

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ASPECTOS LOGÍSTICOS, FISCAIS E AMBIENTAIS NO PROJETO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO FÍSICA

Plinio Rillo Carraro (POLI-USP)

plinio.carraro@accenture.com

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki (POLI-USP)

hugo@usp.br



Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados da análise dos trade-offs existentes entre os custos logísticos, os incentivos fiscais baseados no ICMS e as variações no volume de emissões de carbono gerados nos problemas de localização de Fábricas e Centros de Distribuição. Elaborou-se um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) em GAMS, capaz de determinar o menor custo total de um problema, através da otimização de sua função objetivo composta pelos custos fixos e variáveis dos centros de distribuição e fábricas, custos de transporte (frete de transferência e distribuição), benefícios fiscais e custos ambientais. O modelo foi elaborado de modo a permitir flexibilidade suficiente para simular os diversos cenários que se fizeram necessários durante as análises. Utilizando-se deste modelo, foram avaliados diversos cenários com base em dados reais de uma empresa de bens de consumo não duráveis. Alguns desses cenários estudados geraram grandes distorções em relação ao cenário logístico ótimo, devido a incidência dos incentivos fiscais em alguns estados brasileiros, mostrando como a guerra fiscal no país pode influenciar decisões estratégicas de negócio. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o benefício fiscal associado ao crédito presumido de ICMS tem impacto significativo nas decisões de localização, por reduzir de forma relevante os custos totais. Já os custos ambientais, relacionados ao aumento da emissão de carbono, apesar de serem importantes nas decisões de empresas social e ambientalmente responsáveis, tem peso econômico desprezível e não alteram o resultado da análise, mostrando que a política fiscal brasileira gera um aumento da emissão de poluentes na atmosfera e um aumento do desgaste e do fluxo de veículos de transporte pelas rodovias do País.

Palavras-chaves: Logística, Projeto de Rede, Impostos, ICMS, Carbono.

1. Introdução

A análise da interação entre aspectos logísticos e fiscais com o emprego de modelos de otimização tem sido mais freqüente na literatura, dada a importância do tema (Yoshizaki, 2002; Junqueira e Morábito, 2006; Silva, 2007; Hamad e Gualda, 2008; Yoshizaki et al, 2008). Este trabalho incorpora uma dimensão de sustentabilidade nos trabalhos anteriores, ao modelar e avaliar o impacto dos benefícios fiscais na estratégia de localização de fábricas e centros de distribuição e verificar as alterações causadas pelo acréscimo de uma variável ambiental aos critérios de decisão. Utilizando-se do mecanismo de estudo de caso, foi avaliado neste artigo o projeto de rede para uma empresa de bens de consumo não duráveis.

Para conduzir esta análise foi desenvolvido um modelo matemático que incorpora os *trade-offs* existentes na otimização logística (custos de estoques, transporte e distribuição, custos fixos, etc.), as políticas brasileiras de incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS e o custo relativo ao volume de emissão de carbono. Desta forma, consegue-se quantificar a influência da redução de impostos e da questão ambiental nos custos logísticos e seus efeitos na configuração da rede logística.

2. Descrição do Problema

Este estudo se aplica a uma rede de distribuição física composta por três elos (Fábrica, Centro de Distribuição e Mercado) – vide Figura 1, a partir do qual se formula um modelo que representa o fluxo de distribuição e que é capaz de determinar a configuração ótima da malha logística (quantidade, capacidade e localização de cada elo) com o menor custo total para a empresa.

Os fluxos são orientados da Fábrica para os Centros de Distribuição e, destes, para o Mercado. Obrigatoriamente, todos os produtos devem passar pelos três elos da cadeia até chegar ao mercado consumidor final, pois este é o modelo operacional adotado atualmente pela empresa, que utiliza o seu centro de distribuição para preparar os pedidos dos clientes.

O modal de transporte utilizado para todas as movimentações é o rodoviário, considerando a existência de três tipos de veículos: para a transferência apenas carretas e para a distribuição, caminhões trucados e VUC (Veículo Urbano de Carga). A frota de veículos utilizada pela empresa é de uso exclusivo e a modalidade de frete é sempre CIF, ou seja, os custos de transporte devem ser considerados na análise do custo total do modelo em estudo.

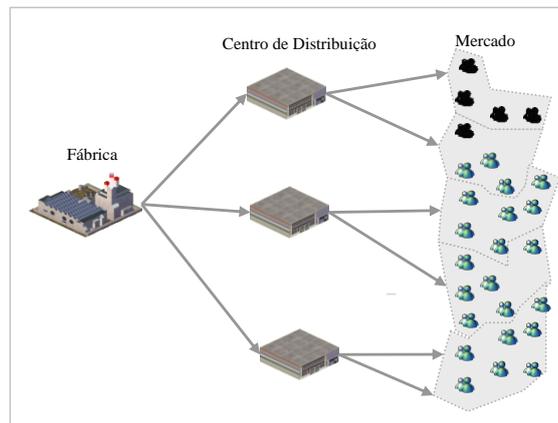


Figura 1 – Representação do Fluxo de Distribuição

Os diversos produtos fabricados e distribuídos foram agrupados em três grupos devido às suas semelhanças nos aspectos produtivos. O cálculo de preço de venda, margem e demais características inerentes ao produto foram feitos de forma ponderada, de modo a respeitar o mix real da empresa.

Para representar os mercados, assim como fez Yoshizaki (2002), a demanda foi consolidada por meso-regiões do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), somando-se as demandas e aplicando-as à cidade-centro de cada meso-região.

Existem três possíveis localizações para as fábricas, cada uma com capacidade para atender sozinha toda a demanda do mercado para todos os produtos, e sete localizações para os centros de distribuição, três deles nos mesmos Estados onde podem estar as fábricas e os quatro restantes, nas capitais de maior concentração de demanda na região sul e nordeste.

Cada tipo de produto deve ser produzido na sua totalidade em apenas umas das fábricas devido as restrições das instalações das linhas de produção, no entanto, os mercados podem ser abastecidos por mais de um centro de distribuição. Assim, permite-se a abertura de múltiplas fábricas e centros de distribuição, instalados com diversos níveis de capacidade para satisfazer de maneira enxuta, sem excesso de capacidade ociosa, a demanda a eles associada.

As variações de estoque causadas pelas variações na malha em função do número de Centros de Distribuição são contabilizadas através do cálculo do estoque em trânsito referente aos arcos da malha. O impacto do fornecimento de matéria-prima dos fornecedores para as fábricas também é considerado no custo total.

O ICMS incidente sobre as transações é 100% repassado ao mercado, porém não se considera o crédito de ICMS gerado pela compra de matérias-primas na fábrica devido ao mesmo ser acrescido pelo fornecedor no momento da compra.

Por fim, apenas a emissão de carbono realizada pelo transporte é considerada, assumindo-se que as emissões realizadas pelas fábricas e centros de distribuição não sofrem mudança devido ao seu local de abertura ou capacidade, uma vez que 100% da demanda é atendida.

3. Conceitos Importantes

3.1. O ICMS, a concessão de benefícios fiscais e seu impacto sobre o desenho de rede

O ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) é um tributo

estadual cobrado sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de comunicação e de transporte interestadual, intermunicipal, observadas algumas exceções tais como livros, periódicos, artigos de exportação, entre outros. Incidente sobre a maioria das operações logísticas, senão todas, desde os fornecedores até os clientes finais, o ICMS é um imposto especialmente relevante no estudo de localização de instalações em malhas logísticas de distribuição.

Segundo Melo (2006), o ICMS é um imposto não-cumulativo, compensando-se o que for devido em cada operação e, dependendo dos valores dos produtos e dos estados de origem e destino, gerando créditos ou débitos de imposto ao governo. A estrutura de alíquotas do ICMS é diferenciada em função da origem e destino da circulação de mercadorias, devido a uma política do governo para favorecer os estados tipicamente importadores de mercadorias. O cálculo do valor do imposto é feito considerando a alíquota de origem e destino e embutindo o valor no preço final do produto, tal como exibido na formulação abaixo:

$$ICMS = \left[\frac{\text{Preço do Produto}}{(1 - \text{Aliquota ICMS})} - \text{Preço do Produto} \right]$$

Devido ao princípio de não-cumulatividade, uma empresa que decidir pela utilização de um centro de distribuição em diferentes localizações não terá resultado final (balanço entre custos e receitas) alterado. O resultado final em cada um dos elos da cadeia permanece sempre o mesmo, tendo variação apenas no balanço de ICMS.

Assim como alertado por Silva (2007), além da estrutura de créditos e débitos, que permite avaliar o impacto do ICMS sobre a rede de distribuição de maneira isolada, existem diversos outros fatores que estão diretamente ligados ao ICMS e que podem causar impacto direto na rede de distribuição das empresas, os quais se podem citar:

- a) Sonegação Fiscal: existência de elementos na cadeia que sonegam impostos: fornecedores, indústrias, atacadistas, varejistas, etc;
- b) Prazo para compensação de Saldo: Compensação do saldo do ICMS devido a realizar-se antes ou depois do recebimento pelas vendas;
- c) Concessão de benefícios: Incentivos para elementos da rede de distribuição.

Este artigo aborda a concessão de benefícios fiscais, acrescentando uma variável ambiental de modo a analisar os trade-offs existentes entre os incentivos auferidos e o meio-ambiente. Segundo Netto (2003), existem vários tipos de incentivos fiscais, porém o autor classifica dois deles como sendo os mais importantes: Crédito Financeiro (financiamento subsidiado de parte ou do total dos débitos do ICMS para prolongar o prazo para quitação) e Crédito Presumido (o Estado concede uma redução do montante do imposto devido pelo vendedor no momento do pagamento do imposto, mas o cliente final recebe o crédito integral indicado na NF). Para melhor esclarecer o conceito de crédito presumido, vamos realizar um cálculo de exemplo, assumindo que o incentivo fiscal é de 3% no centro de distribuição.

- Saldo de ICMS no CD devido à compra da fábrica e venda ao cliente final= (R\$20,45)
- Preço de Venda ao cliente final: R\$568,18
- Incentivo Fiscal = 3% do preço de venda = $0,03 \times R\$568,18 = R\$17,05$
- Valor do imposto a ser pago ao governo pelo CD: $(R\$20,45) + R\$17,05 = (R\$3,40)$
- Valor do imposto a ser creditado pelo governo ao cliente final: R\$20,45

Considera-se que o incentivo fiscal sobre o ICMS é um percentual de desconto dado pelo

Estado sobre o saldo de ICMS das empresas. Assim, concluí-se que as diferenças de alíquotas de ICMS não afetam a malha logística, veremos que a aplicação de descontos nos pagamentos de ICMS irão efetivamente alterar a malha. Yoshizaki (2002) foi um dos primeiros a abordar o impacto fiscal, considerando o ICMS como um componente de custo estratégico na determinação de uma rede física de distribuição. O autor considera que o gerenciamento e controle dos custos tributários são fundamentais para a tomada de decisão.

3.2. A questão ambiental: Gases do Efeito Estufa e as metas internacionais de redução

Não é novidade que estamos enfrentando uma mudança climática que se faz evidente no aumento da temperatura média global, na aceleração do derretimento de neve e gelo, na elevação do nível médio do mar e em muitos outros fenômenos naturais. Muito se tem estudado sobre estas mudanças e como estão ligadas ao crescimento da concentração de gases poluentes na atmosfera.

A comunidade internacional vem desenhando uma série de regulamentações e diretrizes com o objetivo de atingir a estabilização da concentração dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. A “Convenção do Clima” (*United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*), escrita em 2001, e o Protocolo de Kyoto, em vigor desde 2005, são grandes exemplos destas regulamentações. O Protocolo de Kyoto determina que, no período entre 2008 e 2012 (primeiro período de compromisso), os países industrializados deverão reduzir suas emissões de GEE em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990. As metas de Kyoto não são estabelecidas de forma homogênea entre todos os países do mundo, sendo aplicados níveis de redução diferentes para os 38 países que mais emitem gases no mundo. A diminuição prevista na emissão de gases na União Européia é de 8%, nos Estados Unidos de 7%, no Japão 6% e nas nações em desenvolvimento (Brasil, México, Argentina, China, Índia, etc.) não existe nenhuma meta de redução (UNFCCC, 2001b).

O Protocolo de Kyoto trata de maneira combinada os seis principais gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , HFCs e PFCs), fazendo com que a redução de cada gás seja contabilizada em função da redução total estabelecida na meta, criando taxas de equivalência em CO_2 para viabilizar a quantificação dos resultados. A contabilização conjunta parte do princípio que uma tonelada de CO_2 corresponde a uma unidade de crédito de carbono, ou seja, que seu potencial de aquecimento global pode ser arbitrariamente estipulado como 1 (um). A partir deste princípio, é estabelecido o conceito de CO_2 equivalente, que nada mais é que a multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global.

O Protocolo criou três mecanismos de flexibilização para ajudar aos países desenvolvidos a atingirem suas metas. Dois destes mecanismos são de aplicação exclusiva entre os países desenvolvidos: Implementação Conjunta de projetos, IC, e o Comércio de Emissões, CE. Apenas o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, MDL, se estende aos países em desenvolvimento e é a alternativa que mais interessa ao Brasil, por permitir que os países industrializados alcancem suas metas de redução ao investir em projetos de redução de emissão realizados em países em desenvolvimento, alternativa que mais interessa ao Brasil.

- a) Implementação Conjunta (IC) – permite que países desenvolvidos possam financiar projetos de redução das emissões de GEEs em outros países que apresentam metas a cumprir, com o objetivo de facilitar e tornar mais barato para cada país chegar às suas metas;
- b) Comércio de Emissões (CE) – estabelece um mercado de compra e venda do “direito de emitir gases”, ou seja, cria regras para se comercializar créditos de carbono. O CE permite

- que um país que tenha diminuído as emissões de GEE além de sua meta transfira o excesso de suas reduções para outro país que não tenha alcançado tal condição;
- c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – semelhante ao IC, mas permite que os créditos de carbono sejam alocados a países desenvolvidos que financiem projetos realizados em países em desenvolvimento onde o custo de implantação é menor.

Através do MDL, as empresas que não conseguirem reduzir suas emissões poderão comprar Reduções Certificadas de Emissão (RCE) em países em desenvolvimento e usá-las, com alguma limitação, para cumprir suas obrigações. A elaboração de um projeto de MDL deve passar por uma série de fases de validação para chegar à emissão e comprovação das RCEs.

Uma vez que Protocolo de Kyoto estabeleceu mecanismos de compra e venda de créditos de carbono (CE), gerou-se a tendência do carbono se tornar efetivamente uma moeda de troca. Segundo o mais recente estudo do Banco Mundial (Capoor; Ambrosi, 2008), que acompanha a evolução do mercado de carbono desde 2003, o ano de 2007 foi especialmente interessante para as iniciativas de restrição de emissão de gases justamente pela proximidade do início do primeiro período. O mercado de carbono foi avaliado em US\$64 Bilhões, o que demonstra um crescimento de mais de 100% em relação à valorização do ano anterior e consolida a velocidade com que este mercado vem se estabelecendo (em 2006 o mercado foi avaliado em US\$31 Bilhões e em 2005, eram apenas US\$ 11 Bilhões).

A Bolsa do Clima de Chicago, CCX (www.chicagoclimatex.com), foi a primeira Bolsa do mundo a negociar reduções certificadas de emissões de GEE, iniciando suas atividades em outubro de 2003. As empresas a ela associadas comprometeram-se de maneira espontânea a diminuir em 4% as emissões de GEE, em relação aos níveis emitidos em 1998. A CCX e suas filiais possuem suas próprias normas para as empresas receberem os créditos devidos à redução de emissões e negociá-los com outras empresas. A *commodity* negociada é um contrato futuro, chamado CFI – Instrumento de Financiamento do Carbono – que representa 100 toneladas de CO₂ equivalente e que pode ser resultado de uma iniciativa já validada (permissão de emissão) ou de projetos em avaliação. Para cada ano em que as reduções de GEE terão efeito, uma CFI é emitida e negociada.

O *Green House Gas Protocol*, ou Protocolo dos Gases do Efeito Estufa (www.ghgprotocol.org), é a metodologia internacional mais difundida de gestão de emissões de gases do efeito estufa, sendo a ferramenta mais utilizada por governantes, líderes sociais e empresários para quantificar e gerenciar tais emissões, sendo a metodologia oficialmente adotada pelo Brasil para inventariar a emissão de GEE, os. O *GHG Protocol* possui uma série de ferramentas e estabelece diretrizes para o cálculo da emissão de carbono em diversas indústrias e negócios existentes pelo mundo. É com base nas definições do *GHG Protocol* que foi analisado o impacto das emissões de carbono nos modelos logísticos.

4. Modelo de distribuição

Um modelo de Programação Linear Inteira Mista, baseado em Silva (2007) e descrito a seguir, foi desenvolvido para aplicação do problema de localização de fábricas e centros de distribuição de forma a minimizar o custo total levando-se em consideração alguns aspectos logísticos, fiscais e ambientais.

Para resolução do problema proposto foi utilizada como linguagem de manipulação algébrica o GAMS e o CPLEX 11.0 como solver. Ao contrário do realizado por Silva (2007), que

utilizou o solver do What's Best! 8.0, da Lindo Systems Inc., em planilha Excel, possibilitando maior flexibilidade ao modelo e proporcionando maior velocidade de adequação de cenários. De acordo com (Godoy; Yoshizaki, 1995; Hino, 1999), o emprego do GAMS facilita demasiadamente a codificação dos modelos e elaboração de cenários.

O modelo em GAMS foi simulado utilizando uma máquina com processador Intel Pentium Core 2 Duo® de 2.00GHz com espaço disponível em memória RAM de 2GB com sistema operacional Windows Vista®. O modelo levou aproximadamente 15 segundos (814 interações) para chegar à resposta otimizada de cada cenário, sendo composto por 3333 variáveis (317 variáveis binárias e 3016 variáveis reais) e 3498 restrições, contendo 3917 parâmetros.

4.1. Índices

I	...	Fábrica [$i=1, \dots, I$].
J	...	Centros de Distribuição [$j=1, \dots, J$].
k	...	Mercados [$k=1, \dots, K$].
w	...	Fornecedores [$w=1, \dots, W$]
p	...	Produtos [$p=1, \dots, P$].
n	...	Nível de capacidade dos CDs [$n=1, \dots, N$].
m	...	Nível de capacidade das Fábricas [$m=1, \dots, M$].

4.2. Parâmetros

Dempk	...	Demanda do produto p no mercado k (t/ano).
CapFabim	...	Capacidade de produção da fábrica i no nível m (t/ano).
CapProdip	...	Capacidade de produção na fábrica i do produto p (t/ano).
CapCDjn	...	Capacidade do CD j no nível de capacidade n (t/ano).
CTrnsij	...	Custo do frete de transferência da fábrica i para o CD j (R\$/t).
CDstrjk	...	Custo do frete de distribuição do CD j para o mercado k (R\$/t).
FixFabim	...	Custo fixo da Fábrica i com capacidade m (R\$/ano).
FixCDjn	...	Custo fixo do CD j com capacidade n (R\$/ano).
CvFi	...	Custo variável de transbordo na fábrica i (R\$/t).
CvCDj	...	Custo variável de transbordo no CD j (R\$/t).
CTrnsMPwi	...	Custo de transporte de matéria-prima de w para i (R\$/t).
AlíqICMSij	...	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem na fábrica i e destino no CD j.
AlíqICMSjk	...	Alíquota de ICMS correspondente ao arco com origem no CD j e destino no mercado k.
AlíqBefj	...	Percentual relativo ao crédito presumido fornecido pelo benefício em relação à base de cálculo, no CD j.
PTp	...	Custo de produção do produto p sem o ICMS, ou seja, o valor utilizado

		na NF de transferência do produto, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t).
PVp	...	Preço de venda do produto p sem o ICMS, ou seja, custo de produção + margem, sobre o qual incide o ICMS (R\$/t).
DistTij	...	Distância de i para j (em Km).
DistDjk	...	Distância de j para k (em Km).
CapTTL	...	Capacidade de transporte de um veículo TL (Truck Load) na transferência de mercadorias (t/viagem).
CapDTL	...	Capacidade de transporte de um veículo TL (Truck Load) na distribuição de mercadorias (t/viagem).
CapDLTL	...	Capacidade de transporte de um veículo LTL (Less Than Truck Load) na distribuição de mercadorias (t/viagem).
FCarbTTL	...	Custo do CO2 emitido por Km percorrido na transferência de mercadorias por um caminhão TL (Truck Load) (em R\$/Km).
FCarbDTL	...	Custo do CO2 emitido por Km percorrido na distribuição de mercadorias por um caminhão TL (Truck Load) (em R\$/Km).
FCarbDLTL	...	Custo do CO2 emitido por Km percorrido na distribuição de mercadorias por um caminhão LTL (Less Than Truck Load)(em R\$/Km).
FFornwp	...	Percentual do volume de matérias-primas compradas do fornecedor w para produção do produto p.
FTL	...	Percentual do volume de transporte realizado em TL (Truck Load).
4.3. Variáveis		
Trnsijp	...	Quantidade do produto p transferida de i para j (t/ano).
DstrDjkp	...	Quantidade do produto p distribuída de j para k (t/ano).
TrnsMPwip	...	Quantidade de matéria-prima do produto p transportado de w para i (t/ano)
BFj	...	Ganho auferido com o benefício fiscal na distribuição a partir do CD j (R\$/ano).
Zim	...	Variável binária: assume valor 1 caso a Fábrica i de capacidade m seja aberta - assume 0 (zero) em caso contrário.
Zip	...	Variável binária: assume valor 1 caso a Fábrica i produza o produto p - assume 0 (zero) em caso contrário.
Zjn	...	Variável binária: assume valor 1 caso o CD j de capacidade n esteja aberto - assume 0 (zero) em caso contrário.
CT	...	Custo total da operação (R\$/ano).
DIST_TTL	...	Distância total percorrida pelo transporte na transferência da Fábrica ao Centro de Distribuição. (Km)
DIST_DTL	...	Distância total percorrida pelo transporte em TL na distribuição do Centro de Distribuição até o consumidor final (Km).
DIST_DLTL	...	Distância total percorrida pelo transporte em LTL na distribuição do

Centro de Distribuição até o consumidor final (Km).

4.4. Função Objetivo

(1) Minimizar o Custo Total (CT)

$$\begin{aligned}
 CT = & \sum_i \sum_j \sum_p (Trns_{ijp} \times CTrns_{ij}) & / & \text{(A) Custo do frete de transferência } i - j \\
 & + \sum_j \sum_k \sum_p (DstrD_{jkp} \times CDstr_{jk}) & / & \text{(B) Custo do frete de distribuição } j - k \\
 & + \sum_i \sum_m (Z_{im} \times FixFab_{im}) & / & \text{(C) Custo fixo anual da Fábrica } i \\
 & + \sum_j \sum_n (Z_{jn} \times FixCD_{jn}) & / & \text{(D) Custo fixo anual do CD } j \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_p (Trns_{ijp} \times CVF_i) & / & \text{(E) Custo de transbordo na Fábrica } i \\
 & + \sum_j \sum_k \sum_p (DstrD_{jkp} \times CVCD_j) & / & \text{(F) Custo de transbordo no CD } j \\
 & - \sum_j BF_j & / & \text{(G) Ganho fiscal a partir do CD } j \\
 & + CE & / & \text{(H) Custo ambiental do CO}_2 \text{ emitido} \\
 & + CustoMP & / & \text{(I) Custo adicional de transporte de} \\
 & & & \text{matéria-prima}
 \end{aligned}$$

4.5. Restrições

– Restrição de atendimento da demanda

$$Dem_{pk} = \sum_j DstrD_{jkp} \quad \forall k, \forall p \quad (2)$$

– Restrição de capacidade de operação da Fábrica i

$$\sum_j \sum_p Trns_{ijp} \leq \sum_m (Z_{im} \times CapFab_{im}) \quad \forall i \quad (3)$$

– Restrição de linhas de operação da Fábrica i

$$\sum_j Trns_{ijp} \leq Z_{ip} \times CapProd_{ip} \quad \forall i, \forall p \quad (4)$$

– Restrição de capacidade de operação do CD j

$$\sum_i \sum_p Trns_{ijp} \leq \sum_n (Z_{jn} \times CapCD_{jn}) \quad \forall j \quad (5)$$

– Restrição para haver uma única capacidade de operação na Fábrica i

$$\sum_m Z_{im} = 1 \quad \forall i \quad (6)$$

– Restrição para haver uma única fábrica i produzindo 100% de determinado produto p

$$\sum_i Z_{ip} = 1 \quad \forall p \quad (7)$$

– Restrição para haver uma única capacidade de operação no CD j

$$\sum_n Z_{jn} = 1 \quad \forall j \quad (8)$$

– Balanço de massa no CD j

$$\sum_i Trns_{ijp} = \sum_k DstrD_{jkp} \quad \forall j, \forall p \quad (9)$$

– Balanço de massa na fábrica i

$$\sum_j Trns_{ijp} = \sum_w TrnsMP_{wip} \quad \forall i, \forall p \quad (10)$$

– Balanço de massa do fornecimento do produto na fábrica i

$$TotalMP_p = \sum_w \sum_i TrnsMP_{wip} \quad \forall p \quad (11a)$$

$$FForn_{wp} \times TotalMP_p = \sum_i TrnsMP_{wip} \quad \forall w, \forall p \quad (11b)$$

– Custo adicional da matéria-prima gerado pela mudança da fábrica

$$CustoMP = \sum_w \sum_i \sum_p (TrnsMP_{wip} \times CTrnsMP_{wi}) \quad (12)$$

– Saldo de ICMS nulo ou positivo no CD j

$$\sum_p \sum_k \left\{ DstrD_{jkp} \times \left[\frac{PV_p}{(1 - AliqICMS_{jk})} - PV_p \right] \right\} - \sum_p \sum_i \left\{ Trns_{ijp} \times \left[\frac{PT_p}{(1 - AliqICMS_{ij})} - PT_p \right] \right\} - BF_j \geq 0 \quad \forall j \quad (13)$$

– Cálculo do ganho auferido com o benefício fiscal

$$BF_j = \sum_p \sum_k \left\{ \left[\frac{PV_p}{(1 - AliqICMS_{jk})} \right] \times DstrD_{jkp} \right\} \times AliqBef_j \quad \forall j \quad (14)$$

– Cálculo da distância percorrida pelo transporte de i para j e de j para k (ida e volta)

$$DIST_TTL = \frac{2}{CapTTL} \times \sum_i \sum_j \sum_p (Trns_{ijp} \times DistT_{ij}) \quad (15a)$$

$$DIST_DTL = \frac{2}{CapDTL} \times FTL \times \sum_j \sum_k \sum_p (DstrD_{jkp} \times DistD_{jk}) \quad (15b)$$

$$DIST_DLTL = \frac{2,83}{CapDLTL} \times (1 - FTL) \times \sum_j \sum_k \sum_p (DstrD_{jkp} \times DistD_{jk}) \quad (15c)$$

Obs: o nominador da primeira parcela do cálculo da distância percorrida se deve a:

15a e 15b: distância de ida e volta dos veículos utilizados no transporte;

15c: fator calculado para representar a distância de ida, volta e a distância entre os diversos pontos de entrega referentes a entrega fracionada (detalhado no Capítulo 4);

- Cálculo do custo total do carbono emitido no transporte dos produtos

$$\begin{aligned}
 CE &= DIST_TTL \times FCarbTTL \\
 &+ FTL \times (DIST_DTL \times FCarbDTL) \\
 &+ (1 - FTL) \times (DIST_DLTL \times FCarbDLTL)
 \end{aligned} \quad (16)$$

- Binárias

$$Z_{im} \begin{cases} = 1, \text{ se a Fábrica } i \text{ com capacidade } m \text{ esta operando} \\ = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases} \quad \forall i, \forall m \quad (17a)$$

$$Z_{ip} \begin{cases} = 1, \text{ se o produto } p \text{ é produzido na fabrica } i \\ = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases} \quad \forall i, \forall p \quad (17b)$$

$$Z_{jn} \begin{cases} = 1, \text{ se o CD } j \text{ com capacidade } n \text{ esta operando} \\ = 0, \text{ em caso contrário} \end{cases} \quad \forall j, \forall n \quad (17c)$$

- Não-negatividade

$$Trns_{ijp} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall p \quad (18a)$$

$$DstrD_{jkp} \geq 0 \quad \forall j, \forall k, \forall p \quad (18b)$$

$$TrnsMP_{wip} \geq 0 \quad \forall w, \forall i, \forall p \quad (18c)$$

5. Análise de Sensibilidade

Foram elaboradas seis análises de sensibilidade com o objetivo de aprofundar as análises realizadas e se chegar a uma conclusão final sobre os *trade-offs* existentes entre os custos logísticos, os benefícios fiscais e os custos ambientais.

- Preço: Analisar a sensibilidade do modelo em relação ao preço de transferência e venda dos produtos. Tem-se como objetivo verificar o impacto da parcela de benefício fiscal no custo total. Essa análise é interessante para entender a quais tipos de produto (commodities, alto valor, etc) pode-se atribuir os resultados dos trade-offs analisados.
- Margem: Analisar a sensibilidade do modelo a alterações de margem dos produtos de modo a entender como a parcela de benefício fiscal se comporta nessas situações. Essa

análise, assim como a de preço, possibilita o entendimento de quais produtos podemos atribuir os resultados encontrados.

- c) Carbono: Analisar a sensibilidade do custo do carbono ao modelo, visto que quando analisado com o custo atual não gerou mudança na solução.
- d) Fornecimento de Matéria-Prima: Analisar a sensibilidade do estudo em relação ao fornecimento de matéria-prima para as Fábricas. O objetivo é testar até onde o cenário continua valido e em que momento o fornecimento de matéria-prima passa a alterar o resultado.
- e) Demanda: Analisar a variação da demanda total no modelo de modo a entender as variações decorrentes da mudança de proporção entre os custos fixos e variáveis do estudo.
- f) Nível de Serviço: Analisar o impacto no resultado da utilização de restrições de nível de serviço para atendimento de alguns mercados.

6. Resultados e Conclusões

Conforme dito anteriormente, este trabalho inova ao inserir uma parcela de custos da emissão de carbono na função objetivo, de modo a obter entendimento mais profundo dos *trade-offs* existentes entre os custos logísticos, os benefícios fiscais e os custos ambientais oriundos da emissão de carbono pelo transporte em um caso típica da indústria de bens de consumo no Brasil.

Pode-se dizer então que, a partir dos resultados analisados, os benefícios fiscais realmente impactam na localização das fábricas e centros de distribuição e que o aumento nos custos logísticos são facilmente sobrepostos pelos benefícios fiscais incidentes em cada um dos cenários, como pode ser observado na Figura 2 abaixo.

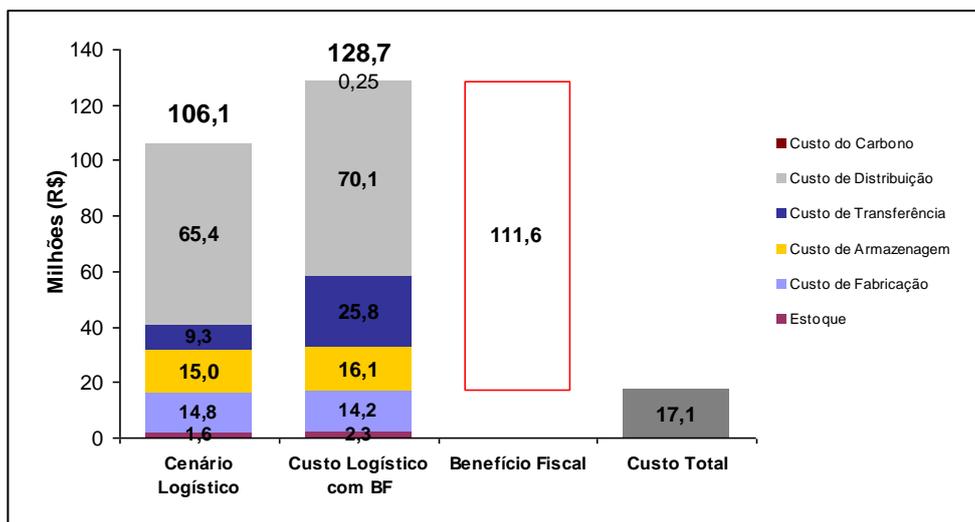


Figura 2 – Custo Total e Benefício Fiscal

Além disso, constata-se que o custo da parcela referente ao Carbono em nada afeta o resultado do modelo, mesmo existindo um aumento de 57,5% da emissão realizada entre o cenário puramente logístico e o cenário com existência de benefício fiscal, como pode ser observado na Tabela 1.

Tipo de Veículo	Utilização do Transporte		Cenário Ótimo Logístico		Cenário com Benefício Fiscal	
			Distância Percorrida (milhões km)	Emissão CO ₂ (tCO ₂ e)	Distância Percorrida (milhões km)	Emissão CO ₂ (tCO ₂ e)
(1)	Veículo 1	Transferência	4,2	3,9	20,6	19,0
(2)	Veículo 2	Distribuição Carga Cheia	35,2	15,1	41,1	17,7
(3)	Veículo 3	Distribuição Carga Fracionada	60,9	16,4	71,2	19,2
TOTAL			100,3	35,4	132,9	55,9

Tabela 1 – Comparativo das Emissão de CO₂ entre Cenário 1 e 4

Dessa maneira, conclui-se que a política fiscal existente afeta demasiadamente o meio-ambiente, aumentando as emissões de Carbono na atmosfera e aumentando o fluxo de veículos nas rodovias do País.

Pode-se dizer ainda que a análise de sensibilidade aplicada ao modelo mostrou que o mesmo é bem estável, apresentando mudanças significativas na malha somente no cenário onde foi variada a margem de contribuição dos produtos.

- a) Preço: o aumento ou diminuição dos preços de transferência e distribuição não geram mudanças na configuração logística do modelo em análise
- b) Margem: as variações de margem apresentam grande impacto na configuração logística uma vez que afetam diretamente o benefício fiscal.
- c) Carbono: a variação nos preços do carbono em nada afeta a configuração logística do modelo em estudo.
- d) Fornecimento de Matéria-prima: o impacto no fornecimento de matéria-prima muda a configuração logística porém sem alterar significativamente o benefício fiscal auferido.
- e) Demanda: a variação da demanda não afeta o resultado do modelo, uma vez que mantém o benefício fiscal por tonelada inalterado e simplesmente altera a parcela de custo fixo por tonelada devido ao ganho de escala existente.
- f) Nível de Serviço: o nível de serviço tem pouco impacto na configuração logística, uma vez que com a inserção das restrições de nível de serviço, a única mudança sofrida foi a abertura de CDs para atendimento único e exclusivo dos pontos de entrega onde não era possível atendimento dos CDs abertos no cenário 4.

Referências

CAPOOR, K.; AMBROSI, P. *State and Trends of the Carbon Market 2008* - Washington DC: World Bank, 2008.

Hamad, RICARDO; Nicolau D Fares GUALDA. Model for Facilities or Vendors Location in a Global Scale Considering Several Echelons in the Chain. *Networks and Spatial Economics*. Boston: Sep 2008. Vol. 8, Iss. 2-3; p. 297-306.

HAMAD, CITAR HAMAD + MORÁBITO

JUNQUEIRA, Rogério de Ávila Ribeiro; MORABITO, Reinaldo. Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. *Produção*, Dez 2006, vol.16, no.3, p.510-525.

MELO, José Eduardo Soares. ICMS: Teoria e Prática. 9ª ed. – São Paulo: Dialética, 2006.

NETTO, J.S.M. Guerra fiscal entre os estados. Consultoria Legislativa da câmara dos deputados de Brasília, 2003.

SILVA, Mariana Bergmann da. Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS. 2007. 107 p. Dissertação de Mestrado - ESCOLA POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC- Protocolo de Quioto. 2a edição – Brasília: MCT, 2001b.

YOSHIZAKI, H.T.Y. Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços. 144P. Dissertação (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

YOSHIZAKI, H.T.Y.; Celso M. HINO; Rafael A. ROSIN. Reforma Tributária: avaliando a influência do Novo Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) na futura configuração da logística brasileira. *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. João Pessoa, 2008.

SITES CONSULTADOS NA INTERNET:

Acompanhamento diário das cotações de créditos de carbono CFI - Disponível em <<http://www.chicagoclimatex.com/market/data/summary.jsf>> Acesso em 25/01/09.

Ferramenta de cálculo de emissões de carbono para o setor de transportes: *CO2 emissions from transport or mobile sources* - Disponível em <<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>> Acesso em 12/08/08.