

## 4 Experimento Computacional

O modelo proposto e o algoritmo de resolução foram testados em quatro cenários ou instâncias a serem contextualizados nesta seção. Devido à complexidade do problema sendo resolvido, sabe-se que o esforço computacional aumenta significativamente, ao passo que o tamanho das instâncias aumenta.

Não há garantia de que as soluções encontradas para as instâncias testadas sejam ótimos globais, porém podem ser consideradas como ótimos locais. Isso se deve ao fato de que não sendo a função objetivo do problema uma função convexa, nada podemos dizer. Da teoria da programação matemática, pois não sendo a função objetivo uma função convexa, a solução ótima local não é necessariamente global.

Especificamente a função objetivo do modelo proposto (34), é uma soma de funções lineares mais a raiz quadrada da variável de decisão  $X_{wc}^{fm}$ .

De fato, a função  $f(x) = \sqrt{x}$ , com  $x > 0$  cujo o gráfico é apresentado na Figura 8 é uma função côncava, pois pela regra da primeira e segunda ordens, temos que  $f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}}$  possui valores maiores do que zero para  $x > 0$  e que

$f''(x) = -\frac{1}{4\sqrt{x^3}}$  tem valores menores do que zero para  $x > 0$ .

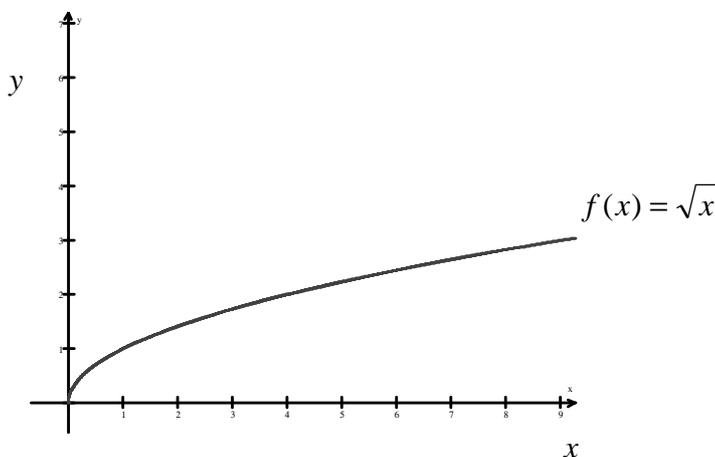


Figura 8 – Gráfico de  $f(x)=(x)^{1/2}$

Voltando para a função objetivo (34), ao aplicar o algoritmo “Outer-Approximation”, para resolver o problema, não há garantia de que o resultado seja o ótimo global, pois a função objetivo apresenta a parcela  $\left( CP_w^f \cdot IC_w^f * 2 * \frac{1}{n} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} X_{wc}^{fm} \right)^{1/2}$  e  $(IC_w^f) \cdot Z_{w1-\alpha}^f \cdot (LT_w^f)^{1/2} \cdot \left( \sum_{c \in C} v_c^f \cdot Y_{wc}^f \right)^{1/2}$  que não são convexas, dentre as parcelas lineares.

Os cenários foram programados no AIMMS 3.8 com alguns dados retirados de Monteiro (2002), tais como a escolha de 10 produtos finais, localização dos fornecedores e dos clientes, além dos seguintes dados:

- demanda mensal de cada produto por cada cliente, além de sua variância;
- custos dos produtos em estoque;
- tabela de fretes cobrada por uma das transportadoras (TR2) baseada na distância percorrida;
- latitude e longitude das instalações (fornecedores e clientes);

O custo fixo de manutenção e o custo de manuseio dos armazéns foram gerados a partir dos dados utilizados no trabalho de Monteiro (2002). O restante dos dados, tais como custos fixos das plantas e de alocação das mercadorias nos armazéns e plantas, a composição de cada produto final, a capacidade de cada transporte que está atrelada a taxa de ocupação de cada unidade (volume, peso ou palete ocupado) no modo de transporte utilizado e a tabela de frete da empresa concorrente (TR1) foram gerados com parcimônia, de forma a não desequilibrar os custos da cadeia. Isto foi necessário, visto que a modelagem desenvolvida no trabalho de Monteiro (2002) não possuía a mesma abrangência de modelagem deste estudo. A taxa de manutenção de estoques que reflete o custo de manutenção como percentagem do valor do item (Ballou, 2006) é assumido como sendo 25% no ano, o que equivale a uma taxa mensal de 2,08%. O valor de  $n$  na função objetivo (34) para todas as instâncias é 12 (meses no ano), que é o período em que a rede logística é modelada. Nas restrições (35) e (36) os valores de  $N1$  e  $N2$  representam o número máximo de instalações na rede logística, o qual foi fixado em 4.

Dentre as opções do “solver” de programação não-linear interligado ao AIMMS 3.8 (SNOPT, CONOPT e MINOS), houve uma preferência pelo uso do

MINOS, pois ele tem um bom desempenho para problemas com poucos graus de liberdade e poucas restrições não lineares (Biegler e Grossmann, 2004). O MINOS 5.5 é um solver que durante o seu procedimento de resolução lineariza as restrições não-lineares dos subproblemas gerados. Como no caso, todas as restrições são lineares o método pula algumas etapas convergindo, provavelmente, mais rápido para o valor ótimo.

Dentre as opções do “solver” de programação linear inteira mista interligada ao AIMMS 3.8 (CPLEX 11 e XA14), houve uma preferência pelo uso do CPLEX 11, pois ele tem tido melhorias expressivas no seu desempenho ao longo do tempo (Bixby et al. *apud* Biegler e Grossmann, 2004).

As instâncias foram executadas em um notebook Core2Duo, com 2GHZ de processamento e 2 gigabytes de memória RAM, as quais passamos a descrever nas próximas seções.

#### **4.1 Primeira Instância**

O modelo computacional refere-se a uma estrutura de cadeia de suprimentos mais simples, constando as seguintes características.

- i. Uma cadeia logística com 3 camadas, composta por 7 fornecedores, 6 plantas, 6 armazéns e 20 clientes.
- ii. São fornecidos 7 tipos de matérias-primas e produzidos 3 tipos de produtos nas plantas.
- iii. Existem duas transportadoras que prestam serviço aos componentes da cadeia (TR1 e TR2), cada uma com fretes diferenciados.
- iv. Cada fornecedor possui um mix e quantidade máxima de insumos que pode fornecer ao fabricante. O valor do frete nesta camada é interpretado como o custo de transporte mais o custo de compra do insumo.
- v. Cada planta possui um custo fixo de manutenção e um custo para alocar a produção de cada produto na planta. O frete

entre cada planta e o armazém é diferenciado em função da distância e do transportador.

vi. Cada armazém possui custo fixo anual de manutenção e custo de alocação do tipo de produto em cada armazém. Além disso, existe um custo de manuseio por item, e o custo do pedido que é calculado na função objetivo do problema.

vii. O processo de distribuição é feito considerando um único fornecedor por produto para cada cliente.

viii. Cada cliente possui a sua demanda para cada produto fabricado, com a média e variância da demanda baseadas na demanda histórica mensal.

Algumas particularidades podem ser apresentadas, principalmente aquelas referentes ao tratamento de estoques. Dos três produtos comercializados, um deles tem um valor total de venda (quantidade vendida no período vezes valor do produto) muito superior aos outros. Trata-se do produto 3 (PROD3), que foi considerado como um item pertencente a classe A da classificação ABC. Para este produto o lead-time (ciclo do pedido) são de 2 dias, enquanto que os outros produtos são de 3 dias. É importante frisar que foi considerado que o mês possui 20 dias úteis para fins de cálculo.

A disponibilidade em estoque dos produtos foi definida, também, em função da classificação ABC. O produto 3 possui uma disponibilidade de 95% e os demais têm 85% de disponibilidade de ter o produto em estoque no momento do pedido. A definição das classes destes três itens foi baseada no volume de vendas e por considerações estratégicas.

Todos os produtos possuem o mesmo fator nas instalações ( $u_o^k = 1$ ), que pode ser interpretado como um SKU e a mesma ocupação nos meios de transporte ( $g^{km} = 1$ ) utilizados. Isto significa que 1 unidade do produto 1 (PROD1) ocupa, por exemplo, uma unidade volumétrica (ou peso) dos meios de transporte 1 e 2 (TR1 e TR2).

Outra particularidade é com relação aos meios de transporte. Há duas opções de transporte dos fornecedores para plantas, sendo que em um caso o custo de transporte é por conta do fornecedor e no outro não. Tudo depende da

capacidade de transporte de cada transportadora. A descrição da cadeia de suprimentos modelada nesta instância pode ser visualizada na Figura 9.

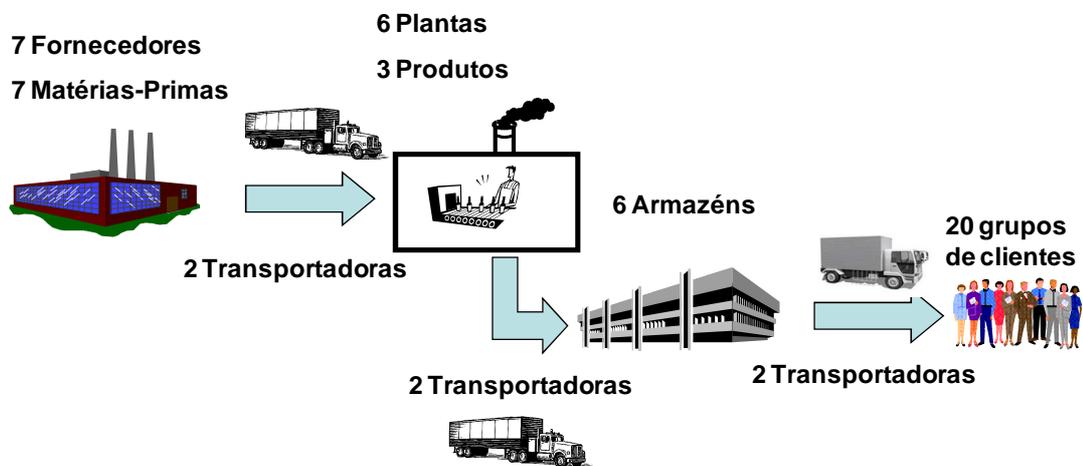


Figura 9 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada na primeira instância.

Esta primeira instância gerou um problema com 1.444 restrições, 2.818 variáveis, sendo 1.293 inteiras (binárias).

A solução ótima local foi encontrada em 8.013,87 segundos (aproximadamente 133,56 minutos), com 12 chamadas do MINOS para resolver 12 subproblemas NLP e 12 chamadas do CPLEX para resolver 12 subproblemas MILP, alternando entre os dois “solvers”, totalizando respectivamente 12 e 6.888.781 iterações. A memória usada foi de 96,7 Megabytes (Mb) e a solução do problema gerado ficou em \$ 1.153.500,70, que representa o custo total da instância modelada.

A rede logística otimizada bem como o resultado do fluxo de produtos entre os centros de distribuição (CDs) e os clientes são mostradas através das Figuras 10 e 11 respectivamente.

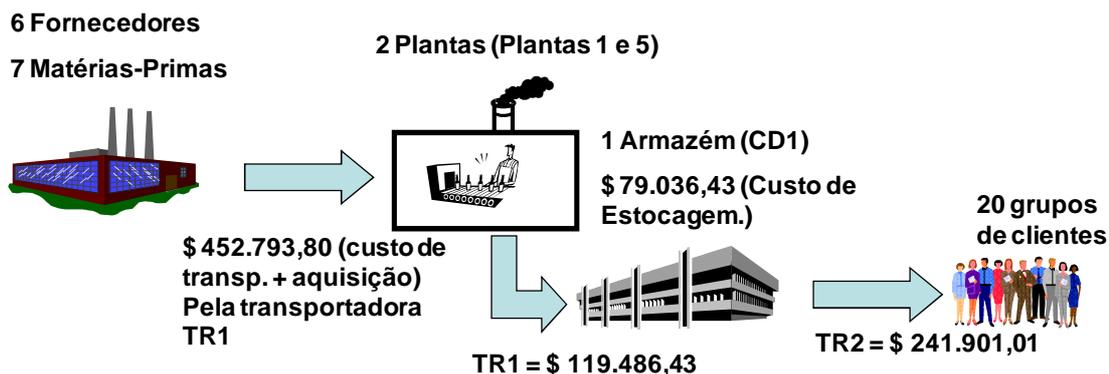


Figura 10 – Rede logística otimizada da primeira instância.

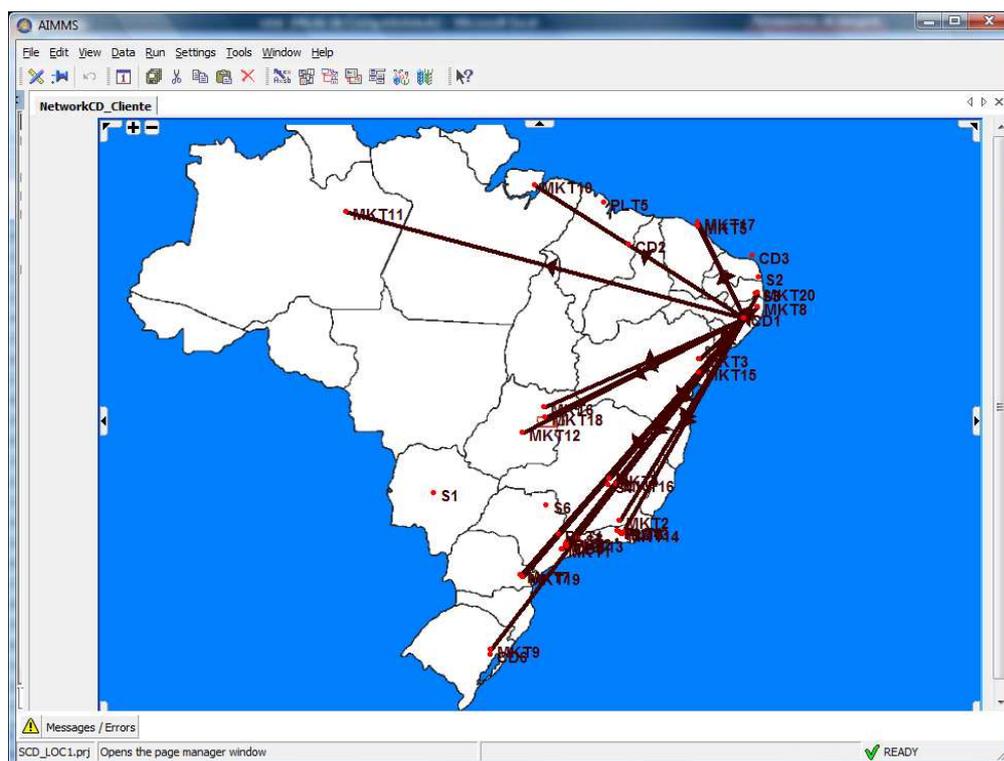


Figura 11 – Mapa de fluxos de produtos entre o CD1 e os clientes atendidos na primeira instância.

As Tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, a quantidade enviada dos armazéns para os clientes e os custos acumulados da rede logística.

A Tabela 8 contém uma descrição dos custos da instância modelada. O maior custo da cadeia recai sobre o custo de aquisição de matéria-prima que servirá de base para a fabricação dos produtos finais. O custo de movimentação entre instalações a partir da planta apresenta, como deveria ser, um custo menor da planta para os armazéns, visto que o transporte utilizado é de grande capacidade, reduzindo, portanto, o custo por unidade transportada, e um maior custo dos armazéns para os clientes, pois a transportadora TR2 utiliza veículos

menores para possibilitar uma maior flexibilidade de entrega nos clientes. Logo, o seu custo por unidade transportada é maior do que a utilizada pelas plantas.

Tabela 7 – Quantidade de produtos transportados do armazém  $w$  para os clientes  $c$  da primeira instância.

Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade
PROD1	CD1	MKT1	TR2	2088	PROD2	CD1	MKT11	TR2	2988
PROD1	CD1	MKT2	TR2	1800	PROD2	CD1	MKT12	TR2	1308
PROD1	CD1	MKT3	TR2	1248	PROD2	CD1	MKT13	TR2	2496
PROD1	CD1	MKT4	TR2	2256	PROD2	CD1	MKT14	TR2	2436
PROD1	CD1	MKT5	TR2	2208	PROD2	CD1	MKT15	TR2	2352
PROD1	CD1	MKT6	TR2	2304	PROD2	CD1	MKT16	TR2	2484
PROD1	CD1	MKT7	TR2	1644	PROD2	CD1	MKT17	TR2	1860
PROD1	CD1	MKT8	TR2	1704	PROD2	CD1	MKT18	TR2	3228
PROD1	CD1	MKT9	TR2	2064	PROD2	CD1	MKT19	TR2	2940
PROD1	CD1	MKT10	TR2	2076	PROD2	CD1	MKT20	TR2	2760
PROD1	CD1	MKT11	TR2	2004	PROD3	CD1	MKT1	TR2	3108
PROD1	CD1	MKT12	TR2	1656	PROD3	CD1	MKT2	TR2	2424
PROD1	CD1	MKT13	TR2	2796	PROD3	CD1	MKT3	TR2	2928
PROD1	CD1	MKT14	TR2	1908	PROD3	CD1	MKT4	TR2	2616
PROD1	CD1	MKT15	TR2	1824	PROD3	CD1	MKT5	TR2	2520
PROD1	CD1	MKT16	TR2	2208	PROD3	CD1	MKT6	TR2	2472
PROD1	CD1	MKT17	TR2	1524	PROD3	CD1	MKT7	TR2	2712
PROD1	CD1	MKT18	TR2	2256	PROD3	CD1	MKT8	TR2	2136
PROD1	CD1	MKT19	TR2	2340	PROD3	CD1	MKT9	TR2	2148
PROD1	CD1	MKT20	TR2	2160	PROD3	CD1	MKT10	TR2	2100
PROD2	CD1	MKT1	TR2	2244	PROD3	CD1	MKT11	TR2	2400
PROD2	CD1	MKT2	TR2	1512	PROD3	CD1	MKT12	TR2	2580
PROD2	CD1	MKT3	TR2	2748	PROD3	CD1	MKT13	TR2	2316
PROD2	CD1	MKT4	TR2	2628	PROD3	CD1	MKT14	TR2	2688
PROD2	CD1	MKT5	TR2	2280	PROD3	CD1	MKT15	TR2	2760
PROD2	CD1	MKT6	TR2	2496	PROD3	CD1	MKT16	TR2	2940
PROD2	CD1	MKT7	TR2	2136	PROD3	CD1	MKT17	TR2	2640
PROD2	CD1	MKT8	TR2	3984	PROD3	CD1	MKT18	TR2	2424
PROD2	CD1	MKT9	TR2	2280	PROD3	CD1	MKT19	TR2	2544
PROD2	CD1	MKT10	TR2	2340	PROD3	CD1	MKT20	TR2	2688

Tabela 8 – Custos acumulados da rede logística na instância 1.

<b>CUSTOS</b>	
Aquisição + Transporte (Fornecedor - Planta)	452,793.80
Transporte CD - CLIENTE	241,901.01
Transporte PLANTA - CD	119,486.43
Custo de Estocagem	79,036.14
Custo Fixo das PLANTAS (Manutenção)	169,880.00
Custo Fixo dos CDs (Manutenção)	59,234.00
Custo de Alocação dos PRODUTOS as PLANTAS	19,377.01
Custo de Alocação dos PRODUTOS aos CDs	8,289.17
Outros Custos de Alocação	3,503.14
<b>TOTAL</b>	<b>1,153,500.70</b>

O custo de estocagem ou armazenamento considera o custo de manuseio dos produtos dentro do armazém e o custo fixo do pedido como custos de aquisição,

ficando de fora outros componentes, como os custos de processamento, transmissão do pedido, preparação e o custo do transporte, que está incluso no valor de compra do produto, de acordo com (Ballou, 2006). Além do custo de aquisição (obtenção), o modelo calcula o custo de manutenção do estoque regular e do estoque de segurança, e conseqüentemente os parâmetros da política de estoque utilizada.

A partir dos conceitos desenvolvidos na seção 2.2 (Modelagem da Decisão em Estoques) e da nomenclatura utilizada pelo modelo proposto, podem-se definir alguns parâmetros da política de estoques adotada neste trabalho, como ponto do pedido com incerteza de demanda (Ballou, 2006).

Para descrever a política adotada é necessário definir, pelo menos, o tamanho do pedido ( $Q_w^f$ ) e o ponto do pedido ( $PP_w^f$ ). O tamanho do pedido pode ser calculado por meio da equação (26), enquanto que o ponto do pedido pode ser definido por meio da seguinte equação.

$$PP_w^f = LT_w^f \cdot \frac{\left( \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} X_{wc}^{fm} \right)}{12} + Z_{w_1-\alpha}^f \cdot \left( LT_w^f \cdot \sum_{c \in C} v_c^f \cdot Y_{wc}^f \right)^{1/2} \quad (39).$$

Usando as equações (26) e (39) nesta instância, considerando o armazém 1 selecionado, podemos definir alguns parâmetros da política de estoques conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 1 a partir do CD1.

Produtos	Ponto do Pedido	Tamanho do Lote	Lead-time (mês)	Demanda Média	Estoque de Segurança
PROD1	562	576	0,15	3339	62
PROD2	697	588	0,15	4125	79
PROD3	529	611	0,1	4262	103

Segundo Ballou (2006, p. 288), quando a quantidade do ponto de reposição (pedido) for superior ao tamanho do lote, significa que um novo pedido deve ser feito antes do pedido anterior chegue ao estoque. Através das informações contidas na Tabela 9, pode-se pensar que o produto 2 se enquadra neste caso,

principalmente se a demanda durante o lead-time for superior a demanda média do produto, que no caso deve levar a um consumo do estoque de segurança, necessitando, portanto, de enviar um novo pedido antes da chegada do anterior. Isso pode ser resolvido por meio de uma revisão, para baixo, do tempo do lead-time. Para isso basta reduzi-lo pelo menos à metade de um dia para que o valor do ponto do pedido seja inferior ao tamanho do lote.

Os custos fixos das plantas e armazéns estão relacionados à manutenção dos mesmos durante o período considerado na modelagem. Os custos de alocação referem-se aos custos fixos de designar a produção ou a armazenagem de qualquer produto nas plantas e armazéns, respectivamente. O restante dos custos fixos estão relacionados à alocação de produtos de uma origem a um destino (custo de designar um armazém  $w$  a fornecer um produto  $f$  ao cliente  $c$ ) e de usar um meio de transporte do produto  $f$  entre duas instalações (um armazém e um cliente).

## 4.2 Segunda Instância

A segunda instância é uma evolução da primeira, ou seja, são acrescentados mais 3 produtos finais (PROD4, PROD5 e PROD6), implicando em um número maior de matérias-primas (12 tipos), pois os insumos destes 3 novos produtos são diferentes dos três primeiros produtos. Além disso, são acrescentados mais 20 clientes, totalizando 40 clientes. Como uma maior opção de fabricação e de armazenagem, são acrescentadas mais duas instalações em cada uma. A estrutura da cadeia de suprimentos pode ser visualizada na Figura 12.

Em relação aos parâmetros de ocupação, o produto identificado como PROD6 é armazenado em SKU, onde cada embalagem (SKU) possui 6 unidades. Esta caixa ocupa 2,4 unidades volumétricas da capacidade das transportadoras TR1 e TR2. O restante dos produtos possui uma taxa de ocupação igual a um, tanto nas instalações quanto no transporte.

Aplicando a classificação ABC para os 6 produtos, conclui-se que o produto 3 pertence à classificação A, os produtos 2 e 6 pertencem à classificação B e o restante pertence à classificação C. A disponibilidade de estoques usada é de 95, 85 e 70%, para as classes A, B e C respectivamente. O lead-time respectivo é de 2, 3 e 4 dias.

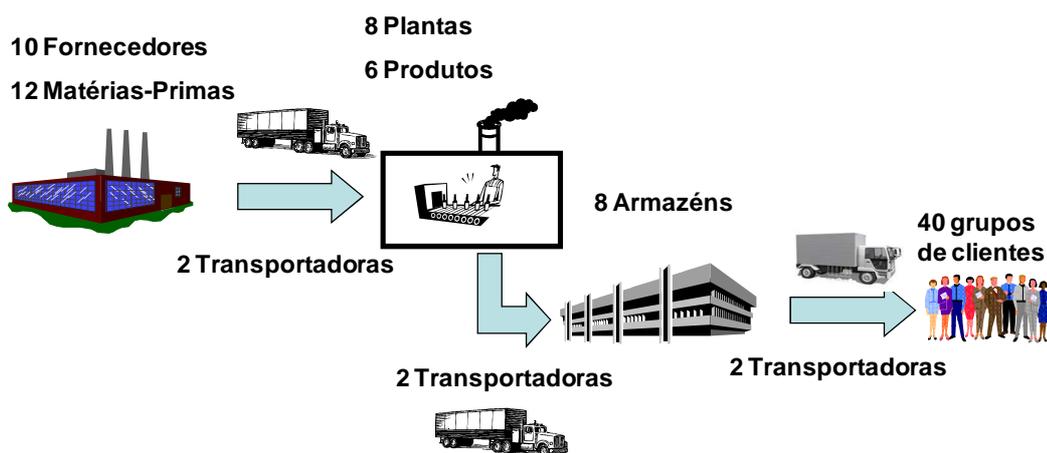


Figura 12 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada da segunda instância.

Esta segunda instância gerou um problema com 5.061 restrições e 10.895 variáveis, sendo 4.366 inteiras (binárias).

A solução ótima local foi encontrada em 10.383,69 segundos (aproximadamente 173,09 minutos), com 3 chamadas do MINOS para resolver 3 subproblemas NLP e 3 chamadas do CPLEX para resolver 3 subproblemas MILP, alternando entre os dois “solvers”, totalizando respectivamente 3 e 3.228.522 iterações. A memória usada foi de 101,0 Megabytes e a solução do problema gerado ficou em \$ 2.327.947,48, representando o custo total da rede logística. A rede logística otimizada bem como o resultado do fluxo de produtos entre os centros de distribuição (CDs) e os clientes são apresentadas nas Figuras 13 e 14, respectivamente.

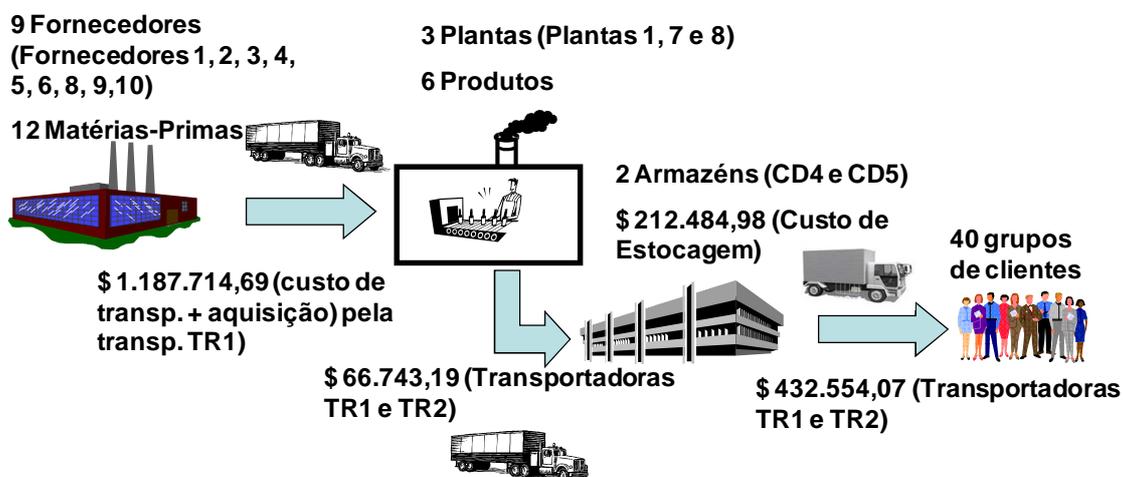


Figura 13 – Rede logística otimizada da segunda instância.

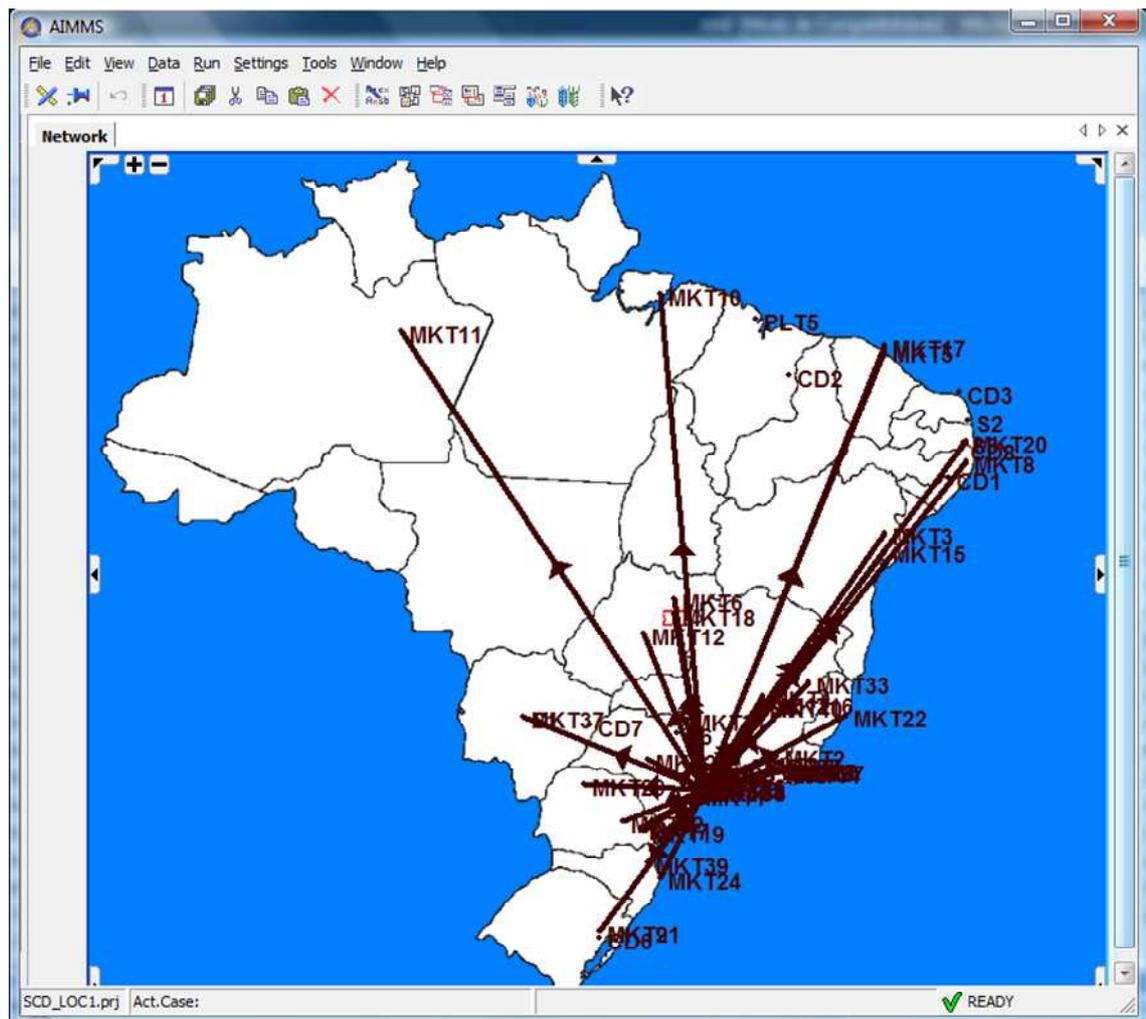


Figura 14 – Mapa de fluxos de produtos entre o CD1 e CD4 com os clientes atendidos na segunda instância.

Em relação à Figura 13 vale ressaltar que a quantidade transportada do PROD6 entre as plantas e armazéns pela transportadora TR2 foi mínima (aproximadamente 1%) e que, ocupando 2,4 unidades volumétricas. Isto acarreta numa maior chance de esgotamento do espaço de ocupação na TR1 para este produto do que para os outros produtos que possuem uma ocupação volumétrica menor. O que poderia ser evitado com um aumento na disponibilidade de capacidade na transportadora TR1 para este produto. No transporte dos armazéns para os clientes, somente 9% são transportados pela transportadora 1. Isto pode ser explicado pelo valor de frete oferecido pela transportadora para o produto em questão ser superior.

As Tabelas 10 e 11 mostram respectivamente os custos acumulados da rede logística e a quantidade enviada dos armazéns para os clientes.

Tabela 10 – Custos acumulados da rede logística na instância 2.

<b>CUSTOS</b>	<b>VALORES (\$)</b>
Aquisição + Transporte (Fornecedor - Planta)	1.187.714,69
Transporte CD - CLIENTE	432.554,07
Transporte PLANTA - CD	66.743,19
Custo de Estocagem	212.484,98
Custo Fixo das PLANTAS (Manutenção)	218.698,00
Custo Fixo dos CDs (Manutenção)	129.296,00
Custo de Alocação dos PRODUTOS as PLANTAS	45.697,42
Custo de Alocação dos PRODUTOS aos CDs	16.691,82
Outros Custos de Alocação	18.067,32
<b>TOTAL</b>	<b>2.327.947,48</b>

Na Tabela 10 pode ser observado que os custos subiram em relação à instância anterior, causado pelo acréscimo de novos produtos ao mix comercializado e ao aumento da demanda, tanto dos produtos novos e antigos quanto do aumento da participação de mercado (de 20 para 40 clientes).

O aumento dos custos das instalações pode ser explicado devido a utilização de três plantas em vez de duas, como na instância anterior. Houve utilização de mais um armazém na rede, fazendo com que aumentassem os custos de alocação e de armazenagem. Por ter mais 3 produtos sendo movimentados na rede, e devido ao aumento de clientes demandando os 6 produtos, os custos de estocagem foram bem superiores aos obtidos em relação ao da primeira instância.

Tabela 11 – Quantidade de produtos transportados do armazém w para os clientes c na instância 2.

Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade
PROD1	CD5	MKT1	TR2	2095	PROD3	CD5	MKT1	TR2	3110	PROD5	CD4	MKT1	TR2	1923
PROD1	CD5	MKT7	TR2	1653	PROD3	CD5	MKT2	TR2	2433	PROD5	CD4	MKT2	TR2	762
PROD1	CD5	MKT13	TR2	2798	PROD3	CD5	MKT3	TR2	2937	PROD5	CD4	MKT3	TR2	1494
PROD1	CD5	MKT23	TR2	1201	PROD3	CD5	MKT4	TR2	2620	PROD5	CD4	MKT4	TR2	1847
PROD1	CD5	MKT24	TR2	682	PROD3	CD5	MKT5	TR2	2530	PROD5	CD4	MKT5	TR2	1169
PROD1	CD5	MKT25	TR2	1042	PROD3	CD5	MKT6	TR2	2479	PROD5	CD4	MKT6	TR2	1069
PROD1	CD5	MKT26	TR2	1198	PROD3	CD5	MKT7	TR2	2719	PROD5	CD4	MKT7	TR2	1639
PROD1	CD5	MKT27	TR2	1380	PROD3	CD5	MKT8	TR2	2144	PROD5	CD4	MKT8	TR2	1409
PROD1	CD5	MKT28	TR2	1429	PROD3	CD5	MKT9	TR2	2158	PROD5	CD4	MKT9	TR2	1298
PROD1	CD5	MKT29	TR2	870	PROD3	CD5	MKT10	TR2	2110	PROD5	CD4	MKT10	TR2	799
PROD1	CD5	MKT30	TR2	1467	PROD3	CD5	MKT11	TR2	2410	PROD5	CD4	MKT11	TR2	1193
PROD1	CD5	MKT31	TR2	1011	PROD3	CD5	MKT12	TR2	2588	PROD5	CD4	MKT12	TR2	828
PROD1	CD5	MKT32	TR2	1447	PROD3	CD5	MKT13	TR2	2316	PROD5	CD4	MKT13	TR2	654
PROD1	CD5	MKT34	TR2	1151	PROD3	CD5	MKT14	TR2	2688	PROD5	CD4	MKT14	TR2	727
PROD1	CD5	MKT35	TR2	1314	PROD3	CD5	MKT15	TR2	2762	PROD5	CD4	MKT15	TR2	1305
PROD1	CD5	MKT36	TR2	635	PROD3	CD5	MKT16	TR2	2942	PROD5	CD4	MKT16	TR2	935
PROD1	CD5	MKT38	TR2	1501	PROD3	CD5	MKT17	TR2	2640	PROD5	CD4	MKT17	TR2	1404
PROD1	CD5	MKT39	TR2	773	PROD3	CD5	MKT18	TR2	2430	PROD5	CD4	MKT18	TR2	676
PROD1	CD5	MKT40	TR2	1150	PROD3	CD5	MKT19	TR2	2552	PROD5	CD4	MKT19	TR2	1049
PROD1	CD5	MKT2	TR1	1808	PROD3	CD5	MKT20	TR2	2699	PROD5	CD4	MKT20	TR2	1185
PROD1	CD5	MKT3	TR1	1254	PROD3	CD5	MKT21	TR2	1270	PROD5	CD4	MKT21	TR2	1844
PROD1	CD5	MKT4	TR1	2264	PROD3	CD5	MKT22	TR2	1226	PROD5	CD4	MKT22	TR2	1062
PROD1	CD5	MKT5	TR1	2217	PROD3	CD5	MKT23	TR2	1413	PROD5	CD4	MKT23	TR2	1356
PROD1	CD5	MKT6	TR1	2305	PROD3	CD5	MKT24	TR2	1123	PROD5	CD4	MKT24	TR2	1341
PROD1	CD5	MKT8	TR1	1713	PROD3	CD5	MKT25	TR2	1172	PROD5	CD4	MKT25	TR2	1332
PROD1	CD5	MKT9	TR1	2064	PROD3	CD5	MKT26	TR2	1406	PROD5	CD4	MKT26	TR2	1572
PROD1	CD5	MKT10	TR1	2077	PROD3	CD5	MKT27	TR2	1264	PROD5	CD4	MKT27	TR2	765
PROD1	CD5	MKT11	TR1	2009	PROD3	CD5	MKT28	TR2	1332	PROD5	CD4	MKT28	TR2	1085
PROD1	CD5	MKT12	TR1	1666	PROD3	CD5	MKT29	TR2	1082	PROD5	CD4	MKT29	TR2	1621
PROD1	CD5	MKT14	TR1	1916	PROD3	CD5	MKT30	TR2	1221	PROD5	CD4	MKT30	TR2	857
PROD1	CD5	MKT15	TR1	1833	PROD3	CD5	MKT31	TR2	1355	PROD5	CD4	MKT31	TR2	717
PROD1	CD5	MKT16	TR1	2216	PROD3	CD5	MKT32	TR2	1178	PROD5	CD4	MKT32	TR2	1816
PROD1	CD5	MKT17	TR1	1525	PROD3	CD5	MKT33	TR2	1026	PROD5	CD4	MKT33	TR2	1641
PROD1	CD5	MKT18	TR1	2256	PROD3	CD5	MKT34	TR2	1147	PROD5	CD4	MKT34	TR2	1838
PROD1	CD5	MKT19	TR1	2343	PROD3	CD5	MKT35	TR2	1311	PROD5	CD4	MKT35	TR2	1008
PROD1	CD5	MKT20	TR1	2162	PROD3	CD5	MKT36	TR2	1558	PROD5	CD4	MKT36	TR2	1568
PROD1	CD5	MKT21	TR1	1331	PROD3	CD5	MKT37	TR2	1551	PROD5	CD4	MKT37	TR2	1723
PROD1	CD5	MKT22	TR1	1330	PROD3	CD5	MKT38	TR2	1347	PROD5	CD4	MKT38	TR2	1322
PROD1	CD5	MKT33	TR1	1754	PROD3	CD5	MKT39	TR2	1252	PROD5	CD4	MKT39	TR2	1718
PROD1	CD5	MKT37	TR1	1385	PROD3	CD5	MKT40	TR2	1143	PROD5	CD4	MKT40	TR2	1297
PROD2	CD5	MKT1	TR2	2246	PROD4	CD4	MKT1	TR2	789	PROD6	CD4	MKT1	TR2	1818
PROD2	CD5	MKT2	TR2	1514	PROD4	CD4	MKT2	TR2	662	PROD6	CD4	MKT2	TR2	3672
PROD2	CD5	MKT3	TR2	2758	PROD4	CD4	MKT3	TR2	1274	PROD6	CD4	MKT3	TR2	2910
PROD2	CD5	MKT4	TR2	2638	PROD4	CD4	MKT4	TR2	1538	PROD6	CD4	MKT4	TR2	3396
PROD2	CD5	MKT5	TR2	2290	PROD4	CD4	MKT5	TR2	1563	PROD6	CD4	MKT5	TR2	3318
PROD2	CD5	MKT6	TR2	2502	PROD4	CD4	MKT6	TR2	1190	PROD6	CD4	MKT6	TR2	2838
PROD2	CD5	MKT7	TR2	2143	PROD4	CD4	MKT7	TR2	1252	PROD6	CD4	MKT7	TR2	3258
PROD2	CD5	MKT8	TR2	3984	PROD4	CD4	MKT8	TR2	1587	PROD6	CD4	MKT8	TR2	3144
PROD2	CD5	MKT9	TR2	2290	PROD4	CD4	MKT9	TR2	1470	PROD6	CD4	MKT9	TR2	2604
PROD2	CD5	MKT10	TR2	2341	PROD4	CD4	MKT10	TR2	1300	PROD6	CD4	MKT10	TR2	1794
PROD2	CD5	MKT11	TR2	2989	PROD4	CD4	MKT11	TR2	1446	PROD6	CD4	MKT11	TR2	2574
PROD2	CD5	MKT12	TR2	1314	PROD4	CD4	MKT12	TR2	1377	PROD6	CD4	MKT12	TR2	2808
PROD2	CD5	MKT13	TR2	2505	PROD4	CD4	MKT13	TR2	1138	PROD6	CD4	MKT13	TR2	2598
PROD2	CD5	MKT14	TR2	2438	PROD4	CD4	MKT14	TR2	700	PROD6	CD4	MKT14	TR2	3036
PROD2	CD5	MKT15	TR2	2361	PROD4	CD4	MKT15	TR2	1452	PROD6	CD4	MKT15	TR2	3792
PROD2	CD5	MKT16	TR2	2495	PROD4	CD4	MKT16	TR2	1469	PROD6	CD4	MKT16	TR2	2796
PROD2	CD5	MKT17	TR2	1863	PROD4	CD4	MKT17	TR2	1342	PROD6	CD4	MKT17	TR2	3024
PROD2	CD5	MKT18	TR2	3228	PROD4	CD4	MKT18	TR2	1203	PROD6	CD4	MKT18	TR2	2178
PROD2	CD5	MKT19	TR2	2944	PROD4	CD4	MKT19	TR2	928	PROD6	CD4	MKT19	TR2	3426
PROD2	CD5	MKT20	TR2	2763	PROD4	CD4	MKT20	TR2	1093	PROD6	CD4	MKT20	TR2	4680
PROD2	CD5	MKT21	TR2	1319	PROD4	CD4	MKT21	TR2	1295	PROD6	CD4	MKT21	TR2	3792
PROD2	CD5	MKT22	TR2	1178	PROD4	CD4	MKT22	TR2	964	PROD6	CD4	MKT22	TR2	2346
PROD2	CD5	MKT23	TR2	1442	PROD4	CD4	MKT23	TR2	1522	PROD6	CD4	MKT23	TR2	3468
PROD2	CD5	MKT24	TR2	1308	PROD4	CD4	MKT24	TR2	1473	PROD6	CD4	MKT24	TR2	3000
PROD2	CD5	MKT25	TR2	1302	PROD4	CD4	MKT25	TR2	1291	PROD6	CD4	MKT25	TR2	2286
PROD2	CD5	MKT26	TR2	1406	PROD4	CD4	MKT26	TR2	689	PROD6	CD4	MKT26	TR2	3216
PROD2	CD5	MKT27	TR2	1288	PROD4	CD4	MKT27	TR2	852	PROD6	CD4	MKT27	TR2	3612
PROD2	CD5	MKT28	TR2	1187	PROD4	CD4	MKT28	TR2	1040	PROD6	CD4	MKT28	TR2	3810
PROD2	CD5	MKT29	TR2	1200	PROD4	CD4	MKT29	TR2	705	PROD6	CD4	MKT29	TR2	3564
PROD2	CD5	MKT30	TR2	1393	PROD4	CD4	MKT30	TR2	753	PROD6	CD4	MKT30	TR2	3192
PROD2	CD5	MKT31	TR2	1175	PROD4	CD4	MKT31	TR2	793	PROD6	CD4	MKT31	TR2	1332
PROD2	CD5	MKT32	TR2	1188	PROD4	CD4	MKT32	TR2	668	PROD6	CD4	MKT32	TR2	2874
PROD2	CD5	MKT33	TR2	1045	PROD4	CD4	MKT33	TR2	900	PROD6	CD4	MKT33	TR2	2370
PROD2	CD5	MKT34	TR2	1481	PROD4	CD4	MKT34	TR2	605	PROD6	CD4	MKT34	TR2	4698
PROD2	CD5	MKT35	TR2	1221	PROD4	CD4	MKT35	TR2	882	PROD6	CD4	MKT35	TR2	2460
PROD2	CD5	MKT36	TR2	1618	PROD4	CD4	MKT36	TR2	606	PROD6	CD4	MKT36	TR2	3342
PROD2	CD5	MKT37	TR2	1363	PROD4	CD4	MKT37	TR2	1066	PROD6	CD4	MKT37	TR2	2940
PROD2	CD5	MKT38	TR2	1421	PROD4	CD4	MKT38	TR2	1380	PROD6	CD4	MKT38	TR2	2496
PROD2	CD5	MKT39	TR2	1383	PROD4	CD4	MKT39	TR2	1098	PROD6	CD4	MKT39	TR2	3384
PROD2	CD5	MKT40	TR2	1456	PROD4	CD4	MKT40	TR2	1250	PROD6	CD4	MKT40	TR2	2514

Analisando a Figura 09 e a Tabela 11, pode-se verificar que alguns clientes foram supridos por armazéns diferentes. Isto é possibilitado pela restrição (37), que garante que cada produto seja fornecido por um único armazém, possibilitando, portanto que vários armazéns abasteçam com produtos diferentes o mesmo cliente.

Com relação aos parâmetros da política de estoques adotada, pode-se verificar seus valores na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 2

	Produtos	Ponto do Pedido	Tamanho do Lote	Lead-time (mês)	Demanda Média	Estoque de Segurança
CD4	PROD4	773	593	0,20	3.718	30
	PROD5	882	612	0,20	4.238	34
	PROD6	1.634	983	0,15	10.030	130
CD5	PROD1	1.113	651	0,20	5.353	43
	PROD2	1.037	743	0,15	6.332	87
	PROD3	754	777	0,10	6.387	115

Para esta instância, somente a política de estoques exercida no armazém CD5 é que não apresenta problemas com relação ao fato de que a quantidade do ponto do pedido ser superior ao do tamanho do lote, acarretando em um novo pedido a ser enviado antes da chegada do primeiro. Uma forma de evitar isso, como apontado na instância 1, seria rever o lead-time dos pedidos para as plantas (BALLOU, 2006).

### 4.3 Terceira Instância

Na terceira instância são incluídos mais quatro produtos PROD7, PROD8, PROD9 e PROD10, requerendo na lista de materiais que os compõem, de mais três matérias-primas RAW13, RAW14 e RAW15. O número total de clientes atendidos nesta instância é 60, com uma demanda por produto que varia de 300 a 5900 unidades.

Dentre os quatro produtos acrescentados, somente PROD7 e PROD9 possuem ocupações em SKU diferentes, pois os dois são estocados em embalagens com 6 e

10 unidades, respectivamente. As taxas de ocupação no transporte, que no modelo são representadas pelo parâmetro  $g^{km}$ , para os quatro novos produtos acrescentados são sequencialmente 2,8 (PROD7), 1,1 (PROD8), 3,0 (PROD9) e 1,2 (PROD10) unidades volumétricas.

Com um mix de 10 produtos manufaturados na rede, torna-se necessário uma nova classificação ABC. Houve mudança nas classes, os produtos 7 e 10 pertencem à classe A, os produtos 3, 6 e 8 pertencem à classe B e o restante dos produtos a classe C. A classificação ABC pode ser vista na Tabela 13.

A Tabela 13 lista os produtos em ordem decrescente no volume de vendas, identificando os itens pertencentes às classes A,B e C. Além disso, define uma padronização de serviço por classe de produto. Os produtos da classe A são entregues em 2 dias e possuem uma disponibilidade de estoque (nível de serviço) de 95%. Os produtos da classe B são entregues em 3 dias e possuem uma disponibilidade de estoque de 85%, enquanto os produtos da classe C possuem um lead-time de 4 dias e uma disponibilidade de estoque de 70%. Esta política de atendimento impacta os custos do modelo, como pode ser visto na segunda e terceira parcela da função objetivo (34), que tratam dos custos atrelados aos estoques.

Tabela 13 – Classificação, lead-time, nível de serviço e valores de z da tabela normal dos produtos modelados na terceira instância.

Ordem	Produtos	Vendas (\$)	Porcentagem de Vendas	Porcentagem de Vendas acum.	Classe	Lead-time (dias)	Lead-time (mês)	Nível de Serviço	Valor de Z na Tab. Normal
1	PROD10	7.992.362,56	0,20930	0,20930	A	2	0,10	95%	1,64
2	PROD7	5.392.877,37	0,13700	0,34630	A	2	0,10	95%	1,64
3	PROD8	5.353.291,76	0,14640	0,49270	B	3	0,15	85%	1,03
4	PROD6	4.611.134,42	0,11880	0,61150	B	3	0,15	85%	1,03
5	PROD3	4.547.463,99	0,09920	0,71070	B	3	0,15	85%	1,03
6	PROD2	2.873.325,54	0,06280	0,77350	C	4	0,20	70%	0,53
7	PROD1	2.861.090,56	0,06480	0,83830	C	4	0,20	70%	0,53
8	PROD9	2.588.580,63	0,06510	0,90340	C	4	0,20	70%	0,53
9	PROD5	2.113.311,11	0,05610	0,95950	C	4	0,20	70%	0,53
10	PROD4	1.609.906,67	0,04060	1,00010	C	4	0,20	70%	0,53

A descrição da cadeia de suprimentos modelada nesta instância, pode ser visualizada na Figura 15.

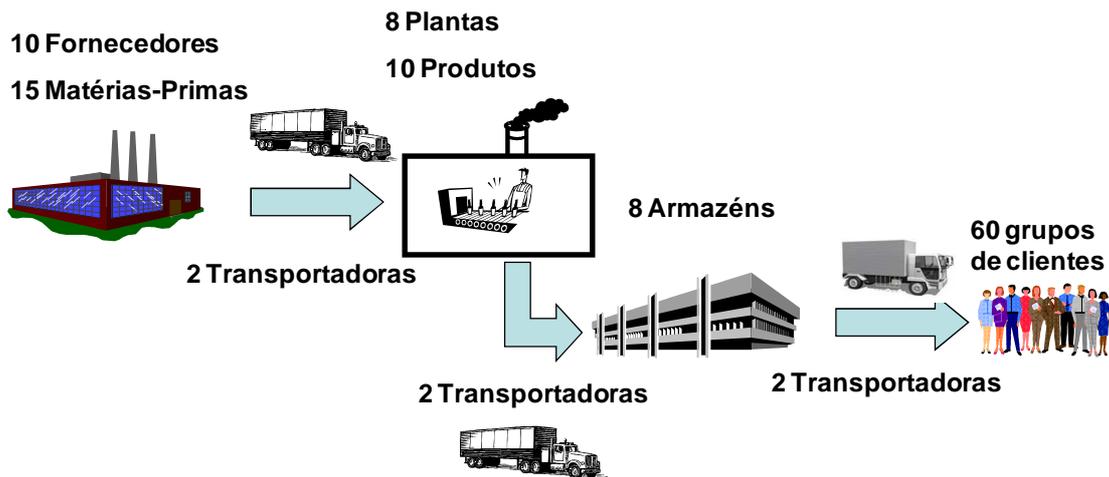


Figura 15 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada da terceira instância.

Esta terceira instância gerou um problema com 10.107 restrições e 21.423 variáveis, sendo 8.142 inteiras (binárias).

A solução ótima local foi encontrada em 15.342,75 segundos (aproximadamente 255,71 minutos), com 2 chamadas do MINOS para resolver 2 subproblemas NLP e 2 chamadas do CPLEX para resolver 2 subproblemas MILP, alternando entre os dois “solvers”, totalizando respectivamente 2 e 2.175.477 iterações. A memória alocada foi de 131,2 Megabytes e a solução do problema gerado ficou em \$ 9.195.687,82, que representa o custo total da rede logística para a instância 3. A rede logística otimizada é apresentada na Figura 16.

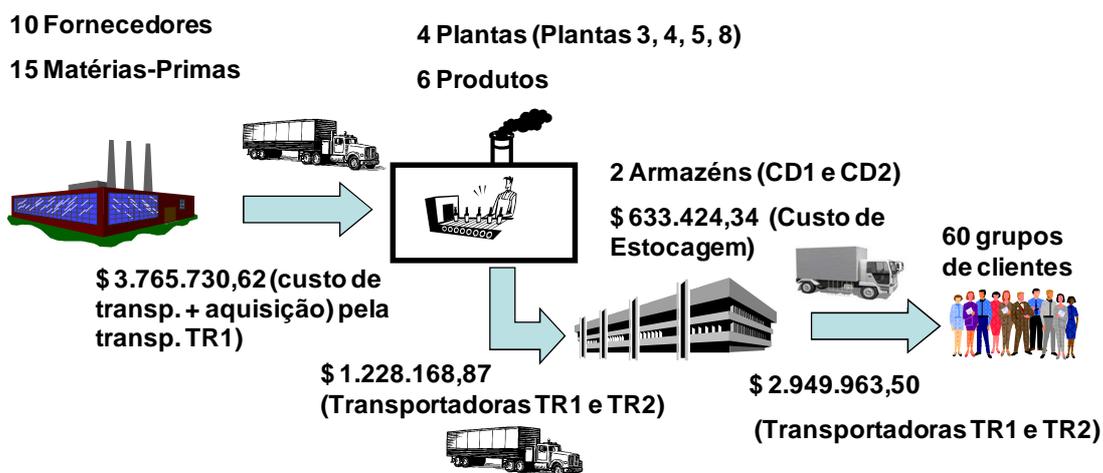


Figura 16 – Rede logística otimizada para a terceira instância.

A Tabela 14 mostra que os custos aumentaram consideravelmente, principalmente os relacionados aos estoques, que nesta instância supera o custo fixo de manutenção das plantas. Isso pode ser explicado pelo número de produtos fluindo na rede e pela quantidade de armazéns abertos, pois cada produto possui um custo de movimentação e de aquisição diferentes em cada armazém em que são alocados.

Tabela 14 – Custos acumulados da rede logística na instância 3.

<b>CUSTOS</b>	<b>VALORES (\$)</b>
Aquisição + Transporte (Fornecedor - Planta)	3.765.730,62
Transporte CD - CLIENTE	2.949.963,50
Transporte PLANTA - CD	1.228.168,87
Custo de Estocagem	633.424,34
Custo Fixo das PLANTAS (Manutenção)	331.910,00
Custo Fixo dos CDs (Manutenção)	114.297,00
Custo de Alocação dos PRODUTOS as PLANTAS	101.683,07
Custo de Alocação dos PRODUTOS aos CDs	46.628,50
Outros Custos de Alocação	23.881,93
<b>TOTAL</b>	<b>9.195.687,82</b>

Os fluxos de produtos dos armazéns para os clientes são mostrados na Tabela 15. Pode-se observar que a transportadora TR1 realizou somente uma viagem: levou o PROD10 do CD2 ao cliente 51. Isto pode ser explicado pelo custo do frete, que é 14,6% mais barato ao cobrado pela transportadora 2.

Tabela 15 – Quantidade de produtos transportados do armazém w para os clientes c.

Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade
PROD1	CD1	MKT1	TR2	2095	PROD2	CD2	MKT13	TR2	2505	PROD4	CD1	MKT21	TR2	1295
PROD1	CD1	MKT2	TR2	1808	PROD2	CD2	MKT17	TR2	1863	PROD4	CD1	MKT22	TR2	964
PROD1	CD1	MKT3	TR2	1254	PROD2	CD2	MKT18	TR2	3228	PROD4	CD1	MKT23	TR2	1522
PROD1	CD1	MKT4	TR2	2264	PROD2	CD2	MKT19	TR2	2944	PROD4	CD1	MKT24	TR2	1473
PROD1	CD1	MKT5	TR2	2217	PROD2	CD2	MKT21	TR2	1319	PROD4	CD1	MKT25	TR2	1291
PROD1	CD1	MKT6	TR2	2305	PROD2	CD2	MKT23	TR2	1442	PROD4	CD1	MKT26	TR2	689
PROD1	CD1	MKT7	TR2	1653	PROD2	CD2	MKT24	TR2	1308	PROD4	CD1	MKT27	TR2	852
PROD1	CD1	MKT8	TR2	1713	PROD2	CD2	MKT25	TR2	1302	PROD4	CD1	MKT28	TR2	1040
PROD1	CD1	MKT9	TR2	2064	PROD2	CD2	MKT26	TR2	1406	PROD4	CD1	MKT29	TR2	705
PROD1	CD1	MKT10	TR2	2077	PROD2	CD2	MKT29	TR2	1200	PROD4	CD1	MKT30	TR2	753
PROD1	CD1	MKT11	TR2	2009	PROD2	CD2	MKT31	TR2	1175	PROD4	CD1	MKT31	TR2	793
PROD1	CD1	MKT12	TR2	1666	PROD2	CD2	MKT32	TR2	1188	PROD4	CD1	MKT32	TR2	668
PROD1	CD1	MKT13	TR2	2798	PROD2	CD2	MKT35	TR2	1221	PROD4	CD1	MKT33	TR2	900
PROD1	CD1	MKT14	TR2	1916	PROD2	CD2	MKT36	TR2	1618	PROD4	CD1	MKT34	TR2	605
PROD1	CD1	MKT15	TR2	1833	PROD2	CD2	MKT37	TR2	1363	PROD4	CD1	MKT35	TR2	882
PROD1	CD1	MKT16	TR2	2216	PROD2	CD2	MKT39	TR2	1383	PROD4	CD1	MKT36	TR2	606
PROD1	CD1	MKT17	TR2	1525	PROD2	CD2	MKT42	TR2	1494	PROD4	CD1	MKT37	TR2	1066
PROD1	CD1	MKT18	TR2	2256	PROD2	CD2	MKT43	TR2	1230	PROD4	CD1	MKT38	TR2	1380
PROD1	CD1	MKT19	TR2	2343	PROD2	CD2	MKT49	TR2	1427	PROD4	CD1	MKT39	TR2	1098
PROD1	CD1	MKT20	TR2	2162	PROD2	CD2	MKT50	TR2	1308	PROD4	CD1	MKT40	TR2	1250
PROD1	CD1	MKT21	TR2	1331	PROD3	CD1	MKT1	TR2	3110	PROD4	CD1	MKT41	TR2	1517
PROD1	CD1	MKT22	TR2	1330	PROD3	CD1	MKT2	TR2	2433	PROD4	CD1	MKT42	TR2	1130
PROD1	CD1	MKT23	TR2	1201	PROD3	CD1	MKT3	TR2	2937	PROD4	CD1	MKT43	TR2	811
PROD1	CD1	MKT24	TR2	682	PROD3	CD1	MKT4	TR2	2620	PROD4	CD1	MKT44	TR2	1420
PROD1	CD1	MKT25	TR2	1042	PROD3	CD1	MKT5	TR2	2530	PROD4	CD1	MKT45	TR2	1485
PROD1	CD1	MKT26	TR2	1198	PROD3	CD1	MKT6	TR2	2479	PROD4	CD1	MKT46	TR2	1561
PROD1	CD1	MKT27	TR2	1380	PROD3	CD1	MKT7	TR2	2719	PROD4	CD1	MKT47	TR2	1181
PROD1	CD1	MKT28	TR2	1429	PROD3	CD1	MKT8	TR2	2144	PROD4	CD1	MKT48	TR2	1299
PROD1	CD1	MKT29	TR2	870	PROD3	CD1	MKT9	TR2	2158	PROD4	CD1	MKT49	TR2	944
PROD1	CD1	MKT30	TR2	1467	PROD3	CD1	MKT10	TR2	2110	PROD4	CD1	MKT50	TR2	703
PROD1	CD1	MKT31	TR2	1011	PROD3	CD1	MKT11	TR2	2410	PROD4	CD1	MKT51	TR2	782
PROD1	CD1	MKT32	TR2	1447	PROD3	CD1	MKT12	TR2	2588	PROD4	CD1	MKT52	TR2	679
PROD1	CD1	MKT33	TR2	1754	PROD3	CD1	MKT13	TR2	2316	PROD4	CD1	MKT53	TR2	1479
PROD1	CD1	MKT34	TR2	1151	PROD3	CD1	MKT14	TR2	2688	PROD4	CD1	MKT54	TR2	1405
PROD1	CD1	MKT35	TR2	1314	PROD3	CD1	MKT15	TR2	2762	PROD4	CD1	MKT55	TR2	734
PROD1	CD1	MKT36	TR2	635	PROD3	CD1	MKT16	TR2	2942	PROD4	CD1	MKT56	TR2	684
PROD1	CD1	MKT37	TR2	1385	PROD3	CD1	MKT17	TR2	2640	PROD4	CD1	MKT57	TR2	757
PROD1	CD1	MKT38	TR2	1501	PROD3	CD1	MKT18	TR2	2430	PROD4	CD1	MKT58	TR2	1070
PROD1	CD1	MKT39	TR2	773	PROD3	CD1	MKT19	TR2	2552	PROD4	CD1	MKT59	TR2	1136
PROD1	CD1	MKT40	TR2	1150	PROD3	CD1	MKT20	TR2	2699	PROD4	CD1	MKT60	TR2	612
PROD1	CD1	MKT41	TR2	1229	PROD3	CD1	MKT21	TR2	1270	PRODS	CD1	MKT1	TR2	1923
PROD1	CD1	MKT42	TR2	977	PROD3	CD1	MKT22	TR2	1226	PRODS	CD1	MKT2	TR2	762
PROD1	CD1	MKT43	TR2	2024	PROD3	CD1	MKT23	TR2	1413	PRODS	CD1	MKT3	TR2	1494
PROD1	CD1	MKT44	TR2	907	PROD3	CD1	MKT24	TR2	1123	PRODS	CD1	MKT4	TR2	1847
PROD1	CD1	MKT45	TR2	1474	PROD3	CD1	MKT25	TR2	1172	PRODS	CD1	MKT5	TR2	1169
PROD1	CD1	MKT46	TR2	830	PROD3	CD1	MKT26	TR2	1406	PRODS	CD1	MKT6	TR2	1069
PROD1	CD1	MKT47	TR2	1404	PROD3	CD1	MKT27	TR2	1264	PRODS	CD1	MKT7	TR2	1639
PROD1	CD1	MKT48	TR2	1588	PROD3	CD1	MKT28	TR2	1332	PRODS	CD1	MKT8	TR2	1409
PROD1	CD1	MKT49	TR2	1568	PROD3	CD1	MKT29	TR2	1082	PRODS	CD1	MKT9	TR2	1298
PROD1	CD1	MKT50	TR2	1579	PROD3	CD1	MKT30	TR2	1221	PRODS	CD1	MKT10	TR2	799
PROD1	CD1	MKT51	TR2	1280	PROD3	CD1	MKT31	TR2	1355	PRODS	CD1	MKT11	TR2	1193
PROD1	CD1	MKT52	TR2	1553	PROD3	CD1	MKT32	TR2	1178	PRODS	CD1	MKT12	TR2	828
PROD1	CD1	MKT53	TR2	1290	PROD3	CD1	MKT33	TR2	1026	PRODS	CD1	MKT13	TR2	654
PROD1	CD1	MKT54	TR2	1645	PROD3	CD1	MKT34	TR2	1147	PRODS	CD1	MKT14	TR2	727
PROD1	CD1	MKT55	TR2	1026	PROD3	CD1	MKT35	TR2	1311	PRODS	CD1	MKT15	TR2	1305
PROD1	CD1	MKT56	TR2	1069	PROD3	CD1	MKT36	TR2	1558	PRODS	CD1	MKT16	TR2	935
PROD1	CD1	MKT57	TR2	1261	PROD3	CD1	MKT37	TR2	1551	PRODS	CD1	MKT17	TR2	1404
PROD1	CD1	MKT58	TR2	862	PROD3	CD1	MKT38	TR2	1347	PRODS	CD1	MKT18	TR2	676
PROD1	CD1	MKT59	TR2	1220	PROD3	CD1	MKT39	TR2	1252	PRODS	CD1	MKT19	TR2	1049
PROD1	CD1	MKT60	TR2	1593	PROD3	CD1	MKT40	TR2	1143	PRODS	CD1	MKT20	TR2	1185
PROD2	CD1	MKT2	TR2	1514	PROD3	CD1	MKT41	TR2	1470	PRODS	CD1	MKT21	TR2	1844
PROD2	CD1	MKT3	TR2	2758	PROD3	CD1	MKT42	TR2	1385	PRODS	CD1	MKT22	TR2	1062
PROD2	CD1	MKT4	TR2	2638	PROD3	CD1	MKT43	TR2	1172	PRODS	CD1	MKT23	TR2	1356
PROD2	CD1	MKT8	TR2	3984	PROD3	CD1	MKT44	TR2	1145	PRODS	CD1	MKT24	TR2	1341
PROD2	CD1	MKT14	TR2	2438	PROD3	CD1	MKT45	TR2	1453	PRODS	CD1	MKT25	TR2	1332
PROD2	CD1	MKT15	TR2	2361	PROD3	CD1	MKT46	TR2	1206	PRODS	CD1	MKT26	TR2	1572
PROD2	CD1	MKT16	TR2	2495	PROD3	CD1	MKT47	TR2	1552	PRODS	CD1	MKT27	TR2	765
PROD2	CD1	MKT20	TR2	2763	PROD3	CD1	MKT48	TR2	1406	PRODS	CD1	MKT28	TR2	1085
PROD2	CD1	MKT22	TR2	1178	PROD3	CD1	MKT49	TR2	1295	PRODS	CD1	MKT29	TR2	1621
PROD2	CD1	MKT27	TR2	1288	PROD3	CD1	MKT50	TR2	1279	PRODS	CD1	MKT30	TR2	857
PROD2	CD1	MKT28	TR2	1187	PROD3	CD1	MKT51	TR2	1024	PRODS	CD1	MKT31	TR2	717
PROD2	CD1	MKT30	TR2	1393	PROD3	CD1	MKT52	TR2	1223	PRODS	CD1	MKT32	TR2	1816
PROD2	CD1	MKT33	TR2	1045	PROD3	CD1	MKT53	TR2	1442	PRODS	CD1	MKT33	TR2	1641
PROD2	CD1	MKT34	TR2	1481	PROD3	CD1	MKT54	TR2	1383	PRODS	CD1	MKT34	TR2	1838
PROD2	CD1	MKT38	TR2	1421	PROD3	CD1	MKT55	TR2	1248	PRODS	CD1	MKT35	TR2	1008
PROD2	CD1	MKT40	TR2	1456	PROD3	CD1	MKT56	TR2	1302	PRODS	CD1	MKT36	TR2	1568
PROD2	CD1	MKT41	TR2	1012	PROD3	CD1	MKT57	TR2	1211	PRODS	CD1	MKT37	TR2	1723
PROD2	CD1	MKT44	TR2	1528	PROD3	CD1	MKT58	TR2	1357	PRODS	CD1	MKT38	TR2	1322
PROD2	CD1	MKT45	TR2	974	PROD3	CD1	MKT59	TR2	1206	PRODS	CD1	MKT39	TR2	1718
PROD2	CD1	MKT46	TR2	1240	PROD3	CD1	MKT60	TR2	1282	PRODS	CD1	MKT40	TR2	1297
PROD2	CD1	MKT47	TR2	1469	PROD4	CD1	MKT1	TR2	789	PRODS	CD1	MKT41	TR2	1717
PROD2	CD1	MKT48	TR2	1162	PROD4	CD1	MKT2	TR2	662	PRODS	CD1	MKT42	TR2	718
PROD2	CD1	MKT51	TR2	1107	PROD4	CD1	MKT3	TR2	1274	PRODS	CD1	MKT43	TR2	640
PROD2	CD1	MKT52	TR2	1301	PROD4	CD1	MKT4	TR2	1538	PRODS	CD1	MKT44	TR2	871
PROD2	CD1	MKT53	TR2	1148	PROD4	CD1	MKT5	TR2	1563	PRODS	CD1	MKT45	TR2	1982
PROD2	CD1	MKT54	TR2	1341	PROD4	CD1	MKT6	TR2	1190	PRODS	CD1	MKT46	TR2	1148
PROD2	CD1	MKT55	TR2	1460	PROD4	CD1	MKT7	TR2	1252	PRODS	CD1	MKT47	TR2	1116
PROD2	CD1	MKT56	TR2	1236	PROD4	CD1	MKT8	TR2	1587	PRODS	CD1	MKT48	TR2	1627
PROD2	CD1	MKT57	TR2	1463	PROD4	CD1	MKT9	TR2	1470	PRODS	CD1	MKT49	TR2	1508
PROD2	CD1	MKT58	TR2	1321	PROD4	CD1	MKT10	TR2	1300	PRODS	CD1	MKT50	TR2	1547
PROD2	CD1	MKT59	TR2	1313	PROD4	CD1	MKT11	TR2	1446	PRODS	CD1	MKT51	TR2	1120
PROD2	CD1	MKT60	TR2	1382	PROD4	CD1	MKT12	TR2	1377	PRODS	CD1	MKT52	TR2	813
PROD2	CD2	MKT1	TR2	2246	PROD4	CD1	MKT13	TR2	1138	PRODS	CD1	MKT53	TR2	749
PROD2	CD2	MKT5	TR2	2290	PROD4	CD1	MKT14	TR2	700	PRODS	CD1	MKT54	TR2	847
PROD2	CD2	MKT6	TR2	2502	PROD4	CD1	MKT15	TR2	1452	PRODS	CD1	MKT55	TR2	879
PROD2	CD2	MKT7	TR2	2143	PROD4	CD1	MKT16	TR2	1469	PRODS	CD1	MKT56	TR2	1783
PROD2	CD2	MKT9	TR2	2290	PROD4	CD1	MKT17	TR2	1342	PRODS	CD1	MKT57	TR2	629
PROD2	CD2	MKT10	TR2	2341	PROD4	CD1	MKT18	TR2	1203	PRODS	CD1	MKT58	TR2	1830
PROD2	CD2	MKT11	TR2	2989	PROD4	CD1	MKT19	TR2	928	PRODS	CD1	MKT59	TR2	1280
PROD2	CD2	MKT12	TR2	1314	PROD4	CD1	MKT20	TR2	1093	PRODS	CD1	MKT60	TR2	1469

continuação...

Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade	Produto	Armazém	Cliente	Transporte	Quantidade
PROD6	CD1	MKT2	TR2	3672	PROD7	CD2	MKT30	TR2	1278	PROD9	CD1	MKT21	TR2	2920
PROD6	CD1	MKT3	TR2	2910	PROD7	CD2	MKT31	TR2	1536	PROD9	CD1	MKT22	TR2	1750
PROD6	CD1	MKT8	TR2	3144	PROD7	CD2	MKT32	TR2	2382	PROD9	CD1	MKT23	TR2	850
PROD6	CD1	MKT9	TR2	2604	PROD7	CD2	MKT33	TR2	1884	PROD9	CD1	MKT24	TR2	2020
PROD6	CD1	MKT14	TR2	3036	PROD7	CD2	MKT34	TR2	1542	PROD9	CD1	MKT25	TR2	330
PROD6	CD1	MKT15	TR2	3792	PROD7	CD2	MKT35	TR2	1944	PROD9	CD1	MKT26	TR2	1410
PROD6	CD1	MKT20	TR2	4680	PROD7	CD2	MKT36	TR2	2160	PROD9	CD1	MKT27	TR2	1490
PROD6	CD1	MKT21	TR2	3792	PROD7	CD2	MKT37	TR2	1782	PROD9	CD1	MKT28	TR2	2370
PROD6	CD1	MKT22	TR2	2346	PROD7	CD2	MKT38	TR2	1980	PROD9	CD1	MKT29	TR2	2400
PROD6	CD1	MKT24	TR2	3000	PROD7	CD2	MKT39	TR2	3426	PROD9	CD1	MKT30	TR2	1940
PROD6	CD1	MKT27	TR2	3612	PROD7	CD2	MKT40	TR2	2214	PROD9	CD1	MKT31	TR2	1700
PROD6	CD1	MKT28	TR2	3810	PROD7	CD2	MKT41	TR2	1482	PROD9	CD1	MKT32	TR2	640
PROD6	CD1	MKT30	TR2	3192	PROD7	CD2	MKT42	TR2	1896	PROD9	CD1	MKT33	TR2	600
PROD6	CD1	MKT33	TR2	2370	PROD7	CD2	MKT43	TR2	1800	PROD9	CD1	MKT34	TR2	2280
PROD6	CD1	MKT38	TR2	2496	PROD7	CD2	MKT44	TR2	1692	PROD9	CD1	MKT35	TR2	2160
PROD6	CD1	MKT39	TR2	3384	PROD7	CD2	MKT46	TR2	2628	PROD9	CD1	MKT36	TR2	910
PROD6	CD1	MKT41	TR2	3336	PROD7	CD2	MKT47	TR2	852	PROD9	CD1	MKT37	TR2	920
PROD6	CD1	MKT44	TR2	3522	PROD7	CD2	MKT48	TR2	2082	PROD9	CD1	MKT38	TR2	1370
PROD6	CD1	MKT45	TR2	2022	PROD7	CD2	MKT49	TR2	2286	PROD9	CD1	MKT39	TR2	2490
PROD6	CD1	MKT46	TR2	3348	PROD7	CD2	MKT50	TR2	2346	PROD9	CD1	MKT40	TR2	2820
PROD6	CD1	MKT47	TR2	3342	PROD8	CD1	MKT1	TR2	2022	PROD9	CD1	MKT41	TR2	2110
PROD6	CD1	MKT48	TR2	2400	PROD8	CD1	MKT2	TR2	4182	PROD9	CD1	MKT42	TR2	410
PROD6	CD1	MKT51	TR2	3708	PROD8	CD1	MKT3	TR2	1482	PROD9	CD1	MKT43	TR2	2910
PROD6	CD1	MKT52	TR2	696	PROD8	CD1	MKT4	TR2	726	PROD9	CD1	MKT44	TR2	1000
PROD6	CD1	MKT53	TR2	3132	PROD8	CD1	MKT8	TR2	4716	PROD9	CD1	MKT45	TR2	630
PROD6	CD1	MKT54	TR2	2280	PROD8	CD1	MKT14	TR2	1074	PROD9	CD1	MKT46	TR2	300
PROD6	CD1	MKT55	TR2	3606	PROD8	CD1	MKT15	TR2	4074	PROD9	CD1	MKT47	TR2	1430
PROD6	CD1	MKT56	TR2	1440	PROD8	CD1	MKT16	TR2	2958	PROD9	CD1	MKT48	TR2	670
PROD6	CD1	MKT57	TR2	3246	PROD8	CD1	MKT20	TR2	2004	PROD9	CD1	MKT49	TR2	630
PROD6	CD1	MKT58	TR2	1590	PROD8	CD1	MKT22	TR2	1050	PROD9	CD1	MKT50	TR2	510
PROD6	CD1	MKT59	TR2	4698	PROD8	CD1	MKT24	TR2	4056	PROD9	CD1	MKT51	TR2	300
PROD6	CD1	MKT60	TR2	3252	PROD8	CD1	MKT26	TR2	3324	PROD9	CD1	MKT52	TR2	2600
PROD6	CD2	MKT1	TR2	1818	PROD8	CD1	MKT27	TR2	4122	PROD9	CD1	MKT53	TR2	2950
PROD6	CD2	MKT4	TR2	3396	PROD8	CD1	MKT28	TR2	1026	PROD9	CD1	MKT54	TR2	1380
PROD6	CD2	MKT5	TR2	3318	PROD8	CD1	MKT30	TR2	4224	PROD9	CD1	MKT55	TR2	2070
PROD6	CD2	MKT6	TR2	2838	PROD8	CD1	MKT33	TR2	2580	PROD9	CD1	MKT56	TR2	410
PROD6	CD2	MKT7	TR2	3258	PROD8	CD1	MKT34	TR2	1572	PROD9	CD1	MKT57	TR2	2550
PROD6	CD2	MKT10	TR2	1794	PROD8	CD1	MKT35	TR2	4080	PROD9	CD1	MKT58	TR2	2640
PROD6	CD2	MKT11	TR2	2574	PROD8	CD1	MKT38	TR2	2082	PROD9	CD1	MKT59	TR2	1010
PROD6	CD2	MKT12	TR2	2808	PROD8	CD1	MKT40	TR2	1278	PROD9	CD1	MKT60	TR2	2670
PROD6	CD2	MKT13	TR2	2598	PROD8	CD1	MKT41	TR2	2412	PROD10	CD1	MKT2	TR2	1152
PROD6	CD2	MKT16	TR2	2796	PROD8	CD1	MKT44	TR2	1698	PROD10	CD1	MKT3	TR2	2532
PROD6	CD2	MKT17	TR2	3024	PROD8	CD1	MKT45	TR2	4116	PROD10	CD1	MKT4	TR2	1512
PROD6	CD2	MKT18	TR2	2178	PROD8	CD1	MKT46	TR2	1836	PROD10	CD1	MKT7	TR2	1308
PROD6	CD2	MKT19	TR2	3426	PROD8	CD1	MKT47	TR2	1440	PROD10	CD1	MKT8	TR2	2676
PROD6	CD2	MKT23	TR2	3468	PROD8	CD1	MKT48	TR2	3504	PROD10	CD1	MKT13	TR2	3912
PROD6	CD2	MKT25	TR2	2286	PROD8	CD1	MKT51	TR2	4812	PROD10	CD1	MKT14	TR2	1500
PROD6	CD2	MKT26	TR2	3216	PROD8	CD1	MKT52	TR2	4050	PROD10	CD1	MKT15	TR2	1584
PROD6	CD2	MKT29	TR2	3564	PROD8	CD1	MKT53	TR2	1392	PROD10	CD1	MKT19	TR2	4704
PROD6	CD2	MKT31	TR2	1332	PROD8	CD1	MKT54	TR2	1794	PROD10	CD1	MKT20	TR2	1248
PROD6	CD2	MKT32	TR2	2874	PROD8	CD1	MKT55	TR2	2814	PROD10	CD1	MKT21	TR2	3156
PROD6	CD2	MKT34	TR2	4698	PROD8	CD1	MKT56	TR2	2808	PROD10	CD1	MKT22	TR2	2844
PROD6	CD2	MKT35	TR2	2460	PROD8	CD1	MKT57	TR2	2598	PROD10	CD1	MKT23	TR2	5424
PROD6	CD2	MKT36	TR2	3342	PROD8	CD1	MKT58	TR2	1866	PROD10	CD1	MKT24	TR2	3444
PROD6	CD2	MKT37	TR2	2940	PROD8	CD1	MKT59	TR2	3096	PROD10	CD1	MKT25	TR2	1944
PROD6	CD2	MKT40	TR2	2514	PROD8	CD1	MKT60	TR2	1776	PROD10	CD1	MKT26	TR2	2172
PROD6	CD2	MKT42	TR2	2844	PROD8	CD2	MKT5	TR2	1848	PROD10	CD1	MKT27	TR2	1920
PROD6	CD2	MKT43	TR2	3384	PROD8	CD2	MKT6	TR2	1896	PROD10	CD1	MKT29	TR2	2892
PROD6	CD2	MKT49	TR2	3402	PROD8	CD2	MKT7	TR2	2946	PROD10	CD1	MKT30	TR2	4200
PROD6	CD2	MKT50	TR2	4014	PROD8	CD2	MKT9	TR2	1860	PROD10	CD1	MKT31	TR2	2700
PROD7	CD1	MKT3	TR2	2580	PROD8	CD2	MKT10	TR2	3102	PROD10	CD1	MKT33	TR2	3636
PROD7	CD1	MKT8	TR2	2196	PROD8	CD2	MKT11	TR2	954	PROD10	CD1	MKT34	TR2	4284
PROD7	CD1	MKT14	TR2	1230	PROD8	CD2	MKT12	TR2	3114	PROD10	CD1	MKT36	TR2	4884
PROD7	CD1	MKT15	TR2	1746	PROD8	CD2	MKT13	TR2	1356	PROD10	CD1	MKT40	TR2	4764
PROD7	CD1	MKT20	TR2	2922	PROD8	CD2	MKT17	TR2	4854	PROD10	CD1	MKT45	TR2	3720
PROD7	CD1	MKT22	TR2	2076	PROD8	CD2	MKT18	TR2	2094	PROD10	CD1	MKT46	TR2	5316
PROD7	CD1	MKT45	TR2	1674	PROD8	CD2	MKT19	TR2	3618	PROD10	CD1	MKT47	TR2	5124
PROD7	CD1	MKT51	TR2	2466	PROD8	CD2	MKT21	TR2	2694	PROD10	CD1	MKT49	TR2	3252
PROD7	CD1	MKT52	TR2	2034	PROD8	CD2	MKT23	TR2	2496	PROD10	CD1	MKT50	TR2	3588
PROD7	CD1	MKT53	TR2	2304	PROD8	CD2	MKT25	TR2	2160	PROD10	CD1	MKT53	TR2	444
PROD7	CD1	MKT54	TR2	2076	PROD8	CD2	MKT29	TR2	786	PROD10	CD1	MKT54	TR2	708
PROD7	CD1	MKT55	TR2	1506	PROD8	CD2	MKT31	TR2	2586	PROD10	CD1	MKT56	TR2	5856
PROD7	CD1	MKT56	TR2	1902	PROD8	CD2	MKT32	TR2	726	PROD10	CD1	MKT57	TR2	4260
PROD7	CD1	MKT57	TR2	2604	PROD8	CD2	MKT36	TR2	1452	PROD10	CD1	MKT58	TR2	5508
PROD7	CD1	MKT58	TR2	2694	PROD8	CD2	MKT37	TR2	4860	PROD10	CD1	MKT59	TR2	1080
PROD7	CD1	MKT59	TR2	2070	PROD8	CD2	MKT39	TR2	3714	PROD10	CD1	MKT60	TR2	2952
PROD7	CD1	MKT60	TR2	1188	PROD8	CD2	MKT42	TR2	2670	PROD10	CD2	MKT1	TR2	3000
PROD7	CD2	MKT1	TR2	1842	PROD8	CD2	MKT43	TR2	1758	PROD10	CD2	MKT5	TR2	3648
PROD7	CD2	MKT2	TR2	2298	PROD8	CD2	MKT49	TR2	876	PROD10	CD2	MKT6	TR2	5424
PROD7	CD2	MKT4	TR2	1476	PROD8	CD2	MKT50	TR2	4266	PROD10	CD2	MKT9	TR2	5844
PROD7	CD2	MKT5	TR2	2214	PROD9	CD1	MKT1	TR2	2650	PROD10	CD2	MKT10	TR2	4044
PROD7	CD2	MKT6	TR2	1278	PROD9	CD1	MKT2	TR2	2860	PROD10	CD2	MKT11	TR2	1356
PROD7	CD2	MKT7	TR2	2082	PROD9	CD1	MKT3	TR2	570	PROD10	CD2	MKT12	TR2	2532
PROD7	CD2	MKT9	TR2	1380	PROD9	CD1	MKT4	TR2	790	PROD10	CD2	MKT16	TR2	3552
PROD7	CD2	MKT10	TR2	2538	PROD9	CD1	MKT5	TR2	2220	PROD10	CD2	MKT17	TR2	1236
PROD7	CD2	MKT11	TR2	2802	PROD9	CD1	MKT6	TR2	690	PROD10	CD2	MKT18	TR2	3012
PROD7	CD2	MKT12	TR2	1338	PROD9	CD1	MKT7	TR2	1160	PROD10	CD2	MKT28	TR2	2208
PROD7	CD2	MKT13	TR2	2160	PROD9	CD1	MKT8	TR2	1070	PROD10	CD2	MKT32	TR2	4284
PROD7	CD2	MKT16	TR2	1950	PROD9	CD1	MKT9	TR2	2080	PROD10	CD2	MKT35	TR2	3864
PROD7	CD2	MKT17	TR2	1488	PROD9	CD1	MKT10	TR2	2810	PROD10	CD2	MKT37	TR2	3720
PROD7	CD2	MKT18	TR2	2136	PROD9	CD1	MKT11	TR2	2460	PROD10	CD2	MKT38	TR2	1008
PROD7	CD2	MKT19	TR2	1428	PROD9	CD1	MKT12	TR2	700	PROD10	CD2	MKT39	TR2	4164
PROD7	CD2	MKT21	TR2	2154	PROD9	CD1	MKT13	TR2	2250	PROD10	CD2	MKT41	TR2	1284
PROD7	CD2	MKT23	TR2	1626	PROD9	CD1	MKT14	TR2	650	PROD10	CD2	MKT42	TR2	1116
PROD7	CD2	MKT24	TR2	2286	PROD9	CD1	MKT15	TR2	360	PROD10	CD2	MKT43	TR2	4764
PROD7	CD2	MKT25	TR2	2022	PROD9	CD1	MKT16	TR2	2960	PROD10	CD2	MKT44	TR2	504
PROD7	CD2	MKT26	TR2	2034	PROD9	CD1	MKT17	TR2	2410	PROD10	CD2	MKT48	TR2	3060
PROD7	CD2	MKT27	TR2	1206	PROD9	CD1	MKT18	TR2	2940	PROD10	CD2	MKT52	TR2	3120
PROD7	CD2	MKT28	TR2	2904	PROD9	CD1	MKT19	TR2	850	PROD10	CD2	MKT55	TR2	2952
PROD7	CD2	MKT29	TR2	2406	PROD9	CD1	MKT20	TR2	2640	PROD10	CD2	MKT51	TR1	3624

A Tabela 16 exibe os parâmetros da política de estoques do ponto do pedido com demanda incerta para a instância 3. Percebe-se que somente o produto 7 a partir do CD1 e o produto 2 a partir do CD2 não apresentam uma quantidade do ponto do pedido superior ao tamanho do lote, não necessitando, portanto, de uma reavaliação do seus lead-times (tempo de ressurgimento).

Tabela 16 - Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 3.

	Produtos	Ponto do Pedido	Tamanho do Lote	Lead-time (mês)	Demanda Média	Estoque de Segurança
CD1	PROD1	1.558	865	0,20	1.510	48
	PROD2	903	602	0,20	864	39
	PROD3	1.381	865	0,15	1.284	97
	PROD4	1.136	762	0,20	1.100	36
	PROD5	1.293	696	0,20	1.252	41
	PROD6	1.336	931	0,15	1.218	118
	PROD7	369	532	0,10	294	75
	PROD8	1295	839	0,15	1.183	112
	PROD9	1686	857	0,20	1.628	58
	PROD10	1124	947	0,10	935	189
CD2	PROD2	875	651	0,20	834	41
	PROD6	1133	797	0,15	1.027	106
	PROD7	818	744	0,10	702	116
	PROD8	825	619	0,15	734	91
	PROD10	745	745	0,10	611	134

#### 4.4 Quarta Instância

A transportadora TR3, que possui preços competitivos é apresentada como opção a partir do CD1. O serviço desta transportadora TR3 é oferecido na condição de que os clientes estejam localizados dentro de um raio de 600 quilômetros do CD1. Com a inclusão dos novos clientes foi necessário refazer a classificação ABC. O resultado desta classificação é o mesmo apresentado na Tabela 13 da instância anterior. Para poder suprir a demanda dos mercados novos aumentou-se a capacidade dos fornecedores em 30%. A estrutura da cadeia de suprimentos é mostrada na Figura 18.

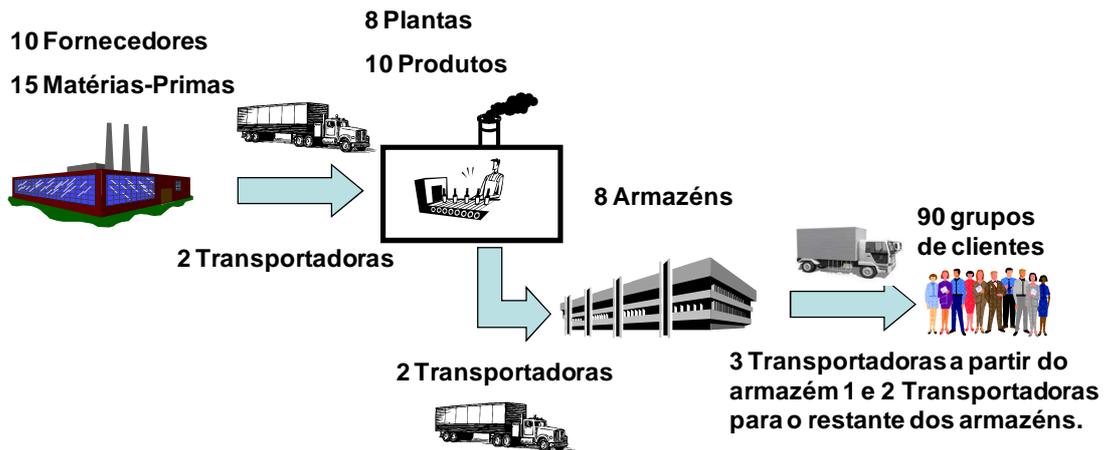


Figura 17 – Estrutura da rede de suprimentos modelada da quarta instância.

O modelo gerou 13.970 restrições, 39.907 variáveis, sendo 12.786 inteiras. No momento da execução, o AIMMS solicitou uma alocação extra de memória de 1.996 Mega bytes para o programa. O problema é que o AIMMS roda em ambiente Windows Vista no notebook e, mesmo utilizando o CPLEX 11.0 (PS)<sup>1</sup>, o programa solicita mais memória que o notebook não possui. Por este motivo a quarta instância não pode ser executada.

#### 4.5 Análise dos Experimentos

As quatro instâncias foram desenvolvidas de forma a refletir o crescimento de uma cadeia de suprimentos, impactando, portanto, seu grau de complexidade (número de variáveis inteiras e restrições não lineares). O algoritmo “Outer Approximation” requer relativamente poucos ciclos ou iterações externas, segundo Biegler e Grossmann (2004). A estatística computacional das três instâncias rodadas é apresentada na Tabela 17.

<sup>1</sup> Normalmente o CPLEX e o AIMMS rodam no mesmo endereço de espaço, se for selecionado a opção CPLEX 11.0 (PS) os dois funcionarão em endereços diferentes liberando mais memória para a resolução do problema.

Tabela 17 – Estatística computacional das instâncias rodadas.

	Instância 1	Instância 2	Instância 3
N° Total de variáveis	2.818	10.895	21.423
N° Total de Variáveis Binárias	1.293	4.366	8.142
N° de Restrições	1.444	5.061	10.107
N° de Chamadas NLP e MILP	12	3	2
N° de Iterações NLP	12	3	2
N° de Iterações MILP	6.888.781	3.228.522	2.175.477
Tempo Total (segundos)	8.013,87	10.383,49	15.342,75
Memória Consumida (Mb)	96,70	101,00	131,20

Na Tabela 17, os resultados da última instância não são apresentados, visto que ela não pode ser executada. Observe que dobrando o número de variáveis e de restrições das instâncias o tempo de processamento e a memória consumida não seguem a mesma tendência de aumento linear nem exponencial. Uma das hipóteses que pode explicar os resultados da instância 1 é que subproblemas não lineares foram abordados durante a execução do algoritmo, requerendo, portanto, um esforço maior para convergir para o valor ótimo em termos de recursos (memória e tempo de processamento).

Uma análise mais detalhada pode ser feita com relação aos custos envolvidos na distribuição dos produtos aos clientes. A Figura 18 ilustra os custos nas três instâncias. São divididos em custos de transporte de entrada (custo de transporte entre plantas e armazéns), custo fixo de localização e alocação (custo fixo de manutenção da instalação e de alocação dos produtos aos armazéns selecionados), custo de estocagem e custos de transporte de saída (custo de transporte entre os armazéns e os clientes).

Pode-se observar um crescimento exponencial na maioria dos custos apresentados no gráfico na Tabela 18, com exceção dos custos referentes ao transporte de produtos entre as plantas e armazéns localizados. Isto pode ser

explicado em função da localização dos mesmos. Na instância 1, as plantas PLT1 e PLT5 estão mais distantes do CD1 do que as plantas PLT1, PLT7 e PLT8 estão dos CD4 e CD5 na instância 2. A distância associada ao custo do transporte por de cada produto por quilômetro percorrido pode elevar e muito os custos de movimentação. Para se ter uma idéia, a distância média ponderada percorrida entre as plantas e os armazéns na instância 1 foi de 1678 km para cada produto, enquanto na instância 2 foi de 256 km. Essa mesma analogia poderia ser usada na instância 3, onde em média cada produto percorreu 1922 km, o que elevaria em muitos os custos com o transporte de entrada.

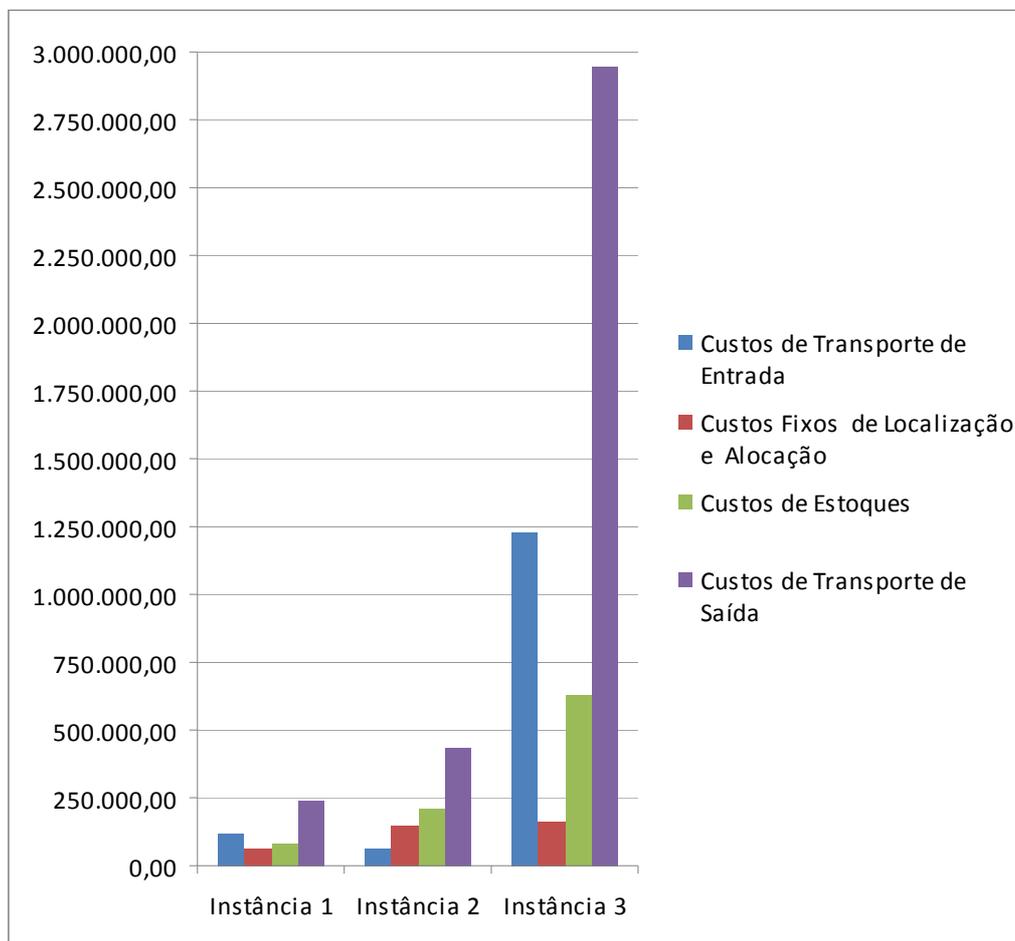


Figura 18 – Representação gráfica dos custos de distribuição dos produtos nas três instâncias.