brasil.** Rio de Janeiro, 1975. 40p.
- SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura. Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Produção de farinha de milho integral e desengordurada.** Campinas, 1980. 49p.
- SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura. Instituto de Economia Agrícola, 1981. **Prognóstico 80/81.** São Paulo, 1981. 238p.
- STOLLSTEIMER, J.F. A working model for plant numbers and location. *J. Farm Econ., Wisconsin*, 45:631-45, 1963.
- VITTI, P.; LEITÃO, R.F.S.; PIZZINATO, A. & PENTEADO, R.L.B. Preparo de uma farinha de milho integral e desengordurada e seu uso em panificação. *Boletim do ITAL.* Campinas, 17(4):349-481, 1980.