

# ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE GRÃOS DO ESTADO DE GOIÁS: UMA APLICAÇÃO DO ALGORITMO OUT-OF-KILTER

Jorge Alberto Garcia Gomes e  
Rui Fonseca Veloso

\* Prof. Dr. em Engenharia da Produção da UFRJ  
Prof. Adjunto do Programa de Mestrado em Administração da UFRJ

\*\* Mestre pelo COPPEAD - UFRJ  
Técnico da EMBRAPA

---

## INTRODUÇÃO

No estágio de desenvolvimento em que se encontra a agricultura brasileira, as atividades de transporte e armazenagem de grãos constituem um dos problemas básicos de comercialização agrícola. Quando elas são mal dimensionadas, podem causar efeitos negativos no desempenho do setor.

Segundo estimativas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística — FIBGE, a produção nacional de arroz em casca, em 1976, aproximou-se de 9,56 milhões de toneladas, que correspondem ao maior nível já alcançado. Neste ano, a safra de arroz em casca registrada no Estado de Goiás, de aproximadamente 1,3 milhões de

toneladas, gerou tal excedente comercializável que resultou em dificuldades no escoamento e armazenamento do produto. Daí que, na maioria dos Estados produtores, os preços recebidos pelo agricultor aproximavam-se do mínimo fixado pelo Governo, quando não abaixo dele (IBGE).

Outro produto agrícola importante no Estado de Goiás tem sido o milho, que ocupa o segundo lugar em área cultivada, precedido apenas pelo arroz.

Uma vez iniciado o período de colheita de alguns produtos, o primeiro estágio crítico do sistema de distribuição é alcançado: armazenagem muito pequena a nível de fazenda, além da falta de adequação dos ar-

mazéns, o que acarreta armazenagem precária. Neste trabalho, os fluxos de produtos agrícolas serão considerados como saindo das áreas de produção para a rede intermediária de armazéns coletores.

O presente artigo tem por objetivo abordar: (a) a localização e as causas de estrangulamento no subsistema de transporte e armazenagem de grãos do Estado de Goiás; (b) a localização e o dimensionamento da expansão prevista para o subsistema, levando-se em consideração os saldos comercializáveis de arroz e milho projetados para o ano de 1980; (c) a identificação da necessidade de outras melhorias que conduzam à alocação eficiente de recursos em tal subsistema.

A metodologia empregada foi a de modelar o subsistema de transporte e armazenagem de grãos do Estado de Goiás como uma rede capacitada para, então, avaliar os benefícios associados a estratégias alternativas de melhorias deste subsistema e, por conseguinte, tecer recomendações para o sistema de comercialização.

Utilizando o algoritmo Out-of-Kilter como ferramenta de solução do modelo aqui desenvolvido, são determinados os fluxos de custo mínimo numa rede capacitada. Com isto, obtém-se a minimização dos custos envolvidos no escoamento dos grãos de arroz e milho des-

de as propriedades agrícolas (fontes de suprimento) até os centros de processamento ou porto de exportações (centros de consumo).

Foi também de interesse a construção de um modelo matemático tão fiel quanto possível à distribuição real, ainda que sua complexidade aumentasse, pois a eficiência computacional do algoritmo Out-of-Kilter assim o permite. Mas ainda é preferível, neste tipo de estudo, o alto custo computacional (embora não seja esse o caso), em benefício de resultados mais confiáveis. Desta forma, o modelo leva em consideração: capacidade de secagem e armazenagem, capacidade de processamento, restrições e alternativas de armazenagem, custos de transporte, custos de carregamento e descarregamento, períodos de transportação, zonas de produção e suas localizações em relação às dos processadores e do porto de exportações e até problemas relativos a perdas de peso do arroz.

Ao fim do estudo, concluiu-se que uma política agrícola que promova a adequação da infra-estrutura física de escoamento, associada a maiores saldos comercializáveis de grãos, facilitará as operações de distribuição física, quando compatibilizada com a estrutura organizacional do sistema de comercialização.

O item a seguir apresenta o sistema logístico, que compreende o

escoamento de grãos no Estado de Goiás. Formulação do modelo descreve a metodologia empregada neste estudo. Em seqüência caracteriza-se os dados usados e discute-se os resultados e o último apresenta as conclusões do estudo.

## O SISTEMA LOGISTICO

No Estado de Goiás, a agricultura constitui o principal setor na formação da renda interna e tem, como os mais importantes produtos — levantamento sistemático da produção FIBGE (IBGE) —, o arroz e o milho.

A região sul do Estado caracteriza-se por uma agricultura comercial, com significativa infra-estrutura de transporte e armazenagem, enquanto na região acima do paralelo 13 predomina uma pecuária extensiva.

A produção agrícola, ao contrário dos manufaturados, é geralmente feita em pequena escala, requerendo coleta dos produtos para formação de lotes comercializáveis antes do escoamento até os mercados urbanos, onde são distribuídos entre os varejistas.

No processo de escoamento de produtos agrícolas, a rede de armazéns desempenha algumas funções importantes do ponto de vista econômico. Assim, pode-se ressaltar que, no Estado de Goiás, na época do pico da colheita de arroz (entre 5 e 10

de abril), ao se procurar explicações para os problemas ocorridos nos últimos anos, apontar-se-á a distribuição e a capacidade dos secadores como os principais pontos de estrangulamento. E, na época de colheita, se a safra é abundante, o custo dos serviços de marketing aumenta e os preços de venda tornam-se desanimadores.

Por logística entende-se as atividades envolvidas no fluxo de bens e serviços das unidades de produção até alcançarem o consumidor final. Neste processo, duas características essenciais tornam-se evidentes:

- o sistema de marketing, que, como será visto na Figura 1, se compõe de uma série de ações e eventos que tomam lugar em alguma seqüência;
- alguma forma de coordenação desta série de eventos e atividades, que é necessária, visto bens e serviços fluírem de forma metódica das mãos dos produtores para os consumidores.

Considerando o sistema de marketing, Converse (1958) identifica duas etapas logísticas. Uma consiste em compra, venda e atividades de transferência de títulos que coordenam a série de eventos. A outra consiste no manuseio físico de bens nessa transferência, como transporte, armazenagem e classificação.

As instituições envolvidas na logística agrícola, em Goiás, estão representadas pelas organizações de negócios que operam a transferência da produção para diversos pontos de demanda, como é mostrado na Figura 2. Foram identificados dois tipos de instituição no escoamento de arroz e milho no Estado, em 1977:

- instituições do setor privado, representadas por intermediários cerealistas, agentes, processadores e varejistas;
- instituições públicas, representadas pela Comissão de Finan-

ciamento da Produção e pela Companhia Brasileira de Alimentos.

Coyle e Bardi (1976) recomendam o tratamento de um sistema logístico em termos de nós e "links". Os nós são os pontos espaciais onde o movimento de bens é interrompido para armazenagem e/ou processamento. A outra parte do sistema são os "links", que representam a rede de transporte conectando os nós, no sistema logístico. A rede de transporte pode ser desenhada, considerando-se as várias modalidades de transporte (ferroviária, rodoviária, hidroviária), de forma fiel ao sistema real.

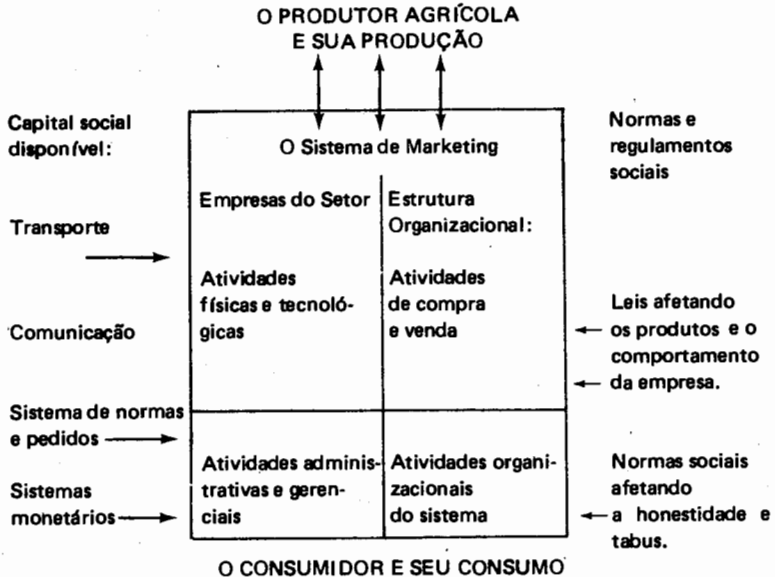


Figura 1  
Dimensões do Sistema de Marketing Agrícola (Converse, 1958)

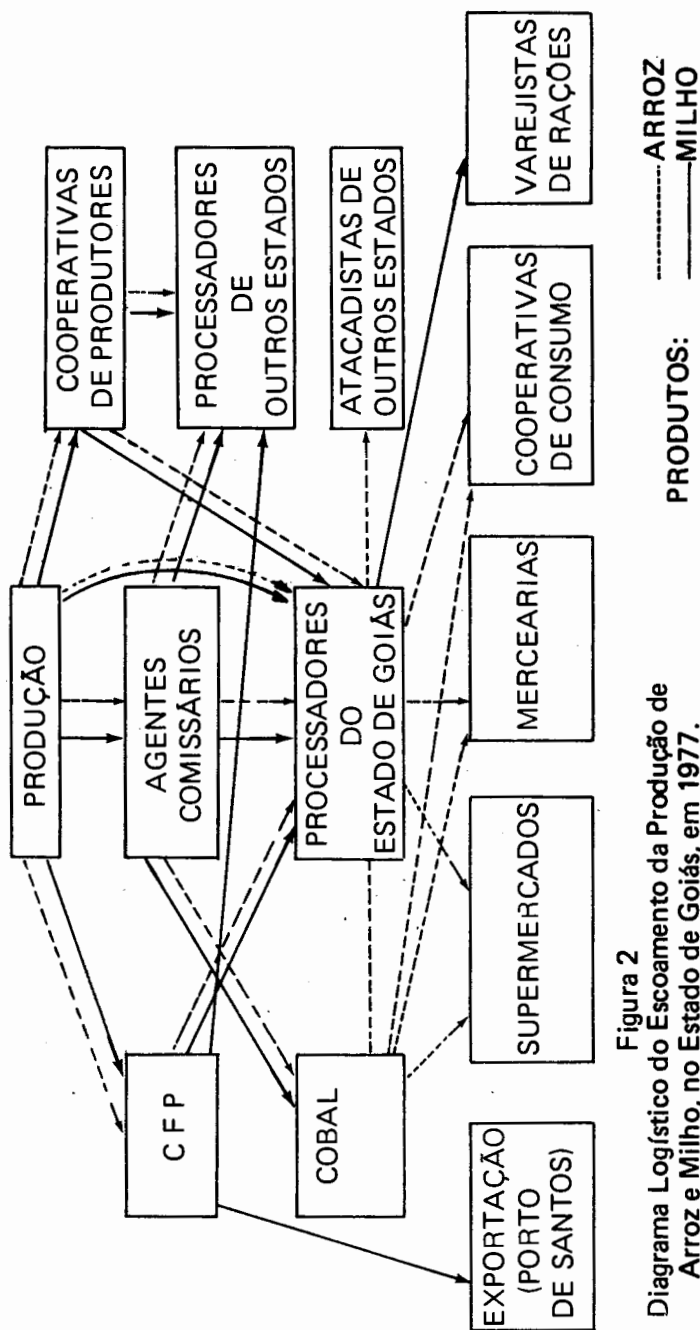


Figura 2  
 Diagrama Logístico do Escoamento da Produção de Arroz e Milho, no Estado de Goiás, em 1977.

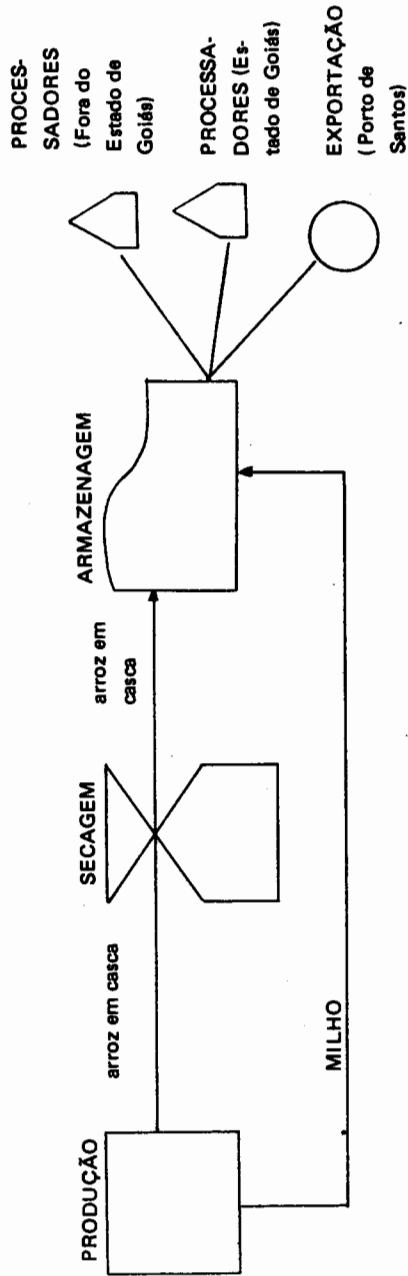


Figura 2.1  
Diagrama Simplificado do Escoamento de  
Arroz e Milho de Goiás.

O sistema logístico envolve muitas atividades físicas e tecnológicas, mas, neste estudo, procura-se analisar o manuseio físico envolvido no escoamento de grãos no Estado, levando-se em conta algumas das atividades que foram mensuradas. A Figura 3 apresenta um diagrama simplificado do escoamento de arroz e milho em Goiás.

O escoamento de produtos agrícolas no Estado de Goiás é feito, predominantemente, por via rodoviária, que praticamente anula os fluxos através dos meios ferroviário e hidroviário, como se pode verificar através de estudos já realizados pelo GEIPOT (1977).

Os custos envolvidos no escoamento de arroz e milho e considerados neste estudo são, basicamente: (a) de transporte e (b) de descarregamento e carregamento. Por outro lado, foram levadas em consideração as perdas de grãos ocorridas desde as fazendas até os centros de processamento.

Para se analisar possíveis mudanças em um sistema logístico avaliando "trade-offs" potenciais, torna-se necessário um método ou técnica para análise (Veloso, 1979).

## FORMULAÇÃO DO MODELO

Muitos dos problemas logísticos podem ser estudados, basicamente, através de três tipos de modelos.

- **O modelo do "problema de transporte"** da programação linear (problema de Hitchcock), através da versão especializada do algoritmo Simplex, desenvolvido por Dantzig (1963). Este modelo é bastante rígido e não permite a consideração de diversas particularidades importantes para este estudo, tais como: transbordo, fluxos através do tempo (armazenagem), transporte multimodal e outras.

- **O modelo de "transbordos"** (transshipment problem) desenvolvido por Orden (1958). Este modelo possibilita transformar um problema de transporte com transbordos em um problema de Hitchcock, que é resolvido pelo Simplex. No entanto, fluxos através do tempo e transporte multimodal continuam sendo de difícil representação.

- **O modelo de "redes capacitadas"**. Sendo bastante flexível, este modelo permite considerar quase todas as particularidades relevantes para o problema ora estudado e por essa razão foi adotado. Algumas vantagens de redes capacitadas são:

- à limitação de fluxos através de certos canais não acarreta dificuldades adicionais;
- existem algoritmos extremamente rápidos para a solução de problemas de fluxo de custo mínimo, permitindo que problemas de grande porte sejam analisados em tempo ra-

zoável de computação; além disso, a modelagem é intuitiva, podendo ser entendida facilmente por pessoas não especializadas em pesquisa operacional.

Uma rede, no caso deste estudo, pode ser representada matematicamente por um grafo orientado  $G(N, A)$ , onde  $N$  é um conjunto de nós e  $A$  é um conjunto de arcos.

Sejam  $i$  e  $j$  dois nós do grafo. Então, um arco ligando  $i$  e  $j$  é representado por  $(i, j)$ .

Observar que, no caso de grafos orientados,  $(i, j) \neq (j, i)$ , pois o sentido do arco é que vai determinar o sentido do fluxo na rede; daí sua importância.

Graficamente, representa-se um grafo por um conjunto de pequenos círculos (nós) interligados por um conjunto de setas (arcos orientados); veja a figura a seguir.

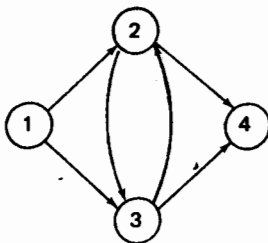


Figura 4  
Representação de um Grafo

No caso de redes capacitadas, a cada arco  $(i, j)$  estão associados três parâmetros, a saber:

$l_{(i, j)}$  — limite inferior do fluxo no arco  $(i, j)$ ;  $(l_{(i, j)} \geq 0)$ ;

$S_{(i, j)}$  — limite superior do fluxo no arco  $(i, j)$ ;

$C_{(i, j)}$  — custo ou penalidade por unidade de fluxo no arco  $(i, j)$ .

### O modelo Matemático

Neste estudo, utilizar-se-á o algoritmo Out-of-Kilter, de Fulkerson (1961), que é bastante eficiente na obtenção de fluxos de custo mínimo em uma rede capacitada.

O propósito deste ítem não é explorar o desenvolvimento matemático desse algoritmo, mas apresentar o problema que ele resolve:

Minimizar

$$(i, \sum j) \in A^C (i, j) f(i, j) \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_j f(i, j) - \sum_j f(j, i) = 0 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$l_{(i, j)} \leq f(i, j) \leq S_{(i, j)} \quad \forall (i, j) \in A \quad (3)$$

As equações do tipo 2 exigem conservação de fluxo em todos os nós, isto é, a soma dos fluxos chegando a um nó qualquer deve ser igual à

soma dos fluxos provenientes desse mesmo nó. Isto implica em que a rede através da qual se modela o problema deve ser uma **circulação** (uma rede sem fontes nem sumidouros).

Como veremos a seguir, isto não causa maiores dificuldades, pois, exceto por esta imposição, o analista tem ampla liberdade no desenho da rede, o que envolve grande flexibilidade de modelagem.

### Formulação do modelo

Procura-se definir a estrutura do modelo de escoamento das produções de arroz e milho no Estado de Goiás, considerando:

- períodos de transporte;
- zonas de produção, localização dos processadores e porto de exportações;
- capacidade de secagem e armazenagem;
- restrições e alternativas de armazenagem;
- custos de transporte, carregamento e descarregamento;
- perdas de peso do arroz.

Neste estudo, o ano será dividido em três períodos de transporte.

**Período 1:** de 1<sup>o</sup> de março a 15 de abril. Durante 45 dias aproximadamente, 65% do saldo comercializável do arroz produzido no Estado de Goiás é colhido e enviado aos secadores. Os problemas de armazenagem aumentam neste período e isto se deve, entre outros entraves, ao baixo rendimento dos secadores (aproximadamente 50% da capacidade teórica). Logo, o volume de produção que necessita ser processado (secado) fica sujeito a perdas, principalmente quando o produto tem uma grande percentagem de umidade.

**Período 2:** de 15 de abril a 30 de julho. A outra parcela do saldo comercializável (35%) da produção de arroz é colhida até o final de maio. O milho começa a ser colhido e transportado em maio, continuando até o final de junho.

**Período 3:** de 1<sup>o</sup> de julho ao final de fevereiro. Durante este período os fluxos de transportes são pequenos e caracterizam-se por produtos processados. Os produtos são removidos dos armazéns coletores para os centros de beneficiamento e, em seguida, para os vários pontos de demanda, fora do Estado de Goiás.

Os saldos comercializáveis de arroz provêm de 36 zonas de produção, representadas por zonas de tráfego, das quais 27 são do Estado de Goiás, 1 do Distrito Federal, 1 do Estado do Maranhão, 1 do Estado do Pará

e 6 do Estado de Mato Grosso.

Os pontos de demanda de arroz para processamento são representados pelos centróides de nove zonas de tráfego do Estado de Goiás (Goiânia, Inhumas, Itaberaí, Anápolis, Jaraguá, Goiás, Itumbiara, Rio Verde e Jataí) e pela cidade de São Paulo, que representa a demanda fora do Estado de Goiás.

Quanto aos saldos comercializáveis de milho, são considerados somente os provenientes das 27 zonas de tráfego do Estado de Goiás.

Os pontos de demanda de milho são representados pelos centróides de oito zonas de tráfego do Estado de Goiás (Goiânia, Inhumas, Anápolis, Jaraguá, Pires do Rio, Goiás, Ceres e Itumbiara), pelo porto de Santos e pela cidade de São Paulo, que representa a demanda fora do Estado de Goiás.

No levantamento da capacidade de secagem e armazenagem no Estado de Goiás, foram considerados tanto o setor privado como o estatal, de forma que toda a capacidade, desde os pontos coletores até os processadores, é tratada como sendo de nível intermediário coletor.

Esta rede de armazéns constitui-se na única opção de armazenagem para a grande maioria dos produtores do Estado, como, também, numa alternativa de armazenagem pa-

ra uma parte da produção dos Estados de Mato Grosso, Pará e Maranhão.

Procura-se tratar a rede de secadores como a primeira restrição de utilização dos armazéns. Assim, todo o saldo comercializável de arros passará pelo secador — parte da produção de arroz que é retida em cada zona de tráfego sofre secagem natural em terreiros, utilizando-se máquinas pequenas (artesanato) para processamento — enquanto o milho vai diretamente para o armazém. Nesta situação, o arroz terá prioridade de armazenagem, mesmo que o arroz e o milho cheguem juntos aos armazéns.

Procura-se tratar a armazenagem do milho sem que o mesmo passe pela aparelhagem de secagem, porque a quase totalidade da produção do Estado tem sido colhida após a secagem no campo.

Os dois produtos (arroz e milho) têm duas alternativas para chegarem ao destino final:

irão diretamente das fazendas para o destino final, onde passarão por um armazém e seguirão para um processador da mesma zona de tráfego;

antes de chegarem ao destino final serão levados a um armazém, onde serão tratados, o que resultará em uma despesa

adicional de Cr\$ 23,40/t, correspondente ao descarregamento e carregamento dos produtos; no caso do arroz, ocorre uma queda de peso do produto de aproximadamente 12% (umidade e impurezas).

Vale salientar que os dados sobre a capacidade de armazenagem, produção, infra-estrutura de transporte (rodovias pavimentadas ou implantadas e ferrovias) e as quantidades demandadas são exógenos ao modelo.

A representação deste modelo será feita através de um protótipo do problema, formulado na Figura 4.

O problema-protótipo envolve três locais de produção com quantidades oferecidas ( $o_{1k}$ ) do produto arroz, em cada período  $k$ ; quantidades oferecidas ( $o_{2k}$ ) do produto milho, em cada período  $k$ ; três pontos de secagem com capacidades ( $s_{ek}$ ) que podem operar em cada período  $k$ ; três pontos de armazenagem com capacidades ( $A_{1m}$ ) que podem operar em cada período  $m$  e dois pontos de processamento com quantidades demandadas ( $D_{2m}$ ) do produto milho em cada período  $m$ .

Os nós  $1P_k$  representam os locais de produção  $i$  no período  $k$ .

Os nós  $js_k$  representam os pontos de secagem  $j$  no período  $k$ .

Os nós  $nA_m$  representam os pontos de armazenagem  $n$  durante os períodos  $m$ .

Os nós  $pB_m$  representam os pontos de processamento  $p$  (de arroz e/ou milho) durante o período  $m$ , e os nós  $A_0, A_D$  são artificiais, onde:

— ( $A_0, 1P_k$ ) são arcos artificiais que delimitam as quantidades oferecidas pelos locais de produção, com os seguintes parâmetros:

- . limite inferior  $I_{(A_0, 1P_k)} = 0$
- . limite superior  $S_{(A_0, 1P_k)} = o_{1k}$  OU  $o_{2k}$
- . custo  $C_{(A_0, 1P_k)} = 0$

— ( $1P_k, js_k$ ) são arcos que representam fluxos de transporte, com os seguintes parâmetros:

- . limite inferior  $I_{(1P_k, js_k)} = 0$
- . limite superior  $S_{(1P_k, js_k)} = G$
- . custo  $C_{(1P_k, js_k)} =$  custo de transporte correspondente.

A constante  $G$  pode ser um valor arbitrariamente grande, porque não existem limitações de fluxo de transporte.

— ( $js_k, nA_m$ ) são arcos que delimitam as capacidades de secagem quando se considera o escoamento do arroz e/ou arcos que delimitam as capacidades de armazenagem quando se trata do escoamento do milho, tendo os seguintes parâmetros:

• limite inferior  $I(JS_k, nA_m) = 0$

• limite superior  $S(JS_k, nA_m)$   
 =  $S_{ek}$  (capacidade de secagem quando se trata de escoamento do produto arroz) e =  $A_{zm}$  (capacidade de armazenagem quando se trata de escoamento do produto milho).

• custo  $c(JS_k, nA_m) = Cr\$ 23,4$  (quando o produto arroz ou milho tiver que ser removido de armazém para um processador localizado em outro centro) e  
 = 0 (quando o produto arroz ou milho alcança um armazém localizado num centro de processamento)

—  $(nA_{m-1}, nA_m)$  são arcos que delimitam as capacidades de armazenagem para ambos os produtos (arroz ou milho), tendo como parâmetros:

• limite inferior  $I(nA_{m-1}, nA_m) = 0$

• limite superior  $S(nA_{m-1}, nA_m) = A_{zm}$  (capacidade de armazenagem).

• custo  $c(nA_{m-1}, nA_m) = 0$

Estes arcos  $(nA_{m-1}, nA_m)$  representam fluxos através dos tempo.

—  $(nA_m, pB_m)$ , são arcos que representam fluxos de transportes, com os seguintes parâmetros:

• limite inferior  $I(nA_m, pB_m) = 0$

• limite superior  $S(nA_m, pB_m) = G$

• custo  $C(nA_m, pB_m) =$  custo de transporte do arco correspondente, sendo que, no caso de escoamento do produto arroz, o custo é multiplicado por 0,88 (uma maneira de se considerar as perdas) para as alternativas que implicam custo de transbordo.

A constante G pode ser um valor arbitrariamente grande, porque não existem limitações de fluxo de transporte.

—  $(pB_m, AD)$  são arcos artificiais que delimitam as quantidades demandadas pelos vários centros de demanda, em cada período m, com os seguintes parâmetros:

• limite inferior  $I(pB_m, AD)$

$D_{1m}$  OU  $D_{2m}$

• limite superior  $S(pB_m, AD) = G$

• Custo  $c(pB_m, AD) = 0$

A constante G pode ser uma valor arbitrariamente grande, porque não afeta a solução.

—  $(AD, AO)$  é um arco artificial que mantém a circulação tendo os seguintes parâmetros:

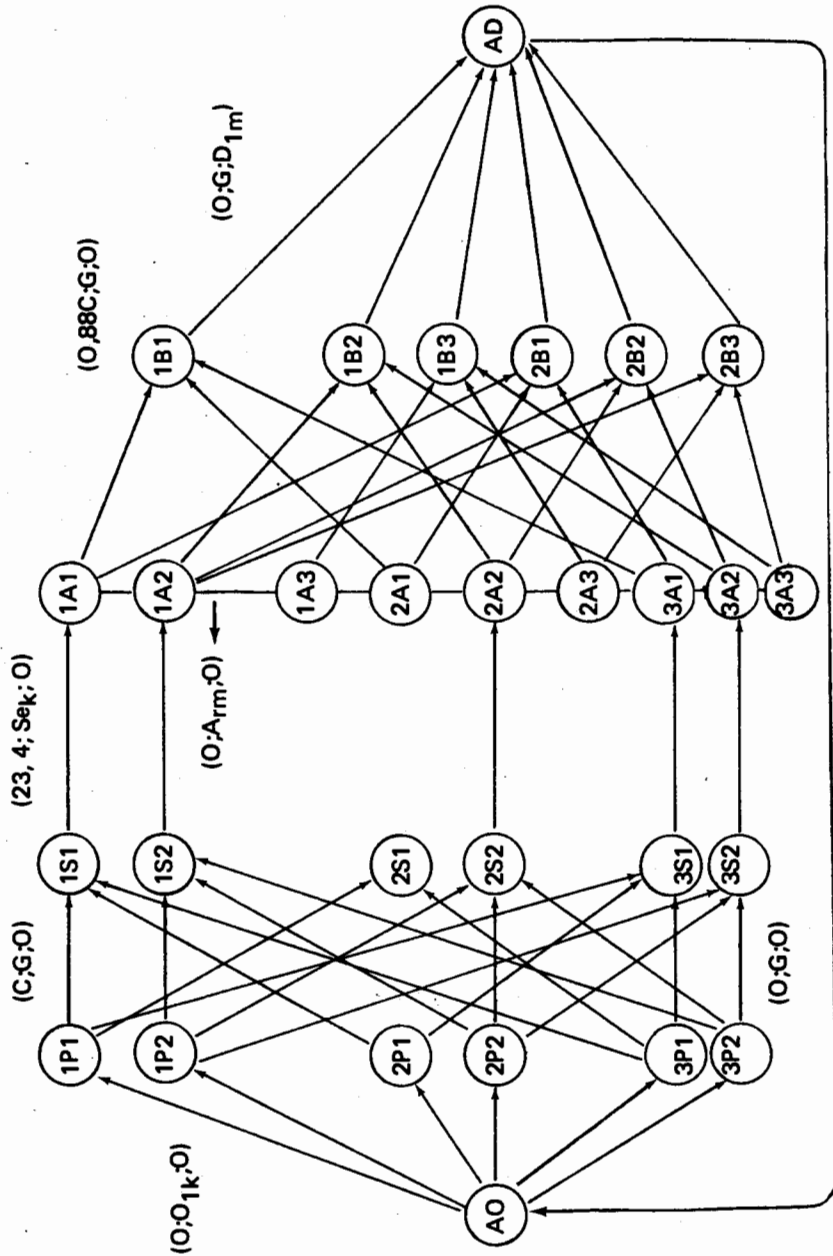


Figura 4  
Diagrama de Rede de um Problema-Protótipo

- limite inferior  $I_{(AD, AO)} = 0$
- limite superior  $S_{(AD, AO)} = G$
- custo  $C_{(AD, AO)} = 0$

### Computarização do Modelo

Após definição do modelo, como apresentado no problema protótipo, construiu-se uma rede capacitada com 258 nós e 834 arcos, referente ao subsistema de transporte e armazenagem, cuja análise foi feita por meio do algoritmo Out-of-Kilter. Tal algoritmo foi programado em linguagem PL-1, de forma a ser utilizado através de um computador IBM 370/145.

### RESULTADOS

Examinou-se o escoamento dos saldos comercializáveis de arroz e milho para os anos de 1977 e 1980, conforme descrição do subsistema de transporte e armazenagem e formulação do modelo apresentado anteriormente.

Para esses dois anos, foram empregadas estimativas de:

- saldos comercializáveis de arroz em casca e milho, por zona de tráfego do Estado de Goiás, e quantidades ofertadas de arroz em casca provenientes dos Estados de Mato Grosso, Pará, Maranhão e do Distrito Fede-

ral. Esses dados foram estimados pelo GEIPOT (1977);

- quantidades demandadas de arroz em casca e milho, por vários pontos de demanda. Esses dados foram estimados pelo GEIPOT (1977);

- capacidade de secagem e armazenagem de grãos, por zona de tráfego do Estado de Goiás. Esses dados foram estimados pelo Departamento de Planejamento Econômico da CIBRAZEM (1978);

- zoneamento de tráfego do Estado de Goiás — municípios incluídos em cada zona de tráfego;

- situação da malha rodoviária em 1977 e

- custos de transportes (Wright, 1977).

### Análise do Escoamento de Grãos em 1977.

Foram identificados, inicialmente, os fluxos que minimizaram o custo total de escoamento dos produtos arroz e milho das unidades de produção até os centros de processamento ou até o Porto de Santos. Em seguida, foram localizados os mais sérios estrangulamentos no subsistema de transporte e armazenamento de grãos.

Esses estrangulamentos ocorreram em arcos cujos fluxos, na solução obtida, saturam suas capacidades máximas permitidas ( $s_{(i, j)}$ ).

O escoamento do saldo comercializável de arroz em 1977 (787.997 t) apresentou estrangulamentos no primeiro período de transporte, quando 65% do saldo comercializável de arroz passou pelos aparelhos de secagem, como mostrado na Tabela 1.

Os estrangulamentos nos secadores se devem, entre outros fatores, a:

- concentração dos aparelhos nos grandes centros, como ocorre na zona de tráfego representada por Itumbiara, onde a capacidade de secagem é muito maior que suas necessidades;
- localização dos centros de processamento, concentrados ao redor da capital do Estado de Goiás;
- um custo de aparelhagem de secagem dificultando a implantação de secadores próximo às zonas de produção;
- concentração da utilização dos secadores num curto espaço de tempo (aproximadamente 90 dias);
- baixo rendimento dos apare-

lhos (aproximadamente 50% da capacidade teórica).

Quanto ao escoamento do saldo comercializável de milho em 1977 (646.503 t), os fluxos de custos mínimos determinados pela solução ótima indicaram estrangulamentos nos armazéns de algumas zonas de tráfego, como mostra a Tabela 2.

A determinação dos "links" de transporte utilizados para o escoamento dos produtos, arroz e milho, possibilita uma melhor orientação quanto aos trechos que devem ser melhorados em curto prazo.

#### **Análise do Escoamento de Grãos em 1980.**

Foram executadas dez corridas de C.3 a C.12, assim descritas:

- C.3, C.6, C.7 e C.9 foram processadas, considerando o saldo comercializável de arroz para 1980, estimado em 837.442 t;
- C.4, C.5, C.8, C.10, C.11 e C.12 foram processadas, considerando os saldos comercializáveis de arroz e milho para 1980; como o escoamento de arroz ocorreu antes, a disponibilidade das capacidades de armazenagem foi reduzida da quantidade de arroz retida nos armazéns; o saldo comercializável de milho a ser escoado em 1980 foi estimado em

918.052 t.

As várias corridas executadas possibilitaram uma análise da sensibilidade do modelo, apresentando os resultados mostrados na Tabela 5, na qual se pode observar que:

- o custo médio incorrido no escoamento será aumentado, em 1980, de Cr\$ 123,54/t para Cr\$ 125,19/t, se ao subsistema de transporte e armazenagem forem acrescidas somente as melhorias já previstas;
- a implantação de novos aparelhos de secagem em algumas zonas de tráfego, como é mostrado na Tabela 5, acarretará uma redução no custo total de escoamento de arroz, em 1980, de aproximadamente 11,5%;
- o asfaltamento de alguns trechos de estradas implicará numa diminuição no custo total de escoamento de arroz, em 1980, de aproximadamente 5%;
- a implantação de uma indústria de processamento de milho na zona de tráfego representada por Palmeiras de Goiás, além de aumentar a utilização de armazéns disponíveis, acarretará uma significativa diminuição no custo total de escoamento de milho, em 1980;

- um pequeno acréscimo na capacidade armazenadora refletirá numa diminuição de Cr\$ 262.537,10 no custo total de escoamento de milho, em 1980.

## CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo levam às seguintes conclusões específicas:

1. Os custos envolvidos no escoamento de arroz em 1980 poderão ser substancialmente reduzidos por meio da implantação dos aparelhos de secagem indicados na Tabela 3. Alguns benefícios para o subsistema de transporte e armazenagem de grãos foram quantificados neste estudo, mas outros devem ser considerados, como:
  - diminuição do custo de transferência dentro da zona de tráfego (da fazenda para o secador);
  - diminuição dos custos de carga e descarga através da adoção de modernas tecnologias de granelização;
  - redução de perdas;
  - melhor poder de barganha por parte do produtor.

Por outro lado, os custos de implantação dos aparelhos devem ser cal-

culados utilizando-se conhecimentos de engenharia.

2. Para o escoamento de arroz, em 1980, não foi identificada a necessidade de expansão das capacidades de armazenagem, enquanto o escoamento de milho para o mesmo ano será facilitado se forem implantados armazéns, como indicado na Tabela 4.

3. As melhorias dos trechos das estradas indicadas com a corrida C.9 (página 121) mostraram-se interessantes, porque o custo de escoamento de arroz, em 1980, poderá ser reduzido em mais de Cr\$ 4.000.000,00.

4. A capacidade de secagem existente em Itumbiara deve ser analisada no sentido de se realocar alguns aparelhos de secagem da rede oficial em zonas de tráfego que necessitam de novas instalações (veja Tabela 3).

5. No caso de expansão da capacidade da indústria de processa-

mento de milho em Goiás, a zona de tráfego representada por Palmeiras de Goiás mostrou-se como um local potencial sob dois aspectos:

- . diminuição substancial no custo de escoamento de milho;
- . melhor aproveitamento da capacidade instalada de armazenagem.

### LIMITAÇÕES DO ESTUDO

1. As melhorias indicadas para o subsistema de transporte e armazenagem requerem avaliações detalhadas quanto aos custos de inversões.
2. A utilização dos armazéns por outras mercadorias não foi considerada.
3. A armazenagem de arroz foi considerada prioritária, mesmo no caso de o arroz e o milho poderem chegar simultaneamente aos armazéns.

Tabela 1  
Listagem dos Arcos de Secagem da Rede Correspondente ao Subsistema de 1977, com os fluxos de Arroz  $U(i,j)$  Determinados Pela Solução Ótima.

Número do Arco	NÓ (i)	NÓ (j)	Custo $C(i,j)$	Capacidade de Secagem Disponível $S(i,j)$	Capacidade de Secagem Mínima $I(i,j)$	Zona de Tráfego	Período	Capacidade de Secagem Utilizada $U(i,j)$	CBAR
407	74	132	0.0	82750.0	0.0	01	I	82750.0	-89.8
408	75	133	0.0	82750.0	0.0	01	II	59842.0	0.0
409	76	135	0.0	8750.0	0.0	02	I	8750.0	-277.9

continua...

...continuação

Número do Arco	NÓ (i)	NÓ (j)	Custo C(i,j)	Capacidade de Secagem Disponível S(i,j)	Capacidade de Secagem Mínima I(i,j)	Zona de Tráfego	Período	Capacidade de Secagem Utilizada U(i,j)	CBAR
410	77	136	0.0	8750.0	0.0	02	II	8750.0	-150.8
411	78	138	0.0	6000.0	0.0	03	I	6000.0	-293.8
412	79	139	0.0	6000.0	0.0	03	II	6000.0	-196.8
413	80	141	0.0	94750.0	0.0	04	I	94750.0	-163.1
414	81	142	0.0	94750.0	0.0	04	II	94750.0	-11.6
415	82	144	0.0	37250.0	0.0	05	I	37250.0	-200.0
416	83	145	0.0	37250.0	0.0	05	II	37250.0	-49.0
417	84	147	23.4	0.0	0.0	06	I	0.0	23.4
418	85	148	23.4	0.0	0.0	06	II	0.0	23.4
419	86	150	23.4	2000.0	0.0	07	I	2000.0	-73.5
420	87	151	23.4	2000.0	0.0	07	II	0.0	16.3
421	88	153	23.4	0.0	0.0	08	I	0.0	23.4
422	89	154	23.4	0.0	0.0	08	II	0.0	23.4
423	90	156	23.4	8500.0	0.0	09	I	8500.0	-85.7
424	91	157	23.4	8500.0	0.0	09	II	0.0	65.8
425	92	159	23.4	67500.0	0.0	10	I	67500.0	-35.2
426	93	160	23.4	67500.0	0.0	10	II	0.0	12.2
427	94	162	23.4	16250.0	0.0	11	I	16250.0	-89.8
428	95	163	23.4	16250.0	0.0	11	II	11504.0	0.0
429	96	165	23.4	10500.0	0.0	12	I	9846.0	0.0
430	97	166	23.4	10500.0	0.0	12	II	5302.0	0.0
431	98	168	00.0	5500.0	0.0	13	I	5500.0	-228.5
432	99	169	00.0	5500.0	0.0	13	II	5500.0	-88.9
433	100	171	23.4	0.0	0.0	14	I	0.0	-619.6
434	101	172	23.4	0.0	0.0	14	II	0.0	-529.8
435	102	174	23.4	20000.0	0.0	15	I	20000.0	-147.8
436	103	175	23.4	20000.0	0.0	15	II	0.0	3.7
437	104	177	23.4	0.0	0.0	16	I	0.0	23.4
438	105	178	23.4	0.0	0.0	16	II	0.0	23.4
439	106	180	23.4	1500.0	0.0	17	I	1500.0	-153.4
440	107	181	23.4	1500.0	0.0	17	II	1500.0	-1.9
441	108	183	0.0	157750.0	0.0	18	I	41199.0	0.0
442	109	184	0.0	157750.0	0.0	18	II	10832.0	0.0
443	110	186	0.0	81250.0	0.0	19	I	69465.0	0.0
444	111	187	0.0	81250.0	0.0	19	II	4080.0	0.0
445	112	189	23.4	12250.0	0.0	20	I	12250.0	-82.3
446	113	190	23.4	12250.0	0.0	20	II	5956.0	0.0
447	114	192	23.4	6000.0	0.0	21	I	82.0	0.0
448	115	193	23.4	6000.0	0.0	21	II	0.0	0.7
449	116	195	23.4	0.0	0.0	22	I	0.0	23.4
450	117	196	23.4	0.0	0.0	22	II	0.0	23.4
451	118	198	0.0	33750.0	0.0	23	I	16109.0	0.0
452	119	199	0.0	33750.0	0.0	23	II	17333.0	0.0
453	120	201	23.4	9250.0	0.0	24	I	0.0	0.0
454	121	202	23.4	9250.0	0.0	24	II	0.0	8.6

continua...

...continuação

Número do Arco	NÓ (i)	NÓ (j)	Custo C(i,j)	Capacidade de Secagem Disponível S(i,j)	Capacidade de Secagem Mínima l(i,j)	Zona de Tráfego	Período	Capacidade de Secagem Utilizada U(i,j)	CBAR
455	122	204	23.4	7000.0	0.0	25	I	7000.0	-69.2
456	123	205	23.4	7000.0	0.0	25	II	1797.0	0.0
457	124	207	23.4	3000.0	0.0	26	I	0.0	23.4
458	125	208	23.4	3000.0	0.0	26	II	0.0	23.4
459	126	210	23.4	5500.0	0.0	27	I	5500.0	-168.6
460	127	211	23.4	5500.0	0.0	27	II	5500.0	-17.1
461	128	213	23.4	0.0	0.0	28	I	0.0	-571.3
462	129	214	23.4	0.0	0.0	28	II	0.0	-419.8

Tabela 2

Listagem dos Arcos de Armazenagem da Rede Correspondente ao Subsistema de 1977, com os Fluxos de Milho U(i,j) Determinados Pela Solução Ótima.

Número do Arco	NÓ (i)	NÓ (j)	Custo C(i,j)	Capacidade de Secagem Disponível S(i,j)	Capacidade de Secagem Mínima l(i,j)	Zona de Tráfego	Período	Capacidade de Secagem Utilizada U(i,j)	CBAR
408	75	133	0.0	29215.0	0.0	01	II	29215.0	-37.0
410	77	136	0.0	26013.0	0.0	02	II	2000.0	0.0
412	79	139	23.4	5319.0	0.0	03	II	0.0	0.0
414	81	142	0.0	10146.0	0.0	04	II	10146.0	-45.5
416	83	145	0.0	28978.0	0.0	05	II	28978.0	-48.4
418	85	148	23.4	0.0	0.0	06	II	0.0	-342.3
420	87	151	23.4	4951.0	0.0	07	II	0.0	0.0
422	89	154	23.4	0.0	0.0	08	II	0.0	-337.9
424	91	157	0.0	4949.0	0.0	09	II	4940.0	13.6
426	93	160	23.4	56974.0	0.0	10	II	0.0	0.0
428	95	163	23.4	29952.0	0.0	11	II	23492.0	0.0
430	97	166	23.4	20248.0	0.0	12	II	8854.0	0.0
432	99	169	0.0	2473.0	0.0	13	II	2473.0	-13.7
434	101	172	23.4	1428.0	0.0	14	II	1428.0	-13.8
436	103	175	0.0	20411.0	0.0	15	II	2000.0	0.0
438	105	178	23.4	0.0	0.0	16	II	0.0	-375.8
440	107	181	23.4	6534.0	0.0	17	II	0.0	0.0
442	109	184	0.0	475123.0	0.0	18	II	348885.0	0.0
444	111	187	23.4	151531.0	0.0	19	II	161681.0	-48.3
446	113	190	23.4	0.0	0.0	20	II	0.0	-369.3
448	115	193	23.4	17264.0	0.0	21	II	8704.0	0.0
450	117	196	23.4	0.0	0.0	22	II	0.0	23.4
452	119	199	23.4	41515.0	0.0	23	II	0.0	0.0
454	121	202	23.4	13750.0	0.0	24	II	0.0	0.0
456	123	205	23.4	7028.0	0.0	25	II	7028.0	-14.7
458	125	208	23.4	67938.0	0.0	26	II	4098.0	0.0
460	127	211	23.4	2581.0	0.0	27	II	2581.0	-13.6
462	129	214	23.4	41775.0	0.0	28	II	0.0	0.0

Tabela 3  
 Expansão das Capacidades de Secagem de Algumas Zonas de Tráfego, Indicadas Através de Simulações para Solucionar Estrangulamentos nos Secadores, em 1980.

Zona de Tráfego	Capacidade de Secagem em 1977 + Expansões Previstas para 1980 (t)	Capacidade de Secagem Projetada* para 1980	Expansão da Capacidade de Secagem Indicada para 1980 (t)
01	82750.0	82750.0	0.0
02	8750.0	26285.0	17345.0
03	6000.0	15960.0	9960.0
04	107250.0	107250.0	0.0
05	38500.0	77100.0	38600.0
06	0.0	0.0	0.0
07	2000.0	2000.0	0.0
08	0.0	0.0	0.0
09	8500.0	8500.0	0.0
10	69167.0	69167.0	0.0
11	16250.0	16250.0	0.0
12	10500.0	10500.0	0.0
13	5500.0	11856.0	6356.0
14	0.0	1428.0	1428.0
15	20000.0	24913.0	4913.0
16	0.0	0.0	0.0
17	1500.0	7608.0	6106.0
18	171062.0	171062.0	0.0
19	92749.0	92749.0	0.0
20	14125.0	14125.0	0.0
21	6000.0	6000.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0
23	33750.0	33750.0	0.0
24	9250.0	9250.0	0.0
25	7000.0	7000.0	0.0
26	3000.0	3000.0	0.0
27	5500.0	6867.0	0.0
28	0.0	745.0	745.0

\* A capacidade de secagem foi compatibilizada com a capacidade de armazenagem atual, acrescida de novos armazéns previstos para 1980.

Tabela 4

Expansão das Capacidades de Armazenagem de Algumas Zonas de Tráfego, Indicadas Através de Simulações para Solucionar Estrangulamentos nos Armazéns, em 1980.

Zona de Tráfego	Capacidade de Armazenagem em 1977 + Expansões Previstas para 1980 (t)	Capacidade de Armazenagem Projetada para 1980	Expansão da Capacidade de Armazenagem Indicada para 1980 (t)
01	145122.0	145122.0	0.0
02	26285.0	28285.0	2000.0
03	15960.0	15960.0	0.0
04	156626.0	156626.0	0.0
05	79864.0	79864.0	0.0
06	0.0	4981.0	4981.0
07	4951.0	4951.0	0.0
08	0.0	0.0	0.0
09	13440.0	13440.0	0.0
10	94700.0	94700.0	0.0
11	57706.0	57706.0	0.0
12	21095.0	21905.0	0.0
13	11856.0	11856.0	0.0
14	1428.0	1428.0	0.0
15	40411.0	40411.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0
17	9534.0	9534.0	0.0
18	56957.3.0	56957.3.0	0.0
19	247045.0	247045.0	0.0
20	23934.0	23934.0	0.0
21	17346.0	17346.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0
23	63809.0	63809.0	0.0
24	13750.0	13750.0	0.0
25	15725.0	15725.0	0.0
26	67938.0	67938.0	0.0
27	13224.0	23175.0	9951.0
28	41775.0	41775.0	0.0

Tabela 5  
Análise da Sensibilidade do Modelo de Escamento de Arroz e/ou Milho, para 1977 e 1980

N.º	Ano	Caracterização	Corrida	Escamento	Saldo Comercializável (t)	Custo Total (Cr\$)	Custo Médio (Cr\$/t)
1	1977	Subsistema atual	C.1	arroz	787.997	97.346.938,40	123,54
2	1977	Subsistema atual (considera solução de C.1)	C.2	arroz e milho	646.503	163.271.590,30	253,00
3	1980	Subsistema atual + expansões previstas	C.3	arroz	837.442	104.839.331,80	125,19
4	1980	Subsistema atual + expansões previstas (considera solução de C.3)	C.4	arroz e milho	918.052	241.181.353,80	262,71
5	1980	Rede 4 + expansão da capacidade de processamento de milho na zona de tráfego representada por Itumbiara (simulação)	C.5	arroz e milho	918.052	230.493.353,80	251,07
6	1980	Rede 3 + expansão das capacidades de secagem (simulação)	C.6	arroz	837.442	92.316.829,40	110,24
7	1980	Rede 6 com ajuste de expansão nas capacidades de secagem (simulação)	C.7	arroz	837.442	92.676.622,90	110,67
8	1980	Rede 7 (considera a solução de C.7)	C.8	arroz e milho	918.052	239.436.526,60	260,81
9	1980	Rede 7 + melhorias de trechos de estradas (simulação)	C.9	arroz	837.442	88.092.389,60	105,19
10	1980	Rede 9 (considera solução de C.9)	C.10	arroz e milho	918.052	239.296.327,30	260,66
11	1980	Rede 10 + implantação de uma indústria de processamento de milho em Palmeiras de Goiás	C.11	arroz e milho	918.052	236.610.521,50	256,64
12	1980	Rede 11 + expansão das capacidades de armazenagem de algumas zonas de tráfego	C.12	arroz e milho	918.052	235.347.984,40	256,64

## BIBLIOGRAFIA

- ABBOT, J. C. - Agricultural marketing boards in the developing countries. *Journal of Farms Economics*. Lexington, American Agricultural Economics Associations, 49(3):705-22, 1967.
- BALLOU, R.H. - Dynamic warehouse location analysis. *Journal of Marketing Research*. Chicago, American Marketing Association, 5:271-6, 1968.
- BARTELS, R. - Marketing. In: *Marketing theory and metatheory*. Homewood, Ill., Richard D. Irwin, 1970. chap. 12. p. 155-94.
- BAUER, P. T. & YAMEY, B.S. - The economics of marketing reform. *Journal of Political Economy*. Chicago, University of Chicago Press., 17(6): 210-35, 1972.
- COLLINS, N. R. & HOLTON, R.H. - Programming changes in marketing in planned economic development. *Kyklos*, Basel, Switz, Kyklos Verlag, 16(1): 123-36, 1963.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA, Goiânia. *Plano anual de produção e abastecimento*. Goiânia, 1977.
- COMPANHIA BRASILEIRA DE ARMAZENAMENTO, Brasília. *Cadastro nacional de armazenagem*. Brasília, 1978.
- CONVERSE, P. D. - The other half of marketing. In: *SEELYE, A.L. Marketing transition*. New York, Harper & Row. 1958. p. 14.
- COSTA, E. A.- *Otimização hierárquica da operação de uma rede de escoamento*. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1978. 36p.
- COYLE, J. J. & BARDI, E.- *The management of business logistics*, New York, West Publishing., 1976.
- CYRILLO, D.C.- *O transporte de produtos agrícolas do Vale da Ribeira: seus efeitos sobre a renda de pequenos produtores*. São Paulo, USP, 1977. 78p.
- DAEMON, D. et alii - Localização espacial de projetos específicos e sua compatibilização com a estrutura existente. In. *Comércio Interno*. Porto Alegre, Globo, 1970. cap. 7. p. 93-128.
- DANTZIG, G.B. - *Linear programming and extensions*. New Jersey, Princeton University Press, 1963.
- DELGADO, G. C.- *Uma metodologia para determinação de preços mínimos*. Brasília, Comissão de Financiamento da Produção, 1978. 92p.
- EASTER, K.W.; ABEL, M.E.; NORTON G.- Regional differences in agricultural productivity in selected areas of India. *American Journal of Agricultural Economics*, Lexington, American Agricultural Economics Association, 59(2): 257-65, May 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES, Brasília. *Plano operacional de transportes; arroz-fase I*. Brasília, 1977.
- \_\_\_\_\_ *Plano diretor ferroviário da Região Centro-Oeste*. Brasília, 1977. 3v. il.

- \_\_\_\_\_ *Plano operacional de transportes; milho - fase I.* Brasília, 1977. minuta.
- \_\_\_\_\_ *Zonas de tráfego.* Brasília, s.d., 23 p.
- \_\_\_\_\_ *Plano diretor rodoviário do Centro-Oeste.* Brasília, 1973.
- FULKERSON, R.R.**- An out-of-kilter method for minimal-cost flow problems. *Society Industrial and Applied Mathematics. Journal*, Philadelphia, SIAM, 9(1): 18-27, 1961.
- FULLER, S.W.; RANDOLFH, P; KLINGMAN, D.**- Optimizing sub-industry marketing organizations: a network analysis approach. *American Journal Agricultural Economics.* Lexington American Agricultural Economics Association, 58(3): 425-36, 1972.
- IBGE** - *Levantamento sistemático da produção agrícola.* Rio de Janeiro, s.d.
- HESELMARK, O. & LORENZL, G.** - Structure and problems of the maize marketing system in Kenya. *Zeitschrift fuer auslaendische Landwirtschaft*, Frankfurt, Deutsche Landwirtschaft -Gesellschaft-Verlags GmbH, 15(2): 161-79, 1976.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA DE SÃO PAULO** - *Prognóstico Região Centro-Sul 77-78.* São Paulo, 1977, p.200-9.
- KOHL, R.L & DOWNEY, W.D.** - Analysing marketing problems. In *Marketing of Agricultural Products.* New York, Macmillan, 1967. chap. 2, p.17-31.
- LADO, G.W. & LIFFERTH, D.R.** - An analysis of alternative grain distribution systems. *American Journal of Agricultural Economics.* Lexington, American Agricultural Economics Association, 57(3) :420-30, August 1975.
- LOGAN, S.H. & KING, G.A.**- Optimum location, number and size of processing plants with raw product and final product shipments. *Journal of Farm Economics.* Lexington, American Agricultural Economics Association, 46:94-108, 1964.
- MACHADO, E. C.** - *Instruções técnicas sobre armazenamento de grãos.* Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1977. p. 46-61.
- MELLOR, W. J.** - Marketing and marketing institutions. In: *The Economics of agricultural development.* Ithaca, Cornell University Press., 1966. chap. 18, p. 328-341.
- MONTEROSSO, C.D.** - *O algoritmo primal-dual out-of-kilter.* Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ. 1977, 28p.
- \_\_\_\_\_ Um método heurístico para a localização e dimensionamento de armazéns em sistemas de grande porte considerando economias de escala. Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, 1977, 142p. Tese (Mestrado defendida na COPPE/UFRJ).
- MOORE, J. R.**- The causes and consequences of major changes in the organization of agricultural marketing. *Journal of Farm Economics*, Lexington, American Agricultural Economics Association, 48(3): 148-59, 1966.
- NETTO, P. B.**- *Teoria dos grafos.* Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1977, cap. 10, p. 227-67.
- ORDEN, A.** - The transshipment problem. *Management Science*, Providence, Institute of Management Sciences, 3:276-85, 1958.
- PHILIPS, D.T. & JANSEN, P.A.** - *Network flow optimization with out-of-kilter algorithm; part I - theory*, Lafayette, Purdue University, s. d. (Research Memorandum 71-2).

- PRITCHARD, N. T.** - A framework for analysis of agricultural marketing systems in developing countries. *Agricultural Economics Research*, Washington, Economic Research Service, U.S. Dept. of Agriculture, 21(3): 78-85, 1979.
- REPÚBLICA ARGENTINA.** Junta Nacional de Granos - *Estudio de factibilidad para um plano nacional de almacenamiento y conservation de granos*. Buenos Aires, 1977. v.2, p. 155-6.
- RUDBECK, J. P.**- *Grain Production and marketing in Argentina*. Washington, U. S. Department of Agriculture, 1970, 49p.
- SHAW, A. W.**- Some problems of market distribution. In: **WALEs, Hugh.** ed. *Changing perspectives in marketing*. Urbana, The University of Illinois Press, 1951. p.32.
- SILVA, F.C.**- *Função de custo de transporte de frutas ao mercado de Brasília*. Viçosa, U.F.V., 1974, 74p. Tese (Mestrado).
- SPRIGGS, J.**- Benefit-cost analysis of surfaced roads in the eastern rice region of India. *American Journal of Agricultural Economics*, Lexington, American Agricultural Economics Association, 59(2):375-9, May 1977.
- WRIGHT, C.L.** - *The economics of grain transportation and storage: a brasilian case study*. Ohio, The Ohio State University, 1977, 236p. Tese (Doutorado).
- VELOSO, R.F.**- *Análise logística da distribuição física de grãos no Estado de Goiás*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1979, 95p. Tese (Mestrado defendida na COPPE/UFRJ).