



Eficiência logística das rotas de escoamento da produção de cana-de-açúcar para as usinas de etanol

Bolsista / RA: Bruno Akira Miyahara / 195008

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Leda Ramos de Oliveira

Local de execução: Laboratório de Pesquisa em Logística e Comercialização Agroindustrial (LOGICOM) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Resumo

A produção de cana-de-açúcar para as usinas de álcool está diretamente ligada com a sua localização, a difícil armazenagem e suas rotas de escoamento. Dessa forma, a logística envolvida por trás dos locais de produção, da disposição das usinas e das rotas de escoamento é fundamental para um processo produtivo mais efetivo, principalmente sabendo-se que o sistema de transporte é majoritariamente rodoviário. O objetivo deste trabalho é determinar as rotas de escoamento mais efetivas entre a produção canieira e as usinas nos estados de São Paulo e Mato Grosso. Como resultado, espera-se a formulação de um mapa que contenha a localização da produção de cana-de-açúcar e das usinas processadoras, a fim de servir como base para um estudo comparativo entre as rotas de escoamento.

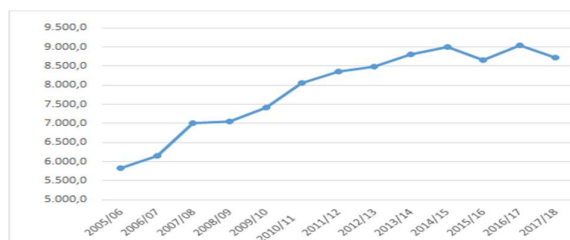
Palavras chaves: logística, cana-de-açúcar, usinas.

1 Introdução

Após o declínio da economia canieira e dos engenhos a cana voltou a ganhar importância comercial com o surgimento dos automóveis de motores *flex fuel* em 2003, anos após o lançamento do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) durante a crise do petróleo de 1973 (NITSCH, 1991). Com altos investimentos para a constante melhoria da produção de etanol, o Brasil tornou-se o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo.

O fortalecimento de seu cultivo combinado com o desenvolvimento de tecnologias no setor agrícola permitiu o aumento dos índices de produção, favorecendo a otimização do uso da terra e a melhoria na produtividade ao longo dos anos. Segundo dados da CONAB (2018), o Brasil atualmente utiliza uma área total de cultivo de cana de mais de dez milhões de hectares, e é destaque internacional na produção de etanol e açúcar. Essa área vem apresentando, juntamente com o volume de produção, uma tendência de crescimento nos últimos anos devido a demanda por biocombustíveis e sua valorização no mercado internacional (Figura 1).

Figura 1 - Evolução da área colhida de cana de açúcar (em mil ha).



Fonte: CONAB (2018)

De acordo com dados do IBGE (2017), os principais estados produtores de cana-de-açúcar no Brasil são em ordem decrescente São Paulo, Goiás e Minas Gerais. A distribuição de usinas de etanol se relaciona com a localização da produção canieira, sendo que estes estados apresentam a maior parte das indústrias produtoras de etanol, com 172, 42 e 39 unidades processadoras, respectivamente.

A localização das usinas é especialmente importante para a cadeia produtiva do etanol, uma vez que, diferentemente dos grãos e outros produtos agrícolas, a cana não pode ser armazenada por longos períodos. Com isto, o transporte se torna uma operação de grande importância para o funcionamento correto da linha de produção, sendo responsável por uma parcela significativa dos custos.

A fim de garantir o abastecimento da indústria é necessário que ocorra uma coordenação entre as etapas de colheita e processamento. Desse modo, o planejamento da produção, da distribuição de usinas e as rotas de escoamento são elementares para êxito do processo produtivo. A logística de transporte tem se apresentado como um grande gargalo do setor agroindustrial brasileiro devido a infraestrutura deficitária das rodovias e portos e em consequência da dependência do transporte rodoviário para escoamento da safra (OLIVEIRA, 2014).

Partindo deste problema, esta pesquisa teve por objetivo avaliar se existem rotas de escoamento mais eficientes para a movimentação da produção da cana-de-açúcar para as usinas, de forma a minimizar o custo de transporte e viabilizar a produção de etanol.

Para tanto, também foi necessário realizar um mapeamento da produção de cana-de-açúcar e da



distribuição de usinas nos estados do Mato Grosso e São Paulo, bem como realizar uma análise de rotas de escoamento internas. Tais rotas de escoamento são analisadas através da metodologia associada ao instrumental de matrizes origem-destino que estima os melhores fluxos ou rotas de transportes entre dois pontos, neste caso, as regiões produtoras de cana-de-

açúcar (origem) e as usinas com maiores capacidades de moagem (destino), sendo o intuito desta análise minimizar os custos logísticos. Espera-se contribuir com informações que favoreçam o planejamento logístico do setor com a redução de custos e a melhora de processos.

2 Materiais e Métodos

A proposta inicial do projeto de pesquisa era realizar um comparativo entre as rotas de escoamento da cana-de-açúcar nos municípios pertencentes aos estados de São Paulo e Mato Grosso. Entretanto, a fim de otimizar o processo, optou-se por adotar como áreas de estudo as mesorregiões pertencentes a estes estados. Para cada mesorregião foram então coletados no IBGE os dados referentes à produção de cana-de-açúcar (toneladas), além da produção de seu respectivo município representativo.

Em seguida, foi realizado um levantamento das usinas convencionais localizadas dentro da área de estudo. Os endereços das usinas foram retirados do site da UDOP (União Nacional da Bioenergia) e convertidos em coordenadas geográficas com o auxílio do Google Maps. Após conversão, as informações foram plotadas no mapa por meio do software ArcGis 10.8.

Para este projeto foi considerado que toda a cana-de-açúcar produzida é destinada exclusivamente para a produção de etanol nas usinas. Visto que a informação disponível no Anuário da Cana (2016) referente a capacidade de moagem é dada a nível municipal e que cada usina apresenta uma capacidade de moagem específica, foi feito uma somatória das capacidades de cada conjunto de usinas pertencentes a uma mesma mesorregião. A fim de representar essa somatória em apenas um ponto georreferenciado dentro da mesorregião, foi adotada a localização da usina mais representativa pertencente a esse conjunto.

Tabela 1. Capacidade de moagem das mesorregiões dos estados de SP e MT (mil toneladas/ano)

Usina	Mesorregião	Capacidade de moagem (mil toneladas)	Capacidade total do estado (mil toneladas)
SP	1	Ribeirão Preto	105.938,700
	2	São José do Rio Preto	42.062,400
	3	Bauru	28.108,500
	4	Araçatuba	22.820,400
	5	Presidente Prudente	12.172,200
	6	Campinas	12.062,800
	7	Piracicaba	9.685,400
	8	Araraquara	6.670,700
	9	Assis	2.736,900
	10	Itapetininga	2.280,300
			244.538,400

MT	1	Norte Mato-Grossense	4.268,100	23.618,901
	2	Sudoeste Mato-Grossense	12.459,800	
	3	Sudeste Mato-Grossense	6.890,900	

Com as informações obtidas, aplicou-se o modelo matemático linear Matriz Origem-Destino (ou Matriz OD) disponível no software General Algebraic Modeling System (GAMS) 31.1.1. Utilizada para estimar os fluxos de transporte e minimizar seus custos em diferentes rotas, a Matriz OD permite uma avaliação do transporte intermodal. Além disso, ela identifica potenciais pontos de origem e destino com base no cruzamento de diferentes variáveis como produção, demanda, frete, distância, entre outras (OLIVEIRA *et al*, 2013; IPEA, 2017).

A estrutura da Matriz OD é composta por um conjunto de linhas (i) e colunas (j), que representam as origens e os destinos, respectivamente. Já os elementos internos da Matriz são os fluxos agregados entre as origens e destinos considerados.

Origens	Destinos					
	1	2	3	j	Y	$\sum_j T_{ij}$
				$= T$
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{1j}	T_{1y}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{2j}	T_{2y}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	T_{3j}	T_{3y}	O_3
.
.
i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	T_{ij}	T_{iy}	O_i
.
.
Y	T_{y1}	T_{y2}	T_{y3}	T_{yj}	T_{yy}	O_y
	$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3	D_j	D_y
				$\sum_i T_{ij}$
						$= T$

Figura 3 – Estrutura da Matriz Origem-Destino
Fonte: Martins e Caixeta Filho (1998).



Para a execução da Matriz OD, foi utilizado no presente trabalho os dados de produção de cana-de-açúcar e a capacidade de moagem das usinas como origem e destino, respectivamente. Os fluxos utilizados

correspondem às distâncias entre o município representativo das mesorregiões e a usina representativa (usina com maior capacidade de moagem) da mesorregião.

3 Resultados e Discussão

De acordo com Milanez et al. (2010) a regionalização e interiorização que a produção de cana-de-açúcar sofre deve tornar o etanol ainda mais competitivo no Centro Oeste e parte do Sudeste, regiões as quais São Paulo e Mato Grosso pertencem. Tal fato implica em um aumento no consumo de etanol por essas localidades configurando a importância do estudo da logística interna da produção e processamento da cana-de-açúcar em ambos os estados.

Após o processamento da Matriz OD foram geradas duas tabelas que representam o escoamento da produção de cana-de-açúcar das mesorregiões para as usinas de etanol de ambos os estados analisados.

Como é possível observar na Tabela 2, para as usinas localizadas no estado de SP, era esperado que fosse destinado uma quantidade ótima da produção de cana-de-açúcar, respeitando sua capacidade de moagem. Contudo, dado que a produção agrícola neste estado é superior à capacidade de processamento das usinas, acaba sendo direcionada um excesso de matéria prima para a usina.

Já para as usinas localizadas no estado do Mato Grosso, não há excedente na produção agrícola quando comparado com a capacidade de moagem. Os resultados gerados para suas mesorregiões, portanto, podem ser considerados ótimos.

Tabela 2. Fluxos de Origem-Destino da Cana-de-açúcar para Usinas de Etanol, São Paulo (mil toneladas/ano) .

Resultados da Matriz OD - SP											
Mesorregião (principal município produtor)	Usina 1 - Sertãozinho	Usina 2 - Novo Horizonte	Usina 3 - Lençóis Paulista	Usina 4 - Penápolis	Usina 5 - Mirante do Paranapanema	Usina 6 - Pirassununga	Usina 7 - Piracicaba	Usina 8 - Américo Brasiliense	Usina 9 - Borá	Usina 10 - Itapetininga	Total (Origens)
Meso 1 - Ribeirão Preto (Morro Agudo)	112.073,700										112.073,700
Meso 2 - São José do Rio Preto (Altair)		42.062,400	41.773,600								83.836,000
Meso 3 - Bauru (Jaú)										48.956,200	48.956,200
Meso 4 - Araçatuba (Valparaíso)				42.279,800							42.279,800
Meso 5 - Presidente Prudente (Sandovalina)					33.766,000						33.766,000
Meso 6 - Campinas (Pirassununga)						18.498,600					18.498,600
Meso 7 - Piracicaba (Piracicaba)							23.421,600				23.421,600
Meso 8 - Araraquara (Araraquara)								31.212,700			31.212,700
Meso 9 - Assis (Paraguacu Paulista)									25.706,500		25.706,500
Total (Destinos)	112.073,700	42.062,400	41.773,600	42.279,800	33.766,000	18.498,600	23.421,600	31.212,700	25.706,500	48.956,200	419.751,100

Segundo Coleti e Oliveira (2019), a ampliação da área cultivada de cana-de-açúcar pode pressionar o sistema de transporte de etanol. Embora o Brasil seja o segundo maior produtor e consumidor de etanol do mundo, a sua infraestrutura e logística é deficitária, o que gera inseguranças acerca do fornecimento da matéria-prima. Sendo assim, o estudo da logística de

seu transporte no estado paulista é importante dado a grande participação do estado na produção total de cana-de-açúcar do país.

O Estado de São Paulo possui uma produção de cerca de 433.059,8 mil toneladas de cana-de-açúcar somando os cultivos de todas as mesorregiões do Estado e sua capacidade de processamento equivale à



244.538,4 mil toneladas. Dessa forma, analisando-se a matriz OD gerada para o mesmo, pode-se notar que, em geral, cada usina recebe o cultivo proveniente da mesorregião da qual ela pertence, com exceção das usinas 3 e 10. A Usina 3, localizada em Lençóis Paulistas, recebe parte da produção da mesorregião 2, pois sua capacidade de moagem é superior às das outras mesorregiões e as distâncias entre as duas localizações é próxima. A situação da usina 10 é semelhante, pois esta usina é localizada próxima da mesorregião 3.

Pode-se perceber que a única mesorregião que direciona sua produção para mais de uma usina não é necessariamente a maior produtora, isso ocorre porque

fatores como a capacidade de moagem e as distâncias influenciam na distribuição, e neste caso, a capacidade de moagem da usina 1 consegue suportar praticamente tudo que é cultivado em sua mesorregião correspondente, enquanto que a usina 2 não tem esse potencial. Além disso, as outras usinas estão mais distantes da primeira mesorregião, o que impacta diretamente em sua eficiência logística.

Por fim, tanto para a usina com a maior capacidade quanto para a usina com a menor, foram delegadas quantidades superiores de produção do que suas capacidades de moagem, sendo que a primeira recebeu cerca de 1,06% a mais e a segunda, 939,3%.

Tabela 3. Fluxos de Origem-Destino da Cana-de-açúcar para Usinas de Etanol, Mato Grosso (mil toneladas/ano).

Resultados da Matriz OD - MT				
Mesorregião (principal município produtor)	Usina 1 - Campo do Novo Parecís	Usina 2 - Nova Olímpia	Usina 3 - Alto Taquari	Total (Origens)
Meso 1 - Norte Mato-Grossense (Campo do Novo Parecís)	4.268,100	699,200		4.967,300
Meso 2 - Nordeste Mato-Grossense (Campinápolis)			11,800	11,800
Meso 3 - Sudoeste Mato-Grossense (Denise)		10.279,600		10.279,600
Meso 4 - Centro-Sul Mato-Grossense (Curvelândia)		640,200		640,200
Meso 5 - Sudeste Mato-Grossense (Alto Taquari)			4.535,000	4.535,000
Total (Destinos)	4.268,100	11.619,000	4.546,800	20.433,900

O Estado do Mato Grosso apresenta uma produção de cerca de 20.433,900 mil toneladas de cana-de-açúcar quando somadas as produções de todas suas 5 mesorregiões e sua capacidade de moagem de cana-de-açúcar é o equivalente à 23.618,901 mil toneladas. Dessa forma, a sua capacidade de processamento é maior do que a sua produção de cana-de-açúcar quando analisado.

Baseado no modelo obtido, podemos inferir que todas as mesorregiões localizadas em MT devem destinar suas produções para apenas uma usina cada, com exceção da mesorregião 1 que deve enviar parte de sua colheita para a usina 2 devido ao fato de estar

localizada próxima e sua capacidade não estar sendo 100% explorada.

Por último, pode-se destacar através dos resultados obtidos que as capacidades de moagem das 3 usinas do estado mato grossense serão respeitadas, sendo conduzidas quantidades de cana-de-açúcar referentes à cerca de 100%, 93,3% e 66% das quantidades máximas suportadas das usinas 1, 2 e 3, respectivamente. Assim, caso haja um aumento na produção de cana-de-açúcar no estado do MT é interessante que ele seja próximo da localização da usina 3 para que esta seja mais explorada.

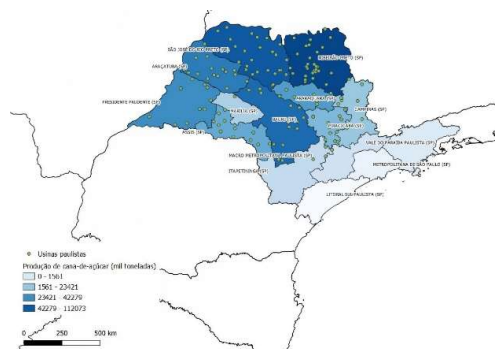


Figura 4 – Produção canieira e localização das usinas no estado de SP.

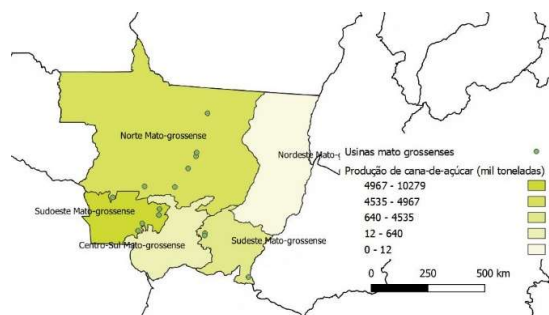


Figura 5 – Produção canieira e localização das usinas no estado do MT.



4 Conclusões

O modelo da matriz origem-destino funcionou perfeitamente para o estado do Mato Grosso, pois toda produção de 20.433,900 mil toneladas foi alocada, de forma a respeitar as capacidades de processamento, na usina 1 (Campo do Novo Parecís), usina 2 (Nova Olímpia) e usina 3 (Alto Taquari). Podemos ressaltar que há apenas 3 destinos, pois nas mesorregiões do Nordeste Mato-Grossense e Centro-Sul Mato Grossense não há usinas processadoras ou a capacidade é muito pequena.

A metodologia da matriz origem-destino alocou cerca de 419.751,100 mil toneladas nas 10 usinas paulistas (apenas 10 regiões apresentam usinas processadoras), ou seja, o modelo acertou, pois não alocou mais quantidade de cana-de-açúcar do que o total disponível. Porém, para algumas usinas foram designadas mais produtos do que seu limite, como nas usina 1 (capacidade de 105.938,737 mil toneladas), usina 3 (capacidade 28.108,531 mil toneladas), usina 4 (22.820,403 mil toneladas), usina 5 (12.172,223 mil

toneladas), usina 6 (12.062,770 mil toneladas), usina 7 (9.685,428 mil toneladas), usina 8 (6.670,736 mil toneladas), usina 9 (2.736,921 mil toneladas) e usina 10 (2.280,280 mil toneladas). Para os municípios nos quais essas usinas se localizam, seria interessante a construção de novas usinas processadoras como forma de aumentar a capacidade de moagem local e tornar a logística do transporte do local da produção para as usinas processadoras mais eficiente. Assim, a sua capacidade de moagem é menor do que sua produção, ou seja, seria interessante uma expansão em seu potencial de moagem para suportar toda a produção.

Uma possibilidade de continuidade do trabalho seria uma análise mais aprofundada acerca da localização e capacidade de cada município das mesorregiões, o que tornaria o trabalho ainda mais eficiente e detalhado sobre cada uma das regiões dos Estados de São Paulo e Mato Grosso. Outro desdobramento interessante seria adicionar outros meios de transportes na logística e não apenas o meio rodoviário que em muitos casos apresenta um valor mais elevados para grandes distâncias.

5 Bibliografia

COLETI, J. C.; OLIVEIRA, A. L. R. **A Intermodalidade no Transporte de Etanol Brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial**. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 57, n. 1, p. 127-144, Jan. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/24003_a9448798a253f70092e579287bcc2722 > Acesso em: 20 abril. 2019.

MARTINS, R. S.; CAIXETA FILHO, J. V. **Subsídios à tomada de decisão da escolha da modalidade para o planejamento dos transportes no estado do Paraná**. *Revista de Administração Contemporânea*. Curitiba, v.3, n.2, p.75-96, mai./ago. 1999.

MILANEZ, A. Y. et al. **Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros**. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 31, 2010.

NITSCH, M. **O Programa de biocombustíveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira**. *Revista de Economia Política*, vol. 11, nº2 (42), abril – junho/1991.

OLIVEIRA, A. L. R.; VENTURIM, G.; COLETI, J. C.; LOPES, B. F. R. **Logística de exportação do açúcar do Estado de São Paulo: uma estimativa da matriz origem-destino**. *Espacios*, v. 34, n. 12, p. 8-18, 2013.

OLIVEIRA, A. L. R. **A logística do agronegócio: Para além do “apagão logístico”**. In: BUAINAIN, Antônio Márcio et al. **O mundo rural no Brasil do século 21: A formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 337-369.

OLIVEIRA, C. P. (org.). **CONSTRUÇÃO DA MATRIZ ORIGEM-DESTINO DE TRANSPORTE INTERREGIONAL DE CARGAS E PASSAGEIROS PARA O PLANO NACIONAL DA LOGÍSTICA INTEGRADA**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9927/1/Estado%20da%20Arte%20de%20M%C3%A9todos%20de%20Estima%C3%A7%C3%A3o%20de%20Matrizes%20Origem_Destino_Relatorio10.PDF. Acesso em: 29 set. 2020.

BRASIL. IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457> >. Acesso em: 20 abril. 2019.

PROCANA. **ANUÁRIO DA CANA**. [S.l.]. 2016.