

# LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE ETANOL: UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO PARA A VIABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE ALCOOLDUTOS A PARTIR DO CENTRO OESTE DO BRASIL

## Ethanol Logistics: Evaluating the Feasibility of Pipelines from Brazil's Middle-West Region

### RESUMO

Apresenta-se, neste artigo, um modelo de otimização para avaliar a viabilidade da utilização de dutos para a distribuição do etanol no Brasil. Primeiramente, houve a análise dos volumes captados em dutos existentes; depois, a análise dos volumes em locais ainda sem rede dutoviária. Baseados em dados reais, diferentes cenários foram considerados com o objetivo de determinar a configuração ótima, tanto em termos de traçados quanto de volumes captados, de cada região servida pelo sistema dutoviário. O modelo proposto foi resolvido usando o AIMMS 3.12, software de modelagem matemática. Os resultados indicaram que alcooldutos são economicamente viáveis sempre que ligando produtores do Centro-Oeste a instalações localizadas no estado de São Paulo. Por outro lado, houve pequena ou nenhuma viabilidade sempre que conectando Minas Gerais a Goiás.

Camila Cunha Coutinho Barros  
Assistente de Pesquisa  
Instituto COPPEAD de Administração – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
camila.cunha@coppead.ufrj.br

Peter Fernandes Wanke  
Professor Adjunto – Centro de Estudos em Logística, Infraestrutura e Gestão – CELIG  
Instituto COPPEAD de Administração – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
peter@coppead.ufrj.br

Recebido em 16/12/10. Aprovado em 22/8/12.  
Avaliado pelo sistema blind review.  
Avaliador científico: Cristina Lelis Leal Calegario

### ABSTRACT

This paper presents an optimization model to evaluate the feasibility of adopting pipelines for the distribution of ethanol in Brazil. Firstly, there has been the analysis of the captured volumes in existing pipelines; then, the analysis of the volumes in places with no pipeline network yet. Based on real data, different scenarios have been considered aiming to determine the optimal configuration, in terms of captured volumes, from each region served by the pipeline system. The proposed model has been solved using AIMMS 3.4, mathematical modeling software. Results have indicated that ethanol pipelines are economically feasible whenever linking mid-western producers to facilities located in Sao Paulo state. On the other hand, there has been little or no feasibility whenever connecting Minas Gerais to Goias state.

**Palavras-chave:** Etanol, duto, pesquisa operacional, modelo de otimização.

**Keywords:** Ethanol, pipeline, operational research, optimization model.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a crise do setor petrolífero possibilitou que o etanol — combustível produzido através da fermentação da cana-de-açúcar — experimentasse forte expansão, sobretudo a partir do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), criado em 1975 para substituir o uso dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por biocombustíveis, diminuindo, assim, a dependência da gasolina (BASTIAN-PINTO; BRANDÃO; ALVES, 2009). Diversas medidas de incentivo para uso do etanol foram criadas pelo governo desde então. Dentre elas destacam-se: o aumento da produção agrícola, a modernização e a ampliação de destilarias e a instalação de novas usinas (BIODIESELBR, 2012; KENKEL; HOLCOMB,

2009). Também vale ressaltar a desoneração fiscal seletiva para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> (NIGRO; SZWARC, 2012).

Ainda que, no Brasil, na década de 90, o crescimento da exportação de açúcar tivesse contribuído para o racionamento da produção de etanol e, conseqüentemente, para o aumento de seu preço (PAIVA; MORABITO, 2009), novas medidas continuaram a ser implantadas para assegurar a expansão sustentável do mercado (BASTIAN-PINTO; BRANDÃO; ALVES, 2009; KENKEL; HOLCOMB, 2009). A mais recente está relacionada ao desenvolvimento de veículos com motores Flex-Fuel (funcionam com gasolina e álcool), reduzindo os riscos de um eventual desabastecimento de etanol, como aquele verificado nos anos 80 (BARROS; MORAES, 2002; BASTIAN-PINTO;

BRANDÃO; ALVES, 2009; KAWAMURA; RONCONI; YOSHIZAKI, 2006).

Além disso, as crescentes preocupações com o meio ambiente ao redor do mundo constituem um forte indicativo de que também haverá crescimento do consumo de etanol no mercado externo (GOFFMAN, 2012; JENKINS, 2010; KANE et al., 1989). A preocupação com a preservação do meio ambiente faz com que muitos países estejam procurando substituir fontes de energia não renováveis por renováveis. De acordo com Meira Filho e Macedo (2012), o uso do etanol no Brasil foi responsável pela redução de 60% do total de créditos de carbono gerados pela queima de combustíveis no ano de 2009. Não obstante, o etanol produzido no Brasil possui ampla vantagem sobre aquele produzido em outros países e a partir de outras culturas, visto que a cana-de-açúcar possui maiores taxas de aproveitamento energético comparativamente às do milho e da beterraba (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2008, 2012; SILVA; FREITAS, 2008; SOUSA; MACEDO, 2012).

Tendo em vista o previsível aumento no consumo de etanol, tanto no âmbito doméstico, quanto no internacional, torna-se importante avaliar a infraestrutura logística necessária ao atendimento de toda essa demanda (LEITE; LEAL, 2007). Dessa forma, este artigo contribui com tal questão ao apresentar um modelo de pesquisa operacional para avaliar o potencial de captação da produção de etanol por meio de alcoolduto (volumes e configurações de traçado). Em outras palavras, a intenção é que esse modelo de programação linear sirva, mediante adaptações de acordo com necessidades e situações específicas — como o acréscimo ou a modificação de alguns parâmetros —, para auxiliar na definição do traçado dos alcoolduto. Neste trabalho, não apenas é apresentada a modelagem do problema, mas também é ilustrado como se chega às soluções ótimas, a partir dos parâmetros gerados com base em informações disponíveis em diversas fontes de mercado, como entidades de classe, associações de produtores e sindicatos.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a revisão da literatura; na seção 3 é apresentado o modelo de programação matemática, além de algumas considerações sobre as restrições de balanço de massa e os parâmetros utilizados; na seção 4, são apresentados os principais resultados gerados pelo modelo com base em diferentes cenários, elaborados a partir dos parâmetros levantados; na seção 5 são apresentadas as conclusões e as possíveis implicações do modelo para tomadas de decisão.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O etanol é um álcool com grande potencial de crescimento de consumo, haja vista a conscientização da população sobre as consequências do efeito estufa e a fundamental contribuição da queima de combustíveis fósseis para tal fenômeno (BRASIL ESCOLA, 2012). O etanol também vem sendo empregado na indústria de combustíveis, sendo seu uso mais comum como aditivo da gasolina, apesar da diminuição da porcentagem misturada à gasolina que passou de 25% para 20% em 2010, com a finalidade de evitar desabastecimento e estabilizar seu preço (GOY; MANFRINI, 2010; TAVARES, 2010).

Mesmo com o maior conhecimento sobre os benefícios do etanol, o consumidor ainda apresenta certo receio em relação à substituição da gasolina por ele, visto que esse mercado não é regulado pelo governo, o que gera variações e incertezas em seu preço final (BARROS; MORAES, 2002). Para mitigar esse risco, as montadoras de veículos lançaram modelos de automóveis Flex-Fuel, fazendo com que o consumidor final possa variar o combustível que utiliza em seu veículo de acordo com o menor preço.

Não obstante as flutuações de preço do etanol, intrínsecas à sazonalidade de seu processo produtivo (KAWAMURA; RONCONI; YOSHIZAKI, 2006; PAIVA; MORABITO, 2009), entender os custos de produção e de distribuição envolvidos ao longo das diferentes etapas da cadeia produtiva também desempenha um papel fundamental para a indução e estabilização do consumo no médio e longo prazos (BASTIAN-PINTO; BRANDÃO; ALVES, 2009).

Especificamente com relação ao processo de produção, o primeiro passo consiste na moagem da cana-de-açúcar. Feito isso, o alto grau de sacarose presente no bagaço é diluído e pode ser tratado. O caldo gerado é aquecido a altas temperaturas e, então, o procedimento adotado é a decantação. O caldo clarificado é pré-evaporado e enviado aos compartimentos de fermentação. Nesse momento, o açúcar é transformado em álcool etílico (PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRÁS, 2012).

Já com relação à distribuição, para produtos a granel, gasosos ou líquidos, uma boa solução de envio é através do bombeamento por dutos, porém, isso só ocorre se as distâncias e os volumes considerados forem altos (FLEURY, 2005). Normalmente, os combustíveis usam essa modalidade de transporte, já que a mesma apresenta baixo custo quando comparada a outras, oferece menor risco de acidentes, opera ininterruptamente e gera menor impacto

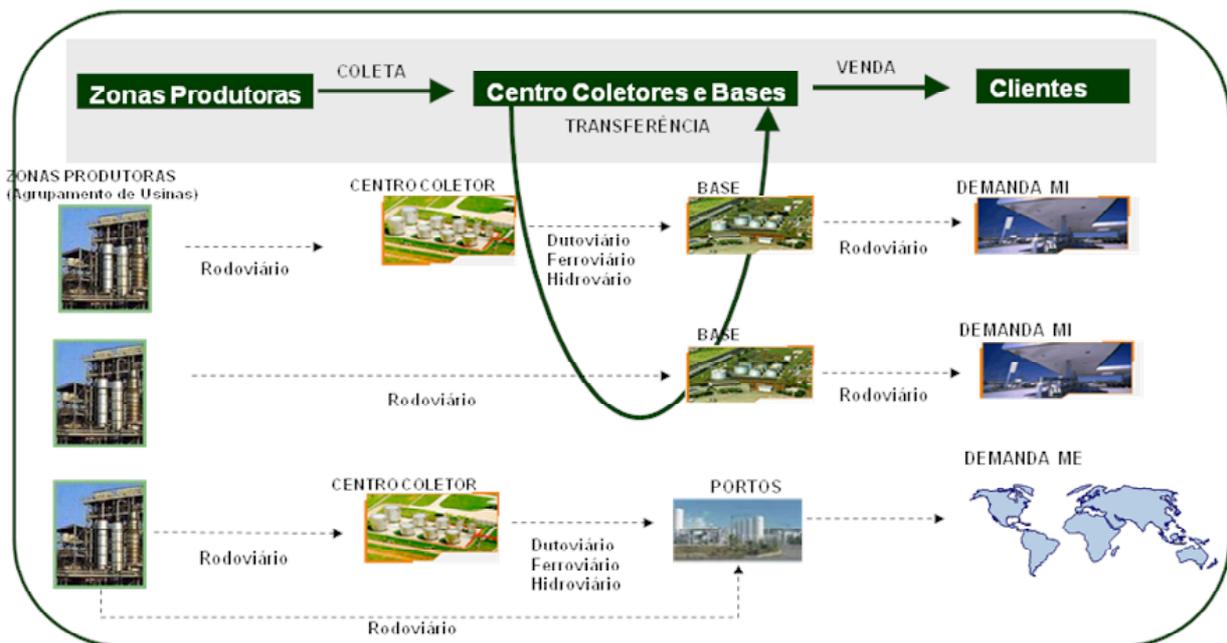
ambiental quando comparada com os danos causados na implantação de ferrovias e rodovias (UNIDUTO, 2012). No caso da distribuição do etanol, como o volume de combustível é grande o suficiente, visto que a demanda cresce aceleradamente (CLARK, 2012), a alternativa dutoviária se enquadra perfeitamente no contexto da diluição dos custos fixos relacionados ao investimento.

A Secretaria de Acompanhamento Econômico (SEAE) aprovou a construção e a operação de um sistema multimodal para o escoamento do etanol no Brasil (ALCOODUTO, 2010; EMPRESA..., 2012). Hoje, o transporte entre as usinas e os centros coletores é feito majoritariamente por sistema rodoviário. Algumas vezes, o álcool é encaminhado diretamente para a base e, nesse caso, o transporte também é feito por rodovias. Depois de passar pelo centro coletor, o meio pelo qual é enviado até a base varia entre dutos, ferrovias e hidrovias, o que também ocorre quando o etanol é enviado aos portos, para, então, ser encaminhado ao mercado externo. Da base para o mercado interno, todo o produto é enviado por meio de transporte rodoviário. O esquema da Figura 1 ilustra todas as situações possíveis.

Como já foi mencionada anteriormente, a tendência observada no Brasil é de aumento da demanda por biocombustíveis. Com o comprometimento de países

industrializados com as metas definidas pelo Protocolo de Kyoto, a tendência é que esses busquem trocar o uso de combustíveis mais poluentes por outros que emitam menos gases causadores do efeito estufa, como o etanol (MEIRA FILHO; MACEDO, 2012). Para evitar um gargalo logístico na cadeia do etanol, é preciso investir na infraestrutura para seu escoamento e a saída viável seria o aumento das redes dutoviárias e a intensificação de seu uso. Bowersox, Closs e Cooper (2006) justificam a viabilidade do transporte por dutos, pois afirmam ser um dos meios logísticos de menor custo. Nesse sentido, os métodos de pesquisa operacional podem desempenhar um papel fundamental na definição de seu traçado (JUNQUEIRA; MORABITO, 2008; KAWAMURA; RONCONI; YOSHIZAKI, 2006; PAIVA; MORABITO, 2007).

Especificamente com relação às redes logísticas, a pesquisa operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial com a finalidade de resolver problemas operacionais bélicos. O comando militar inglês reuniu um grupo de especialistas em diversas áreas distintas para chegarem a soluções que encontrassem formas mais eficazes de utilização dos recursos militares do lado dos Aliados (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL - SOBRAPO, 2012). Com o fim da guerra, a pesquisa operacional continuou a ser usada, porém, com outros enfoques principalmente o comercial.



**FIGURA 1** – Transferência e distribuição de etanol.

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Ragsdale (1988) define pesquisa operacional como a criação de ferramentas para tomada de decisão. Para isso, modelos matemáticos são desenvolvidos. Mais precisamente, problemas de otimização envolvem modelos que são compostos por uma função objetivo — a qual pode ser maximizada ou minimizada, dependendo do que é pretendido no problema —, parâmetros, variáveis de decisão e restrições técnicas, econômicas e de não negatividade. Um modelo de programação linear consiste na busca da solução mais eficiente para determinada decisão, considerando os recursos limitados. O processo de modelagem necessita, obrigatoriamente, de símbolos matemáticos para representar cada um desses elementos.

Mais especificamente, diversos modelos de pesquisa operacional têm sido amplamente estudados e empregados na indústria da cana-de-açúcar (PAIVA; MORABITO, 2007). Por exemplo, no Brasil, esses modelos foram aplicados aos diferentes estágios da produção e da distribuição de açúcar e etanol. Mais precisamente, Barata (1992) e Soffner, Milan e Ripoli (1993) aplicaram programação linear ao problema de otimização de colheitas. Grisotto (1995) analisou a otimização do transporte rodoviário de cana e Brunoro e Leite (1999) apresentaram uma abordagem baseada em otimização, para aumentar os ganhos dos produtores de cana a partir da escolha do tipo mais adequado ao plantio. Por sua vez, Colin, Cipparrone e Shimizu (1999) e Yoshizaki, Muscat e Biazzi (1996) aplicaram programação linear para lidar com a questão da distribuição e estocagem de açúcar e etanol numa rede com armazéns primários e secundários. Finalmente, Kawamura, Ronconi e Yoshizaki (2006) desenvolveu um modelo de programação linear para o transporte e estocagem de produtos em cooperativas de produtores de açúcar e etanol.

Exemplos relativos ao uso de modelos de pesquisa operacional em outros países também são encontrados na literatura, sendo que Paiva e Morabito (2009) apresentam uma revisão abrangente sobre esse segmento. No entanto, ainda que a literatura aponte para esforços no sentido de se aplicarem modelos de pesquisa operacional nos estágios de produção, distribuição e armazenagem de açúcar e etanol, são virtualmente inexistentes os artigos acadêmicos lidando com o transporte de etanol por meio de alcooldutos. Outrossim, esse artigo contribui com a literatura existente ao desenvolver um modelo programação matemática para avaliar a viabilidade da utilização de dutos para a distribuição do etanol no Brasil.

### 3 O MODELO

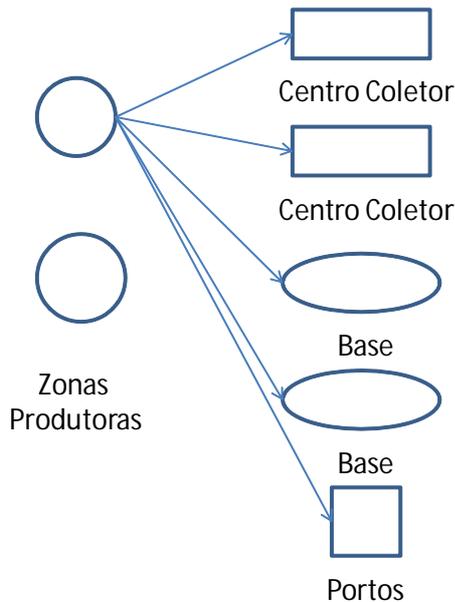
#### 3.1 Considerações iniciais

O modelo apresentado neste artigo foi elaborado para apoiar decisões logísticas relativas a um possível alcoolduto e não tem a intenção de modelar a dinâmica do mercado de etanol no curto prazo, desconsiderando, portanto, fatores comerciais que afetam a configuração operacional ótima. Foram levantadas informações de diversas fontes, como os sítios da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), do Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes (SINDICOM), da Petrobras, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Ministério de Minas e Energia, além dos jornais Folha de São Paulo, O Estado de São Paulo e O Globo, a partir das quais foi possível a obtenção de dados relativos a preços, demanda do mercado (por região), custos de transporte por trecho (e por diferentes modais), além das restrições relacionadas às capacidades de transporte e de produção, bem como seus volumes mínimos (DANIEL, 2012; DUAILIBI; EDWARD, 2007; DUTOS..., 2012; SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES - SINDICOM, 2012; PETROBRÁS TRANSPORTE S.A. - TRANSPETRO, 2012).

Segundo Ballou (2001), o planejamento de rede exige diferentes dados de custos. De modo geral, são englobados os custos de transporte, armazenagem, compras, produção, processamento de pedidos e capital. No modelo apresentado, foram consideradas as diferentes parcelas que compõem os custos totais da operação de uma rede logística para compor a função-objetivo. Mais precisamente, a função-objetivo envolveu cinco componentes de custo. São eles: transporte dos insumos até a usina, calculado de cada zona produtora para cada centro coletor, produto e local de origem; transferência entre os centros coletores e bases considerando-se cada tipo distinto de modal; transporte de cada base a cada cliente para o atendimento desse; movimentação na saída das zonas produtoras aos centros coletores; e compra entre zonas produtoras e centros coletores. A Figura 2 ilustra as diversas combinações possíveis de transferência do etanol a partir das zonas produtoras.

Primeiramente, os volumes potenciais de captação de dutos já existentes foram analisados e, em seguida, foram mapeados os volumes nas áreas de influência não abrangidas pelos dutos. Desse modo, foi possível identificar os modais de transporte disponíveis em cada região. Mais especificamente, também foram considerados

tarifas, projetos concorrentes (Duto PMCC, Duto SEDA e hidrovía Tietê-Paraná, cf. figura 3) e outros aspectos que pudessem modificar e influenciar os traçados resultantes do modelo, de modo que a solução encontrada fosse a mais realista possível. Na Figura 3, são apresentados os diferentes projetos concorrentes na região em análise (Centro-Oeste/Minas Gerais/São Paulo), bem como as respectivas datas previstas para sua entrada em operação.



**FIGURA 2** – Possíveis transferências do etanol.

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Os fluxos de coleta são flexíveis no modelo elaborado, ou seja, todas as usinas podem atender todos os centros coletores, bases e portos, não precisando, necessariamente, seguir um circuito obrigatório. Foi modelado também que toda a produção das usinas é comercializada, ou seja, não há sobra ou falta de produto em cada elo. Por fim, foi considerado, para efeitos de alocação, que a distância máxima das bases aos municípios demandantes não seja superior a 500 km.

Ao se construir o modelo usando simplesmente índices para zonas produtoras, centros coletores, bases, clientes, modais, produtos e origens, a solução encontrada pode não ser, necessariamente, compatível com as práticas verificadas na realidade. Isso porque não estão previstas as diversas possibilidades de entrada e saída de produto em cada local. De acordo com a sintaxe adotada, o problema matemático entende que todo o volume de etanol chega a

um primeiro centro coletor, de onde é transportado integralmente ao segundo, e, assim, sucessivamente, até chegar ao último, onde, aí sim, é enviado a uma base e, então, distribuído aos consumidores.

Por isso, é de extrema importância considerar um subíndice diferente daqueles referentes aos centros coletores e às bases. Assim, foi possível permitir que o etanol pudesse chegar a determinado local vindo tanto de outro centro coletor, como de uma usina, e também pudesse ser transferido tanto para outro centro, como para uma base.

Além disso, as transferências não são binárias no modelo desenvolvido. Isso é, o fato de um centro coletor específico enviar álcool a outro não implica que essa quantidade tenha que ser integral, pois é perfeitamente cabível que uma parcela seja mandada a outro destino, desde que a soma da quantidade enviada seja equivalente à saída total do produto. Também é factível, na teoria, a restrição que estabelece que a quantidade enviada de certo ponto deva ser igual àquela que chega ao ponto seguinte.

A modelagem matemática, estruturada no software AIMMS 3.12, é apresentada a seguir, segundo o padrão adotado em diferentes artigos da área de pesquisa operacional com a declaração de índices, dados de entrada, variáveis de decisão, restrições e função objetivo (KAWAMURA; RONCONI; YOSHIZAKI, 2006; PAIVA; MORABITO, 2009).

#### Índices

Denotam os arcos e nós da rede logística, a saber:

$i$  = zonas produtoras,

$j$  = centros coletores,

$k$  = bases,

$n$  = subíndice de centros coletores e bases,

$w$  = clientes,

$m$  = modal,

$p$  = produto,

$UF$  = origem (UF).

#### Dados de entrada

Englobam os diferentes parâmetros relativos aos preços, custos, capacidades e demandas associados a cada um dos arcos e nós da rede logística. Abrangem todas as etapas da cadeia produtiva, a saber:

#### *Compra:*

$XQ_{ij}$  = permissão de fluxo entre a zona produtora  $i$  e o centro coletor  $j$ ,

RecebimentoMin = fluxo mínimo no centro coletor  $j$  por contrato,

LimiteJ inferior = limite inferior de movimentação no centro coletor  $j$ ,

Preco = preço do produto  $p$  no centro coletor  $j$ ,  $C_{ij}$  = custo de transporte entre os elos  $i$  e  $j$ ,

CapMaxProdTotal = capacidade máxima de produção na zona produtora  $i$ ,

CapMaxProdDed = capacidade máxima de produção de  $p$  na zona produtora  $i$ ,

CapMinProdUFME = capacidade mínima de produção por UF,

CapMinProdZonaProdME = menor capacidade de produção na zona produtora  $i$ .

#### Transferência:

$XQjk$  = permissão de fluxo entre o centro coletor  $j$  e a base  $k$ ,

$Cjk$  = custo do centro coletor  $j$  à base  $k$ ,

CapMaxModal = capacidade máxima do modal  $m$  entre centro coletor  $j$  e base  $k$ ,

CapMinModal = capacidade mínima do modal  $m$  entre centro coletor  $j$  e base  $k$ .

#### Movimentação interna:

$C_j$  = Custo de movimentação interna no centro coletor  $j$ .

#### Venda:

$Ckw$  = custo de movimentação na venda entre a base  $k$  e o cliente  $w$ ,

LimiteK = volume máximo recebido/vendido no centro coletor  $j$ ,

LimiteK inferior = volume mínimo recebido/vendido no centro coletor  $j$ ,

CapMaxBaseDed = volume máximo recebido/vendido do produto  $p$  na base  $k$ ,

DemandaSindicom = demanda do produto  $p$  pelo cliente  $w$ ,

$XQkw$  = permissão de fluxo do produto  $p$  entre a base  $k$  e o cliente  $w$ ,

$Dw$  = demanda do cliente  $w$  pelo produto  $p$ .

#### Variáveis de decisão

São as variáveis para as quais o modelo busca seus valores ótimos, ou seja, para as quais os custos totais são mínimos.

#### Compra:

$Q_{ij}$  = volume de álcool entre zona produtora  $i$  e centro coletor  $j$  sujeito a  $XQ_{ij}$ .

#### Transferência:

$Q_{jk}$  = volume de álcool entre centro coletor  $j$  e base  $k$  sujeito a  $XQ_{jk}$ .

#### Movimentação interna:

Saldo\_ $QkUF$  = saldo na base  $k$  de origem UF.

#### Venda:

QtdeRecebidaModalComp = Soma da quantidade recebida pelo modal  $m$

$$\sum_{j,UF,m} Qjk_{j,k,p,UF,m} \quad \forall k,p,$$

$QkUF$  = quantidade recebida na base  $k$  de origem UF,

$Qkw$  = volume de álcool vendido da base  $k$  para o cliente  $w$ , sujeito a  $XQkw$ .

#### Restrições

Englobam as limitações operacionais de diferentes naturezas na rede logística, abrangendo desde valores mínimos para movimentação e máximos para capacidades de armazenamento e transporte, até os balanços de massa, que asseguram que toda a quantidade de produto que entra em um elo é a mesma que sai.

Estoque igual a zero:

$$\sum_i Qij_{i,n,p,UF} + \sum_{j,m} Qjk_{j,n,p,UF,m} = QkUF_{n,p,UF} + \sum_{k,m} Qjk_{n,k,p,UF,m} \quad \forall n,p,UF,$$

#### Compra:

Quantidade enviada da zona produtora  $i$  ao centro coletor  $j$  deve ser maior ou igual ao recebimento mínimo neste:

$$\sum_{i,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \geq \text{RecebimentoMin}_j \quad \forall j,$$

Capacidade máxima de produção por zona produtora:

$$\sum_{j,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \leq \text{CapMaxProdTotal}_i \quad \forall i,$$

Capacidade máxima de produção por zona produtora  $i$  e por produto  $p$ :

$$\sum_{j,UF} Qij_{i,j,p,UF} \leq \text{CapMaxProdDed}_{i,p} \quad \forall i,p,$$

Produção mínima da origem  $UF$  para o mercado externo:

$$\sum_{i,j,p} Qij_{i,j,p,UF} \geq \text{CapMinProdUFME}_{UF} \quad \forall UF,$$

Volume máximo de recebimento de uma base ou centro coletor:

$$\sum_{i,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \leq \text{LimiteK}_j \quad \forall j,$$

Volume mínimo de recebimento de uma base ou centro coletor:

$$\sum_{i,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \geq \text{LimiteInferior}_j \quad \forall j.$$

*Transferência:*

Capacidade máxima do modal  $m$  entre o centro coletor  $j$  e a base  $k$ :

$$\text{CapMaxModal}_{j,k,m} \geq \sum_{p,UF} Qjk_{j,k,p,UF,m} \quad \forall j, k, m,$$

Capacidade mínima do modal  $m$  entre o centro coletor  $j$  e a base  $k$ :

$$\text{CapMinModal}_{j,k,m} \leq \sum_{p,UF} Qjk_{j,k,p,UF,m} \quad \forall j, k, m.$$

*Movimentação interna:*

Saldo deve ser maior que a diferença entre a compra e a venda (por  $UF$ ):

$$\text{Saldo\_QkUF}_{k,p,UF} \geq \sum_i Qij_{i,k,p,UF} - QkUF_{k,p,UF} \quad \forall k, p, UF.$$

*Venda:*

Volume de álcool enviado da base  $k$  para o cliente deve ser igual à sua demanda:

$$\sum_k Qkw_{k,w,p} = Dw_{w,p} \quad \forall w, p,$$

Quantidade recebida na base  $k$  de origem  $UF$  deve ser igual ao volume vendido da base  $k$  para o cliente  $w$ :

$$\sum_{UF} QkUF_{k,p,UF} = \sum_w Qkw_{k,w,p} \quad \forall k, p,$$

Vendas máximas:

$$\sum_{w,p} Qkw_{k,w,p} \leq \text{LimiteK}_k \quad \forall k,$$

Vendas mínimas:

$$\sum_{w,p} Qkw_{k,w,p} \geq \text{LimiteKInferior}_k \quad \forall k,$$

Vendas máximas por produto  $p$ :

$$\sum_w Qkw_{k,w,p} \leq \text{CapMaxBaseDed}_{k,p} \quad \forall k, p.$$

Função Objetivo

Engloba os custos totais da operação, que devem ser minimizados.

Custo de transporte *inbound*:

$$\sum_{i,j,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \cdot Cij_{i,j},$$

Custo de transferência:

$$\sum_{j,k,p,UF,m} Qjk_{j,k,p,UF,m} \cdot Cjk_{j,k,m},$$

Custo de transporte para atendimento:

$$\sum_{k,w,p} Qkw_{k,w,p} \cdot Ckw_{k,w},$$

Custo de movimentação na saída:

$$\sum_{i,j,p,UF} Qij_{i,j,p,UF} \cdot Cj_j,$$

Custo de compra:

$$\sum_{k,p,UF} QkUF_{k,p,UF} \cdot \text{Preco}_{UF,p,k},$$

Custo total: custo de transporte de entrada (*inbound* ou compra) + custo de transferência + custo de transporte para atendimento + custo de movimentação na saída + custo de compra.

### 3.2 Parametrização

Para fins de teste, os seguintes índices e parâmetros, apresentados nos Tabelas 1 e 2, foram utilizados no modelo, a partir de informações coletadas nas fontes indicadas anteriormente.

No caso dos parâmetros relacionados à permissão de fluxo de produto, foram utilizados os valores 1 (um), quando havia permissão, e 0 (zero), caso contrário. Para os diferentes  $i$ 's,  $j$ 's,  $k$ 's,  $p$ 's e  $w$ 's utilizados no modelo, houve uma média de 88,9% de permissão entre a zona produtora e o centro coletor ( $XQij$ ), 67,4% entre os centros coletores e as bases ( $XQjk$ ) e 100% entre as bases e os clientes ( $XQkw$ ).

Já em relação aos custos de transporte, todos medidos em R\$/m<sup>3</sup>, foram incorporadas variações intrínsecas a cada estado da federação. Por exemplo, para o custo entre as zonas produtoras e os centros coletores ( $Cij$ ) localizados, sobretudo, na região Centro-Oeste, a média foi de R\$ 76,05/m<sup>3</sup> com desvio-padrão de R\$ 41,43/m<sup>3</sup>, sendo o maior custo igual a R\$ 260,25/m<sup>3</sup> e o menor, R\$ 1,07/m<sup>3</sup>. Já o custo relativo ao transporte entre o centro coletor e a base ( $Cjk$ ) apresentou valor médio de R\$ 13,51/m<sup>3</sup> com desvio-padrão de R\$ 13,31/m<sup>3</sup>.

TABELA 1 – Índices do modelo.

Índices	Dimensões
<i>k</i> (bases)	de 1 a 153
<i>w</i> (clientes)	de 1 a 2231
<i>j</i> (centros coletores)	de 1 a 153
<i>i</i> (zonas produtoras)	de 1 a 198
<i>p</i> (produtos)	3 (Álcool anidro, Álcool hidratado e Mercado Externo)
<i>m</i> (modais de transporte)	12 (Dutoviário, Duto_Brenco, Duto_Petro, Duto_PMCC, Duto_Uniduto, Duto_MS_PR, Ferroviário, Ferro_ALL, Ferroeste, Hidroviário, Transferência Interna, Troca de Modal)
<i>UF</i> (Unidade da Federação)	11 (DF, ES, GO, MG, MS, MT, PR, RJ, RS, SC, SP)

Fonte: Os autores.

TABELA 2 – Parâmetros de entrada do modelo.

Parâmetros	Siglas e Unidades	Valores Adotados
Permissão de fluxo entre zonas produtoras e centros coletores	$XQ_{ij}$	1 ou 0
Fluxo mínimo no centro coletor, assegurado por contrato	RecebimentoMin (m <sup>3</sup> )	0
Limite inferior de movimentação no centro coletor	LimiteJ Inferior	0
Preço do produto no centro coletor	Preço(R\$/m <sup>3</sup> )	1500,00
Custo de transporte entre as zonas produtoras e os centros coletores	$C_{ij}$ (R\$/m <sup>3</sup> )	76,05 (média)
Capacidade máxima de produção agregada na zona produtora	CapMaxProdTotal (m <sup>3</sup> )	380508,7 (média)
Capacidade máxima de produção de um produto na zona produtora	CapMaxProdDed (m <sup>3</sup> )	100000000
Capacidade mínima de produção por UF	CapMinProdUFME (m <sup>3</sup> )	0
Menor capacidade de produção na zona produtora <i>i</i>	CapMinProdZonaProdME (m <sup>3</sup> )	0
Possibilidade de fluxo entre centro coletor e base	$XQ_{jk}$	1 ou 0
Custo de transferência do centro coletor à base	$C_{jk}$ (R\$/m <sup>3</sup> )	13,51 (média)
Capacidade máxima do modal entre centros coletores e bases	CapMaxModal (m <sup>3</sup> )	100000000
Capacidade mínima do modal entre centros coletores e bases	CapMinModal (m <sup>3</sup> )	0

Continua...

TABELA 2 – Continuação...

Parâmetros	Siglas e Unidades	Valores Adotados
Custo de movimentação interna no centro coletor	$C_j$ (R\$/m <sup>3</sup> )	6 (média)
Custo de movimentação na venda, entre a base e o cliente	$C_{kw}$ (R\$/m <sup>3</sup> )	141,93 (média)
Volume máximo recebido/vendido no centro coletor	LimiteK (m <sup>3</sup> )	1000000000
Volume mínimo recebido/vendido no centro coletor	LimiteKInferior (m <sup>3</sup> )	0
Volume máximo recebido/vendido do produto na base	CapMaxBaseDed (m <sup>3</sup> )	10000000000
Permissão de fluxo entre a base e o cliente	$XQ_{kw}$	1 ou 0
Demanda do cliente pelo produto	$D_w$ (m <sup>3</sup> )	12740,62 (média)

Fonte: Os autores.

Em relação à movimentação interna, o custo dentro do próprio centro coletor ( $C_j$ ) teve média de R\$ 6,00/m<sup>3</sup>, com desvio-padrão igual a R\$ 5,00/m<sup>3</sup> e valor máximo de R\$ 28,00/m<sup>3</sup> e mínimo de R\$ 2,00/m<sup>3</sup>. O custo de movimentação na venda entre as bases e os clientes ( $C_{kw}$ ), localizados principalmente no estado de São Paulo, teve valor médio de R\$ 141,93/m<sup>3</sup> com desvio-padrão igual a R\$ 108,04/m<sup>3</sup> e custos máximos e mínimos de R\$ 836,00/m<sup>3</sup> e R\$ 11,00/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Para as zonas produtoras utilizadas no modelo, suas capacidades máximas de produção (CapMaxProdTotal) tiveram uma média de 380508,70m<sup>3</sup> com desvio-padrão de 423660,60m<sup>3</sup>. A zona que apresenta a menor capacidade máxima é capaz de produzir 7773,00m<sup>3</sup> de etanol, enquanto que a com maior capacidade produz 2222752,00m<sup>3</sup>. Já a demanda por todos os três produtos por cliente ( $D_w$ ) tem média de 12740,62m<sup>3</sup> com desvio-padrão igual a 135042,10m<sup>3</sup>. O máximo valor considerado para a demanda foi de 5018935,00m<sup>3</sup> e o mínimo, 0 (zero).

O fluxo mínimo dos centros coletores determinado em contrato (RecebimentoMin) é igual a 0 (zero), porém, em 11 dos 153 centros coletores escolhidos para a modelagem, houve exigência de fluxos mínimos especiais: igual a 166666,00m<sup>3</sup> (em nove) e igual a 250000,00m<sup>3</sup> (em dois). Por sua vez, o preço cobrado por cada produto em cada centro coletor (Preço) tem seu valor fixado em R\$ 1500,00/m<sup>3</sup>.

Foi considerado o volume de 100000000m<sup>3</sup> para a capacidade máxima de produção na zona produtora

(CapMaxProdDed). Esse valor não é, necessariamente, real; foi utilizado para representar um valor muito alto que nunca será atingido. Já para a capacidade mínima de produção para mercado externo (CapMinProdZonaProdME), o volume é igual a 0 (zero), representando a não produção como sendo a menor capacidade. Quando considerada, a capacidade mínima de produção para o mercado externo por UF (CapMinProdUFME) foi 0 (zero) para quatro estados e 2590153,00m<sup>3</sup> e 3716147,00m<sup>3</sup> para os outros dois estados.

Como capacidade máxima de transporte do produto entre o centro coletor e a base (CapMaxModal), foi escolhido o volume de 100000000m<sup>3</sup> que, assim como a capacidade máxima de produção na zona produtora, visa a representar um valor inatingível. Em contrapartida, a capacidade mínima (CapMinModal) possui valor 0 (zero), para o caso de não transportar produto algum.

No modelo, o volume máximo recebido/vendido no centro coletor (LimiteK) equivale a 1000000000m<sup>3</sup> e o volume mínimo (LimiteKInferior) é 0 (zero), exceto para dois dos 153 centros coletores. Nesses casos, as quantias de 650000,00m<sup>3</sup> e 2100000,00m<sup>3</sup> foram consideradas como limites inferiores. Como o volume máximo recebido/vendido na base (CapMaxBaseDed), os dados utilizados no modelo são de 10000000000m<sup>3</sup>, também representando um valor muito elevado. De modo análogo, o limite inferior de movimentação dentro do próprio centro coletor (LimiteJInferior) também é 0 (zero).

#### 4 PRINCIPAIS RESULTADOS

Inicialmente, deve ser lembrado o propósito original do modelo desenvolvido: propiciar a avaliação das possíveis configurações operacionais de um possível alcoolduto, visando a garantir a competitividade do escoamento do etanol produzido no Brasil. Após a conclusão das etapas de modelagem e parametrização, foi possível identificar-se as condições de competitividade dos diferentes modais de transporte (ferrovias – ALL e Ferroeste; Hidrovia Tietê-Paraná) a fim de atender às demandas do mercado interno e externo. Especificamente, foi considerada a existência de diferentes projetos concorrentes (PMCC e Seda) para possíveis trechos de alcooldutos ligando o Centro-Oeste ao estado de São Paulo, conforme evidenciado na imprensa econômica especializada (cf. figura 3).

Em essência, os resultados indicam a competitividade dos alcooldutos para o transporte do Centro-Oeste até Paulínia, no estado de São Paulo, comparativamente ao uso de ferrovias, rodovias ou hidrovias. Esse resultado é de particular importância à luz das diferentes propostas, atualmente em curso, para a

construção e operação de um sistema integrado Duto/Hidrovia Tietê-Paraná, algumas com custo estimado em US\$ 410 milhões. Mais especificamente, com relação à integração multimodal, o modelo indicou a necessidade de construção de seis terminais hidroviários; de um alcoolduto para transporte de etanol no sentido Hidrovia/Replan, com capacidade de cinco milhões e meio de m<sup>3</sup>/ano; e, no sentido contrário, de um poliduto com capacidade de dois milhões e meio de m<sup>3</sup>/ano para transporte de gasolina ou diesel. A extensão desses dutos é de 117km (cf. figura 3, trecho 7).

O modelo matemático desenvolvido também permitiu testar diferentes cenários para avaliar a sensibilidade dos resultados — configurações de traçado e volumes — a determinadas variáveis-chave, como custos, demandas e horizontes futuros de operação.

Por exemplo, a captação dos alcooldutos nos trechos entre Senador Canedo (GO) e Paulínia (SP) e entre Paulínia (SP) e a hidrovia Tietê-Paraná apresentou forte sensibilidade aos parâmetros de custo de transporte e de movimentação, com significativos ganhos ou perdas de volumes, dependendo das tarifas praticadas no frete hidroviário. Não obstante, o local que apresenta maiores

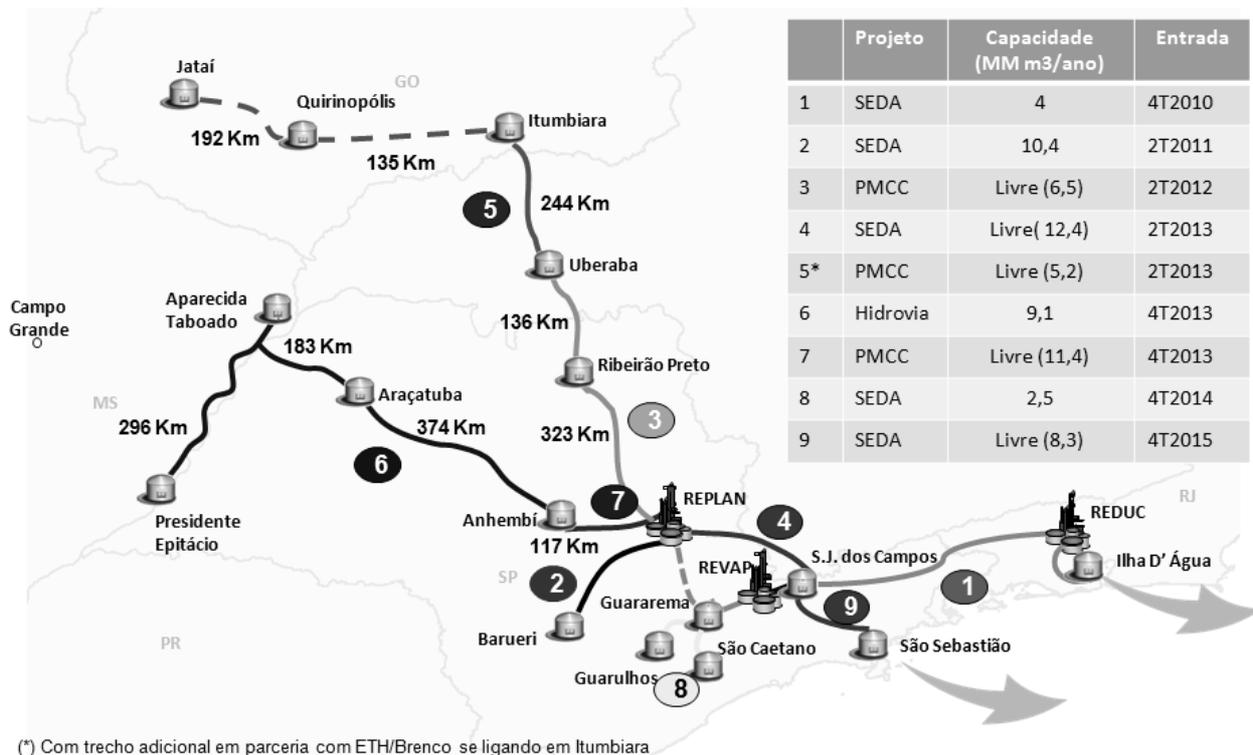


FIGURA 3 – Possíveis traçados para os alcooldutos.

vantagens advindas da interligação com o alcoolduto é a região de Ribeirão Preto, basicamente, em função dos expressivos volumes de produção lá verificados (cf. Figura 3, trecho 3). Por outro lado, também foi possível concluir que o trecho entre Uberaba (MG) e Buriti Alegre (GO) tem baixa viabilidade, não sendo sensível, dessa forma, a uma eventual guerra de tarifas com a hidrovia (cf. Figura 3, trecho 5). De modo diferente ao que se esperava, ou seja, que a hidrovia pudesse apresentar impactos na competitividade do alcoolduto, sua não influência foi confirmada pelo fato de o alcoolduto não ser viável entre MG e GO.

De modo análogo, alterando-se a tarifa mínima para o transporte de etanol, informada em projetos alternativos de alcooldutos, e considerando-se a não existência do modal hidroviário (cf. Figura 3, trecho 6), foi possível determinar limites superiores e inferiores de captação em diferentes pontos do traçado (cf. Figura 3, trechos 3, 5 e 7), fornecendo insumos relevantes para o dimensionamento da rede. Além disso, foi considerado um horizonte de longo prazo (2020) para vendas ao mercado externo, com base em previsões futuras. Os resultados apontam que essa demanda tenderá sempre a ser suprida por modais competitivos, no caso dos alcooldutos e a Hidrovia Tietê-Paraná, de modo que se obtenha o benefício dos menores custos de transporte por maiores distâncias.

## 5 CONCLUSÕES

Este artigo propôs avaliar diferentes configurações de alcooldutos e respectivos volumes de captação para o transporte do etanol a partir do Centro-Oeste brasileiro, tendo como base um modelo de pesquisa operacional desenvolvido especificamente para esse objetivo. Foram determinados os traçados economicamente viáveis para a instalação de dutos e as interligações com outros modais competitivos, ferrovias e hidrovias, a saber, de forma a minimizar os custos totais, levando-se em consideração as respectivas restrições de capacidade de cada modal.

No caso específico do ramo de combustíveis, como são fortes as exigências por elevados níveis de serviço e baixos custos, percebe-se a importância do uso de ferramentas de pesquisa operacional no apoio à tomada de decisão. Gestores privados e públicos poderiam, por exemplo, em estudos ou aplicações futuras, utilizar o modelo aqui desenvolvido e apresentado para avaliar, por exemplo, o impacto das diferentes custos, preços e capacidades nos volumes captados e na configuração de cada traçado do duto para decidir qual curso de ação será tomado em termos de investimento.

Dentre as principais limitações deste estudo, destaca-se a falta de acesso a informações de mercado mais precisas para a geração dos cenários, sobretudo, no que diz respeito às políticas e estratégias de negócio dos principais atores envolvidos. Uma sugestão interessante para estudos futuros seria a aplicação desse modelo em dados reais das próprias empresas, em vez de dados setoriais obtidos junto a órgãos de classe, entidades setoriais e mídia especializada.

## 6 REFERÊNCIAS

ALCOOLDUTO da Petrobrás poderá escoar derivado de petróleo. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,alcoolduto-pode-escoar-derivados-de-petroleo,621041,0.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BARATA, M. Q. F. **Otimização econômica do corte e reforma de canaviais**. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Economia Agrária) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1992.

BARROS, G. S. C.; MORAES, M. A. F. D. A desregulamentação do setor sucroalcooleiro. **Revista de Economia Política**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 86, 2002.

BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; ALVES, M. L. Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. **Annals of Operations Research**, New York, v. 176, n. 1, p. 333-348, 2010.

BIODIESELBR. **Pró-álcool**: programa brasileiro de álcool. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/proalcool.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeia de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL ESCOLA. **Etanol**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/etanol.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

BRUNORO, J. A. B.; LEITE, C. A. M. Escolha ótima de variedades de cana-de-açúcar por meio da programação matemática. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 264, p. 111-134, 1999.

CLARK, D. **Demanda do etanol no país vai crescer 150% em dez anos, diz EPE:** para presidente da empresa, etanol é 'jóia da coroa', ao lado do pré-sal: investimentos para atender a demanda chegarão a US\$ 25 bilhões. Disponível em: <[http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL772463-9356,00-DEMANDA+DO+ETANOL+N0+PAIS+VAI+CRESCER+EM+DEZ+ANOS+DIZ+EPE.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL772463-9356,00-DEMANDA+DO+ETANOL+N0+PAIS+VAI+CRESCER+EM+DEZ+ANOS+DIZ+EPE.html)>. Acesso em: 23 ago. 2012.

COLIN, E. C.; CIPPARRONE, F. A. M.; SHIMIZU, T. Otimização do custo de transporte na distribuição-armazenagem de açúcar. **Produção**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 23-30, jun. 1999.

DANIEL, I. **Alcooduto deve baratear exportação de etanol:** um duto para etanol, que tem previsão de entrar em operação em 2012, deve baratear o custo do transporte do produto em cerca de 25%: o projeto é da empresa Uniduto, formada por dez grupos do setor. Disponível em: <[http://www.anba.com.br/noticia\\_agroenergia.kmf?cod=8936230](http://www.anba.com.br/noticia_agroenergia.kmf?cod=8936230)>. Acesso em: 23 ago. 2012.

DUAILIBI, J.; EDWARD, J. A Riqueza que viaja pelo cano: criados há três milênios para transportar água, os dutos passaram a escoar petróleo no século XIX: agora serão usados para exportar etanol brasileiro. **Revista Veja**, São Paulo, 24 dez. 2007. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/resenhaeletronica/MostraMateria.asp?page=&cod=429779>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

DUTOS para etanol: desafios e perspectivas. Disponível em: <<http://www.ethanolsummit.com.br/upload/palestrante/20090615045853703600681561.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

EMPRESA de logística quer construir alcooduto de São Paulo a Goiás. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=827568>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Perspectivas para o etanol no Brasil.** Brasília, 2008. (Cadernos de energia EPE). Disponível em: <<http://www.observatoriodoagronegocio.com.br/page41/files/EPE-PerspecEtanol%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis: boletins periódicos.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

FLEURY, P. A infraestrutura e os desafios logísticos das exportações brasileiras. **ILOS**, Rio de Janeiro, 10 abr. 2005. Disponível em: <[http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=710&Itemid=74](http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=710&Itemid=74)>. Acesso em: 23 ago. 2012.

GOFFMAN, E. **Biofuels:** what place in our energy future? Disponível em: <<http://www.csa.com/discoveryguides/biofuel/review.php>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

GOY, L.; MANFRINI, S. Mistura de álcool na gasolina cai para 20%: porcentual obrigatório será reduzido a partir de 1.º de fevereiro e ficará em vigor durante 90 dias, para evitar alta do preço do álcool. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 12 jan. 2010. Disponível em: <[http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100112/not\\_imp494080,0.php](http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100112/not_imp494080,0.php)>. Acesso em: 23 ago. 2012.

GRISOTTO, M. E. **Otimização do transporte de cana-de-açúcar por caminhões.** 1995. 121 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

JENKINS, R. China's global expansion and Latin America. **Journal of Latin American Studies**, New York, v. 42, n. 4, p. 809-837, 2010.

JUNQUEIRA, R. A. R.; MORABITO, R. Planejamento otimizado da produção e logística de empresas produtoras de sementes de milho: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 367-380, 2008.

KANE, S. et al. Ethanol's role: an economic assessment. **Agribusiness**, Westport, v. 5, n. 5, p. 505-523, Sept. 1989.

KAWAMURA, M. S.; RONCONI, D. P.; YOSHIZAKI, H. Optimizing transportation and storage of final products in the sugar and ethanol industry: a case study. **International Transactions in Operational Research**, Oxford, v. 13, n. 5, p. 425-439, 2006.

KENKEL, P.; HOLCOMB, R. B. Conditions necessary for private investment in the ethanol industry. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, London, v. 41, n. 2, p. 455-465, Aug. 2009.

- LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 78, p. 15-21, jul. 2007.
- MEIRAFILHO, L. G.; MACEDO, I. C. **Etanol e mudança de clima**: a contribuição para o PNMC e as metas para o pós-Kyoto. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode=E20AA290-B738-41A0-A9F2-9CC459BD445E>>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- NIGRO, F.; SZWARC, A. **Etanol como combustível veicular**: perspectivas tecnológicas e propostas de políticas públicas. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode={A8C6CD11-35C6-4C8D-9EE5-B005D6FCA490}>>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- PAIVA, R. P. O.; MORABITO, R. Modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 25-41, 2007.
- \_\_\_\_\_. Optimization model for the aggregate production planning of a Brazilian sugar and ethanol milling company. **Annals of Operations Research**, New York, v. 169, n. 1, p. 117-130, 2009.
- PETROBRÁS TRANSPORTE S.A. **Relatório anual 2011**. Disponível em: <[http://www.transpetro.com.br/TranspetroSite/appmanager/transpPortal/transpInternet?\\_nfpb=true&\\_windowLabel=barraMenu\\_3&\\_nffvid=%2FTranspetroSite%2Fportlets%2FbarraMenu%2FbarraMenu.faces&\\_pageLabel=pagina\\_base&formConteudo.codigo=97](http://www.transpetro.com.br/TranspetroSite/appmanager/transpPortal/transpInternet?_nfpb=true&_windowLabel=barraMenu_3&_nffvid=%2FTranspetroSite%2Fportlets%2FbarraMenu%2FbarraMenu.faces&_pageLabel=pagina_base&formConteudo.codigo=97)>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. **Relatório de administração e balanço contábil 2011**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/biocombustiveis/>>. Acesso em: 16 out. 2012.
- RAGSDALE, C. T. Introduction to optimization and linear programming. In: \_\_\_\_\_. **Spreadsheet modeling and decision analysis**: a practical introduction to management science. 2<sup>nd</sup> ed. Cincinnati: South-Western College, 1988. p. 16-42.
- SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 843-851, jun. 2008.
- SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES. **Anuário Sindicom 2010**. Disponível em: Disponível em: <[http://www.sindicom.com.br/pub\\_sind/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38](http://www.sindicom.com.br/pub_sind/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38)>. Acesso em: 16 out. 2012.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. **Pesquisa operacional**. Disponível em: <[http://www.sobrapo.org.br/o\\_que\\_e\\_po.php](http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php)>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- SOFFNER, R. K.; MILAN, M.; RIPOLI, T. C. C. Gerenciamento global de sistema agrícola em unidades sucroalcooleiras através de programação linear. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 5, p. 16-20, 1993.
- SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. C. Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/Downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/livro-etanol-bioeletricidade.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- TAVARES, M. Para frear reajuste do etanol e garantir abastecimento, mistura de álcool à gasolina cairá de 25% para 20%. **O Globo**, Rio de Janeiro, 11 jan. 2010. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/mat/2010/01/11/para-frear-reajuste-do-etanol-garantir-abastecimento-mistura-de-alcool-gasolina-caira-de-25-para-20-915503779.asp>>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- UNIDUTO. **Quais as vantagens e os benefícios do transporte por dutos?** Disponível em: <<http://www.uniduto.com.br/perguntas.php>>. Acesso em: 23 ago. 2012.
- YOSHIZAKI, H. T. Y.; MUSCAT, A. R. N.; BIAZZI, J. L. Decentralizing ethanol distribution in southeastern Brazil. **Interfaces**, Providence, v. 26, n. 6, p. 24-34, 1996.