

APLICAÇÃO DO *SUPPLY CHAIN* NA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS NAS FRENTES DE CORTE DA CANA

Natália Moura Willemann

Faculdade de Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia

Camilla Miguel Carrara Lazzarini

Faculdade de Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

No agronegócio, as cadeias produtivas estão mais extensas, e para controlá-las as empresas optam pela terceirização. Na indústria sucroalcooleira a etapa de transporte é uma das mais dispendiosas, de modo que adotar uma estratégia logística eficiente pode proporcionar aumento nos lucros e na produtividade. Assim, a partir do *software* QGis e *plugins* foram estudadas as rotas numa usina no Triângulo Mineiro, a qual adota veículos rodotrem de 91t. A partir da aplicação do Método do Caixeiro Viajante, analisou-se a rota mais otimizada e a combinação mais eficaz entre veículos de frota própria e terceirizada. Da análise do estudo de caso, inferiu-se que os custos entre os tipos de frota são próximos, assim a decisão a respeito do mix a adotar-se é mais estratégica e depende do posicionamento do gerenciamento da cadeia de suprimentos, pois além do impacto financeiro envolvem a flexibilidade de capital e o nicho de especialização da empresa.

ABSTRACT

In agribusiness, the production chains are more extensive, and to control them companies choose to outsource. In the sugar and ethanol industry, the transportation stage is one of the most expensive, so adopting an efficient logistics strategy can provide an increase in profits and productivity. Thus, using the QGis software and plugins, the routes were studied in a mill in the Triângulo Mineiro, which adopts 91t road-train vehicles. From the Traveling Salesman Method application, the most optimized route and the most efficient combination between own and outsourced vehicles were analyzed. From the case study analysis, it was inferred that the costs between the types of the fleet are close, thus the decision regarding the mix to be adopted is more strategic and depends on the positioning of the supply chain management, because besides the financial impact, it involves the flexibility of capital and the niche of specialization for the company.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade e a globalização dos negócios fica cada vez mais difícil uma empresa dominar e controlar todas as etapas do seu processo produtivo. As empresas passam então a atuar em rede, compartilhando responsabilidades na cadeia produtiva (*supply chain*).

Na indústria do agronegócio, com a industrialização e incremento constante de novas tecnologias, a cadeia produtiva se mostra cada vez mais extensa; incluindo arrendamento de terras, fornecedores de insumos químicos, contratação de máquinas e de mão de obra, consultorias especializadas, transporte, manufatura do produto bruto, beneficiamento em produtos para cliente final e outros. Com tantas etapas é inviável que uma empresa controle todos os processos; assim neste ramo é comum que tanto a etapa de produção quanto de transporte seja terceirizada.

De modo geral, a situação logística é desfavorável para o Brasil em todos os setores do agronegócio. Uma vez que estes correspondem a aproximadamente 24,8% do PIB (Produto Interno Bruto) do país (Cepea, 2022) um gasto descomedido e a adoção de estratégias genéricas de gestão de frotas pode onerar os lucros do setor.

No mercado de cana-de-açúcar – no qual o Brasil é um dos líderes mundiais – o custo da operação de transporte é uma das etapas mais onerosas, visto que é necessário adquirir os caminhões, arcar com a manutenção constante e a necessidade de certificações e licenças para operar. E para as usinas sucroalcooleiras, que funcionam 24 horas por dia, o bom atendimento da malha logística é que garante a alta produtividade e a programação da indústria. Portanto, sem uma logística eficiente, o setor enfrenta dificuldades para expandir sua produtividade e maximizar seus ganhos. De modo que, o estudo de implementação de teorias modernas de gestão operacional se mostra necessário para propor novos modelos de trabalho e soluções relevantes para a otimização da cadeia. A adoção de teorias de compartilhamento de responsabilidade em cadeia, pode indicar ganhos produtivos e financeiros nas usinas sucroalcooleiras.

2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva simular a roteirização de rodotrens de capacidade de 91t usados na movimentação de cargas nas frentes de corte da cana-de-açúcar a fim de avaliar como a associação entre organizações independentes da cadeia produtiva pode trazer ganhos de produção e gerar lucros. Através do método do problema do caixeiro viajante, busca-se estabelecer a rota mais viável e de menor distância a partir de simulações no *software* QGis. A análise engloba definição do mix de veículos – entre frota própria e fretada –, bem como levantar os custos e analisar como se comportam nos distintos cenários simulados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Supply Chain Management

Entre 2010 e 2019 os custos logísticos no Brasil tiveram um crescimento de 141,8%, passando de R\$232 bilhões para R\$561 bilhões, sendo que no mesmo período o PIB brasileiro cresceu apenas 90,6% (IBGE, 2019). Assim, de acordo com o Instituto de Logística e Supply Chain (Ilos) (2020, *apud* FILHO, 2021), atualmente, os custos logísticos no Brasil já passam de 12%, valor acima dos custos estadunidenses (7,6%) e que fazem com que os produtos nacionais sejam 58% mais caros que nos EUA.

Estas despesas contabilizadas no país envolvem: o próprio transporte de carga, mas também, custos de armazenagem, distribuição, estocagem, fretes e outros custos que surjam até a entrega do produto ao consumidor final. E como exposto por Ballou (2006), a somatória destes custos – ou seja, os custos logísticos – são muito estratégicos para uma economia. Como explicado pelo pesquisador, quando se consegue minimizar o gasto com movimentações logísticas é possível concentrar a produção em regiões de menor custo produtivo, mesmo que mais distante dos centros consumidores.

Nesse sentido, uma coordenação coletiva da cadeia de distribuição tem indicado ganhos substanciais nos custos, o que impulsiona a revisão dos processos de administração logística, dando espaço para novas teorias e vertentes como o *Supply Chain Management* (SCM) ou Logística Empresarial.

O *Supply Chain Management* é a expansão da influência e administração dos processos para além dos limites de uma empresa. Ele vai tratar toda uma cadeia, integrando diferentes níveis de fornecedores até o consumidor final, com o objetivo de adicionar valor ao cliente. Ele se diferencia da logística convencional a partir do momento que, além de gerir as atividades de

movimentação, armazenagem e alimentar o fluxo de informações, os elos do sistema produtivo trabalham juntos e em harmonia com o objetivo de manter o atendimento, eliminar desperdícios e reduzir custo ao cliente.

De acordo com Novaes (2001), o SCM surge num quarto momento de evolução da logística, o de Integração Estratégica. Nesta fase, substitui-se um olhar mais pontual por uma perspectiva mais abrangente, onde haja troca de informações e a formação de parcerias. Já que, conforme explicitado por Novaes (2001), cada agente da cadeia logística é também cliente de seus fornecedores. Assim, existe uma urgência em se conhecer a cadeia produtiva e suas necessidades para se atingir uma plena satisfação da cadeia.

Desse modo, o mercado passa por um momento de planejamento estratégico corporativo. Entender e ter claro quais são as metas de uma empresa ajudam-na a posicionar-se na cadeia produtiva de modo mais assertivo. Ballou (2006) cita que a estratégia pode ser maior lucratividade, retorno de investimento, participação no mercado ou crescimento. Mas a boa estratégia passa por análise de clientes, fornecedores, concorrentes e da própria empresa. Nesse sentido, é crucial entender o nicho que a empresa deseja especializar-se ou manter-se pois a estratégia corporativa é o impulsionador das estratégias funcionais, uma vez que estas estão inseridas na primeira.

Logo, uma estratégia logística – funcional – pode estar voltada para três propósitos: redução de custos, redução de capital e melhoria dos serviços. A redução de custos pode ser implementada de várias maneiras nas etapas de transporte e armazenagem, e o objetivo por trás dessa ação é maximizar os lucros. (Ballou, 2006)

Já quando se fala de redução de capital, a estratégia visa diminuir os investimentos em sistemas e ativos logísticos. Segundo Ballou (2006), essa estratégia pode levar a custos variáveis maiores do que um investimento de grande porte, contudo o retorno pode ser mais vantajoso. Em relação à melhoria dos serviços, ela está diretamente ligada ao nível de atendimento logístico. Assim, mesmo situações de aumento de custos quando ligadas à qualidade do serviço podem maximizar os lucros.

Num cenário de economia produtiva em cadeia, as alianças ou parcerias logísticas surgem como uma opção aos altos investimentos necessários para montar uma rede de transporte e armazenagem. De um lado uma empresa com boa capacidade logística, tecnologia e uma capacidade administrativa superior e do outro uma empresa que busca soluções de movimentação para seus produtos e insumos.

Mas, para isso, Ballou (2006) ressalta que é necessário confiança e compartilhamento de informações para que o desempenho e o objetivo de ambos os parceiros sejam atingidos. Apesar dos inúmeros benefícios oferecidos por esse modelo de negócio, o autor aponta que ainda é escasso esse tipo de sociedade. Entre os motivos podem estar: a perda do controle sobre o canal logístico, o baixo grau de confiança, a escassez de controles e a desigualdade na sociedade.

3.2 O cenário logístico no Brasil

A Ilos (2017) levantou que no ano de 2016, dos 12% do PIB gastos em logística: 6,6% foram com transporte, 4,1% com estoque, 0,8% com armazenagem e 0,4% com a administração.

Quando se olha para a distribuição dos custos de transporte nas empresas, 29% é gasto com transporte de suprimentos (Ilos, 2017). No panorama da indústria de cana-de-açúcar esse número chega a 28% do custo da tonelada – para a operação de Corte, Transbordamento e Transporte – ou 10% de cada saca do açúcar, de acordo com dados do Portal Mundo Logística (Rodrigues, 2018).

3.2.1 A cana-de-açúcar no Brasil

A produção da cana de açúcar no Brasil é uma herança colonial que data da chegada dos portugueses no país. Durante os séculos XVI e XVII a empresa açucareira brasileira foi uma das maiores do mundo ocidental, porém com os conflitos entre os países colonizadores, a produção nacional perdeu espaço no mercado externo, contudo nunca deixou de ser produzida.

Atualmente, o Brasil novamente ocupa o posto de maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. De acordo com dados da Conab (2021) na Safra 20/21 o país produziu 654,5 milhões de toneladas, destinadas principalmente para produção de açúcar e etanol. E em 2020, o complexo sucroalcooleiro teve uma participação de 9,9% (US\$9,99 bilhões) nas exportações nacionais, sendo o quinto grupo de produtos mais vendidos para o mercado externo (Angelo, Oliveira E Ghobril, 2021).

Nos últimos anos, uma das grandes mudanças no cenário canavieiro brasileiro é a mecanização do sistema de colheita, apesar de ainda existirem canaviais colhidos com mão-de-obra braçal, os grandes produtores e as indústrias cada vez mais investem na colheita com máquinas. De acordo com o portal NOVACANA (2015), em 2015 o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) relatou que a região centro-sul do Brasil atingiria a marca de 97% da colheita de cana mecanizada.

Durante o corte da cana é necessário o suporte de veículos de transbordo que acompanham a colheitadeira. Estes caminhões são especiais, mais vedados e protegidos, para evitar que no momento em que a cana é lançada na caçamba a palha não atinja locais sensíveis ao fogo. Há exigência de alguns itens de segurança dentro da cabine, como extintores, e um torque suficiente, já que rodam carregados e a baixa velocidade – aproximadamente 10km/h. (Ramos, 2020)

Já o transporte rodoviário é feito por caminhões maiores, sendo que os principais tipos são os rodotrens, romeu e julieta e treminhões. Esses veículos costumam trafegar distâncias relativamente curtas, pois as usinas em geral ficam no máximo a 50km das frentes de corte. (Ramos, 2020)

Em 2021, o CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) autorizou a utilização de uma nova especificação de rodotrem para a atividade canavieira, um veículo com 11 eixos e que pode atingir até 91t de PBTC (peso bruto total combinado), trafegando em velocidade máxima de 60km/h (Ministério dos Transportes, 2021). Contudo, estes veículos precisam de autorização especial para poder trafegar. Com esta nova resolução a indústria sucroalcooleira espera otimizar o número de viagens das frentes de corte até as usinas, além dos benefícios financeiros.

3.3 Roteirização

De acordo com Partyka e Hall (2000, *apud* Novaes, 2001) uma roteirização deve abranger: decisões, objetivos e restrições. Ou seja, devem ser definidos clientes a serem atendidos por um

número de veículos e em uma sequência. Com objetivos claros como o nível do serviço e os custos envolvidos, e obedecendo uma série de restrições, desde completar as rotas, mas também outras mais específicas, ligadas aos anseios dos clientes.

Entre os métodos de roteirização um dos mais antigos é o Problema do Caixeiro-Viajante (PCV). Este é um método onde não existem restrições. Ele costuma ser aplicado quando o grupo de clientes já foi definido, as restrições de capacidade e tempo já foram solucionadas. Desse modo, ele entra como um otimizador da rota, contudo seu desempenho é limitado a um número menor de pontos. Quando o número de pontos cresce demasiado, o recomendável é se utilizar programas computacionais. (Novaes, 2001)

Assim, o PCV pode ser aplicado através de dois métodos: construção de roteiro e melhoria de roteiro, onde a segunda opção é muito aplicada combinada a outros métodos. (Novaes, 2001)

Além disso, existem as roteirizações que contemplam as restrições, como a de Varredura e a de Clarke e Wright. O método de varredura apresenta baixa precisão, 10% de falhas num referencial ótimo de roteirização. Contudo, este método pode ser a escolha adequada em situações muito voláteis, visto que este permite encontrar resultados num menor tempo. Em situações com maior número de restrições o método de Clarke e Wright – também conhecido como método das economias – se mostra mais indicado, seu erro fica em 2% do ótimo absoluto, criando roteiros com menores distâncias, número de veículos reduzido e custos mais otimizados. (Novaes, 2001)

4. MÉTODOS

Para definição do estudo de caso escolheu-se uma usina localizada no Triângulo e definiu-se pontos arbitrários ao redor da usina, mas com raios de afastamento previamente definidos.

O estudo realizado abordou a definição e análise da rota percorrida por um veículo, partindo da usina em direção à frente de corte e retornando posteriormente à usina de cana. Devido às características do produto pode-se visitar apenas um cliente (frente de corte) por viagem. Como o objetivo é que os veículos que saem da usina voltem abastecidos com matéria-prima, a viagem só é considerada concluída quando estes retornam, sendo neste caso um problema de origem e destino coincidentes, ou seja, aplicação do método do caixeiro viajante.

O *software* escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o QGIS, ferramenta de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) que utiliza o geoprocessamento para associar informações a mapas e modelos digitais. Com o uso dessa ferramenta modelou-se uma rede contendo as vias e os pontos iniciais e finais dos roteiros. A região escolhida para análise foi uma usina localizada na área rural do Triângulo Mineiro, assim o sistema de coordenadas adotado foi o SIRGAS 2000 UTM zone 22S.

O sistema modelado continha quatro frentes de corte localizadas num raio de até 25km. As análises se dividiram em quatro cenários distintos: frentes de corte localizadas à 5km, à 10km, à 15km e à 25km. Para simplificação da análise escolheu-se arbitrariamente pontos tangentes às circunferência de origem na usina, assim a Figura 1 exibe o ponto elegido para cada raio de estudo. Desse modo foram modelados quatro roteiros compostos de três pontos cada: ponto de início (usina); frente de corte; ponto final (usina).

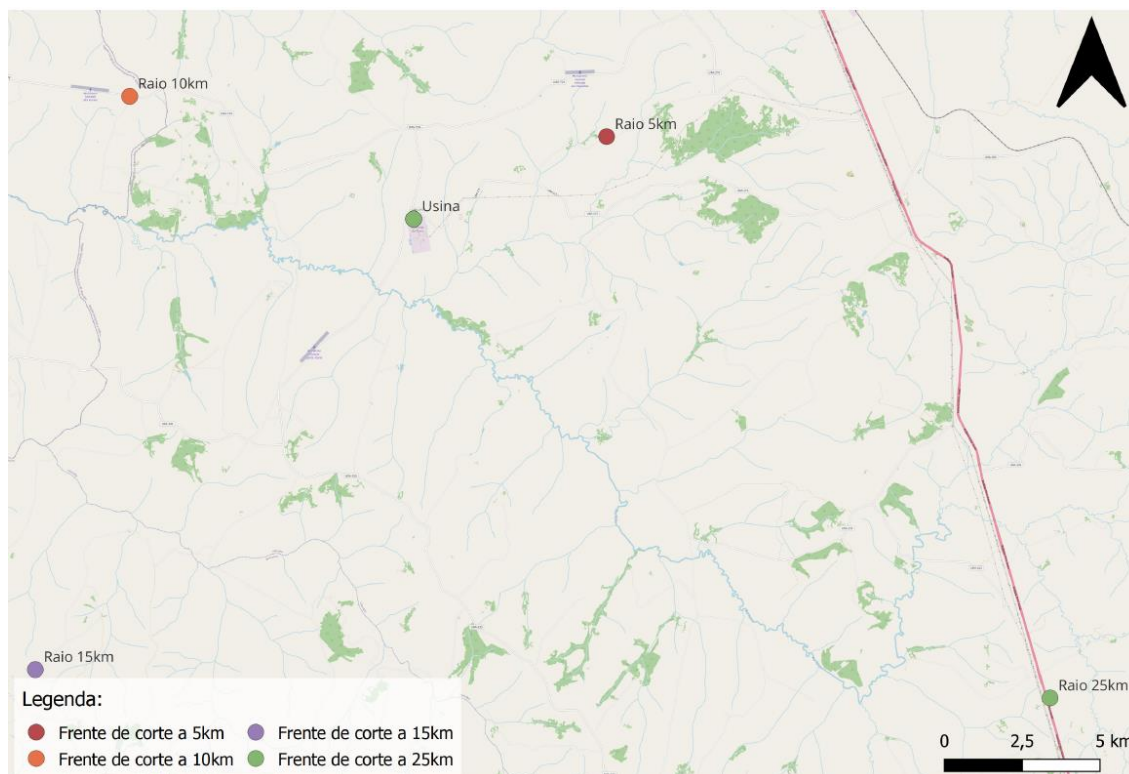


Figura 1: Localização das frentes de corte em relação à usina

Os veículos considerados são do tipo rodotrem com 11 eixos, com capacidade de peso bruto total de 91 toneladas. O tipo de carga transportado se classifica como “grandes massas” e pelas características do produto não possui carga de retorno – pois o veículo sai vazio da usina e volta com a cana-de-açúcar recolhida na frente de corte.

Cada um dos quatro roteiros foi analisado em três cenários distintos, considerando:

- uso de frota 100% terceirizada;
- uso de frota mista (50% terceirizada e 50% própria);
- uso de frota 100% própria.

Para levantamento da distância real percorrida pelos veículos em cada um dos raios de frente de corte, utilizou-se o *plugin* ORSTools no *software* QGIS. Esse *plugin* através de informações vetorizadas identifica a melhor rota para ligar os pontos especificados. A ferramenta permite traçar dois tipos de rotas: *shortest* e *fastest*. A primeira sendo a rota mais curta e a segunda a mais rápida.

Outra configuração permitida pela ferramenta é a ativação do método, assim nesse caso foi ativada a configuração *Traveling Salesman – Fix Both*. Esta configuração ativa o método do caixeiro viajante, mas fixando os pontos de início e fim, o que é essencial para o atendimento deste problema.

Após o processamento de todas as rotas extraiu-se uma matriz tempo-distância de cada cenário, e os dados, especialmente de distância permitiram avançar para as análises de custo de frete.

O método adotado para a construção dos custos de transporte rodoviário foi o da NTC (Associação Nacional de Transporte de Cargas). (NTC, 2014) A partir da metodologia da NTC chegou-se a um custo fixo mensal de R\$ 46.340,16 por veículo próprio e um custo variável de R\$ 6,12 por quilômetro rodado (por veículo próprio).

O tempo e a capacidade de carga e descarga do rodotrem usados na construção do custo (Tabela 1) foram extrapolados a partir de uma equação linear definida a partir dos dados do trabalho de Lazzarini (2012).

Tabela 1: Características operacionais considerada para o transporte de cana-de-açúcar

Composição	Capacidade de transporte (ton)	Tempo de carga e descarga (horas)	Capacidade de carga e descarga (ton/horas)
Rodotrem			
	91	2,52	36,18

A partir dos custos fixos e variáveis bem como outras despesas estabelecidas pela NTC foi possível calcular o frete-peso para os quatro roteiros e sem carga de retorno. Para fins de cálculo foi necessário corrigir a unidade de mensuração do frete. Assim, usando-se a metodologia da NTC calculou-se um coeficiente de 1,57 o qual foi acrescido aos resultados de frete, de modo que este passou a ser expresso em R\$/m³. Essa ação foi necessária pois a cana-de-açúcar picada é classificada como uma carga volumosa frente à grande capacidade de carga do rodotrem, já que sua densidade fica muito abaixo da densidade ideal do veículo.

Os resultados de frete foram calculados para cada um dos quatro roteiros nos três cenários (frota própria, frota mista e frota terceirizada) a partir da Equação 1, obtida com o método NTC. A Equação 1 representa o custo do frete (F) para a usina a cada viagem realizada, onde o percentual de uso de carreteiro (K) varia de 0 a 1, sendo 0 quando nenhum veículo terceirizado é utilizado e 1 quando toda a frota é terceirizada. Além disso, a variável X indica o percurso total percorrido no roteiro (ida+volta).

$$F = \left[\left(1 - \frac{K}{100} \right) * (5,34 + 0,2X) + \frac{K}{100} * FC + 21 \right] * (1,1) \quad (1)$$

Para a elaboração da Equação 1 considerou-se o custo de frete carreteiro (FC) fornecido pelo portal Tabelas de Frete. Os dados obtidos eram referentes a 2016 e foram corrigidos para a inflação de 2023, a partir da tabela de correção IPCA do IBGE. Os valores de frete pagos ao carreteiro (FC) fornecidos pelo portal são apresentados por faixa de distância. Assim, foram usados dois valores:

- FC=R\$ 31,55 para distâncias (X) até 50km;
- FC=R\$43,11 para distâncias (X) entre 50 e 100km.

5. RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados da malha no trabalho foram obtidos através do traçado de rotas configuradas para determinar o roteiro mais curto (*shortest*) e o roteiro mais rápido (*fastest*). Para as análises do cenário proposto pelo ORSTools ambas as rotas foram coincidentes nos quatro roteiros, isso se dá porque a área de estudo – localizada na região rural – não possui uma malha viária densa, sendo poucas as vias e as combinações possíveis.

As rotas propostas pelo ORSTools para cada um dos raios de frente de corte estão representadas na Figura 2. Os resultados dessas rotas foram validados a partir de comparação dos dados da matriz “Tempo-distância” gerado pelo *software*.

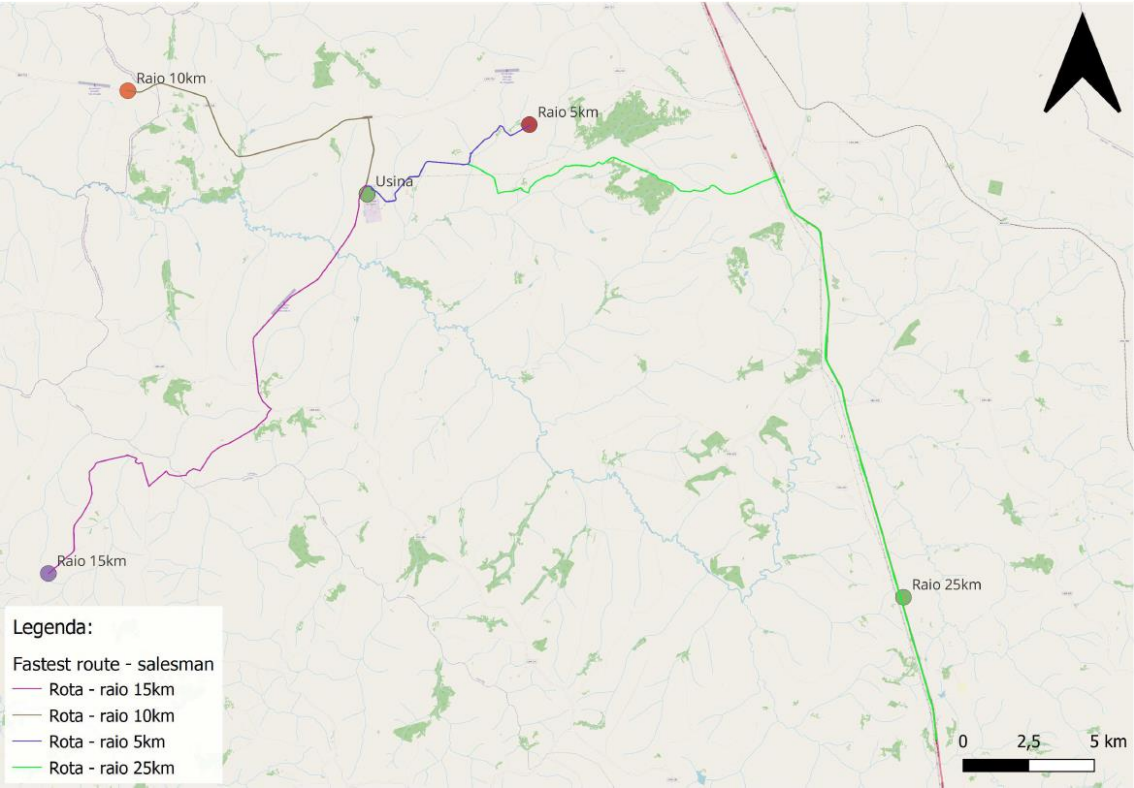


Figura 2: Rotas traçadas pelo ORSTools

Para cada um dos cenários o programa fez iterações testando todas as combinações de pontos possíveis. Nos casos analisados há apenas dois pontos. Em todos os cenários o ponto 1 é a origem-destino e representa a usina, e os pontos 0, 2, 3 e 4 indicam as frentes de corte localizadas em raios de 25km, 5km, 10km e 15km, respectivamente.

Dessa forma a ferramenta localiza a via mais curta – que nesse caso coincide também com o trajeto mais rápido – e calcula o tempo e a distância para ir de um ponto a outro. Na Figura 3 é mostrada a maneira como o programa apresenta os dados dessas iterações.

	<i>fid</i>	<i>FROM_ID</i>	<i>TO_ID</i>	<i>DURATION_H</i>	<i>DIST_KM</i>
1	4	1	1	0	0
2	3	1	4	0,2274305555...	8,7716000000...
3	2	4	1	0,2277666666...	8,8045400000...
4	1	4	4	0	0

Figura 3: Relatório QGis - cenário de 5km

Na Tabela 2 são apresentados os resultados compilados das iterações para cada um dos raios. Com as informações fornecidas foi possível determinar a velocidade percorrida em cada rota, bem como a distância total da rota (ida e volta).

Tabela 2: Resultados gerados pelo ORSTools e calculados

Raio	Ponto inicial	Ponto final	Duração (h)	Distância (km)	Velocidade (km/h)	Distância total (km)
5 km	1	4	0,23	8,8	39	17,6
	4	1	0,23	8,8	39	
10 km	1	2	0,44	14,3	32	28,2
	2	1	0,43	13,9	32	
15 km	1	3	0,80	24,0	30	48,1
	3	1	0,80	24,0	30	
25 km	1	0	0,67	47,3	70	83,9
	0	1	0,57	36,6	65	

Vale notar que apenas para um dos cenários – de raio 25km – o rodotrem será capaz de atingir a velocidade máxima permitida pela legislação (60km/h). Nos demais cenários a velocidade da rota fica restrita a menos de 40km/h, o que se deve às características da via. A grande maioria das vias que circundam a usina são em terra batida, o que restringe a movimentação dos caminhões.

Com as distâncias percorridas em cada um dos roteiros foi possível analisar a viabilidade nos três cenários diferentes: 100% de frota própria, frota mista (50%/50%) e frota 100% terceirizada. Com base na metodologia de cálculo da NTC e aplicando a Equação 1 chegou-se ao frete para carga volumosa (sem carga de retorno). Os resultados estão registrados nas Tabelas de 3 a 5.

Tabela 3: Frete para frota 100% própria

Frente de corte (raio)	Deslocamento máximo (km)	Frete (R\$/t)	Frete (R\$/t) - sem carga retorno		Frete carga volumosa (R\$/m³) - sem carga retorno	
5km	17,6	R\$ 30,95	R\$	32,94	R\$	51,59
10km	28,2	R\$ 32,15	R\$	35,32	R\$	55,33
15km	48,1	R\$ 34,39	R\$	39,82	R\$	62,37
25km	83,9	R\$ 38,44	R\$	47,91	R\$	75,04

Tabela 4: Frete para frota mista (50% própria – 50% terceirizada)

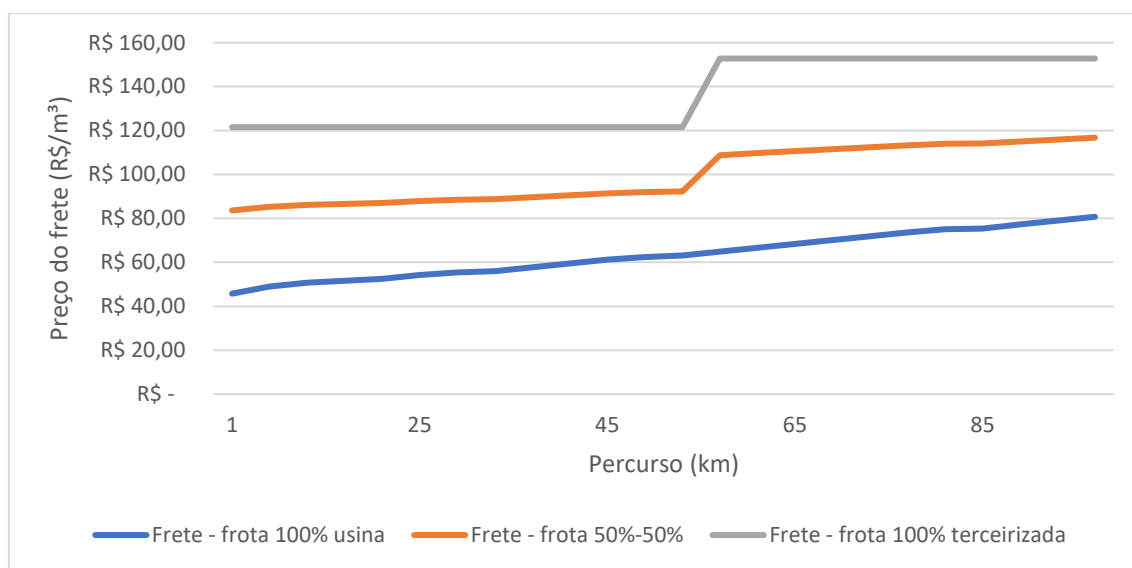
Frente de corte	Deslocamento máximo (km)	Frete (R\$/t)	Frete (R\$/t) - sem carga retorno		Frete carga volumosa (R\$/m³) - sem carga retorno	
5km	17,6	R\$ 44,38	R\$	45,37	R\$	71,06
10km	28,2	R\$ 44,98	R\$	46,56	R\$	72,93
15km	48,1	R\$ 46,10	R\$	48,81	R\$	76,45
25km	83,9	R\$ 54,48	R\$	59,22	R\$	92,75

Tabela 5: Frete para frota 100% terceirizada

Frente de corte	Valor máximo (km)	Frete (R\$/t)	Frete (R\$/t) - sem carga retorno	Frete carga volumosa (R\$/m³) - sem carga retorno
5km	17,6	R\$ 57,81	R\$ 57,81	R\$ 90,54
10km	28,2	R\$ 57,81	R\$ 57,81	R\$ 90,54
15km	48,1	R\$ 57,81	R\$ 57,81	R\$ 90,54
25km	83,9	R\$ 70,52	R\$ 70,52	R\$ 110,45

Vale observar que os dois primeiros cenários (Tabela 3 e 4) os fretes variam progressivamente. Para o cenário de frota 100% terceirizada (Tabela 5) o custo se mantém constante para os primeiros raios e depois sofre um acréscimo de custo quando o frete de carreteiro (FC) aumenta. Além disso, nesse cenário pode-se observar que o custo de frete é o mesmo independente da presença de carga de retorno.

Extrapolando as distâncias obtidas no QGis e plotando os dados em um gráfico (Figura 4) é possível expor melhor o comportamento dos custos. Quando a distância percorrida atinge 50km há um acréscimo considerável no custo de frete para os cenários de frota mista e frota terceirizada, isso se deve aos valores tabelados para frete de carreteiro (FC).

**Figura 4:** Variação do frete com o percurso

Nesse estudo de caso, os custos de frete para a usina são sempre maiores quando se usa frota terceirizada. Para cada intervalo de frete carreteiro (FC), quanto maiores as distâncias percorridas pelo rodotrem menor o acréscimo de custo na contratação de veículos terceiros. Quando transcritos para a Tabela 6 fica visível como as diferenças de frete vão ficando menores. Para um percurso de 50km, o acréscimo de custo de frete fica em R\$ 29,24/m³ para uma frota mista, enquanto o mesmo mix percorrendo 10km tem um acréscimo de R\$36,31/m³.

Tabela 6: Variação dos fretes em função do percurso

Percurs o (km)	Frete - 100% usina	Frete - 50%- 50%	Frete - 100% terceirizada	Acréscimo 100% usina e 50%-50%	Acréscimo 100%usina e 100%terceirizada
10	R\$ 48,91	R\$ 85,22	R\$ 121,52	R\$ 36,31	R\$ 72,61
20	R\$ 52,44	R\$ 86,98	R\$ 121,52	R\$ 34,54	R\$ 69,08
30	R\$ 55,98	R\$ 88,75	R\$ 121,52	R\$ 32,77	R\$ 65,54
40	R\$ 59,51	R\$ 90,52	R\$ 121,52	R\$ 31,00	R\$ 62,01
50	R\$ 63,05	R\$ 92,29	R\$ 121,52	R\$ 29,24	R\$ 58,47
60	R\$ 66,58	R\$ 109,69	R\$ 152,79	R\$ 43,10	R\$ 86,21
70	R\$ 70,12	R\$ 111,46	R\$ 152,79	R\$ 41,34	R\$ 82,67
80	R\$ 73,65	R\$ 113,22	R\$ 152,79	R\$ 39,57	R\$ 79,14
90	R\$ 77,19	R\$ 114,99	R\$ 152,79	R\$ 37,80	R\$ 75,60
100	R\$ 80,72	R\$ 116,76	R\$ 152,79	R\$ 36,03	R\$ 72,07

6. CONCLUSÃO

Planejar a cadeia logística é parte essencial para o bom gerenciamento da cadeia produtiva. A alocação adequada desses recursos é levantada como estratégica para obtenção de bons resultados produtivos e financeiros. Assim, este trabalho dedicou-se a analisar a associação entre instituições numa mesma cadeia produtiva.

No estudo de roteirização de rodotrens de 91t realizado, quando analisados apenas em termos de custos observou-se que adotar o uso de uma frota com veículos terceiros – seja mista ou totalmente contratada – acarretou em um incremento de custo por frete. Nos cenários analisados é possível inferir que a tendência é que o frete terceirizado se torne mais vantajoso para distâncias maiores, visto que quanto maior a distância menor o incremento de frete em relação ao preço da frota particular.

Assim, conforme exposto ao longo do trabalho a escolha pela adoção de uma frota terceirizada vai além da análise de custos; e está relacionada também a estratégia da empresa. A depender dos objetivos estratégicos da usina sucroalcooleira e seu posicionamento de nicho no mercado, a gerência pode vir a optar por uma frota terceira mesmo com fretes superiores.

Portanto, se a atividade logística não é encarada como essencial ou a empresa não possui nível de competência para garantir uma boa prestação de serviço, optar pelo uso de carreteiros pode ser uma boa solução. Uma adequada parceria levaria a uma redução de custos – quando se associa um parceiro de negócios mais eficaz – e a uma melhoria na qualidade dos serviços prestados; o que pode ampliar a lucratividade da empresa por estar focada na atuação de seu nicho. Essa é uma das estratégias defendidas pelo *Supply Chain Management* (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos).

A partir da definição de uma aliança logística ter-se-ia uma redução do capital investido mensal de R\$ 46.340,16 por veículo próprio da usina, ou seja, redução do capital investido em ativos

físicos; o que anualmente representa um desinvestimento de R\$ 556.081,93 por veículo. Isso porque, apesar de as frotas próprias representarem uma opção vantajosa em termos de frete, elas reduzem muito a flexibilidade financeira de uma empresa, pois podem representar capital parado. De modo que a depender dos objetivos da gerência as parcerias com empresas especializadas em logísticas pode ser a solução mais lucrativa.

Nesse sentido uma gestão em cadeia de suprimento é essencial para atingir os objetivos financeiros e de mercado, uma vez que as usinas optem por associar-se com empresas especializadas em logística é interessante focar em contratos que firmem um maior grau de fidelidade e parceria, trabalhando em alianças e promovendo a colaboração necessária para a maximização de resultados da cadeia.

Para próximos trabalhos sugere-se trabalhar com outras regiões de estudo, com malhas viárias mais densas que permitam análises mais complexas das diferentes rotas que podem ser utilizadas. Pode-se também estender o trabalho comparando as rotas desenvolvidas pelos rodotrens de 91t *versus* outros modelos de veículos, como os treminhões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelo, J. A.; Oliveira, M. D. M.; Ghobril, C. N. 9 (2021) Balança Comercial dos Agronegócios Paulista e Brasileiro de 2020. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, São Paulo, v. 16, n. 1, jan. 2021, p. 1-16.
- Ballou, R. H. (2006) *Gerenciamento da cadeia de suprimento/logística empresarial*. (5ª ed.) Bookman, Porto Alegre
- CEPEA (2023) Sustentado por safra recorde no campo, PIB do agronegócio tem alta modesta no primeiro trimestre. *PIB do Agronegócio*.
- CONAB (2021) *Série Histórica das Safras*. Brasília
- Ministério dos Transportes (2021) *Resolução CONTRAN Nº 872, de 13 de setembro de 2021*. Diário Oficial da União. p. 44
- Filho, L. V. (2021) Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. *O HOJE.com*.
- IBGE (2021) *Em 2019, PIB cresce 1,2% e chega a R\$ 7,4 trilhões*. Editoria de Estatísticas Econômicas.
- ILOS (2017) *Panorama Ilos: Custos Logísticos no Brasil*.
- Lazzarini, C.M.C (2012) *Modelagem e Otimização da Produção em Usinas de Açúcar e Álcool*. Uberlândia
- Novacana. (2015) CTC: mecanização deve alcançar 97% dos canaviais no Centro-Sul em 2015. *Novacana*
- Novaes, A. G. (2001) *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Campus, Rio de Janeiro
- NTC (2014) *Manual de cálculo de custos e formação de preços do transporte rodoviário de cargas*. São Paulo
- Ramos, A. (2020) *Caminhões dedicados à cana*. Editoria Mobilidade Estadão
- Rodrigues, A. (2018) Logística de cana-de-açúcar: como maximizar a eficiência e reduzir os custos do campo até a usina. *Mundo Logística*