

---

---

## OTIMIZAÇÃO NA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS DE UMA AGROINDÚSTRIA PARANAENSE

---

---

MARIA DA PIEDADE ARAÚJO<sup>1</sup>  
JOSÉ VICENTE CAIXETA-FILHO<sup>2</sup>  
RICARDO S. MARTINS<sup>3</sup>  
ARI SCHERER<sup>4</sup>

### RESUMO

A principal proposta do presente trabalho foi a partir de um modelo matemático, utilizando uma estrutura de programação linear, avaliar a distribuição ótima dos suprimentos dos insumos milho e soja de uma empresa do agronegócio paranaense, com projeção nacional e internacional, com avaliação da viabilidade estratégica de implantação de um armazém de passagem na cidade de Dourados/MS. A determinação da distribuição ótima baseou-se nos fretes rodoviários de aquisição da soja e do milho, bem como do preço destes produtos, sendo que a variável de decisão foi a quantidade adquirida de cada insumo. Foram avaliados três cenários e os resultados apontaram para a não implantação do armazém de passagem em Dourados, o que a princípio poderia parecer viável. Nos dois cenários relevantes (1 e 3), o modelo fez um balanceamento entre o valor do frete e dos produtos, posto que na safra o preço do cereal está em baixa e o frete em alta e na entressafra, acontece o oposto, revelando o peso do frete no custo total de aquisição e transporte de tais insumos. O modelo apontou para uma redução de custo total da ordem de 10% em relação à realidade da empresa para o ano de 2002.

**Palavras-chave:** logística de suprimentos, programação linear, economia do agronegócios

### 1 - INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola para a região Centro-Oeste do Brasil, principalmente a produção de milho e soja, tem possibilitado ao país aumentos constantes na produção e ao mesmo tempo, aberto um leque maior de opções aos demandantes de tais produtos.

Para a indústria processadora de soja e milho, e de maneira particular, para as agroindústrias de suínos e aves, que têm estes produtos como os dois principais componentes na formulação de rações, se vêem diante da decisão de comprar tais insumos cada vez mais distante da unidade de processamento, ou instalar plantas industriais próximas às fontes de matérias-primas. O deslocamento de uma planta industrial ou expansão para outra localidade não é uma decisão trivial; o custo de transporte entra como um fator importante na opção de compra de tais insumos, bem como na decisão por uma nova planta.

---

<sup>1</sup> Unioeste/Campus de Toledo, Cx. Postal 520 – Toledo PR 85.900-970 [mparaujo@esalq.usp.br](mailto:mparaujo@esalq.usp.br)

<sup>2</sup> Esalq/USP – DEAS, Cx. Postal 9 – Piracicaba SP 13418-900 [jvcaixet@esalq.usp.br](mailto:jvcaixet@esalq.usp.br)

<sup>3</sup> Unioeste/Campus de Toledo, Cx. Postal 520 – Toledo PR 85.900-970 [ricleimartins@uol.com.br](mailto:ricleimartins@uol.com.br)

<sup>4</sup> Unioeste/Campus de Toledo, Cx. Postal 520 – Toledo PR 85.900-970 [arischerer@uol.com.br](mailto:arischerer@uol.com.br)

Partindo da realidade vivenciada por uma empresa com as características descritas, que tem uma unidade em Toledo (PR), utilizando dados efetivos para o ano de 2002 no que diz respeito às compras de milho e soja para abastecimento da fábrica de ração, o presente estudo se propõe a apresentar um modelo matemático de otimização, com base na teoria da localização, com o objetivo de minimizar o custo de aquisição e transporte de tais produtos.

Além desta breve introdução, o trabalho apresenta ainda um tópico com a definição do problema e um outro com um breve panorama do que é A Empresa na cidade de Toledo/PR. No item 3 tem-se uma breve apresentação da teoria da localização; no item 4, material e método, com a definição do modelo matemático e dados; no item 5 a análise do resultados e no item 6 algumas considerações finais.

## 1.1 O problema

No ano de 2002, A Empresa/ Unidade de Toledo, adquiriu milho de 48 municípios pulverizados nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná. A compra de soja foi feita em 30 municípios dos mesmos Estados, excluindo Goiás, conforme tabela 1.

Tabela 1- Compras efetuadas pela Empresa – unidade de Toledo, milho e soja, por estado e município em tonelada – 2002.

Milho			Soja		
Estado	Município	tonelada	Estado	Município	tonelada
GO	Anápolis	2587.5	MS	Caarapo	34917.5
GO	Mineiros	39150	MS	Dourados	82687.5
GO	Quirinópolis	14689	MS	Eldorado	2428
MS	Amambai	2500	MS	Laguna Caarapã	25080
MS	Dourados	65700	MS	Maracaju	71415
MS	Eldorado	3828.25	MS	Ponta Porã	63250
MS	Laguna Caarapa	10502.25	MT	Cuiabá	10000
MS	Mundo Novo	756.25	MT	Rondonópolis	31500
MS	Navirai	5296.25	MT	Sorriso	317362.5
MS	Ponta Porã	40425	PR	Assis Chateaubriand	51077.5
MS	Rio Brilhante	26475	PR	Campina da Lagoa	17298.75
MT	Cuiabá	279	PR	Cascavel	53845
PR	Altonia	3125	PR	Catanduvas	5775
PR	Assis Chateaubriand	32100	PR	Entre Rios do Oeste	3760
PR	Cafelândia	18381.25	PR	Goioere	16195.75
PR	Campina da Lagoa	11740	PR	Guaíra	14150
PR	Campo Mourão	17143.75	PR	Iporã	3100
PR	Cascavel	44387.75	PR	Mal. Cândido Rondon	18406.5
PR	Catanduvas	20700	PR	Medianeira	7000
PR	Entre Rios do Oeste	4865	PR	Mercedes	4960
PR	Francisco Alves	2275	PR	Nova Sta. Rosa	9880
PR	Goioere	10477.5	PR	Ouro Verde do Oeste	7200
PR	Guaíra	15260	PR	Palotina	33362.5
PR	Guaraniaçu	13987.5	PR	Santa Helena	18257
PR	Guarapuava	53137.5	PR	São José das Palmeiras	1275
PR	Iporã	3312.5	PR	São Pedro do Iguçu	9565.5
PR	Iretama	4158	PR	Terra Roxa	22118.75
PR	Mal. Cândido Rondon	28750	PR	Toledo	54438.75
PR	Mamboré	22437.5	PR	Três Barras Paraná	3210.25
PR	Medianeira	8312.5	PR	Tupãssi	18630
PR	Missal	14525			
PR	Nova Aurora	17848.5			
PR	Nova Sta. Rosa	9230			
PR	Ouro Verde do Oeste	4812.5			

PR	Palotina	38800
PR	Pato Branco	21543.75
PR	Peabiru	9075
PR	Quarto Centenário	11852.5
PR	Roncador	10725
PR	Santa Helena	18812.5
PR	São José das Palmeiras	2500
PR	São Pedro do Iguaçu	5650
PR	Terra Roxa	19540
PR	Toledo	24750
PR	Três Barras Paraná	20250
PR	Tupãssi	15712.5
PR	Ubiratã	26350
PR	Umuarama	3738

Fonte: dados cedidos pela Empresa – enviados por e-mail em 25/04/2003.

Levando-se em consideração que milho e soja são produtos sem valor agregado e conseqüentemente, com baixo valor relativo, o preço do frete tem uma participação considerável no preço final do produto; para o caso do milho pode chegar a 30% e para a soja em torno de 10%. É importante frisar também, que é no período de safra que se dá a maior movimentação dos grãos, o que invariavelmente faz elevar o frete para o transporte de tais produtos. Cabe salientar, que a grande deficiência na capacidade de armazenamento nas propriedades, faz com que a maioria dos produtores escoe sua produção à medida que colhem. Por outro lado, é no período de safra que o preço dos produtos encontram-se mais baixos, devido à maior oferta, tornando-se o momento ideal para aquisição pelas agroindústrias. Além disso, a fábrica de ração precisa ser abastecida durante todo o ano para suprimento da produção de suínos e aves. Diante disso, a empresa precisa realizar de forma eficiente as suas compras, ponderando o custo que terá com o frete, o melhor preço do produto e a quantidade a ser comprada.

Considerando que do total adquirido de milho pela empresa em questão, no ano de 2002, 54,22% originaram-se da região Centro-Oeste e destes, 78% do município de Dourados no Mato Grosso do Sul e que para a soja, 50,7% também foram adquiridos no Centro-Oeste, sendo Dourados responsável por 68,17% e diante do fato das compras terem sido pulverizadas em muitos municípios, o principal objetivo do presente trabalho é verificar através de um modelo matemático de minimização, a viabilidade da Empresa instalar um armazém de passagem na cidade de Dourados e avaliar a pulverização das compras no custo total de aquisição e transporte para os produtos milho e soja. Dourados dista de Toledo 539km e o frete médio praticado na safra foi de R\$41,10/t e na entressafra de R\$37,27.

## 1.2 A Empresa – Unidade de Toledo

A Empresa está instalada na cidade desde 1965. Atualmente possui 4.705 funcionários diretos, 417 empregos diretos com os serviços terceirizados, trabalha com 82 transportadoras de ração para aves e suínos e 350 transportadoras para carga frigorificada. Produz aproximadamente 20 mil empregos indiretos. Trabalha com 928 produtores integrados de aves e 1.601 de suínos, abrangendo 79 municípios.

A unidade tem instalada uma fábrica de ração com capacidade de produção de 80.000t/mês, necessitando para isto em torno de 56.000t de milho e 25.974t de soja. Possui um armazém para soja com capacidade estática de 30.000t e um para milho com capacidade para 81.000t. Com esta capacidade de processamento, há uma necessidade anual de 672.000t de milho e 311.688t de soja. Para abastecimento da fábrica, há uma necessidade de girar em torno de 6,5 vezes a capacidade do armazém de milho e 6,7 o de soja.

A fábrica de ração objetiva abastecer a produção de aves e suínos. A Empresa possui um abatedouro de suínos com capacidade de abater diariamente 7.500 cabeças de suínos, produzindo em torno de 15.500t/mês. O abatedouro de aves tem capacidade para abater 380.000 aves/dia, produzindo em torno de 12.000t/mês. Além disso, possui uma fábrica de industrializados que produz em média 3.300t/mês (empanados: 900t e presuntaria 2.400t). Possui também uma unidade esmagadora de soja para extração de óleo com capacidade mensal de 23.400t/mês.

Após esta breve apresentação da Empresa, passa-se ao modelo matemático proposto e fonte dos dados.

## **2 – MODELOS DE LOCALIZAÇÃO: UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA**

A base teórica do presente trabalho é a teoria da localização. Antes de se adentrar nesta teoria e nas suas aplicações, faz-se importante enfatizar que a escolha ótima no momento da compra de cereais por parte da Empresa, traz implícita a importante questão da otimização logística. De acordo com Ballou (2001, p.21) “a missão da logística é dispor a mercadoria ou o serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo que fornece a maior contribuição à empresa.” É neste sentido que a teoria da localização trás uma grande contribuição à fase de planejamento de qualquer empresa, que a partir de modelos matemáticos de otimização, podem decidir com mais segurança sobre variáveis que não são o fim, mas o meio necessário para se alcançar o objetivo final da empresa.

De acordo com Lopes (1997) o trabalho pioneiro sobre teoria da localização foi o do alemão Alfred Weber em 1909. Para ele a localização industrial era determinada por meio de forças de atração, que eram representadas principalmente pelo custo de transporte, além do custo de mão-de-obra e das forças de aglomeração e desaglomeração e, por meio do equilíbrio de tais forças se determinava a localização da atividade industrial.

Segundo Ramos & Caixeta-Filho (2002), no modelo de Weber, o ponto de mínimo custo de transporte era obtido por meio do triângulo locacional, constituído pelas forças atrativas; um mercado consumidor e duas fontes de matéria-prima. O ponto de mínimo custo de transporte dava então a primeira aproximação para a decisão de localização, que somada às informações de mão-de-obra e forças aglomerativas, poderiam levar ao deslocamento de uma firma de um local para outra entre regiões distintas.

Lopes (1997) salienta que, por trabalhar apenas com duas fontes de matéria-prima e uma região de demanda, o modelo de Weber dava conta apenas de problemas simples. Com o advento da programação linear, na década de 1940, em especial o modelo de transporte, pôde-se visualizar situações mais complexas. De acordo com Caixeta-Filho (2001), as técnicas de programação matemática, em particular a programação linear, é que deu suporte às tomadas de decisões que envolviam a distribuição ótima de tropas em diferentes frentes de batalha aos Aliados da Segunda Grande Guerra. Apesar de ter se iniciado no campo militar, a programação linear bem como, mais recentemente a programação inteira mista, é hoje utilizada para uma infinidade de aplicações.

De acordo com Lopes (1997), a teoria da localização, no que respeita à programação, pode ser vista como uma variação do modelo de transporte, que juntamente com a programação inteira, torna-se um ferramental bastante útil para a determinação da localização ótima. Neste sentido, vários são os trabalhos que fizeram uso desta ferramenta com o objetivo de determinar a localização ótima. A seguir são apresentados apenas alguns diretamente relacionados ao presente trabalho.

Canziani (1991) estudou a localização de fábricas de suco de laranja no Estado do Paraná, tendo como objetivo a minimização dos custos de colheita, reunião da produção, de processamento e de distribuição do produto final. Lopes (1997), utilizou-se de um modelo de otimização com programação mista com o objetivo de identificar a melhor distribuição espacial da suinocultura e abatedouros no Estado de Goiás, bem como determinar quais seriam as regiões mais indicadas para abastecimento da matéria-prima para ração, buscando minimizar os custos de transporte e de aquisição de insumos.

Ramos (2001) fez uma avaliação da localização ótima de *packing-houses* no Estado de São Paulo, para o caso da laranja de mesa, utilizando um modelo de programação inteira mista, destacando a utilização dos modelos de localização como importante ferramenta para a decisão empresarial.

### 3 - MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 O Modelo

Antes de apresentar o modelo matemático, pode-se visualizar o problema proposto de forma esquemática a partir da figura 1.

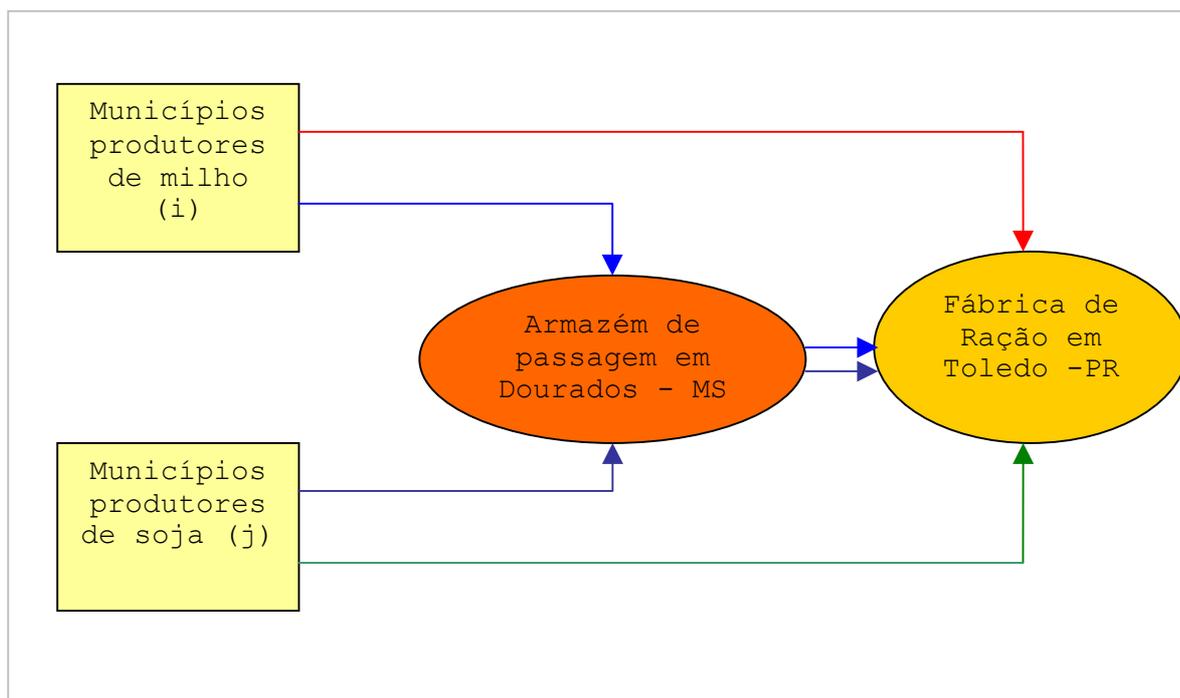


Figura 1- Problema proposto de forma esquemática.

A figura 1 mostra que A Empresa poderia comprar os insumos diretamente dos municípios para abastecimento da fábrica de ração, ou armazenar parte do produto em Dourados, para posterior utilização. A partir desta estrutura formulou-se o modelo matemático.

O modelo adotado neste trabalho envolve uma estrutura de programação linear, referindo-se à minimização de uma função objetivo. Nesta função tem-se o custo de aquisição que envolve o preço no Balcão para soja e milho, por Estado de origem, mais o custo de transporte, aqui considerado como o valor do frete, com origem nos municípios  $i$  e  $j$ , com destino à fábrica de ração na cidade de Toledo. Se o modelo direcionar para a instalação do armazém em Dourados, tem-se embutido no custo do frete de Dourados a Toledo o custo de armazenagem. A variável de decisão do modelo é a quantidade a ser adquirida em origens e períodos distintos. O objetivo da utilização deste modelo é a distribuição ótima das compras efetuadas pela Empresa. A determinação da distribuição ótima baseou-se nos fretes rodoviários de aquisição da soja e do milho, bem como do preço destes produtos.

A seguir apresentam-se as especificações das equações e inequações do modelo proposto.

*Função Objetivo:*

MIN

$$CT = \left[ \sum_{i=1}^{48} A1_i * CA1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} A2_i * CA2_i \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} B1_j * CA3_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} B2_j * CA4_j \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C1_i * CA5_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C2_i * CA6_i \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D1_j * CA7_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D2_j * CA8_j \right] + [E1 * FR1] + [E2 * FR2] + [F1 * FR3] + [F2 * FR4]$$

Em que:

CT = função custo total de aquisição e entrega até Toledo ;

i = número de municípios ofertantes de milho nos quais A Empresa efetuou compra em 2002, i varia de 1 a 48;

j= número de municípios ofertantes de soja nos quais a Empresa efetuou compra em 2002, j varia de 1 a 30;

$A1_i$  = quantidade movimentada da origem i, em tonelada, para o possível armazém em Dourados, o produto milho, no período de safra;

$CA1_i$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município i para o possível armazém em Dourados, o produto milho, no período de safra;

$A2_i$  = quantidade movimentada da origem i, em tonelada, para o possível armazém em Dourados, o produto milho, no período de entressafra;

$CA2_i$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município i para o possível armazém em Dourados, o produto milho, no período de entressafra;

$B1_j$  = quantidade movimentada da origem j, em tonelada, para o possível armazém em Dourados, o produto soja, no período de safra;

$CA3_j$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município j para o possível armazém em Dourados, o produto soja, no período de safra;

$B2_j$  = quantidade movimentada da origem j, em tonelada, para o possível armazém em Dourados, o produto soja, no período de entressafra;

$CA4_j$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município j para o possível armazém em Dourados, o produto soja, no período de entressafra;

$C1_i$  = quantidade movimentada da origem i, em tonelada, para a fábrica em Toledo, o produto milho, no período de safra;

$CA5_i$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município i para a fábrica em Toledo, o produto milho, no período de safra;

$C2_i$  = quantidade movimentada da origem i, em tonelada, para a fábrica em Toledo, o produto milho, no período de entressafra;

$CA6_i$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município i para a fábrica em Toledo, o produto milho, no período de entressafra;

$D1_j$  = quantidade movimentada do município j para a fábrica em Toledo, o produto soja, no período de safra;

$CA7_j$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município j para a fábrica em Toledo, o produto soja, no período de safra;

$D2_j$  = quantidade movimentada do município j para a fábrica em Toledo, o produto soja, no período de entressafra;

$CA8_j$  = custo de aquisição e transporte, por tonelada, do município j para a fábrica em Toledo, o produto soja, no período de entressafra;

$E1$  = quantidade movimentada, em tonelada, do possível armazém em Dourados para Toledo, o produto milho, no período de safra;

$FR1$  = frete mais custo de armazenagem, por tonelada, do possível armazém em Dourados até a fábrica em Toledo, o produto milho, na safra;

$E2$  = quantidade movimentada, em tonelada, do possível armazém em Dourados para Toledo, o produto milho, no período de entressafra;

$FR2$  = frete mais custo de armazenagem, por tonelada, do possível armazém em Dourados até a fábrica em Toledo, o produto milho, na entressafra;

$F1$  = quantidade movimentada, em tonelada, do possível armazém em Dourados para Toledo, o produto soja, no período de safra;

$FR3$  = frete mais custo de armazenagem, por tonelada, do possível armazém em Dourados até a fábrica em Toledo, o produto soja, na safra;

$F2$  = quantidade movimentada, em tonelada, do possível armazém em Dourados para Toledo, o produto soja, no período de entressafra;

$FR4$  = frete mais custo de armazenagem, por tonelada, do possível armazém em Dourados até a fábrica em Toledo, o produto soja, na entressafra;

*Restrições:*

a) Demanda da fábrica de ração pelo produto milho, em tonelada, no período de safra;

$$\left[ \sum_{i=1}^{48} A1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C1_i \right] = 280000 \quad (1)$$

b) Demanda da fábrica de ração pelo produto milho, em tonelada, no período de entressafra;

$$\left[ \sum_{i=1}^{48} A2_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C2_i \right] = 392000 \quad (2)$$

c) Demanda da fábrica de ração pelo produto soja, em tonelada, no período de safra;

$$\left[ \sum_{j=1}^{30} B1_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D1_j \right] = 131688 \quad (3)$$

d) Demanda da fábrica de ração pelo produto soja, em tonelada, no período de entressafra;

$$\left[ \sum_{j=1}^{30} B2_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D2_j \right] = 180000 \quad (4)$$

e) A oferta do município  $i$ , para o produto milho, não pode exceder a sua própria produção;

$$\left[ \sum_{i=1}^{48} A1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} A2_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} C2_i \right] = PMM \quad (5)$$

em que,

$PMM$  = produção total de milho do município  $i$  no ano de 2001.

f) A oferta do município  $j$ , para o produto soja, não pode exceder a sua própria produção;

$$\left[ \sum_{j=1}^{30} B1_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} B2_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D1_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} D2_j \right] = PMS \quad (6)$$

em que,

$PMS$  = produção total de soja do município  $j$  no ano de 2001.

g) capacidade do possível armazém de Dourados para o produto milho, em tonelada;

$$\left[ \sum_{i=1}^{48} A1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} A2_i \right] \leq 42000 \quad (7)$$

h) capacidade do possível armazém de Dourados para o produto soja, em tonelada;

$$\left[ \sum_{j=1}^{30} B1_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} B2_j \right] \leq 42000 \quad (8)$$

i) a quantidade que entra no possível armazém de Dourados deve ser igual à que sai, para o produto milho;

$$\left[ \sum_{i=1}^{48} A1_i \right] + \left[ \sum_{i=1}^{48} A2_i \right] - [E1 + E2] = 0 \quad (9)$$

j) a quantidade que entra no possível armazém de Dourados deve ser igual à que sai, para o produto soja;

$$\left[ \sum_{j=1}^{30} B1_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^{30} B2_j \right] - [F1 + F2] = 0 \quad (10)$$

Para executar o modelo proposto foi utilizado o *software General Algebraic Modeling System (GAMS)* (BROOKE, *et al*, 1998). A programação encontra-se em anexo.

### 3.2 - Os dados

Os dados referentes às quantidades adquiridas pela Empresa são do ano de 2002 e foram apresentados na tabela 1. A planilha de fretes cedida pela Empresa refere-se ao frete contratado pela mesma. Dado que boa parte da compra de cereais no ano de 2002 foi efetuada com o produto posto no armazém da Empresa, ou seja, preço do produto embutido o frete, a mesma não teve condições de disponibilizar o efetivamente pago com o frete. Assim, optou-se por não utilizar nenhum valor de frete cedido pela Empresa e sim os calculados a partir de dados coletados junto ao SIFRECA<sup>5</sup> para o ano de 2002.

Deu-se o seguinte tratamento a estes fretes: selecionou-se todas as rotas com origem nos Estados de Goiás, Mato grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná, com destino ao Estado do Paraná, especificamente para soja e milho. Calculou-se o momento de transporte<sup>6</sup> médio nos meses de safra e entressafra e multiplicou-se o resultado de cada Estado específico às rotas e distâncias fornecidas pela Empresa. De acordo com as informações cedidas pelo setor de milho e soja do CEPEA<sup>7</sup> e também junto ao SIFRECA, foi considerado como período de safra para a soja os meses de março a maio e os demais meses como entressafra. Para o milho foi considerado como período de safra os meses de janeiro a maio e os demais como entressafra.

Os dados de produção municipal referem-se ao ano de 2001 e foram coletados junto ao IBGE, sistema SIDRA<sup>8</sup>. Cabe salientar, que foram utilizados dados de 2001 devido à indisponibilidade para o ano de 2002. É sabido, no entanto, que houve um aumento de produção em relação a 2001, mas acredita-se que isto não traria uma alteração substancial nos resultados.

Para o preço da soja e milho, também foram utilizadas as informações cedidas pelo setor de milho e soja do CEPEA. Foram utilizados os preços médios da safra e entressafra do estado produtor. O preço utilizado refere-se ao preço Balcão, devido ao fato da Empresa utilizar este preço no momento da compra de milho e soja.

Para o custo de armazenagem foram utilizados os resultados obtidos por REBECH(2002). No estudo feito pela autora, que objetivou avaliar a viabilidade dos investimentos em armazenagem de soja como uma decisão estratégica logística, partindo do princípio teórico de compensação de custos logísticos, o custo de armazenagem foi considerado como descrito na expressão 11. A autora utilizou dados fornecidos pela Cooperativa COMIGO, de Rio Verde(GO), para um armazém com capacidade estática de 42.000t.

$$CA = (CO * Q) + CAE \quad (11)$$

em que:

CA = custo de armazenamento;

CO = custo operacional (R\$3,30/t ano);

<sup>5</sup> SIFRECA: Sistema de informações de fretes, Universidade de São Paulo, Esalq/DEAES, contato pessoal em 16/06/2003.

<sup>6</sup> O momento de transporte é dado por: R\$/t.km.

<sup>7</sup> CEPEA: Centro de Pesquisa Aplicada em Economia e Administração – Esalq/USP. Contato com o Sr. Maurício em 16/06/2003.

<sup>8</sup> Site: [www.ibge.gov.br/sidra](http://www.ibge.gov.br/sidra).

$Q$  = quantidade armazenada em toneladas;

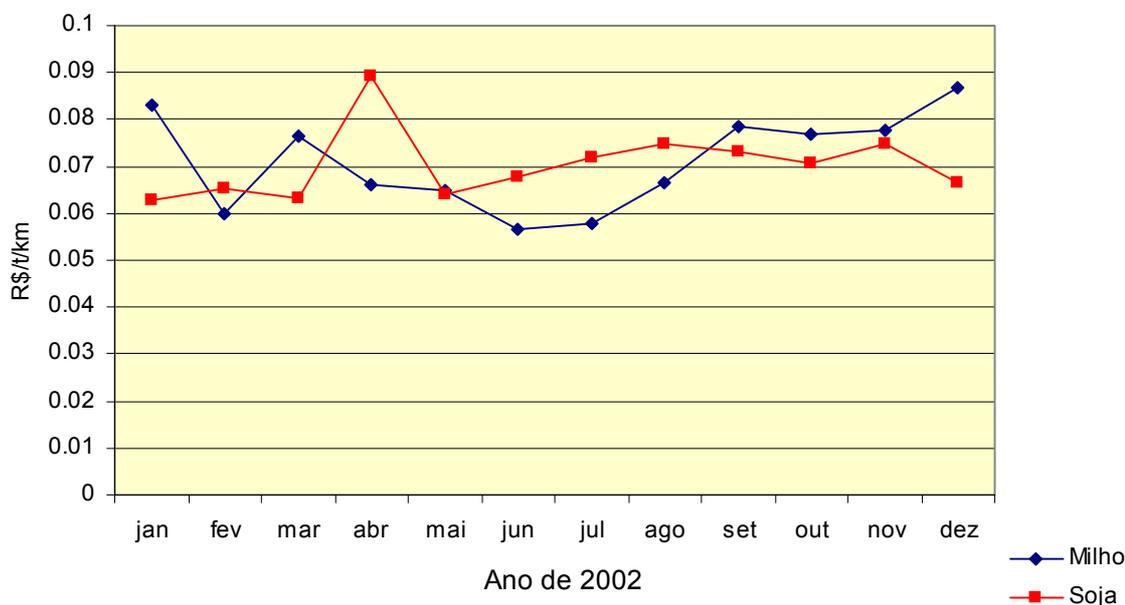
$CAE$  = custo anual equivalente do investimento (R\$335.066,00 a.a)

O custo de armazenagem totalizou R\$11,30/t, valor este que foi somado ao frete com origem em Dourados e destino a Toledo. Desta forma, espera-se que o modelo direcione quantidades a serem armazenadas em Dourados se o custo com o frete mais o preço do produto for maior do que o pago se a produção for armazenada temporariamente em Dourados. É importante salientar que o custo de armazenagem do milho pode diferir um pouco do da soja, mas o presente estudo o considerou como sendo igual.

Para a determinação da quantidade necessária na safra e entresafra para os produtos em questão, multiplicou-se a necessidade mensal da fábrica pelo número de meses de safra e entresafra para cada produto específico.

#### 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Antes de proceder à análise dos resultados obtidos a partir do modelo matemático, serão apresentados os preços dos produtos utilizados no trabalho, bem como o comportamento do frete, considerando o momento do transporte. A figura 2 mostra o comportamento do momento médio de transporte para milho e soja para o ano de 2002, medido a preços correntes.



Fonte: elaborado a partir de dados do SIFRECA.

Figura 2 – Momento médio do transporte com rotas originadas nos Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná com destino ao Paraná, para soja e milho – 2002.

Apesar do momento do transporte ser apresentado a preços correntes é possível verificar uma certa sazonalidade, principalmente para o produto soja, cujo mês de abril apresenta um pico considerável. Como dito anteriormente, boa parte da produção é escoada e comercializada no período de colheita.

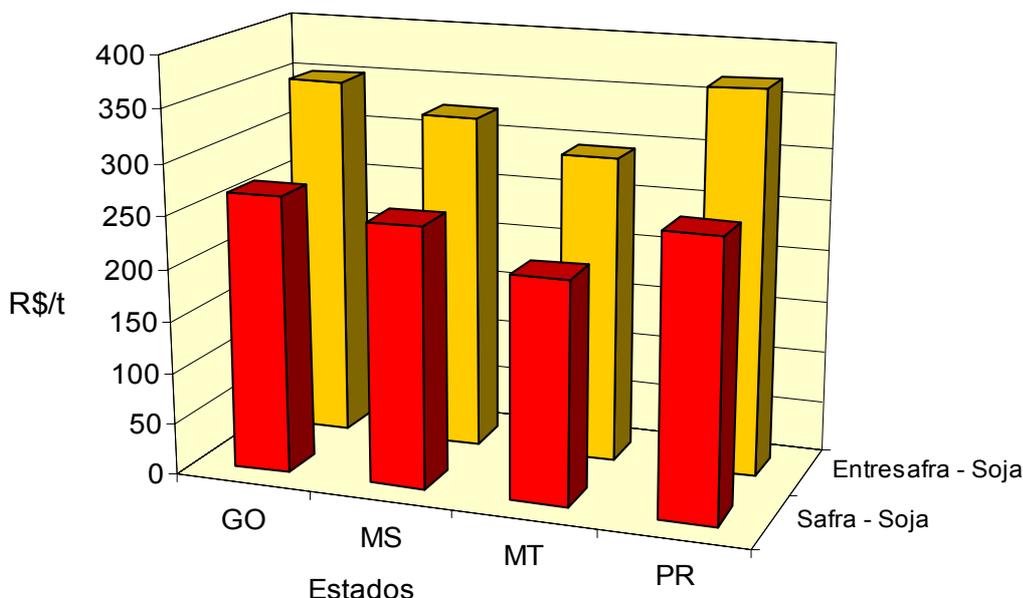
De acordo com Caixeta-Filho *et al* (2001), a grande demanda por serviços de transporte no escoamento da safra de soja provoca desestabilização no mercado de fretes, e isto advém da incapacidade da oferta de veículos satisfazer às necessidades da demanda. Ainda segundo os mesmos autores, o pico da safra de soja começa na segunda quinzena de março e vai até a segunda quinzena de abril; o que é corroborado pela figura 2. Devido à baixa capacidade de armazenamento de soja nas propriedades, grande parte da soja que é movimentada nos momentos de pico de safra se dá com a saída do produto das propriedades. Ou seja, os produtores escoam a produção quando o preço do produto está em queda e o frete em alta. No caso da Empresa, que compra milho e soja

para abastecer a fábrica de ração, talvez o maior limitante para a compra dos cereais no momento da safra seja a sua capacidade de armazenamento. Assim, grande parte dos cereais deve ser comprado de agentes que armazenaram o produto na safra para vendê-lo a um preço mais alto na entressafra.

Segundo Caixeta-Filho *et al* (2001), a cultura do milho é muito pulverizada pelo país, mas com predominância nos estados do Sul e Sudeste e no Estado de Goiás. Segundo eles, o pico da safra do milho coincide com o da soja, mas o milho “safrinha” é o responsável pela oferta na entressafra. Ainda de acordo com estes autores, a precariedade no armazenamento de milho, faz com que empresas privadas comprem grandes volumes durante a safra, armazenando o excedente. Para estes autores, diferentemente do que ocorre com a soja, os picos de escoamento de milho não chegam a causar impacto substancial na oferta do serviço de transporte. Como pode-se observar pela figura 2, para o ano de 2002, para as rotas selecionadas, o pico do momento de frete se deu no mês de março.

De forma oposta ao comportamento do frete tem-se o que ocorre com o preço dos cereais na safra e entressafra. Pela figura 3, pode-se observar o preço mais baixo praticado na safra e mais alto na entressafra para o produto soja.

Observa-se que na safra o preço mais alto é o praticado no Estado de Goiás, seguido pelo Paraná e um valor consideravelmente mais baixo no Mato Grosso. No período de entressafra os preços são visivelmente mais elevados, com destaque para o estado do Paraná, seguido por Goiás. O menor preço na entressafra foi observado no Estado do Mato Grosso.



Fonte: elaborado a partir de dados do CEPEA-setor de milho e soja.

Figura 3- Preço médio da soja na safra e entressafra para os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná – 2002.

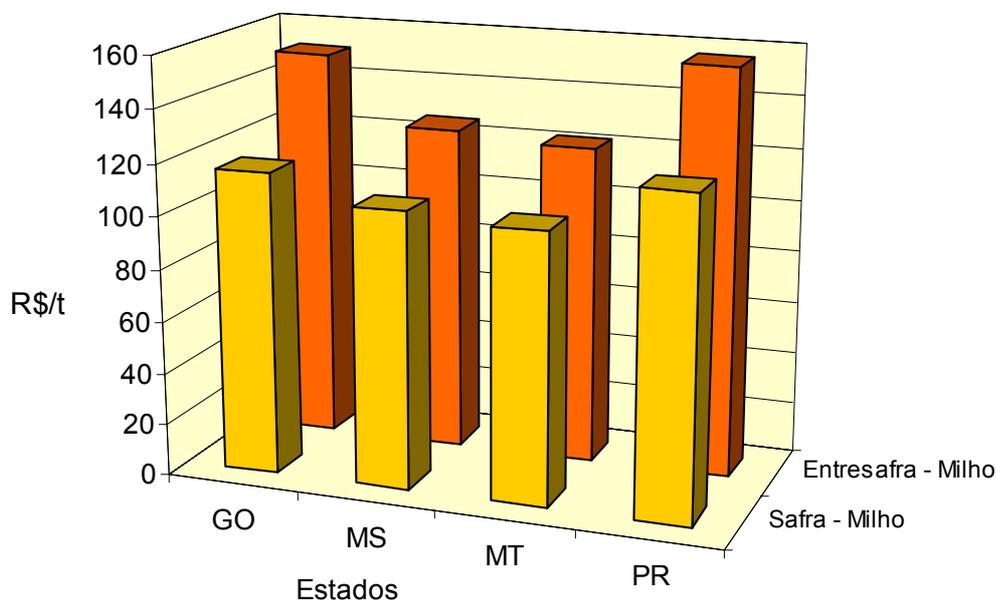
A figura 4 traz o preço médio para o milho. Na safra o preço mais alto foi o praticado no Estado do Paraná e o mais baixo no Estado do Mato Grosso. Na entressafra o preço no Paraná foi razoavelmente mais elevado e no Mato Grosso, um preço consideravelmente mais baixo.

A análise conjunta da variável preço do frete e preço dos cereais aponta para a real necessidade de um adequado planejamento quanto à decisão de compra. Volta-se aqui à questão de quanto, quando, como e onde comprar.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos com a modelagem. Foram avaliados três cenários. O cenário 1 impõe a restrição de capacidade ao possível armazém de passagem em Dourados; o cenário 2 relaxa esta restrição, partindo do pressuposto que a restrição imposta no cenário 1 restringia muito a capacidade do armazém dado as necessidades da Empresa, e no cenário

3, reduziu-se linearmente a oferta dos municípios em 75%. Tal procedimento foi adotado para se tentar aproximar um pouco mais da realidade, qual seja, a de que A Empresa encontra à sua disposição para compra uma quantidade consideravelmente menor do que a produção dos municípios.

As figuras 4 e 5 resumem o resultado do modelo para o cenário 1. Como pode-se observar, o armazém de Dourados não mostrou-se viável, pois nenhum fluxo foi direcionado para ele.



Fonte: elaborado a partir de dados do CEPEA-setor de milho e soja.

Figura 4- Preço médio do milho na safra e entressafra para os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná – 2002.

Isto pode ter ocorrido porque provavelmente o custo de armazenagem suplantou a economia que se teria em adquirir parte dos insumos na safra e transferi-lo para a fábrica na entressafra. Observa-se que dos 48 municípios dos quais A Empresa comprou milho em 2002, houve uma redução para 13. No período de safra as aquisições reduziram para cinco municípios, todos no Estado do Paraná e próximos à cidade de Toledo, incluindo a mesma.

A distância média entre os municípios selecionados e a sede da Empresa é de 28,4km. O preço médio do milho na safra praticado no Paraná foi de R\$121,60/t, enquanto no Mato Grosso do Sul foi de R\$106,03/t e em Goiás de R\$115,93/t. Isto pode estar indicando o peso do frete na aquisição do produto. Na entressafra, o quadro muda consideravelmente. Em relação ao número de municípios, a aquisição passa a ser em apenas nove. No entanto, houve um direcionamento para a oferta do Estado do Mato Grosso do Sul, tendo dentre os quatro estados o segundo preço mais baixo – R\$125,55/t; valor este 20% mais baixo do que o praticado no Paraná. A distância média das cidades selecionadas do Mato Grosso do Sul até Toledo é de 306km e das três cidades do Paraná selecionadas é de 44km. É interessante notar que o modelo esgotou a capacidade de oferta de sete dos oito municípios do Mato Grosso do Sul, não buscando fluxo de Rio Brillante, que dista de Toledo 605km. No entanto, não esgotou a capacidade de oferta da cidade de Cascavel que dista apenas 45km de Toledo. Neste caso, pode-se inferir que o diferencial de preço foi determinante no direcionamento do fluxo.

Neste cenário, no qual o limite para a possibilidade de compra da Empresa foi a produção total do município, dos 13 municípios selecionados, o modelo esgotou a capacidade de oferta de 11 deles; na safra direcionando para menores distâncias, mesmo optando pelo preço mais alto do

milho. Na entresafra praticamente esgotou a oferta do estado com o segundo menor preço, mesmo com distâncias maiores.

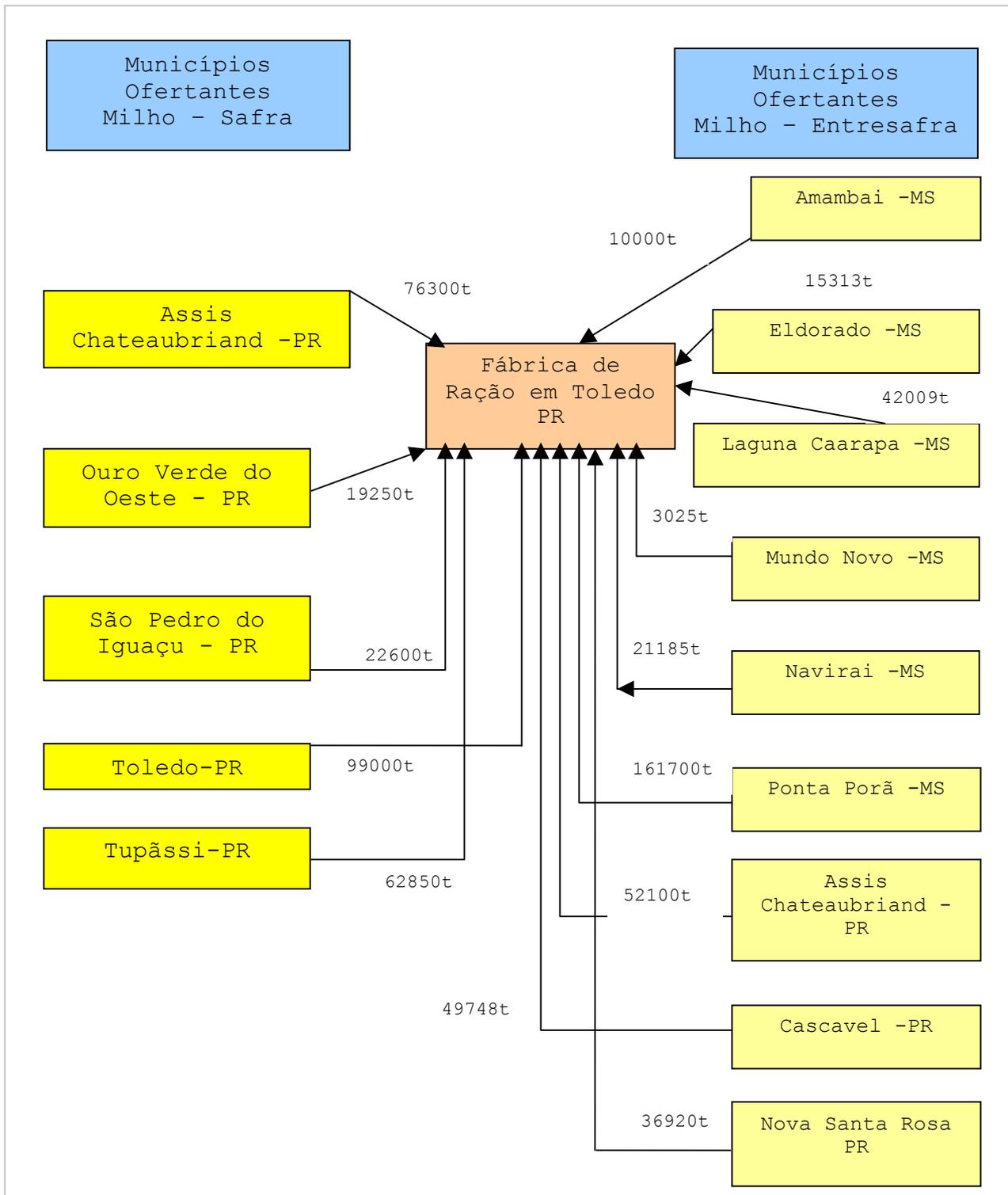


Figura 4- Resultado esquemático para o cenário 1, para milho na safra e entresafra.

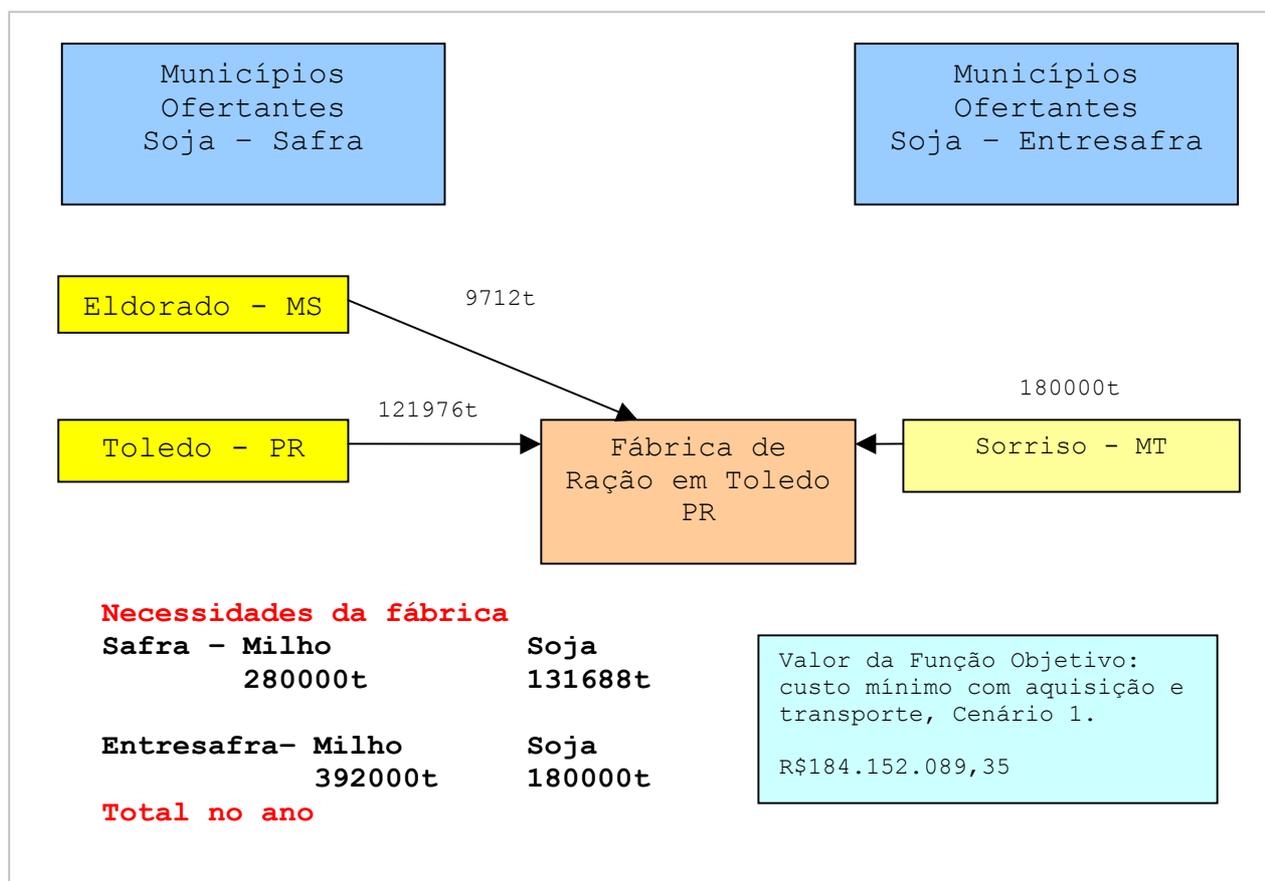


Figura 5- Resultado esquemático para o cenário 1, para soja na safra e entresafra e o valor da função objetivo.

No caso da soja, o quadro muda substancialmente, como pode-se observar na figura 5. Na safra, o modelo esgotou a produção da cidade de Toledo e buscou o restante para suprir a necessidade, na cidade de Eldorado no Mato Grosso do Sul, que dista de Toledo 173km. O preço médio da soja no Mato Grosso do Sul foi 5,6% mais baixo que o do Paraná. Na entresafra o fluxo foi direcionado apenas da cidade de Sorriso-MT, que dista de Toledo 1.750km. Para o caso da soja, dos 30 municípios nos quais A Empresa efetuou compra em 2002, o número reduziu para três. O preço da soja no Mato Grosso foi 20% mais baixo do que o do Paraná.

Para este cenário 1, o valor da função objetivo, que buscou minimizar o custo de aquisição e transporte foi de R\$184.152.089,35. Vale ressaltar, que este montante diz respeito à total utilização da capacidade da fábrica de ração, o que não vem ocorrendo. Ou seja, A Empresa tem trabalhado com subutilização da capacidade produtiva da fábrica de ração. Sem se ter condições de entrar no mérito da questão, pode-se inferir que são as oscilações do mercado de frango e de suínos que ditam o quanto se deve produzir de ração e, conseqüentemente, o quanto comprar de milho e soja. No ano de 2002, a Empresa consumiu 548.205t de milho, representando 81,58% da necessidade para uma total utilização da fábrica de ração. O consumo de soja foi de 237.527t, representando 76% da necessidade total. O total adquirido de milho foi 430.050t e de soja 200.851t; a diferença ela utilizou o que mantinha em estoque.

Aplicando os valores de frete e preço da soja e milho utilizados no modelo às rotas utilizadas pela Empresa, na hipótese de total utilização da capacidade da fábrica, chegou-se a um custo total de aquisição e transporte de R\$207.463.060,10; custo este 12,66% mais alto que o ótimo encontrado pelo modelo.

Para o cenário 2, não houve alteração dos resultados encontrados no cenário 1. Ou seja, não colocar a restrição de capacidade para o possível armazém em Dourados, não fez com que o modelo direcionasse algum fluxo para lá.

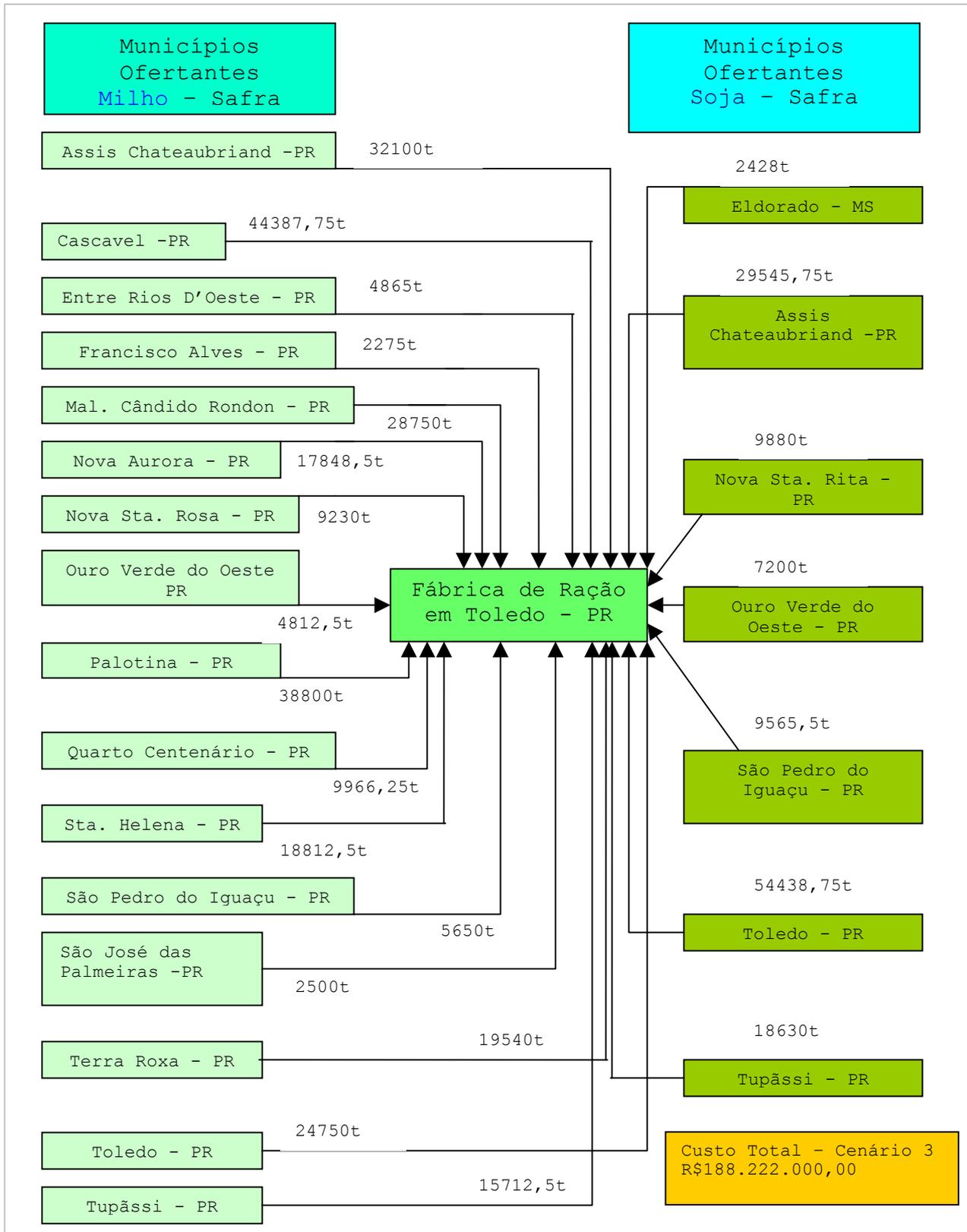


Figura 6- Resultado esquemático para o cenário 3, para milho e soja na safra e o valor da função objetivo.

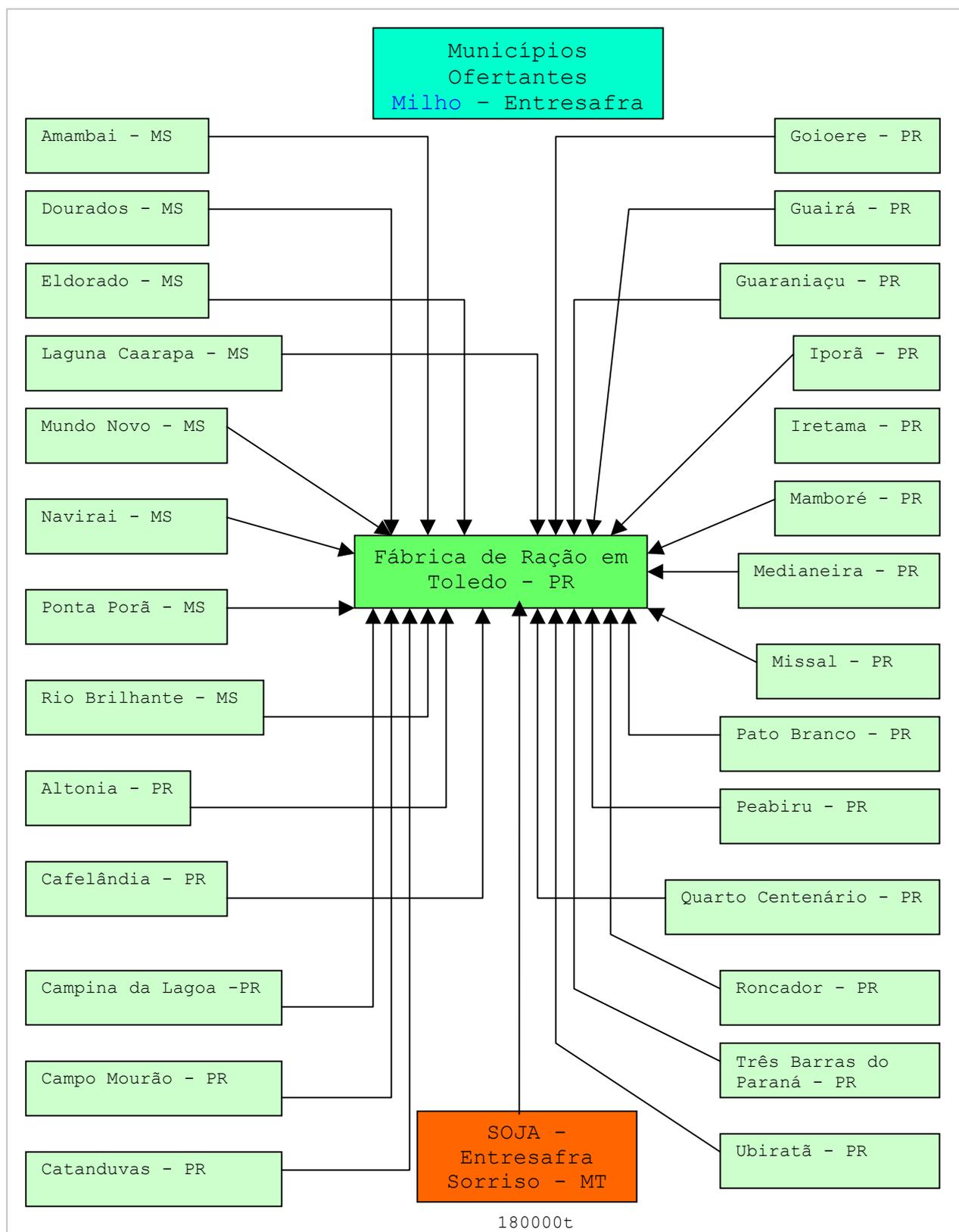


Figura 7- Resultado esquemático para o cenário 3, para milho e soja na entresafra.

As figuras 6 e 7 mostram de forma esquemática os resultados do modelo para o cenário 3, no qual a oferta de milho e soja foi reduzida em 75%.

Na figura 6 tem-se o resultado para milho e soja na safra. Como pode-se observar, o resultado muda consideravelmente. Para o caso do milho, o modelo continuou a direcionar as compras para municípios do Estado do Paraná e o número sobe de 5 para 16. No caso da soja, há uma redução na quantidade adquirida de Eldorado no Mato Grosso do Sul e acrescentou-se mais

seis municípios do Estado do Paraná. Para o período de entressafra a diversidade de municípios aumenta consideravelmente (27 municípios para milho), como pode ser observado pela figura 7. Neste cenário os oito municípios do Estado do Mato Grosso do Sul foram selecionados. Dos 21 municípios do Estado do Paraná, 19 foram selecionados. Para o caso da soja, o resultado não se altera, toda a demanda na entressafra foi suprida pelo município de Sorriso no Mato Grosso.

É interessante observar, que apesar do número de municípios ter aumentado consideravelmente em relação ao cenário 1, o valor da função objetivo elevou-se em apenas 2,21% passando para R\$188.222.000,00. Mesmo com este novo cenário, o valor encontrado ainda é razoavelmente menor do que o encontrado com os municípios utilizados pela Empresa; 10,22% mais baixo.

Um resultado que chama a atenção é o fato da cidade de Dourados-MS somente ter aparecido como uma opção viável no cenário 3, uma vez que no ano de 2002 este município foi responsável pela maior parte das aquisições da Empresa, tanto para milho quanto para soja.

## **5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A principal proposta do presente trabalho foi a partir de um modelo matemático, utilizando uma estrutura de programação linear, avaliar a distribuição ótima das compras efetuadas pela Empresa dos insumos milho e soja, incluindo a possibilidade de implantação de um armazém de passagem na cidade de Dourados/MS. A determinação da distribuição ótima baseou-se nos fretes rodoviários de aquisição da soja e do milho, bem como do preço destes produtos.

A análise foi feita para três cenários distintos e algumas considerações podem ser feitas. Inicialmente, o modelo apontou para a não implantação de um armazém de passagem na cidade de Dourados, o que a princípio poderia se mostrar viável, posto que esta cidade foi a maior ofertante da Empresa em 2002. A mesma só apareceu como solução viável no cenário 3. Isto pode estar refletindo a falta de alguma informação relevante que possa ter levado a Empresa a comprar de tal município, ou até mesmo estar apontando para uma decisão de maior custo por parte da Empresa.

No cenário 1 o modelo direcionou, no caso do milho, para menores distâncias na safra, mesmo optando por preços mais altos. Na entressafra, esgotou a oferta do estado com o segundo menor preço, mesmo com distâncias maiores. Para a soja, na entressafra, o modelo optou pela maior distância, mas com menor preço. Na safra buscou menor distância e o segundo menor preço.

No cenário 3, o modelo buscou milho na safra em menores distâncias, mas com preço mais alto. Na entressafra, buscou inicialmente o estado com o segundo preço mais baixo e posteriormente as menores distâncias. Estes resultados podem estar evidenciando o peso do frete no custo de aquisição do produto.

De maneira geral, pode-se inferir dos resultados que uma análise adequada entre o preço do frete na safra e entressafra e o preço do produto é fundamental quando se busca minimização de custo. Uma redução de custo na ordem de 12% não é irrelevante para nenhuma empresa, muito menos para aquelas que atuam em mercados tão competitivos, como é o caso da Empresa. No cenário 3, com o qual se buscou aproximar um pouco mais da realidade da Empresa, mesmo com a elevação do número de municípios, a redução de custo foi da ordem de 10%, o que não é uma redução desconsiderável.

Apesar das deficiências que o trabalho possa apresentar, principalmente no que se refere à natureza dos dados, uma vez que o ideal seria modelar com o frete e preço de milho e soja efetivamente pagos pela Empresa, os resultados permitem ter uma visão geral da grande importância da ferramenta de programação linear no planejamento adequado de uma empresa. Ou seja, é possível com este ferramental tomar decisões mais precisas no momento de decidir quanto, quando, como e onde adquirir insumos que minimizem o custo na aquisição dos mesmos.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. Porto Alegre, Bookman. 4. ed. 2001. 532p.
- BROOKE, A. *et al.* **A users's guide**. 1998. <http://www.gams.de/>.
- CAIXETA-FILHO, J. V. *et al.* Movimentação rodoviária de produtos agrícolas selecionados. IN:CAIXETA-FILHO J.V. & GAMEIRO, A. H. Org. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo, Atlas, 2001. p.136 -168.
- CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa operacional:técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. São Paulo, Atlas, 2001. 171p.
- CANZIANI, J. R. F. Simulação sobre a implantação da indústria de suco concentrado de laranja no Estado do Paraná. Dissertação (mestrado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1991. 111p.
- LOPES, R. L. Suinocultura no Estado de Goiás:aplicação de um modelo de localização. Dissertação (mestrado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1997. 95p.
- RAMOS, S. Y. Avaliação da localização de *packing-houses* no Estado de São Paulo: o caso da laranja de mesa. Dissertação (mestrado)– Escola Superior “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001. 132p.
- REBECH, D. Decisões estratégicas na logística do agronegócio: compensação de custos transporte-armazenagem para soja no Estado do Paraná. Monografia apresentada Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Toledo, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas, Dezembro de 2002, 102p.