

---

# RESULTADOS ENERGÉTICOS DA LOGÍSTICA E TRANSPORTE DO ETANOL

Fábio César Bovolenta<sup>1</sup>;  
Marco Antônio Martin Biaggioni<sup>2</sup>

## RESUMO

O grande desafio para o agronegócio nos próximos anos é a infraestrutura logística uma vez que existem muitas dificuldades em escoar a produção. Para o escoamento do etanol, o país possui uma logística que abrange multimodais de transporte, terminais e vias que visam fortalecer o corredor exportador. Assim, o presente trabalho analisou o fluxo energético considerando rotas atualmente projetadas, em construção ou operantes, para o escoamento de etanol da região centro-oeste do Brasil (Aparecida do Taboado-MS) até o porto de São Sebastião (SP). Foram concebidas quatro rotas para a análise contemplando a multimodalidade ou unimodalidade, envolvendo os modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário. Foram utilizados fatores energéticos, diretos e indiretos, envolvidos nas operações para contabilizar os inputs e outputs do sistema: óleo diesel, energia indireta de máquinas e equipamentos, energia de mão de obra, energia elétrica, além da depreciação energética e manutenção das vias. Os resultados obtidos indicaram o modal dutoviário como o que menos despendeu energia e o modal rodoviário

<sup>1</sup>Prof. Doutor Fábio César Bovolenta, Faculdade de Tecnologia de Jahu, FATEC Jahu: Rua Frei Galvão, s/n - Jardim Pedro Ometto, Jaú - SP, 17212-599. fabiobovolenta@hotmail.com

<sup>2</sup>Prof. Doutor Marco Antônio Martin Biaggioni – Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP Botucatu: Rua Dr. José Barbosa de Barros, nº 1780, Botucatu-SP, 18610-034. biaggioni@fca.unesp.br

o de maior demanda energética. Os modais hidroviário e ferroviário também se apresentaram energeticamente viáveis, em comparação ao modal rodoviário.

**Palavras-Chave:** Logística de transporte. Biocombustível. Dutovia. Consumo energético.

# Energy Performance of Ethanol Logistics and Transport

## ABSTRACT

The great challenge for agribusiness in the coming years is the logistics infrastructure, since there are many difficulties to flow the production. For the marketing of ethanol, the country has an infrastructure that include multimodal logistics transportation, terminals and routes aimed at strengthening the export corridor. So, this paper analyzed the energy flow considering routes currently designed, under construction or operative to transport ethanol from the Midwest region of Brazil (Aparecida do Taboado-MS) to the port of São Sebastião (SP). It were selected four routes for analysis contemplating the unimodality or multimodality, including modes road, rail, waterway and pipeline. It were used energy indexes, direct and indirect, involved in operations to account for the inputs and outputs of the system, such as diesel fuel, lubricants, greases, indirect energy consumption of machinery and equipment, power consumption of labor, the energy consumption and energy consumption in depreciation and maintenance of roads. The results indicated the pipeline as the modal spent less energy and road transport the most energy demand. The waterway and rail modes also performed energetically viable, compared to road transportation.

**Key Words:** Transportation logistics. Biofuel. Pipeline. Energy consumption.

## 1. INTRODUÇÃO

A região centro-oeste do Brasil destaca-se no cenário nacional quanto à produção das principais commodities agrícolas, como o açúcar, o álcool, o milho, a soja, o óleo e o farelo de soja e o trigo. Importante via de escoamento da região, o corredor Centro-Oeste envolve traçados de infraestrutura de transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário e marítimo, sendo que as rodovias ainda constituem o meio de transporte predominante (BRANCO et al., 2010).

Segundo Jasper et al. (2010), o balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada, além da quantidade necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. A determinação da eficiência energética é importante instrumento no monitoramento da sustentabilidade de uma cadeia produtiva ante o uso de fontes de energia não renováveis.

Estendendo esta importante ferramenta de análise para a questão da infraestrutura de escoamento da safra brasileira, Biaggioni e Bovolenta (2010), com o intuito de compreender melhor o consumo de energia utilizado pelos diversos sistemas de transporte, analisaram o fluxo energético no escoamento de soja da região Centro-Oeste do Brasil até o porto de Santos-SP. Os resultados obtidos indicaram um gasto energético específico maior para o modal rodoviário ( $0,50 \text{ MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ), seguido pelo modal ferroviário ( $0,42 \text{ MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ) e, em terceiro, o modal hidroviário ( $0,22 \text{ MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ).

Segundo Milanez et. al (2010), seguindo o crescimento de consumo de etanol, a primeira onda de investimentos em logística foi dedicada ao sistema rodoviário. A aquisição de novos equipamentos rodoviários para aumento da capacidade de transporte tem sido recorrente para as empresas prestadoras de serviços de transporte de combustíveis. Para que as exportações cheguem aos portos, o transporte rodoviário permanece como única alternativa para a grande maioria das usinas, em função de características de rotas curtas, de altos custos dos transbordos intermodais e de deficiências na infraestrutura das demais modalidades no acesso aos portos.

Restringindo-se ao transporte da cana, do açúcar e do álcool, o corredor da hidrovia Tietê-Paraná é o único que contempla, atualmente, a logística dessas cargas. De acordo com Gabriel Filho, Cremasco e Svoza (2009), dentre as vantagens do escoamento hidroviário, é possível destacar a elevada capacidade de transporte, o frete mais barato, cerca de duas vezes menor que o da ferrovia e cinco vezes mais baixo que a rodovia, e o fato de possibilitar o uso da multimodalidade. Do ponto de vista ambiental, é o que possui menor emissão de poluentes, em torno de vinte vezes inferior ao rodoviário e quatro vezes menor que o ferroviário, podendo ser considerado uma matriz de transporte econômico-ambiental.

A expansão tardia do transporte ferroviário de etanol foi inibida pelas curtas distâncias entre as usinas e o mercado consumidor, principalmente no interior paulista. O crescimento recente das escalas de transporte contribuiu para aumentar a competitividade dessa alternativa. Segundo Junqueira (2011), na malha ferroviária

do sudeste brasileiro, existem trilhos que podem atingir os portos de Paranaguá, Santos e São Sebastião. O terminal ferroviário de Paulínia, interligado à malha dutoviária pode receber álcool diretamente das usinas (por rodovia) ou dos centros coletores (por ferrovia). Pode até ser capaz de enviar o álcool ao porto do Rio de Janeiro, através do sistema dutoviário da Transpetro.

Em 2010, a Petrobras obteve a licença ambiental para iniciar a construção de um alcoolduto que ligará regiões produtoras de Minas Gerais e São Paulo ao porto de Santos e São Sebastião. Para Milanez et al. (2010), novos ganhos de competitividade podem ser obtidos com o início da operação dos “alcooldutos”. Entretanto, para esses investimentos se viabilizarem, os volumes movimentados de etanol deverão atingir níveis muito superiores aos atuais. Ainda segundo Milanez et al., 2010, para que possa ser viabilizada a construção de uma dutovia com 500 km de distância, seriam necessários cerca de 4,5 milhões de metros cúbicos de etanol por ano.

Tendo em vista as dutovias representarem uma alternativa com grande potencial inovador quando se busca uma logística de transporte mais sustentável para os granéis líquidos, o presente trabalho objetiva realizar uma análise energética comparativa de quatro rotas de escoamento do etanol, da região centro oeste do Brasil para um porto marítimo exportador, contemplando três alternativas unimodais (rodoviária, ferroviária e dutoviária) e uma multimodal (hidro-duto-ferroviária) de transporte.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Tendo em vista a ausência de pesquisas voltadas para análise energética na fase de escoamento do etanol, especificamente através de rotas de exportação, a obtenção dos dados, em sua maioria, baseou-se na coleta junto às empresas, instituições e pessoas envolvidas no transporte considerando os diferentes modais (hidro, rodo, ferro e dutoviário), partindo de Aparecida do Taboado (MS) com destino até São Sebastião (SP), passando por Anhembi (SP) e/ou Paulínia (SP). Foram coletadas informações sobre logística, multimodalidade de transporte e coeficientes energéticos.

O estudo iniciou-se pela roteirização multimodal, isto é, foram selecionados os principais caminhos para se atingir o destino desejado, combinando-os com os modais propostos neste estudo. Vale destacar que nem todas as quatro rotas assim estabelecidas estão em operação, pois alguns trechos podem estar em construção ou em fase de projeto, conforme apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP) por quatro rotas.

<p>1ª Rota (R1): rodo-rodoviária (R-R)  Aparecida do Taboado (rodovia, 559 km, <math>F_{eq} = 1,0</math>) → Paulínia (rodovia, 272 km, <math>F_{eq} = 1,0</math>) →  → São Sebastião = 831 km</p>
<p>2ª Rota (R2): ferro-ferroviária (F-F)  Aparecida do Taboado (ferrovia, 648 km, <math>F_{eq} = 1,0</math>) → Paulínia (ferrovia, 315 km, <math>F_{eq} = 1,0</math>) →  → São Sebastião = 963 km</p>
<p>3ª Rota (R3): duto-dutoviária (D-D)  Aparecida do Taboado (dutovia, 597 km, <math>F_{eq} = 1,0</math>) → Paulínia (dutovia, 240 km, <math>F_{eq} = 2,48</math>) →  → São Sebastião = 837 km</p>
<p>4ª Rota (R4): hidro-duto-ferroviária (H-D-F)  Aparecida do Taboado (hidrovia, 584 km, <math>F_{eq} = 2,03</math>) →  → Anhembi (dutovia, 132 km, <math>F_{eq} = 1,00</math>) →  → Paulínia (ferrovia, 315 km, <math>F_{eq} = 2,57</math>) → São Sebastião = 1031 km</p>
<p>Legenda:  → trecho em operação  → trecho em construção  → trecho em projeto  <math>F_{eq}</math> = Fator de equivalência de carga</p>

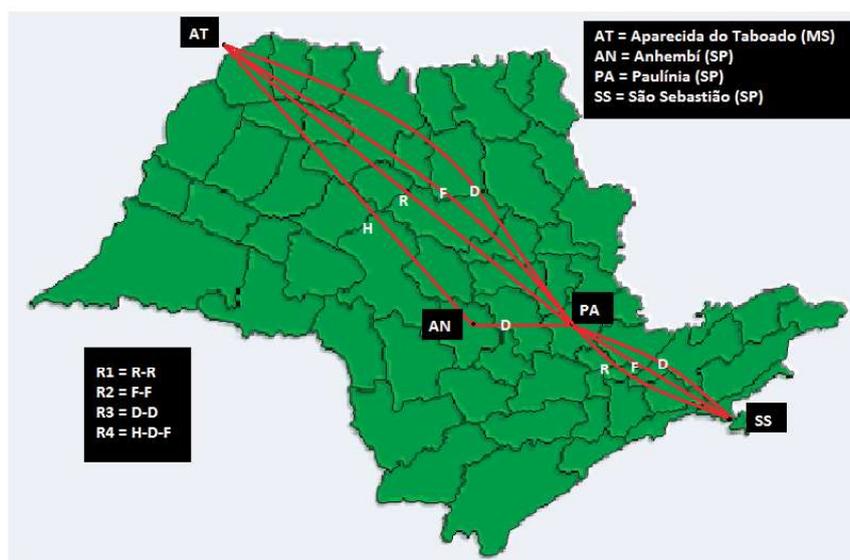
Fonte: Os autores, 2017.

Realizou-se, na sequência, o estudo da mão-de-obra para a movimentação do etanol e a delimitação dos materiais e equipamentos envolvidos, finalizando com a conversão dos fatores físicos em energéticos. Para todas as rotas e modais estudados, adotou-se um “fator de equivalência de carga” ( $F_{eq}$ ), deixando cada modalidade de transporte em condições semelhantes de carga transportada. Como exemplo, adota-se a rota R4: para se igualar ao segundo trecho que transporta em uma só viagem pelos dutos, aproximadamente, 15.500 m<sup>3</sup> de etanol, o primeiro trecho precisaria transportar em comboios hidroviários 2,03 vezes 7.600 m<sup>3</sup> de etanol em seu sistema, visto que, em seus tanques o volume máximo transportado de etanol é de 7.600 m<sup>3</sup>.

Ao analisar o transporte para exportação de etanol, adotou-se como ponto de origem, para as quatro rotas multimodais (Figuras 1 e 2), o município de Aparecida do Taboado (MS). A escolha deste foi para possibilitar a análise de multimodalidade em um local que será uma grande base coletora de etanol da região centro-oeste do país com capacidade de armazenagem de 20 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 2,4 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Como ponto intermediário de transbordo, adotou-se o município de Paulínia (SP), para todas as rotas, por ser uma das

principais bases distribuidora de etanol do estado de São Paulo com capacidade de armazenagem de 224 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 8,9 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Para uma das rotas estabelecidas, o município de Anhembi (SP) também ficou como ponto intermediário que terá uma capacidade de armazenagem de 160 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 9,3 milhões de m<sup>3</sup> de biocombustíveis (etanol e biodiesel). Como ponto de destino para a exportação do etanol, adotou-se o município de São Sebastião (SP), litoral norte paulista, por ter um porto marítimo já estruturado para a logística de etanol. A capacidade de armazenagem do porto de São Sebastião é de 260 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 12,9 milhões de m<sup>3</sup> de etanol.

**Figura 2.** Mapa ilustrativo do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP), por quatro rotas.



Fonte: Os autores, 2017.

A Tabela 1 resume a mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol, para todos os modais de transporte, tanto para o carregamento como para o descarregamento, nos trechos intermediários, na origem e no destino.

**Tabela 1.** Mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol de Aparecida do Taboado (MS) a São Sebastião (SP).

Forma de movimentação	Mão-de-obra (nº de operários)
Carregamento em Aparecida do Taboado (MS):	
Para comboio fluvial	6
Para bitrem tanque	2
Para comboio ferroviário	2
Para alcooduto	2
Transporte de Aparecida do Taboado (MS):	
Por hidrovia	9
Por rodovia	1
Por ferrovia	2
Por dutovia	2
Transposição:	
Das eclusas	10
Do canal de Pereira Barreto	2
Descarregamento em Anhembi (SP):	
Do comboio fluvial	6
Transporte de Anhembi (SP):	
Por dutovia	2
Descarregamento em Paulínia (SP):	
Do bitrem tanque	2
Do comboio ferroviário	2
Do alcooduto	2
Carregamento em Paulínia (SP):	
Para bitrem tanque	2
Para comboio ferroviário	2
Para alcooduto	2
Transporte de Paulínia (SP):	
Por rodovia	1
Por ferrovia	2
Por dutovia	2
Descarregamento em São Sebastião (SP):	
Do bitrem tanque	2
Do comboio ferroviário	2
Do alcooduto	2
Administração da logística de transportes:	
Por operadores logísticos	2

Fonte: Os autores, 2017.

As principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol, segundo os diferentes modais utilizados, são apresentadas nas Tabelas 2 e 5.

**Tabela 2.** Características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por rodovia.

Materiais e equipamentos	Dados
<u>Características do cavalo mecânico do Bitrem:</u>	
Massa	9,97 t
Vida útil	10 anos
Potência instalada do motor	620 CV
Consumo médio de óleo diesel	1,9 km L <sup>-1</sup>
<u>Características dos semi-reboques tanques:</u>	
Massa	10,5 t
Vida útil em anos de uso	10 anos

Fonte: Os autores, 2017.

**Tabela 3.** Características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por ferrovia

Materiais e equipamentos	Dados
<u>Características da locomotiva do comboio ferroviário:</u>	
Massa	62 t
Vida útil em anos de uso	30 anos
Potência instalada do motor	875 CV
Consumo médio de óleo Diesel do comboio fluvial carregado	246 L h <sup>-1</sup>
<u>Características dos tanques do comboio ferroviário:</u>	
Massa	25,75 t
Vida útil em anos de uso	30 anos

Fonte: Os autores, 2017.

**Tabela 4.** Características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por dutovia.

Materiais e equipamentos	Dados
<u>Características do alcooduto:</u>	
Comprimento de cada tubo	18 m
Diâmetro nominal	24 pol
Massa	8 t
Vida útil em anos de uso	40 anos
Potência das bombas	15 CV

Fonte: Os autores, 2017.

**Tabela 5.** Características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por hidrovia.

Materiais e equipamentos	Dados
<u>Características do empurrador do comboio fluvial:</u>	
Comprimento	18,5 m
Boca	9 m
Calado	2,4 m
Massa	140 t
Vida útil em anos de uso	50 anos
Potência instalada dos motores principais	1200 HP
Potência instalada dos motores auxiliares	120 HP
Consumo médio de óleo Diesel do comboio fluvial carregado	246 L h <sup>-1</sup>
<u>Características das chatas do comboio fluvial:</u>	
Comprimento	60 m
Boca	11 m
Calado	3 m
Massa	330 t
Vida útil em anos de uso	50 anos
<u>Características das eclusas da hidrovia do Tietê:</u>	
Potência instalada do portão hidráulico tipo esporão	15 HP
Potência instalada do portão hidráulico tipo vagão	75 HP
Tempo de operação dos portões hidráulicos das eclusas	3 min
Massa dos portões hidráulicos das eclusas	115 t
Vida útil em anos de uso dos portões hidráulicos das eclusas	50 anos
<u>Características do sistema de carga e descarga de etanol das chatas:</u>	
Massa das 4 redes de carga e descarga	1 t
Vida útil em anos de uso das 4 redes de carga e descarga	50 anos
Massa das 4 bombas de carga e descarga	1 t
Vida útil das 4 bombas de carga e descarga	50 anos
Vazão operacional das bombas	150 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Massa das 4 drop lines do sistema de carga e descarga	1 t
Vida útil das 4 drop lines do sistema de carga e descarga	50 anos
Potência instalada do motor Diesel que move as bombas	550 HP
Consumo médio de óleo Diesel do motor que move as bombas	100 L h <sup>-1</sup>
<u>Características dos sistemas de óleo combustível e óleo lubrificante:</u>	
Capacidade total de óleo Diesel no tanque	80 m <sup>3</sup>
Autonomia do óleo Diesel no tanque	14 dias

Fonte: Os autores, 2017.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise comparativa das demandas energéticas

A análise individual de cada rota permite uma avaliação mais criteriosa do uso de cada fonte possibilitando determinar a rubrica energética mais dispendiosa e, conseqüentemente, aquela que compensaria envidar maiores esforços no sentido de otimizar sua eficiência no processo. Assim, analisando-se os dados da Tabela 6, que apresenta as demandas de energia por fonte e por rota, verifica-se que em três das quatro rotas estudadas a energia fóssil constituiu-se na fonte com maior participação, seguida pela energia industrial consumida pelas máquinas e equipamentos. A rota 3 (duto-dutoviária), por não utilizar diesel para a movimentação da carga, apresentou um comportamento diferente das demais, apontando para as fontes industriais, seja para a fabricação de máquinas/equipamentos seja para a manutenção da via (dutos), como as mais importantes.

**Tabela 6.** Análise comparativa entre entradas de energia para as rotas estudadas.

Rota	Fonte	(MJ)
1.	Mão-de-obra	197.389,06
	Elétrica	0,00
	Fóssil	41.737.397,53
	Industrial (bitrem)	493.937,53
	Industrial (rodovia)	108.046,13
2.	Mão-de-obra	1.973,08
	Elétrica	0,00
	Fóssil	18.433.888,80
	Industrial (comboio ferroviário)	402.412,92
	Industrial (ferrovia)	6.587.344,70
3.	Mão-de-obra	1.356,58
	Elétrica	7.973,59
	Fóssil	0,00
	Industrial (alcooduto)	7.765.391,24
	Industrial (dutovia)	166.302,00
4.	Mão-de-obra	14.924,12
	Elétrica	8.041,37
	Fóssil	17.552.381,18
	Industrial (comboio hidro + alcooduto + bitrem)	2.131.040,88
	Industrial (hidrovia + dutovia + rodovia)	2.340.742,50

Fonte: Os autores, 2017.

Ainda pela Tabela 6, analisando-se individualmente cada rubrica energética apresentada, verifica-se que a energia oriunda da mão de obra foi mais demandada pela rota rodoviária, tendo em vista o elevado número de unidades envolvidas (caminhões bitrens) na movimentação do etanol. Nesta mesma rota, pelos mesmos motivos, também se verificou a maior demanda pela energia fóssil.

A fonte elétrica, presente apenas nas rotas dutoviária e multimodal (H-D-F), foi mais utilizada pela última tendo em vista a maior presença desta fonte nas operações de motores elétricos utilizados nos modais hidroviário e dutoviário (bombas hidráulicas). Quanto às formas industriais de demanda de energia, o elevado consumo de aço para construção dos dutos, bem como, o alto custo de depreciação energética das ferrovias fez com que estas rubricas fossem maximizadas nas rotas dutoviária (R3) e ferroviária (R2), respectivamente.

#### **Análise comparativa do consumo específico de energia**

O consumo específico de energia, em  $\text{MJ km}^{-1} \text{m}^{-3}$  de etanol transportado, das quatro rotas estudadas pôde ser encontrado na Tabela 7. Analisando-se os dados, verifica-se maior participação de energia consumida na R1, rodo-rodoviária, com um consumo específico de  $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{m}^{-3}$ . Tal demanda é explicada principalmente, devido ao fato do modal rodoviário constituir-se no maior consumidor de energia fóssil, mais precisamente óleo diesel, e, ainda, por ser uma rota unimodal que transporta um volume menor de carga, em relação aos outros modais, exigindo um maior número de caminhões bitrem ao longo de todo o percurso. Os resultados aqui obtidos corroboram Biaggioni e Bovolenta (2010) que encontraram um consumo específico de  $0,50 \text{ MJ km}^{-1} \text{m}^{-3}$ , para o modal rodoviário.

Por outro lado, a menor participação de energia consumida foi a R3, duto-dutoviária, com um consumo específico de  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{m}^{-3}$ . Isto se explica, principalmente, devido ao modal dutoviário não demandar energia fóssil, mas também por ser uma rota unimodal capaz de transportar um alto volume de carga ao longo do percurso total, quando comparado aos outros modais.

Ao se analisar a R2, unimodal ferroviária, verifica-se que o valor final atingido, de  $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{m}^{-3}$ , situa-se numa posição intermediária de consumo energético, quando comparado com as demais rotas unimodais pesquisadas (dutoviária e rodoviária). Embora o modal ferroviário, a exemplo do modal rodoviário, também seja muito dependente da energia fóssil, por outro lado, também apresenta, a exemplo do modal dutoviário, uma capacidade de transportar um elevado volume de etanol por viagem, reduzindo, assim, o impacto energético.

Analisando-se a única rota multimodal estudada (R4), verifica-se que o valor final atingido, de  $0,22 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , consolidou-a como a de segundo melhor desempenho, atrás, apenas, da rota unimodal dutoviária. Observa-se que este consumo médio obtido ( $0,22 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho hidroviário ( $0,20 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), devido à maior extensão percorrida (584 km) por este modal. O trecho ferroviário (315 km) percorrido, com um consumo específico de energia de  $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , e o trecho dutoviário (132 km) percorrido, com um consumo específico de apenas  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , tiveram menor influência na determinação do consumo final de energia específica.

**Tabela 7.** Análise comparativa entre os consumos específicos de energia ( $\text{MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) para as rotas estudadas.

Rota	Entradas de energia		
	(MJ)	(km)	( $\text{MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ )
1. SUBTOTAL R (1° trecho)	13.231,53	559	0,53
SUBTOTAL R (2° trecho)	6.434,14	272	0,53
TOTAL	19.665,67	831	
CONSUMO ESPECÍFICO			0,53
2. SUBTOTAL F (1° trecho)	1.055.813,28	648	0,27
SUBTOTAL F (2° trecho)	512.701,19	315	0,27
TOTAL	1.568.514,47	963	
CONSUMO ESPECÍFICO			0,27
3. SUBTOTAL D (1° trecho)	5.623.712,28	597	0,14
SUBTOTAL D (2° trecho)	2.317.311,13	240	0,14
TOTAL	7.941.023,41	837	
CONSUMO ESPECÍFICO			0,14
4. SUBTOTAL H	1.825.151,04	584	0,20
SUBTOTAL D	291.339,33	132	0,14
SUBTOTAL F	1.317.642,07	315	0,27
TOTAL	3.434.132,44	1031	
CONSUMO ESPECÍFICO			0,22

Fonte: Os autores, 2017.

O estudo realizado neste trabalho confirma a hipótese levantada no início, onde o modal dutoviário seria classificado como o que menos dispende energia e o modal rodoviário o que mais demanda energia. Gera também, uma reflexão de cada modal: o modal dutoviário é, sem dúvida, o melhor meio de transporte para produtos granéis líquidos, mesmo sendo alto o valor de implantação de sua via. Em seguida, nota-se que os modais hidroviário e ferroviário são, também, energeticamente viáveis em comparação ao modal rodoviário. No modal rodoviário, encontram-se várias desvantagens energéticas, porém este tipo de transporte, quando na ausência de outros tipos de vias, é fundamental para completar a multimodalidade.

Este tipo de estudo demonstra a urgente necessidade de se buscar alternativas de escoamento de produtos em conjunto, tais como, a multimodalidade de transporte, que são mais sustentáveis energeticamente, ou seja, que possibilitem utilização mais racional de recursos naturais não renováveis.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas, podem-se destacar as seguintes conclusões:

A rota dutoviária mostrou-se a mais sustentável energeticamente, não dependendo da participação de fonte fóssil a qual constituiu-se na rubrica de maior peso para as demais rotas estudadas;

Entre as rotas unimodais, a rodoviária atingiu o maior consumo específico de energia, com  $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , enquanto a dutoviária teve o menor com  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ . A rota ferroviária apresentou desempenho intermediário, demandando  $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ .

O baixo consumo energético apresentado pelo trecho hidroviário ( $0,20 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) permitiu à rota multimodal hidro-duto-ferroviária o segundo melhor desempenho entre as quatro alternativas estudadas.

Os modais hidroviário e ferroviário também apresentaram consumo específico de energia mais baixos, em comparação ao modal rodoviário, viabilizando, energeticamente, projetos logísticos para escoamento de etanol que contemplem outras alternativas multimodais.

#### 5. REFERÊNCIAS

AINSWORTH, B. E., HASKELL, W. L., LEON, A. S., JACOBS JR., D. R., MONTOYE, H. J., SALLIS, J. F. and PAFFENBARGER JR., R. S. *Compendium of Physical Activities: classification of energy costs of human physical activities*. Med. Sci. Sport. Exerc, v. 25, n. 1, p. 71-80, 1993.

BIAGGIONI, M. A. M., BOVOLENTA, F. C. *Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja*. Engenharia Agrícola (CD-ROM), v. 30, p. 587 - 599, 2010.

BOVOLENTA, F. C. *Análise energética na logística de transporte multimodal para o transporte de etanol de Aparecida do Taboado (MS) para o porto de São Sebastião (SP)*. 2013. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

BOVOLENTA, F. C., BIAGGIONI, M. A. M., SORANI, L. A., AMOEDO, D. T., SCARSO, P. R., QUEIROZ, D. L. *Análise energética na logística de transporte fluvial do etanol*. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, Construção Naval e Offshore, 2012, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Sociedade Brasileira de Engenharia Naval - SOBENA, Rio de Janeiro, 2012.

BRANCO, J. E. H.; CAIXETA FILHO, J. V.; XAVIER, C. E. O.; LOPES, R. L.; GAMEIRO, A. H. *Desenvolvimento de modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor centro-oeste*. Informe Gepec, v. 14, n. 1, p.84-100, 2010.

GABRIEL FILHO, L. R. A., CREMASCO, C. P., SOUZA, R. O. *Análise estatística da movimentação no porto de Presidente Epitácio, SP*. Colloquium Exactarum. v. 1, n. 1, p. 56-63, 2009.

JASPER, S. P., BIAGGIONI, M. A. M., SILVA, P. R. A., SEKI, A. S., BUENO, O. C. *Análise energética da cultura do crambe (Crambe abyssinica Hochst) produzida em plantio direto*. Engenharia Agrícola (CD-ROM), v. 30, p. 395-403, 2010.

JUNQUEIRA, A. *O transporte de etanol pela hidrovia Tietê-Paraná. Diretor de Transporte Marítimo - PETROBRAS Transporte S/A- TRANSPETRO. 2º Seminário de Portos e Vias Navegáveis*. Brasília, 2011.

MILANEZ, A. Y., NYKO, D., GARCIA, J. L. F., XAVIER, C. E. O. *Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros*. BNDES Setorial, v. 31, p. 49-98, 2010.

NASCIMENTO, M. D., BIAGGIONI, M. A. M. *Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para a produção de energia em agroindústria seropédica. Energia na agricultura (UNESP. Botucatu. CD-Rom)*, v. 25, p. 104 - 117, 2010.