

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**  
**Engenharia Civil**



**UM ESTUDO LOGÍSTICO DE CONCATENAÇÃO DE ROTAS PARA  
UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha

Orientados:

Alberto Joseph Khouri - 8994157

Julia Perez Chabariberi - 8994199

Simone Zeni Kikuti - 8993688

São Paulo

Novembro, 2019



## **AGRADECIMENTOS**

Eu, Alberto Joseph Khouri, agradeço ao meu grupo de trabalho, Julia e Simone, pelo grande trabalho realizado em equipe, sempre contribuindo com o todo e permitindo uma jornada enriquecedora e divertida ao longo deste ano de projeto, sem as quais isto não seria possível.

Eu, Julia Perez Chabariberi, agradeço à minha família pelo imenso suporte recebido ao longo de todo o período da minha graduação. Agradeço igualmente aos meus amigos, sobretudo ao Alberto e à Simone, com os quais pude compartilhar muitos momentos e experiências enriquecedoras e inesquecíveis.

Eu, Simone Zeni Kikuti, agradeço aos meus pais, Mauricio e Roseli, por sempre me apoiarem, me encorajarem e por sempre permitirem que eu me dedicasse tanto ao meu desenvolvimento.

Agradeço ao meu namorado, Felipe, pelo apoio e suporte ao longo da realização deste trabalho de formatura e por todo o companheirismo que temos um com o outro diante de todos os desafios, pessoais e profissionais, de nossas vidas.

Agradecemos ao Professor Dr. Claudio Barbieri da Cunha, nosso orientador, pela oportunidade de realizar esse trabalho e pelas orientações e direcionamentos ao longo do ano e à empresa parceira deste trabalho, por confiar em nós para propor uma solução para o desafio e por fornecerem as informações necessárias para a sua elaboração.

## **RESUMO**

A logística colaborativa se refere ao processo de concatenação de rotas, visando a redução de viagens improdutivas, ou seja, de viagens realizadas com o veículo vazio. Esta vem ganhando mais relevância nos últimos anos, por ser uma grande oportunidade de ganho de eficiência no transporte.

Com o intuito de estudar a logística colaborativa de forma prática, este Trabalho de Formatura foi desenvolvido em parceria com uma das maiores empresas brasileiras de bens de consumo, a qual possui uma produção de grande escala, abastecendo todo o país e, por isso, apresentando um volume relevante de frota circulante.

Desse modo, o trabalho aborda um estudo de otimização sobre sua cadeia logística, visando analisar a viabilidade física, temporal e financeira para a concatenação entre rotas que partem de uma determinada fábrica e rotas que têm a mesma como destino. Essa otimização, além de eliminar viagens improdutivas, permitirá um maior aproveitamento da frota dedicada da empresa e, conseqüentemente, uma menor necessidade de terceirização de veículos que compõem a frota spot.

Com a redução da frota circulante, os resultados poderão também impactar no fluxo das estradas e cidades, reduzindo a emissão de gases poluentes, o desgaste dos pavimentos e proporcionando para a empresa a redução de seus custos logísticos.

Palavras-chave: logística colaborativa, concatenação de rotas, ciclo, otimização, reposicionamento, frota fixa, frota spot

## **ABSTRACT**

Collaborative logistic refers to routes concatenation process aiming to reduce the amount of unproductive travels, same as a travel with an empty vehicle. This subject have more relevance nowadays due to its high potential in logistics efficiency, leading to savings.

The following project was developed side by side with an important consumer goods company in Brazil, with a national scale and a large truck fleet. It was a great opportunity to reflect the academic content with a practical analysis.

Therefore, the project reflects the optimization an important part of the supply chain in the enterprise, figuring out the concatenation viability in three dimensions: temporally, economic and physically. The change try to eliminate the unproductive travels, increase the utilization rate of the company's truck fleet and hence reduce the use of outsourced transportation.

Thus, with the efficiency gain in the use of the fleet, the total amount of vehicles in transit must reduce in routes, affecting directly in the traffic flow, the emission of pollutants gases and the pavements ware for many Brazilian cities, besides the logistic cost reduction for the enterprise.

Key words: collaborative logistic, routes concatenation, cycles, optimization, truck fleet, outsourced truck fleet

## Sumário

<b>RESUMO</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA</b>	<b>10</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
<b>4. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>12</b>
4.1. SOBRE A S.A.	12
4.2. SISTEMA LOGÍSTICO	13
4.2.1. ORGANIZAÇÃO DA CADEIA LOGÍSTICA	14
4.2.2. PROCESSOS DE ROTEIRIZAÇÃO	15
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
<b>6. METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>7. ESTRUTURA DO SIMULADOR</b>	<b>23</b>
7.1. PREMISSAS ADOTADAS	24
7.2. DADOS DE ENTRADA E SAÍDA	26
7.3. ANÁLISES PRELIMINARES	29
7.3.1. HORAS DA BASE DISPONÍVEIS PARA CONCATENAÇÃO	29
7.3.2. ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ROTAS AB E CA	33
7.3.3. ANÁLISE DE CUSTOS	37
7.3.3.1. CUSTO VARIÁVEL POR QUILOMETRO	40
7.3.3.2. CONSIDERAÇÕES PARA CUSTOS	42
7.4. GERAÇÃO DE CICLOS	42
7.4.1. DISTÂNCIA DO NOVO TRECHO DO CICLO	42
7.4.2. TEMPO DO CICLO	43
7.4.3. VOLUME DE CAMINHÕES DO CICLO	43
7.4.4. SAVING	45
7.5. COMBINAÇÃO DOS CICLOS	46
7.5.1. OTIMIZAÇÃO	46
7.5.2. PENALIZAÇÕES	47
7.5.3. SOLUÇÃO FINAL	50
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>51</b>
8.5. ESTUDO DE CASO: CERVEJARIA JACAREÍ	51
8.6. ESTUDO DE CASO: CERVEJARIA GUARULHOS	53
8.7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	54
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO I – CONTEÚDO DAS ABAS DO SIMULADOR</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO II – IMAGENS DAS ABAS DO SIMULADOR</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Viagens realizadas a partir da cervejaria de Jaguariúna .....	30
Gráfico 2 – Banco de horas da frota fixa da cervejaria de Jaguariúna .....	31
Gráfico 3 – Viagens realizadas a partir da cervejaria de Jundiaí .....	32
Gráfico 4 – Banco de horas da frota fixa da cervejaria de Jundiaí .....	32
Gráfico 5 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí _ CDD Ribeirão Preto (260_956) .....	36
Gráfico 6 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí _ CDD Campinas (260_230) .....	36
Gráfico 7 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí _ CDD Campinas (260_230) .....	37
Gráfico 8 – Regressão Linear Simples (Custo variável x Distância) para a região Sudeste (SE) e frota fixa de 28 pallets .....	41
Gráfico 9 – Regressão Linear Simples (Custo variável x Distância) para a região Sudeste (SE) e frota fixa de 42 pallets .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização dos elementos da cadeia produtiva da S.A. ....	12
Figura 2 - Caminhão do tipo Sider Asa Delta, sendo carregado na Cervejaria Jaguariúna .	13
Figura 3 – Esquema da cadeia logística da S.A. ....	14
Figura 4 – Esquema de filtros do simulador de concatenação de rotas.....	22
Figura 5 – Lógica de funcionamento do simulador de concatenação de rotas .....	24
Figura 6 – Quadro de premissas para preenchimento no simulador .....	28
Figura 7 – Dados de entrada e saída do simulador de concatenação de rotas .....	29
Figura 8 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas pelo mesmo tipo de caminhão .....	44
Figura 9 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas por tipos diferentes de caminhão: volume AB maior do que o volume CA .....	44
Figura 10 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas por tipos diferentes de caminhão: volume AB menor do que o volume CA .....	45
Figura 11 – Problema matricial resolvido pelo <i>Solver</i> .....	46
Figura 12 - Pesquisa CNT de rodovias 2019 - extensão total da região Sudeste .....	48
Figura 13 - Pesquisa CNT de rodovias 2019 - extensão total do estado do Rio de Janeiro	48
Figura 14 – Trecho da malha pavimentada em Jacareí (SP).....	49
Figura 15 – Trecho da malha pavimentada em Mogi Mirim (SP) .....	49



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de rotas com baixo coeficiente de variação e baixo índice de frequência .....	35
Tabela 2 – Composição do custo fixo segundo um dos modelos da NTC .....	38
Tabela 3 – Coeficientes Dos Pisos Mínimos De Transporte Rodoviário De Carga (Transporte Rodoviário De Carga Lotação) .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Formatura está sendo realizado em parceria com a empresa de bebidas S.A., que apresentou ao grupo um desafio logístico de otimização e concatenação de rotas. Serão analisadas as viabilidades física, temporal e econômica para que caminhões da frota fixa da empresa, que transportam produtos acabados, possam ter suas rotas de retorno – geralmente realizadas por veículos vazios - aproveitadas para transportar insumos ou outros produtos acabados (provenientes de outras cervejarias ou Centros de Distribuição) até as cervejarias.

Para isso, o grupo irá propor um simulador que, a partir de um histórico de viagens, analisa e identifica as rotas relevantes para a concatenação e sugere a formação de ciclos, levando em consideração a capacidade das cervejarias e Centros de Distribuição, além de diversas restrições, como compatibilidade dos caminhões, tempo máximo de rota, grades horárias, entre outras.

É importante ressaltar que, por questões de segurança da informação, os dados utilizados nas análises deste projeto foram aleatorizados, mantendo sigilo das informações relativas à empresa. Além disso, será utilizada a sigla “S.A.” para se referir a ela.

## 2. JUSTIFICATIVA

Dado que a empresa parceira deste trabalho é uma das maiores empresas brasileiras de bens de consumo, com uma produção em grande escala que abastece todo o país e, consequentemente, com um volume relevante de frota circulante, um estudo para a otimização da sua cadeia logística, que proporcione uma redução dessa frota, tem a capacidade de causar impactos significativos em diversos âmbitos, como nos custos de transporte e no fluxo de veículos.

Para ilustrar a dimensão da operação da S.A. tem-se que, considerando apenas a região sudeste do país, quase 25 mil viagens referentes ao transporte de produtos acabados entre cervejarias e centros de distribuição são feitas por mês. Para trazer essa dimensão às cidades, pode-se destacar o Centro de Distribuição da Mooca, em São Paulo, que recebe mensalmente mais de 700 caminhões e fica localizado no centro da maior cidade do país.

Com isso, entende-se que a busca de sinergias entre rotas, além de proporcionar uma redução de custos, também pode trazer diversos benefícios para a cidade. Ao eliminar viagens improdutivas através da concatenação de rotas é possível reduzir o número total de viagens, aliviando o fluxo de transporte nas estradas e cidades, reduzindo a emissão de gases poluentes, assim como o desgaste dos pavimentos.

Por fim, considerando a grande complexidade da malha logística da empresa e o fato de a roteirização de viagens de insumos ainda ser feita de maneira manual e não otimizada para buscar sinergias, o grupo percebe uma grande oportunidade de trabalho.

### **3. OBJETIVOS**

Este trabalho de formatura tem como objetivo criar um simulador de concatenação de rotas, que considere as viabilidades financeira, física e temporal para formar uma combinação de ciclos que gere uma economia em relação aos custos de transporte atuais.

A concatenação será simulada a partir de um histórico de viagens e será feita entre rotas que partem de uma dada cervejaria ou centro de distribuição de revenda - pontos que possuem suas próprias bases de caminhões - transportando produtos acabados, e rotas que têm como destino essa mesma base, podendo transportar tanto produtos acabados quanto insumos.

A geração de ciclos será condicionada por restrições e critérios de desempenho - das rotas e dos próprios ciclos - estabelecidos pelo grupo e irá visar o aproveitamento de caminhões da frota fixa da S.A., possibilitando um uso otimizado desses. Além disso, é esperado que os ciclos gerados proporcionem uma redução tanto do uso de caminhões da frota spot quanto do número de viagens improdutivas e, portanto, proporcionem uma redução nos custos totais.

## 4. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este tópico trará uma breve introdução da S.A. e apresentará o contexto do desafio ao descrever o sistema logístico da empresa, compreendido após diversas reuniões com seus representantes e visitas ao escritório (Administração Central), à um centro de distribuição (CDD Mooca - São Paulo, SP) e à uma cervejaria (Cervejaria Jaguariúna, SP).

### 4.1.SOBRE A S.A.

A S.A. é uma das maiores empresas brasileiras de bens de consumo, estando presente em 19 países. No Brasil, possui 32 cervejarias e 2 maltarias, mais de 100 Centros de Distribuição e mais de 1 milhão de pontos de venda, além de trabalhar com mais de 5.000 fornecedores, diretos e indiretos, sendo 5 deles verticalizados, ou seja, pertencentes ao próprio grupo. Com isso, a empresa produz mais de 30 marcas diferentes de bebidas, entre alcóolicas e não alcóolicas.

O mapa a seguir mostra a presença da empresa no Brasil, com pontos que representam suas cervejarias, seus Centros de Distribuição (que contemplam **CDD's** - Centro de Distribuição Direta, **CDL's** - Centro de Distribuição Local e **CDC's** - Centro de Distribuição Compartilhada), Centros de Distribuição Revenda (**CDR's**) e alguns de seus principais fornecedores. É possível notar que, apesar de sua presença ser extensa em todo o país, há uma concentração na região Sudeste.

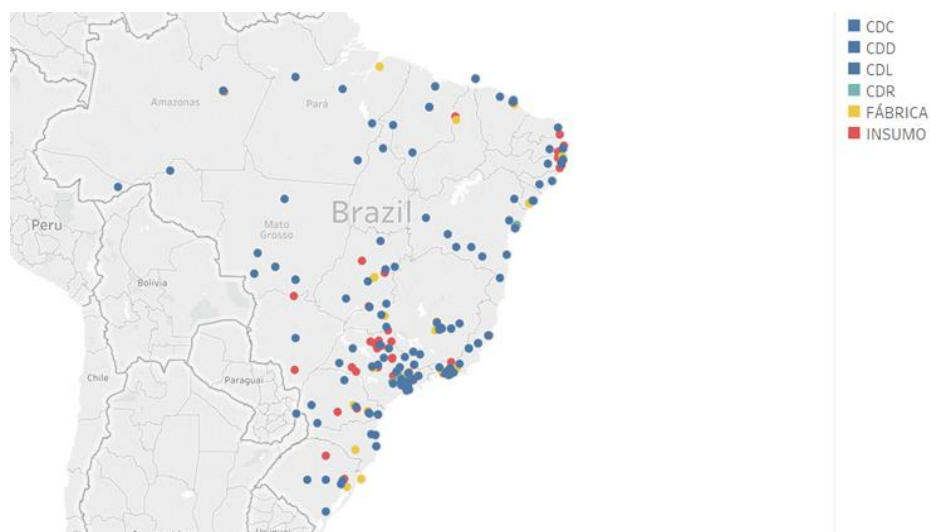


Figura 1 – Mapa de localização dos elementos da cadeia produtiva da S.A.

## 4.2.SISTEMA LOGÍSTICO

Para realizar a logística de insumos e produtos acabados por todo o país, a S.A. utiliza os mais diversos tipos de transporte. Da região Sudeste, diversos produtos com destino às regiões Norte e Nordeste são transportados via aquaviário, já para destinos da região Centro-Oeste a empresa conta com o ferroviário. O foco deste trabalho, no entanto, será no transporte rodoviário, de maior capilaridade e relevância, em volume, para a empresa.

Para transportar insumos, dos fornecedores às cervejarias, e produtos acabados, entre cervejarias e CDDs ou CDRs, a S.A. conta com dois tipos de frota de caminhão: a **frota fixa**, de veículos exclusivamente dedicados à empresa, cujos custos envolvem custos fixos e variáveis, e a **frota spot**, com veículos terceirizados que são contratados sob demanda e pagos por viagem.

A frota fixa é composta por mais de 600 veículos, majoritariamente do tipo *sider asa delta* (**Figura 2**), com capacidade para 28 ou 42 *pallets*. 80% dela é utilizada para o transporte de produtos acabados e apenas 20% para insumos.



Figura 2 - Caminhão do tipo Sider Asa Delta, sendo carregado na Cervejaria Jaguariúna

Os caminhões, assim como seus motoristas, têm suas bases em cervejarias e CDR's, onde recebem manutenção, abastecimento e onde os motoristas recebem treinamentos (de modo que, cada motorista é treinado para atuar em uma determinada região). Além disso, é importante mencionar que, são priorizadas rotas curtas para este tipo de frota, otimizando seu uso e possibilitando a diluição dos custos fixos.

Já a frota *spot*, como mencionado anteriormente, é contratada sob demanda, geralmente para cobrir sazonalidades e rotas de longas distâncias. Do total utilizado, aproximadamente 20% dos veículos carregam produtos acabados, enquanto 80% carregam insumos.

Para esse tipo de frota é comum serem priorizadas rotas longas, com menor periodicidade, uma vez que o transporte é pago por viagem.

#### 4.2.1. ORGANIZAÇÃO DA CADEIA LOGÍSTICA

A cadeia logística da S.A. tem início com o transporte de insumos às cervejarias. Esse transporte é, em partes, de responsabilidade da própria empresa, que faz a gestão e o relacionamento com os mais de 5 mil fornecedores, sendo eles tanto diretos como indiretos.

Das cervejarias, os produtos acabados são transportados para os CDD's e CDR's. Em ambos dos casos as viagens são caracterizadas por carga de lotação, ou seja, o caminhão sai da origem com sua carga completa e realiza a descarga total em apenas um destino. Enquanto isso, cada CDD e CDR recebem diariamente caminhões provenientes de diversas cervejarias.

O transporte das cervejarias até os CDD's é realizado por caminhões cujas bases são as próprias cervejarias, que operam continuamente, 24h/dia (exceto aos domingos, em que a operação é reduzida). Dos CDD's os produtos são transportados por mais de 5 mil caminhões até os pontos de venda, sendo essa última operação realizada majoritariamente no horário comercial dentro das cidades.

Já no transporte até CDR's, os produtos são retirados por caminhões cujas bases são os próprios CDR's. Nesse caso, o uso de frota fixa em bases próprias se justifica ao se considerar o volume de produtos e relevância da operação dessas unidades, visto que os Centros de Distribuição Revenda atendem principalmente os grandes varejistas, além de atuarem para desafogar a demanda sobre os CDD's quando necessário.

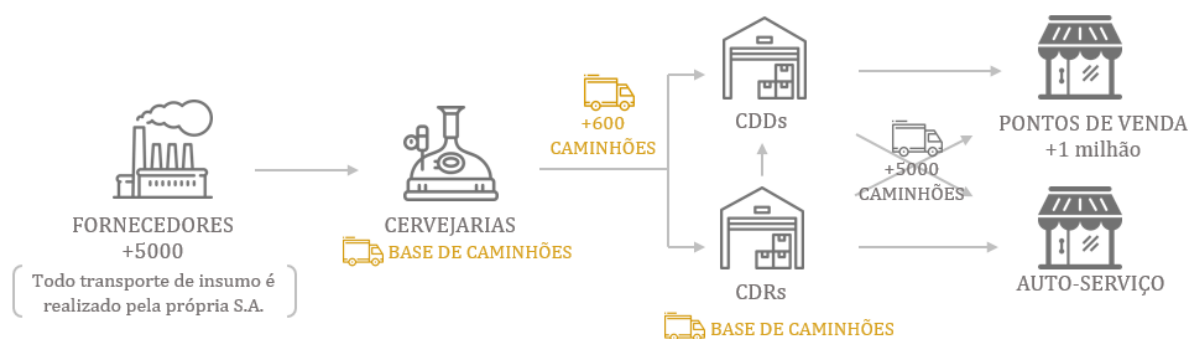


Figura 3 – Esquema da cadeia logística da S.A.

Além do fluxo mencionado, representado pelo esquema da **Figura 3**, há uma presença relevante do transporte entre cervejarias, entre CDD's e entre CDR's, uma vez que cada

cervejaria não produz todos os SKU's (*Stock Keeping Unit*, ou seja, tipo de produto). Porém, vale ressaltar que o transporte entre CDD's não ocorre com regularidade, estando, principalmente, em função da falta de estoque ou vencimento.

Este trabalho de formatura terá como foco os mais de 600 caminhões que realizam o transporte entre fornecedores, cervejarias e Centros de Distribuição.

#### **4.2.2. PROCESSOS DE ROTEIRIZAÇÃO**

A roteirização de produtos acabados é feita de maneira otimizada pelo sistema TMS, de modo a reduzir o número de viagens, tornando os caminhões mais produtivos e diluindo os custos fixos da frota. Para isso, são considerados como critérios o valor da viagem e a disponibilidade dos caminhões. Além disso, leva-se em conta as limitações de carregamento de cada caminhão, que podem ser relacionadas tanto ao volume quanto ao peso máximo.

Por outro lado, a roteirização de insumos é feita manualmente, em que o contrato do caminhão é feito conforme demanda. Deste modo, apesar do caminhão ser otimizado, ou seja, estar com sua carga máxima, não há sinergias com as rotas de produto acabado.



## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em alguns setores da economia, principalmente no industrial (como é o caso da empresa parceira deste trabalho), as operações logísticas representam um aspecto essencial para viabilizar o negócio, uma vez que estão presentes ao longo de todas as etapas da cadeia de valor. Contudo, segundo Stringher (2004), de um a dois terços dos custos logísticos estão ligados à custos de transporte e, por isso, um transporte eficiente torna-se um fator chave para a competitividade de uma empresa.

Diante disso, a logística colaborativa, estudada por Ergun et al. (2004), é vista como uma temática cada vez mais relevante, principalmente ao se considerar a crescente pressão sobre a qual empresas estão para operar de modo mais eficiente, aumentando a produtividade e reduzindo custos. Em um estudo conduzido por Botter et al. (2006), foi percebido que a colaboração entre empresas pode torná-las ainda mais fortes e competitivas no mercado se houver um entrosamento nos níveis estratégico, tático e operacional. Além disso, ao proporcionar uma operação otimizada e uma consequente redução na circulação total de veículos, essa colaboração pode contribuir em questões de consumo de energia, emissão de poluentes na atmosfera e mudança climáticas, que têm ganhado grande destaque e importância atualmente.

Como citado, da logística colaborativa infere-se o compartilhamento ou concatenação de rotas. Stringher (2004) define concatenação de rotas e caminhos como a combinação de viagens produtivas com viagens não produtivas, fechando um ciclo completo. Assim, o movimento contínuo do veículo possibilita uma produtividade maior, diluindo os custos fixos envolvidos.

Já a ideia de viagens não produtivas pode ser entendida, de acordo com Ferri (2009), pelo conceito de viagens de reposicionamento, ou seja, viagens sem carga útil, que ligam o final de uma viagem até o início da próxima. Assim rotas combinadas oferecem para os transportadores ciclos com movimentações regulares e com reposicionamento mínimo. Portanto, ao se reduzir os deslocamentos improdutivos, Tecla (2003) afirma que é possível reduzir os custos de transporte, porém ressalta que, uma viagem deve ser conjugada apenas se seu custo for inferior à soma dos custos das viagens independentes.

Para concatenação há também outras limitações apresentadas por Ergun et al. (2007) como a cardinalidade, conceito que se refere à quantidade de rotas que compõem um ciclo (sendo elas produtivas ou não), a distância ou tempo máximos de ciclo, entre outras. Dentro das restrições temporais, Ergun et al. (2007) aponta os dois tipos principais: as janelas de tempo

para carregamento ou descarregamento do veículo e a regulamentação quanto ao tempo máximo que um motorista pode permanecer dirigindo.

É importante, nesse contexto, ressaltar os tempos envolvidos em uma cadeia logística. Tem-se, primeiramente, o tempo de ciclo, que engloba o tempo do veículo circulando e o tempo dele parado, em que o tempo rodando é dado pela distância e velocidade e o tempo parado envolve os tempos de carga, descarga, fila e o tempo de busca pela próxima carga. Nisso, vale lembrar que o tempo de busca em um caminho conjugado não é nulo e é um fator crítico para definir a competitividade da frota dedicada comparada à frota spot.

Além disso, para a concatenação de rotas deve-se considerar que quanto mais viagens dentro de um ciclo, mais difícil a coordenação da operação de cada um desses pontos. Por isso, pode ser interessante estabelecer um limite de rotas para fechar um ciclo. Fora isso, há a questão da compatibilidade, ou seja, para que o ciclo possa ser fechado é necessário haver compatibilidade de carga e de veículos, segundo Ferri (2009).

Outros conceitos importantes para este Trabalho de Formatura são os de classificação dos sistemas de transporte. Stringher (2004) explica que há dois tipos: carga de lotação e carga fracionada. O primeiro, de lotação ou sistema de transporte direto, é caracterizado por rotas que se deslocam sem paradas intermediárias. Sua estrutura de custos é dividida em movimentos produtivos, em que os custos são variáveis conforme a distância, e movimentos improdutivos, que englobam os deslocamentos do veículo vazio até o local da próxima carga e o tempo de espera para identificá-la.

Em outras palavras, no transporte direto, o custo de uma rota AB poderá ser menor se o veículo tiver uma maior probabilidade de obter cargas saindo de B (ou próximas de B) e chegando A. Essa otimização reflete na relevância de economias de escopo, uma vez que o custo de atender uma rota não depende do volume, mas sim de outras rotas serem atendidas. Além disso, o custo total para que um transportador atenda um conjunto de rotas é menor do que o custo de vários transportadores atenderem as mesmas rotas. Desse modo economias de escopo são dadas pelo alto nível de confiabilidade e um volume de tráfego constante.

Já o segundo, carga fracionada ou sistema de consolidação, é caracterizado pela coleta de pequenas cargas (intermediárias) para consolidar uma carga completa. Sua estrutura de custos é dividida em custo de coleta-entrega, custo de consolidação e custo de transferência, todos representando custos fixos. Nesse caso o preço de serviço é influenciado pelo volume de carga a ser atendido, tendo como relevante atingir economias de escala.

Para o estudo de concatenação de rotas desse trabalho, assim como no estudo conduzido por Ergun et al. (2007), considera-se o tipo de viagem como de lotação.

Em relação aos custos envolvidos no transporte, Stringher (2004), seguindo as diretrizes estabelecidas pela NTC (Associação Nacional de Empresas de Transporte de Carga), os segmenta em custos fixos mensais, referentes à remuneração de capital, salários (motoristas, oficinas), reposição (veículo, carroceria), licenciamento, seguro, etc. e custos variáveis por quilometragem, referentes à materiais de manutenção, combustível, pneu, lubrificantes, lavagem, etc. Já para o custo total de transporte deve-se também considerar despesas administrativas, de terminais, impostos e taxas, gerenciamento de riscos, custo valor (de acidentes). Contudo, ressalta-se que há diversos outros métodos para considerar os custos de transporte.

Desse modo, para uma visão geral da concatenação ou colaboração de rotas, pode-se dizer que esse modelo visa reduzir distâncias percorridas, os tempos de trânsito e os custos totais por meio de uma utilização otimizada dos ativos da empresa, porém isso só é alcançado se houver um envolvimento de todos os agentes da cadeia. Esper et al. (2003) citam os benefícios que podem ser obtidos pela colaboração como: redução do custo de transporte, melhor utilização dos ativos, melhora no nível de serviço - melhor assertividade do tempo de entrega, aumento da visibilidade - localização de produtos e veículos na cadeia de suprimentos.

Ainda vale mencionar o desafio de concatenar rotas em escala nacional, explicitado por Ferri (2009) pela questão do desbalanceamento entre regiões. No Brasil, há uma grande concentração de carga em poucas regiões, ou seja, algumas delas que concentram mais destinos ou origens. Portanto, o desbalanceamento faz com que o número de ciclos viáveis reduza. O aumento do desbalanceamento implica em uma concentração de rotas com um único sentido, fazendo com que seja mais difícil fechar um ciclo, uma vez que é limitado o número de reposicionamentos.

Já no que se refere às metodologias para resolver o problema da concatenação de rotas, foram analisadas diversas teses que defendem diferentes, porém complementares, métodos para geração de ciclos.

Souza (1999), trata do problema de otimização de transportes de carga lotação, dividindo-o em duas etapas. A primeira consiste em gerar todos os ciclos viáveis e seus custos associados, considerando restrições de janelas de tempo, capacidade, rotas disponíveis, entre outros. Então, na segunda etapa são selecionados os melhores ciclos, resolvendo-se um problema de programação linear do tipo partição de conjunto (*Set Partitioning Problem*), buscando a minimização dos custos.

Esta abordagem, porém, inviabiliza a resolução de problemas de grande porte, principalmente aqueles com condicionantes pouco restritivas, uma vez que o conjunto de ciclos

viáveis é composto por um grande número de alternativas. Como conclusão do seu trabalho, Souza (1999) recomenda utilizar uma heurística que faça uma seleção prévia dos ciclos ou implementar um procedimento mais eficiente para a segunda etapa do problema.

Em Tacla (2003) é estudado o transporte colaborativo, em que a redução dos custos é proporcionada pela maximização da utilização dos veículos. A partir do seu trabalho, Tacla traz como contribuição a criação de um filtro para limitar a quantidade de ciclos gerados. Neste filtro, rotas conjugadas devem ser consideradas apenas se seu custo for inferior a soma dos custos das viagens independentes.

Ferri (2009) traz como contribuição uma heurística construtivo-destrutiva para a geração de ciclos. Nela, os ciclos são construídos priorizando a alocação das rotas mais extensas. Assim, de um conjunto  $k$  de rotas disponíveis, começa-se escolhendo a maior e então adiciona-se a rota mais próxima de uma das suas extremidades, ou seja, a rota que tem o destino mais próximo da origem da rota base ou a que tem a origem mais próxima do destino da base. A lógica desse processo é repetida até atingir alguma restrição de reposicionamento ou cardinalidade.

Quando o ciclo é fechado é calculado um índice “ $p$ ” criado por Ferri (2009), que indica sua “qualidade” e é dado por  $p = \frac{\text{custo dos reposicionamentos}}{\text{custo total}}$ , de modo que, quanto menor  $p$ , maior qualidade o ciclo apresenta.

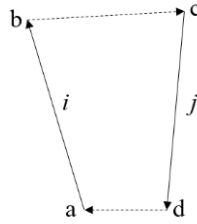
Segue-se, então, para a criação do próximo ciclo, que se inicia pela maior rota restante em  $k$ . É importante ressaltar que, ao se adicionar uma rota à um ciclo, ela é retirada do conjunto  $k$  de “rotas disponíveis”.

Assim que todos os ciclos são formados, eles são ranqueados de acordo com seus respectivos valores de  $p$  e a concatenação, então, é adotada naqueles que possuem um valor de  $p$  acima de um “ $p$  mínimo” estabelecido.

Já Rosin (2012), para resolver o problema de concatenação de rotas com cardinalidade restrita, cria uma heurística de busca local, que parte de uma solução inicial de ciclos gerados para, então, realizar uma reconstrução dos ciclos, a fim de que estes atinjam o maior fator  $f$  possível, em que  $f$  é dado por  $f_{ij} = q_{ij} \cdot p_i \cdot p_j$ , e  $i$  e  $j$  são pares de rotas. Desse modo, Rosin parte de uma concatenação inicial entre as rotas  $i$  e  $k$  e verifica se uma concatenação de  $i$  com uma rota  $j$  não geraria melhores resultados.

Na fórmula de  $f$ , o índice  $p$  é mesmo criado por Ferri (2009), dado por  $p_i = \frac{\text{Custo dos reposicionamento de } C_k}{\text{Custo total de } C_k}$ , em que  $C_k$  é o ciclo no qual a rota  $i$  se encontra (pela

solução inicial). Já o índice  $q$  é dado por  $q_{ij} = \frac{d_{ab}+d_{cd}}{d_{da}+d_{bc}}$ , em que  $d$  são as distâncias entre os pontos representadas no esquema a seguir.



Segundo Rosin (2012), altos valores de  $q$  indicam rotas grandes que, quando unidas, proporcionam um baixo reposicionamento. Já baixos valores de  $q$  indicam rotas pequenas que, quando unidas, proporcionam um alto reposicionamento. Em relação ao índice  $p$ , para Rosin, altos valores indicam rotas que, dentro do ciclo proposto pela solução inicial proporcionam um alto valor de reposicionamento e, por isso, representam boas oportunidades de reconstrução com outras rotas.

Assim, uma rota  $j$  é a vizinha mais próxima de  $i$ , se  $f_{ij} > f_{ik}$  e, nesse caso, a reconstrução do ciclo gera um resultado melhor.

Já essa solução inicial, mencionada pelo autor, pode ser resultante tanto da aplicação da heurística construtivo-destrutiva de Ferri (2009), descrita acima, quanto da aplicação do algoritmo guloso de Ergun et al. (2004) ou do gerador de ciclos *Quick Start*, criado pelo próprio Rosin, que propõem a ordenação das rotas disponíveis em ordem decrescente de comprimento e busca aquelas que sejam consecutivas para a concatenação.

É importante, porém, notar que os métodos mencionados acima enxergam as rotas de maneira unitária, não levando em consideração que suas demandas reais podem ser distintas. Um exemplo disso seria uma rota AB, que ocorre diariamente, sendo concatenada com uma rota CD que ocorre mensalmente. Ao se formar o ciclo ABCD, as rotas AB e CD seriam descartadas do conjunto de “rotas disponíveis”, contudo, a rota AB ainda teria disponibilidade para se concatenar com outras.

Portanto, os métodos analisados proporcionam uma solução física e financeiramente viável de concatenação, entretanto não contemplam, necessariamente, uma viabilidade operacional e, muitas vezes, subutilizam a capacidade de concatenação de algumas rotas.

## 6. METODOLOGIA

Uma combinação ótima de ciclos irá indicar, dentro de restrições e critérios determinados pelo grupo, quais rotas devem ser concatenadas e quantas vezes cada ciclo deve ser realizado em um período estabelecido. Para encontrar essa combinação, um conjunto de ciclos elegíveis e suas características são analisados e otimizados.

Esses ciclos por sua vez são gerados a partir da combinação entre rotas que têm como origem a base (A) de caminhões selecionada, e rotas que têm como destino essa mesma base. Para este trabalho, o grupo optou por se referenciar às primeiras como rotas **AB** e às segundas como rotas **CA**, assim, a concatenação gera um ciclo **ABC**. Todas as rotas são extraídas de um histórico de viagens, posteriormente analisado para classificar uma rota como elegível ou não para a concatenação.

Contudo, tendo em vista que este trabalho se destina a resolver problemas de grande porte, que contam com um alto volume de dados, o grupo, para escapar de limitações como as encontradas por Souza (1999), desenvolveu diversos critérios e restrições, aplicados em diferentes etapas da simulação. Esses atuam como filtros, como pode ser visto na **Figura 4**, diminuindo a quantidade de ciclos gerados e assim, viabilizando o processamento, como estudado em Tecla (2003).

Além das restrições e critérios - aplicados nas rotas e nos ciclos - mencionados acima, o início da própria simulação já será feito com alguns filtros que irão restringir a quantidade de dados analisados. Cada simulação é feita apenas com rotas relacionadas à uma única base de caminhões e analisa somente as viagens que ocorreram dentro de um determinado período - ao invés de olhar para o histórico inteiro.

O simulador ainda traz como característica a limitação de cardinalidade e da quantidade de reposicionamentos por ciclo, assim como utilizado por Ferri (2009), contribuindo também para restringir a quantidade de ciclos gerados. Desse modo, o grupo optou por limitar ciclos com cardinalidade 3 e apenas 1 reposicionamento.

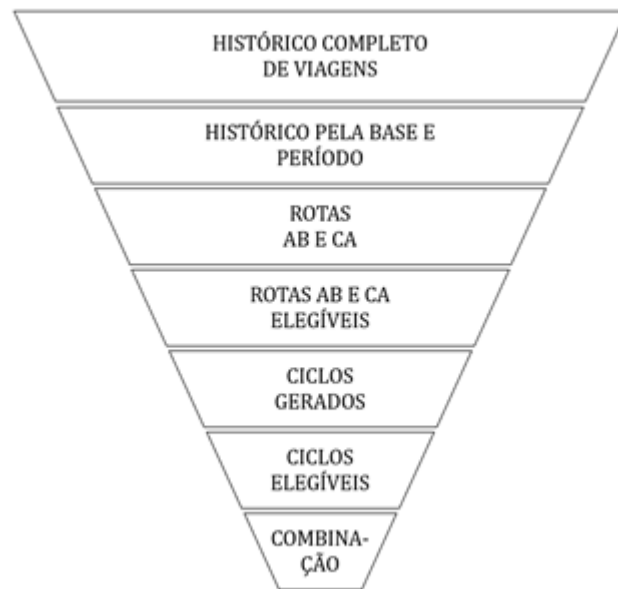


Figura 4 – Esquema de filtros do simulador de concatenação de rotas

O simulador foi construído no Excel, com o uso do VBA (Visual Basic for Applications). Além disso, para obter a combinação ótima de ciclos foi utilizada a extensão OpenSolver, do Excel, que comporta um volume de dados maior para realizar a otimização.

## 7. ESTRUTURA DO SIMULADOR

O simulador elaborado pelo grupo deve receber determinados dados de entrada, dentre os quais um histórico de viagens realizadas e, a partir disso, identificar as rotas relacionadas com a base de caminhões selecionada, assim como suas respectivas viagens ocorridas dentro do período estabelecido pelo usuário.

As rotas são classificadas como rotas AB ou CA e então submetidas às análises referentes ao seu período de ocorrência e ao volume que é transportado em cada dia de viagem (expresso em quantidade de caminhões).

As rotas serão consideradas elegíveis para concatenação se tiverem uma frequência de ocorrência inferior que um mês (menos de uma viagem a cada 30 dias), caso contrário sua operação é entendida como pouco relevante e impactante no estudo. Além disso, para a elegibilidade de uma rota AB também é considerada a porcentagem de caminhões de frota spot que a realizam.

Paralelamente a isso o simulador calcula a quantidade de horas disponíveis na base de caminhões que poderiam ser consumidas com os novos ciclos e os custos de transporte das rotas AB e CA no cenário original.

A partir das listas de rotas AB e CA consideradas elegíveis, cada AB é combinada com cada CA, gerando ciclos ABC. Cada ciclo é submetido às seguintes análises: distância do novo trecho de reposicionamento (BC); tempo total do ciclo; *saving* (economia conseguida com a concatenação); e aderência entre o volume e o tipo (normal ou bitrem) de caminhões que realizam AB e a carga que precisa ser carregada no trecho CA. Caso alguma dessas análises resulte em condições definidas pelo grupo como inviáveis, o ciclo será considerado inelegível.

Assim, é gerada uma lista de ciclos elegíveis, que, junto com características de tempo, volume e *saving* de cada um, é submetida para otimização, feita a partir da aplicação do OpenSolver, para maximizar o *saving* total.

Desse modo é gerada uma primeira combinação ótima dos ciclos. Contudo, sabendo que alguns ciclos sugeridos podem ser operacionalmente inviáveis, será aberta uma aba de penalização, em que o valor originalmente calculado do *saving* poderá ser alterado manualmente. Sob essa nova condição, o OpenSolver é novamente aplicado e outra combinação ótima é gerada.

As etapas descritas encontram-se resumidas no quadro abaixo e serão detalhadas nos itens a seguir.



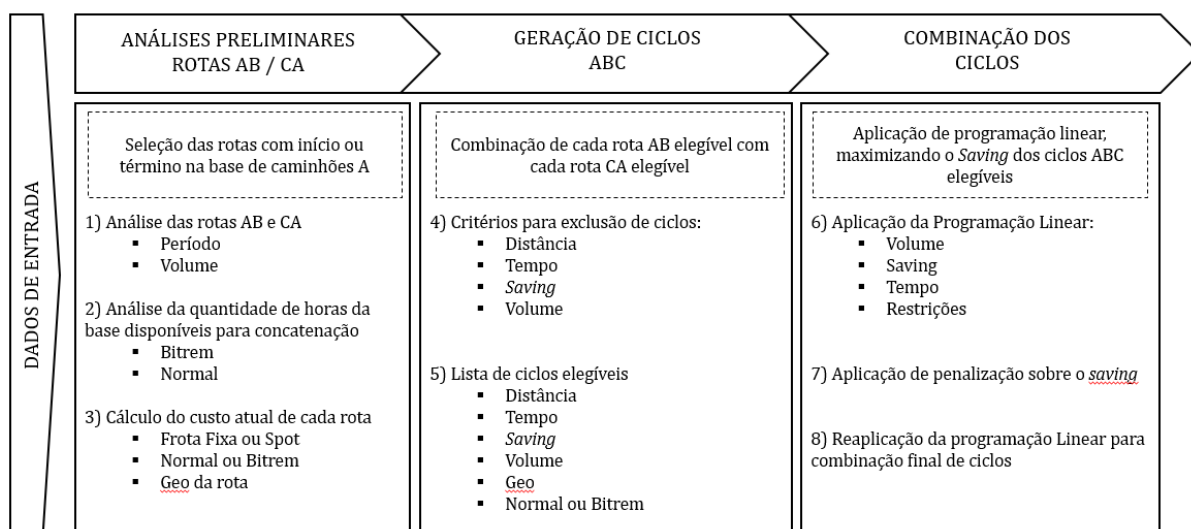


Figura 5 – Lógica de funcionamento do simulador de concatenação de rotas

## 7.1.PREMISSAS ADOTADAS

Foram adotadas algumas premissas para o guiar o desenvolvimento do método e o alcance dos resultados.

Primeiramente, como já mencionado anteriormente, são consideradas como bases (A) para a concatenação de rotas, todas as cervejarias e CDR's, por possuírem suas próprias bases de caminhões da frota fixa. Assumiu-se que todos esses veículos são do tipo Sider Asa Delta, com capacidades variando em 28 ou 42 pallets (sendo que o primeiro é referenciado pelo grupo como caminhão “normal” e o segundo como “bitrem”).

No que diz respeito à produtividade desses veículos, um coeficiente de minoração do tempo de uso destes foi empregado, para refletir os momentos em que um caminhão não está disponível para a circulação (por razões como manutenção, limpeza, abastecimento, etc). Foi adotado o valor de 0,94, que pode ser alterado pelo usuário para a simulação.

Assumiu-se que todo caminhão sai de uma base com sua carga otimizada, ou seja, com sua capacidade máxima de volume ou de peso atendida, não sendo possível obter maiores eficiências neste quesito.

Todo transporte realizado é caracterizado por carga de lotação, situação em que o veículo sai completo de uma origem para apenas um destino, desconsiderando a possibilidade de múltiplos pick-ups ao longo do trajeto. Dessa forma, assumiu-se que não são permitidas concatenações que não atendam quantidades inteiras (em volume de caminhões) de carga,

assim, frações de carga (que não completem, pelo menos, um caminhão) não podem ser deixadas em seu ponto de retirada.

Também foi adotada como premissa que rotas do tipo AB que possuam um percentual de viagens realizadas por frota spot acima de 80% são descartadas para a concatenação. Contudo, esse valor pode ser alterado pelo usuário.

Para a geração de ciclos, foi adotado um fator de segurança, que preserva uma parte das horas disponíveis para concatenação na base, de modo que haja uma folga para eventuais atrasos ou imprevistos das rotas regulares que consumam horas de circulação dos caminhões.

Em relação às viagens, foram estabelecidos valores para a velocidade média dos veículos, e para os tempos de carregamento e descarregamento de produtos. Todos podem ser alterados pelo usuário. Além disso foi adotado um coeficiente de majoração das distâncias entre pontos, uma vez que estas são calculadas em linha reta, no simulador, através das coordenadas geográficas.

Para os motoristas, segundo a legislação vigente, o tempo máximo de jornada é de 10 horas e 30 minutos, sendo que motoristas de veículos de carga não podem dirigir por mais de 5 horas seguidas, deve haver um descanso de 30 minutos e o intervalo para almoço deve ser de, no mínimo, 1 hora. Cada caminhão comporta até 3 condutores por viagem, resultando em um tempo de ciclo máximo de 27 horas (9 horas operacionais por motorista).

Já, no que diz respeito aos ciclos, o número de reposicionamentos adotado foi de apenas 1, significando apenas uma viagem improdutiva, que ocorre entre os pontos B e C. A cardinalidade dos ciclos concatenados propostos é 3, ou seja, o caminhão percorre 3 trechos dentro de um ciclo (seriam esses o AB, BC e CA).

Na formação de ciclos, tem-se ainda que rotas de periodicidade superior a 1 mês (30 dias) serão desconsideradas e que a operação logística ocorre normalmente aos domingos (premissas essa que pode mudada pelo usuário para uso do simulador).

Todas as viagens CA, caracterizadas majoritariamente pelo transporte de insumos, são contabilizadas como sendo 100% realizadas por frota spot e o pátio de caminhões de frota fixa foi mantido, significando que todos os novos ciclos deverão ser realizados pelos caminhões já pertencentes à empresa e uma possível compra de caminhões não foi considerada.

Para a comparação entre capacidades e volumes transportados em caminhões do tipo normal e bitrem foi considerado que 1 caminhão bitrem (42 pallets) equivale à 1,4 caminhões normais (28 pallets).

Por fim, deve-se mencionar que os custos fixos não serão analisados, uma vez que o número de caminhões foi mantido. Dessa forma, o cálculo da economia gerada será feito apenas com custos variáveis e custos da frota spot.

## 7.2.DADOS DE ENTRADA E SAÍDA

Para que a simulação ocorra é necessário que as informações a seguir estejam disponíveis no simulador. Elas devem estar inseridas no formato e nas abas corretas do arquivo de Excel, conforme indicado no **Anexo I**.

- I. Registro histórico de todas as viagens realizadas;
- II. Localização, em coordenadas geográficas, de todos os pontos analisados (cervejarias, CDDs, CDRs, fornecedores). Além disso, todos os pontos devem estar associados à seus Ids;
- III. Quantidade de veículos, por tipo (normal ou bitrem), em cada base (cervejaria ou CDR);
- IV. Valores de custo variável por quilômetro por região e tipo de frota fixa;
- V. Tabela de fretes da ANTT;
- VI. Valores históricos de custo variável por rota.

Todas as análises são feitas a partir dessas informações, que só devem ser alteradas caso ocorra alguma mudança na operação da S.A. ou no cenário externo. Alguns exemplos disso seriam uma mudança na quantidade de caminhões de uma base, uma mudança nos custos de transporte da frota fixa ou no valor da tabela de fretes da frota spot, uma atualização no histórico de viagens, entre outros.

Além disso, para realizar a simulação o usuário deve inserir alguns dados que serão adotados como premissas, influenciando a maneira com que as análises serão feitas e como os filtros irão atuar. Esses dados são:

- I. **Base (cervejaria ou CDR):** selecionar a base de caminhões na qual a simulação se baseará, fazendo com que apenas as rotas que a tenham como origem ou destino sejam consideradas.
- II. **Período da análise:** selecionar o período dentro do qual a simulação se baseará, fazendo com que apenas as viagens que ocorreram nele sejam consideradas. A escolha de um período busca evitar análises distorcidas pela sazonalidade, uma vez que o setor no qual a S.A. atua sofre grandes variações de demanda ao longo do

ano, afetando o período de ocorrência das rotas, assim como o volume de caminhões por dia de viagem.

- III. **Considerar domingo:** optar por considerar, ou não, que a operação dos caminhões da base ocorra regularmente aos domingos. Essa escolha afetará diretamente a quantidade de horas disponíveis para a geração de novos ciclos.
- IV. **Spot aceitável por rota (%):** inserir o percentual máximo aceitável de viagens realizadas por caminhões da frota spot, em relação ao total de viagens de uma rota (dentro do período analisado). Esse percentual será utilizado como critério de elegibilidade de rotas AB, uma vez que o objetivo do simulador é aumentar o aproveitando dos veículos da frota fixa.
- V. **Considerar viagens spot:** optar por considerar ou não as viagens realizadas por caminhões da frota spot dentro do histórico de uma rota. Essa escolha afetará o período de ocorrência das rotas, assim como o volume de caminhões por dia de viagem. A não consideração de viagens spot faz sentido em situações em que estas ocorrem para cobrir imprevistos pontuais.
- VI. **Fator de produtividade:** inserir fator de aproveitamento do tempo dos caminhões da frota fixa. Considera o tempo que um caminhão fica parado para manutenção, abastecimento, limpeza, etc. e, portanto, indisponível para circular.
- VII. **Fator folga:** inserir fator que irá preservar horas disponíveis da base, impedindo que elas sejam utilizadas para a geração de novos ciclos. Assim é possível ter uma margem para eventuais imprevistos em viagens, como atrasos, trânsito nas rodovias, acidentes, etc.
- VIII. **Velocidade média caminhão (km/h):** inserir velocidade média dos caminhões. Essa velocidade será utilizada para calcular o tempo de viagem, a partir da distância entre os pontos.
- IX. **Pallets/caminhão normal:** inserir limite de pallets que um caminhão normal consegue transportar. Esse valor irá determinar se o caminhão que realizou uma viagem é do tipo normal ou bitrem.
- X. **Tempo de Carregamento (h):** inserir tempo médio de carregamento do caminhão para operações com produtos acabados e com insumos. Esse tempo afetará diretamente a duração das rotas atuais e, portanto, a quantidade de horas disponíveis para os novos ciclos gerados.
- XI. **Tempo de Descarregamento (h):** inserir tempo médio de descarregamento do caminhão para operações com produtos acabados e com insumos. Esse tempo

afetará diretamente a duração das rotas atuais e, portanto, a quantidade de horas disponíveis para os novos ciclos gerados.

- XII. **Conversão 1 bitrem = x normal:** inserir fator que converte a capacidade de um caminhão bitrem para a de um caminhão normal. Esse fator será utilizado para fins comparativos entre viagens AB e CA realizadas por tipos diferentes de veículos.
- XIII. **Fator de majoração das distâncias:** como mencionado nas premissas, as distâncias utilizadas são retas entre dois pontos a partir das coordenadas e considerando a curvatura da Terra. Desta forma, como as viagens são realizadas em estradas não são lineares, a majoração dessas distâncias foi feita de forma a se aproximarem das distâncias reais percorridas.

INPUTS	
BASE (CERVEJARIA OU CDR)	952
PERÍODO DA ANÁLISE	
Inserir em formato dd/mm/aaaa do início e do fim	
INÍCIO	01/04/2019
FIM	30/06/2019
#DIAS (preenchimento automático)	90
#DOMINGOS (preenchimento automático)	13
CONSIDERAR DOMINGO (S/N)	S
SPOT ACEITÁVEL POR ROTA (%)	80%
CONSIDERAR VIAGENS SPOT (S/N)	N
FATOR DE PRODUTIVIDADE	0,94
FATOR DE SEGURANÇA	1,2
VELOCIDADE MÉDIA CAMINHÃO (km/h)	55
PALLETS/CAMINHÃO NORMAL	35
TEMPO DE CARREGAMENTO (h) - PA	2,5
TEMPO DE CARREGAMENTO (h) - INSUMO	2,5
TEMPO DE DESCARREGAMENTO (h) - PA	2,5
TEMPO DE DESCARREGAMENTO (h) - INSUMO	2,5
TEMPO DE DESCARREGAMENTO (h) - KA	2,5
CONVERSÃO 1 BITREM = X NORMAL	1,4
FATOR DE MAJORAÇÃO DAS DISTÂNCIAS	1,25

Figura 6 – Quadro de premissas para preenchimento no simulador

A partir dos dados explicitados acima, a simulação irá gerar como resultado final uma combinação ótima de ciclos, que indicará as rotas que devem ser concatenadas e a quantidade de vezes que cada ciclo deverá ser realizado dentro do período determinado, respeitando os limites de horas disponíveis da base e da quantidade total de caminhões que realizam as viagens de cada rota. Além disso, junto com a combinação ótima será indicado o tipo de caminhão que realizará cada ciclo, a quantidade de motoristas necessária para realizá-los, o *saving* total proporcionado e a diferença de quilômetros rodados entre a situação original e a nova proposta.

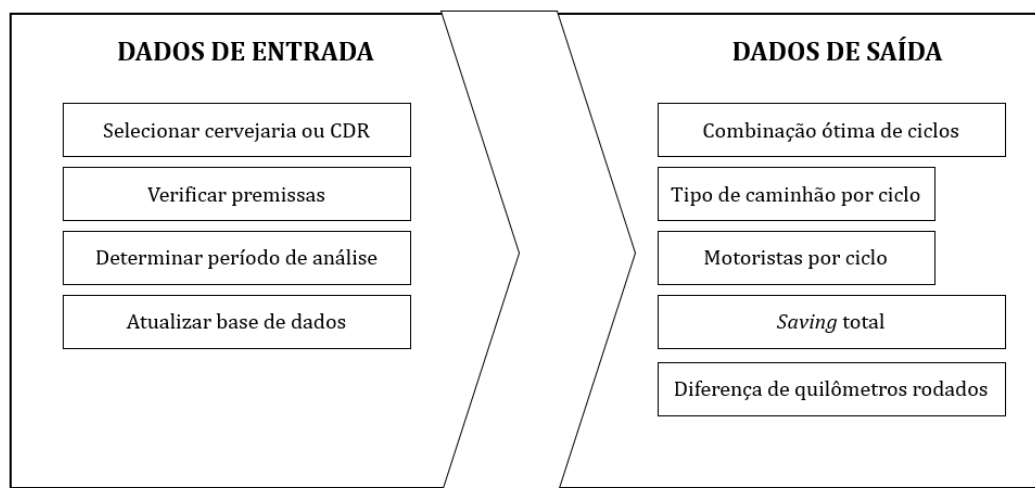


Figura 7 – Dados de entrada e saída do simulador de concatenação de rotas

## 7.3. ANÁLISES PRELIMINARES

### 7.3.1. HORAS DA BASE DISPONÍVEIS PARA CONCATENAÇÃO

A análise de horas disponíveis foi realizada para compreender se há tempo disponível para a frota fixa realizar as possíveis sugestões de concatenação.

Visto que os caminhões têm como base as cervejarias e os CDR's, com uma quantidade estabelecida de caminhões por base, é necessária a verificação de disponibilidade de horas para que os veículos desviem suas rotas de reposicionamento para buscar insumos. A relevância deste critério visa mitigar e prever o impacto da concatenação de rotas na atual distribuição de produtos acabados para os CDD's, visto que o caminhão será solicitado por um maior período de tempo, podendo impactar no trajeto cervejaria-CDD, resultando em atrasos e, em certos casos, a necessidade de utilizar a frota *spot*. Além disso, com aumento do uso dos caminhões, é possível que haja a necessidade de contratar mais motoristas, visando que o trabalhador sempre respeite sua carga horária estabelecida por lei.

Neste estudo, avaliou-se dois critérios: o total de horas disponíveis para os caminhões de uma base e o tempo ocioso, em porcentagem, da frota fixa. Para isso, utilizou-se os dados fornecidos pela S.A. quanto ao total de caminhões disponíveis por cervejaria e CDR, assim como as viagens realizadas por esses caminhões nos meses de janeiro a julho, a distância entre as origens e destinos, velocidade dos caminhões e o tempo de carga e descarregamento.

Para o cálculo das horas disponíveis de cada base, considerou-se que os caminhões estariam disponíveis 24 horas por dia, todos os dias da semana, visto que há um revezamento de motoristas que possibilita o uso contínuo do veículo. Além disso, foi adotado um fator de

produtividade para considerar os momentos em que o caminhão está em manutenção, revisão, conserto, abastecimento, entre outros fatores que o tornam indisponível momentaneamente, sendo este fator fornecido pela S.A. de aproximadamente 0,94.

Já para as horas de uso, utilizou-se o tempo de viagem, fornecido pela S.A., entre uma cervejaria e um CDD, além de incluir duas horas e meia para carga e descarregamento dos caminhões nos seus destinos. Isto tudo multiplicado pela quantidade de viagens para cada destino específico resultou nas horas de uso dos caminhões da base.

Para ilustrar esta análise, são apresentados a seguir dois exemplos para cervejarias do estado de São Paulo.

No primeiro exemplo temos a cervejaria de Jaguariúna, a qual conta com 46 caminhões de frota fixa, totalizando 994 horas disponíveis por dia. No gráfico a seguir podemos ver o total de viagens realizadas com origem nesta cervejaria, no mês de fevereiro, assim como o uso da frota fixa e *spot* para realizá-las:

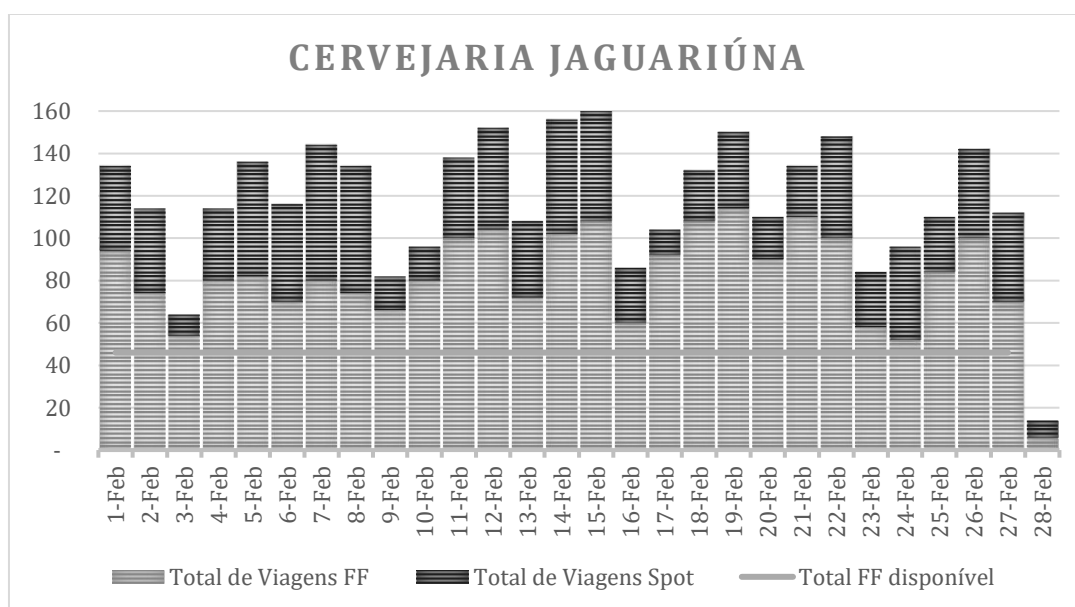


Gráfico 1 – Viagens realizadas a partir da cervejaria de Jaguariúna

Percebe-se que há mais viagens por dia do que caminhões disponíveis, o que já indica que um veículo pode ser utilizado mais de uma vez no mesmo dia. Além disso, nota-se um uso bem maior da frota fixa (cerca de 70% das viagens), mas com uma presença relevante da frota *spot*.

No gráfico 2, é possível ver a quantidade de horas utilizadas de cada dia para o transporte de produtos acabados, assim como a linha que delimita o total de horas disponíveis

no dia. As viagens que iniciam em um dia e terminam no dia seguinte foram consideradas, com uma distribuição dos horários entre os dois dias, permitindo maior confiabilidade à análise:

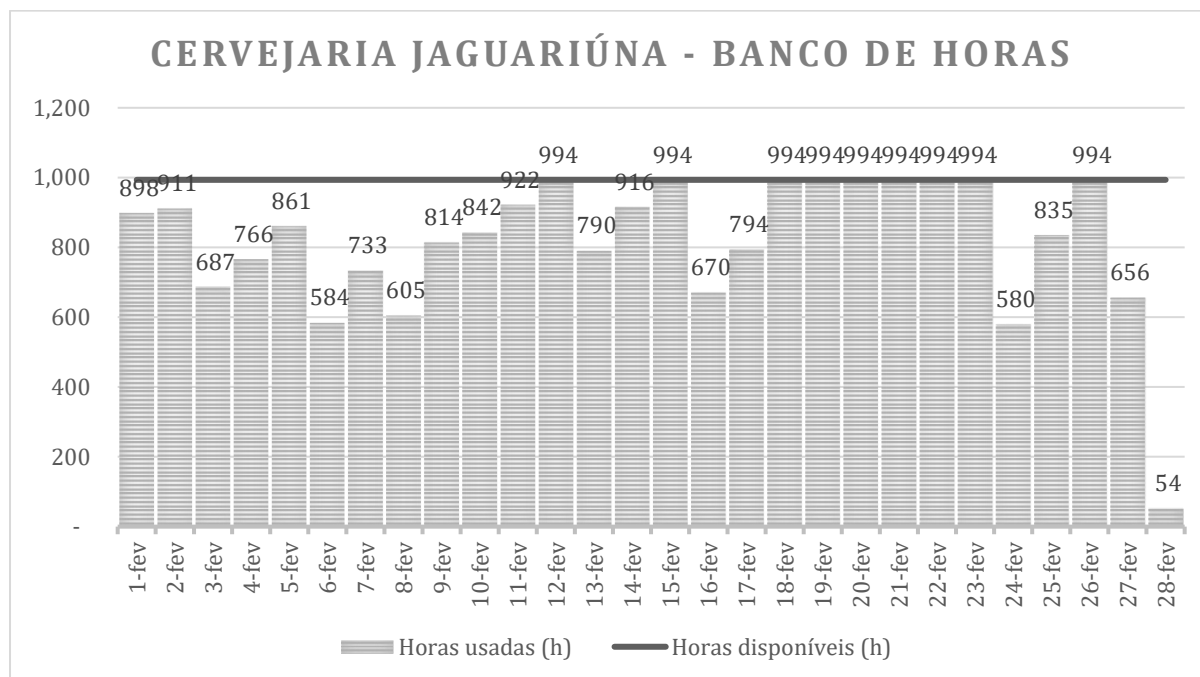


Gráfico 2 – Banco de horas da frota fixa da cervejaria de Jaguariúna

É notável que a disponibilidade de horas da frota fixa da cervejaria de Jaguariúna é restrita, sendo apenas 18% do tempo total disponível. Apesar disso, esta porcentagem representa cerca de 5.000 horas livres para que se possa realizar as concatenações, possibilitando a busca por eficiências com estes caminhões. Além disso, é importante notar que entre os dias 18 e 23 de fevereiro, houve o uso total das horas disponíveis, ressaltando a necessidade de se atentar aos possíveis picos de uso da frota, momentos os quais seria inviável utilizar o veículo para buscar insumos.

Já para o caso da cervejaria de Jundiá, ilustrado a seguir, há um total de 475 horas disponíveis por dia, visto que ela conta com apenas com 22 caminhões de frota fixa. No gráfico 3 podemos ver as viagens com origem nesta cervejaria, assim como no Gráfico 4, sendo nítida a diferença em volume de viagens comparada à cervejaria de Jaguariúna, a qual realiza, em média, 82 viagens de frota fixa por dia, o que representa o dobro da média de Jundiá.



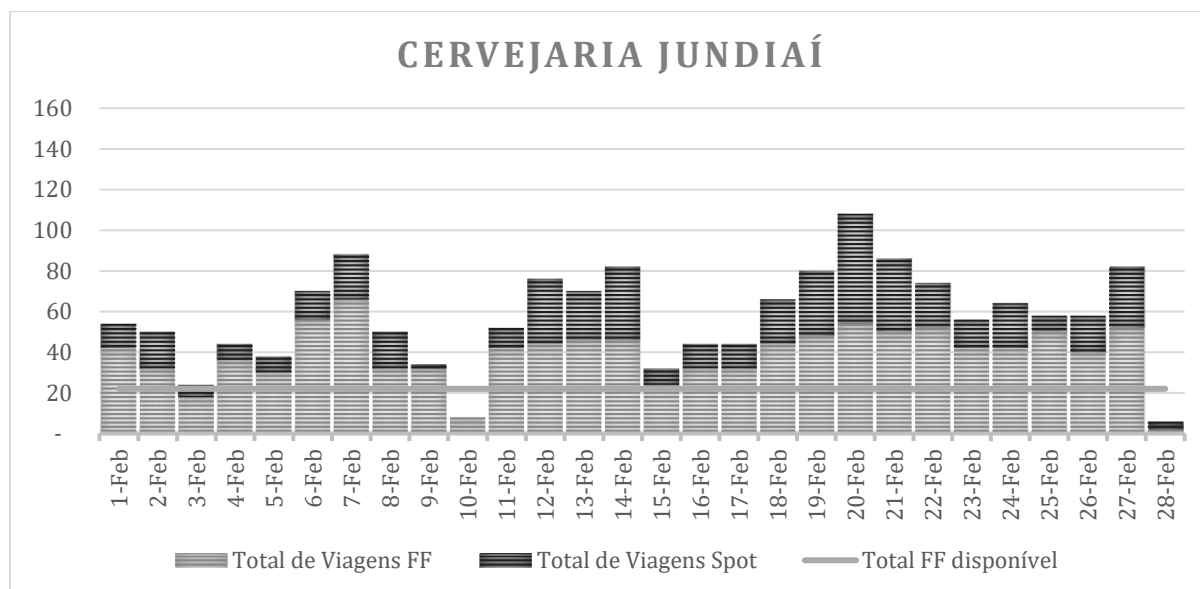


Gráfico 3 – Viagens realizadas a partir da cervejaria de Jundiaí

Além disso, ao se analisar o “Banco de Horas” da cervejaria de Jundiaí (Gráfico 4), nota-se que os dias apresentam muito mais horas de ociosidade dos caminhões, sendo 50% do tempo disponível não utilizado. Apesar dessa grande diferença de porcentagem de tempo ocioso se comparada com a cervejaria de Jaguariúna (18% de tempo livre), o total de horas disponível é apenas um pouco maior. No caso de Jundiaí, tem-se 6.600 horas disponíveis, enquanto Jaguariúna tem 5.000 horas, uma diferença de 32%, enquanto a primeira tem mais de o dobro de porcentagem de horas disponíveis que a segunda.

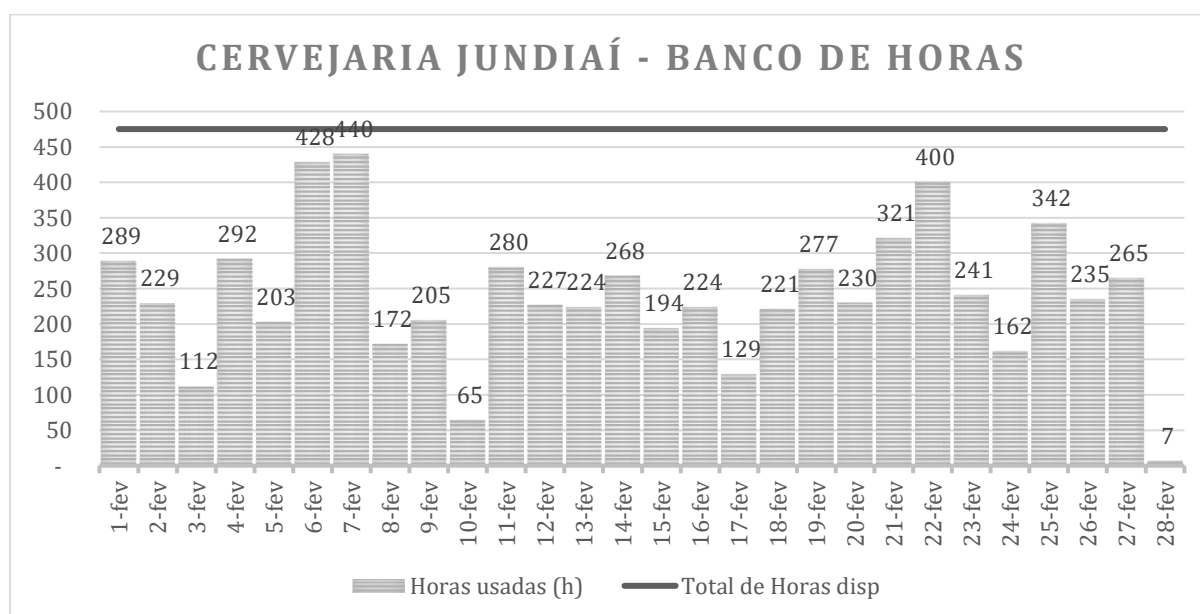


Gráfico 4 – Banco de horas da frota fixa da cervejaria de Jundiaí

Logo, com a análise de disponibilidade de tempo para os caminhões das duas cervejarias utilizadas como exemplo, foi possível identificar que ambas têm horas disponíveis para a concatenação de rotas. Apesar disso, este estudo apontou a necessidade de se avaliar melhor os momentos de pico de demanda da cervejaria de Jaguariúna, a qual tem dias com todo seu “banco de horas” sendo utilizado, o que inviabilizaria a mudança de rota nestes períodos.

### 7.3.2. ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ROTAS AB E CA

A partir do histórico de viagens realizadas, são identificadas as rotas AB e CA, que então são copiadas em diferentes abas auxiliares (nomeadas de *OrigemA\_aux* e *DestinoA\_aux*) para serem submetidas à análises referentes aos veículos e ao tipo de frota que as realizam, ao seu período de ocorrência e ao volume que é transportado em cada dia de viagem (expresso em quantidade de caminhões).

Assim, nessas abas auxiliares é identificado o tipo de caminhão que realizou cada viagem, por meio da quantidade de pallets transportados por veículo, é analisada a periodicidade de uma rota, a partir da diferença entre as datas de uma viagem e a seguinte e é calculado o volume médio de caminhões por dia de viagem. Além disso, para as rotas AB, é calculada a porcentagem de viagens realizadas com caminhões da frota spot em relação ao total de uma rota e são descartadas (ou não) essas viagens realizadas por spot, a depender do que foi optado pelo usuário.

As rotas AB que possuírem um percentual de viagens spot abaixo do limite imposto pelo usuário são classificadas como elegíveis e são copiadas para outra aba, nomeada de *OrigemA*, que irá concentrar a lista final de rotas AB para a concatenação. Já as rotas CA são copiadas para uma aba nomeada de *DestinoA*, porém, diferentemente das AB's, não são submetidas ao critério do percentual de viagens spot, uma vez que estas podem ser rotas que transportam insumos, assumidas pelo grupo como sendo rotas realizadas inteiramente por frota spot.

Nessas abas, os dados relacionados ao período de ocorrência e ao volume médio por dia de viagem são consolidados, gerando as seguintes características para cada rota:

- I. **Tipo de caminhão:** indica qual é o tipo de caminhão (normal ou bitrem) que realiza todas as viagens de uma rota - foi assumido como premissa que o tipo é constante ao longo das viagens.

- II. **Volume médio por dia de viagem:** indica quantos caminhões, em média, realizam uma rota, por dia de viagem em que ela ocorre.
- III. **Volume mínimo:** indica qual é a quantidade mínima de caminhões que realiza uma rota, por dia de viagem em que ela ocorre.
- IV. **Volume moda:** indica qual é a quantidade de caminhões que realiza uma rota, por dia de viagem em que ela ocorre, que mais aparece.
- V. **Coefficiente de variação do volume:** indica a variabilidade do valor do volume médio por dia de viagem. É obtido pela divisão dos valores do desvio padrão sobre a média.
- VI. **Período de ocorrência médio:** indica qual é o intervalo médio entre dias consecutivos de viagem de uma rota. Os valores de períodos menores do que 1 dia e maiores do que 30 dias fazem com que as rotas sejam desconsideradas na geração de ciclos.
- VII. **Período de ocorrência mínimo:** indica qual é o intervalo mínimo entre dias consecutivos de viagem de uma rota.
- VIII. **Período de ocorrência moda:** indica qual é o intervalo, entre dias consecutivos de viagem de uma rota, que mais aparece.
- IX. **Coefficiente de variação do Período de ocorrência:** indica a variabilidade do valor do período de ocorrência médio. É obtido pela divisão dos valores do desvio padrão sobre a média.
- X. **1º dia de viagem:** indica qual foi o dia (data e dia da semana) da 1ª viagem de uma rota dentro do período analisado. A partir dessa informação e do período de ocorrência médio é possível supor em qual momento da semana as viagens de uma rota irão acontecer (caso ele não possua um coeficiente de variação alto). Assim o usuário poderá analisar a aderência do período entre duas rotas que concatenam.

O valor do volume médio por dia de viagem será utilizado na formação dos ciclos para determinar a quantidade de veículos de uma rota AB que irão concatenar e buscar produtos de uma rota CA. Os demais dados atuarão para informar e suportar a decisão do usuário no momento das penalizações, apresentando características que expressam a previsibilidade e a confiabilidade de uma rota.

A viabilidade de operacionalização de um ciclo está diretamente ligada aos aspectos de previsibilidade e confiabilidade das rotas que o compõe. Estas podem ser analisadas a partir dos coeficientes de variação do período e do volume (de modo que, quanto menor os

coeficientes, mais favoráveis serão as condições de operação), porém as informações dos valores mínimos e da moda também contribuem para um diagnóstico melhor.

Na tabela e nos gráficos abaixo é possível ver alguns exemplos de rotas AB e CA analisadas nessa etapa. Os valores apresentados não consideram as viagens realizadas por caminhões do tipo spot e foram obtidos a partir da análise do histórico entre os meses de abril e junho de 2019.

Tabela 1 – Análise de rotas com baixo coeficiente de variação e baixo índice de frequência

<b>ROTA</b>	<b>260_956</b>	<b>260_230</b>	<b>260_619</b>
<b>TIPO DO CAMINHÃO</b>	NORMAL	NORMAL	NORMAL
<b>VOLUME MÉDIO</b>	1	8,3	X
<b>VOLUME MÍNIMO</b>	1	2	X
<b>VOLUME MODA</b>	1	9	X
<b>COEF. VOLUME</b>	0%	40%	X
<b>PERÍODO MÉDIO ENTRE VIAGENS</b>	8,2 DIAS	1,15 DIAS	X
<b>PERÍODO MÍNIMO</b>	2	1	X
<b>PERÍODO MODA</b>	3	1	X
<b>COEF. PERÍODO</b>	70%	34%	X
<b>1º DIA DA ROTA</b>	SEGUNDA-FEIRA	SEGUNDA-FEIRA	X

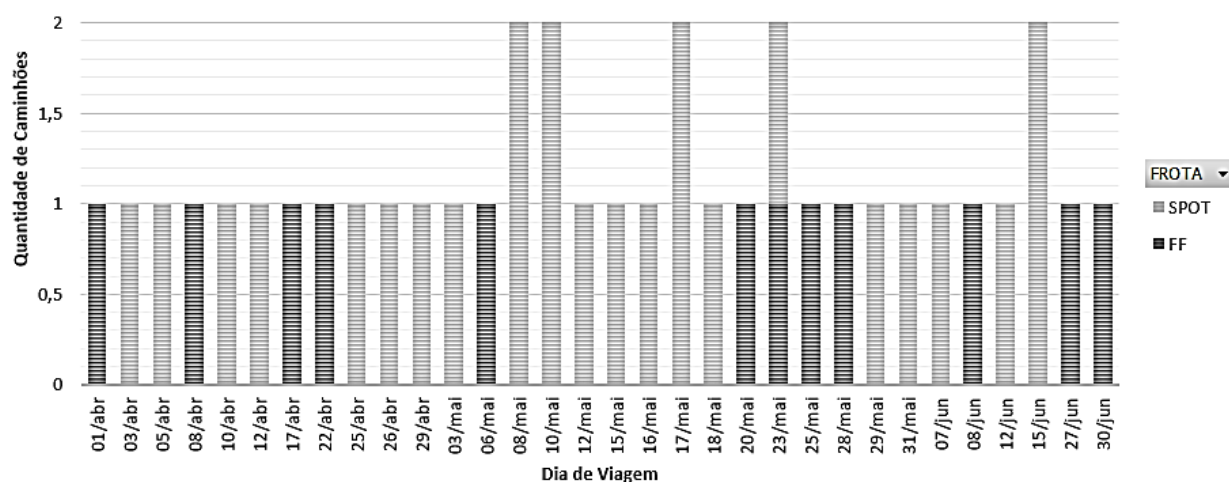


Gráfico 5 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí \_ CDD Ribeirão Preto (260\_956)

A rota 260\_956 se refere ao trajeto de produtos acabado da Cervejaria de Jacareí até o Centro de Distribuição de Ribeirão Preto. O volume médio de caminhões que realizam essa rota por dia de viagem é de 1, assim como o volume mínimo e a moda, e o coeficiente de variação do volume é 0%, portanto, observa-se grande regularidade nesse aspecto. Em relação ao período de ocorrência, tem-se que o valor médio é de 8,2 dias, porém o período mínimo é de 2 dias, a moda é de 3 dias e o coeficiente de variação é de 70%, um valor alto, que afeta a previsibilidade de ocorrência dessa rota.

Diante desse cenário, programar uma concatenação regular a partir dela pode ser arriscado, podendo fazer com que, em algum momento, um produto em CA deixe de ser buscado. Sendo assim, ciclos gerados a partir dessa rota provavelmente irão exigir um monitoramento maior.

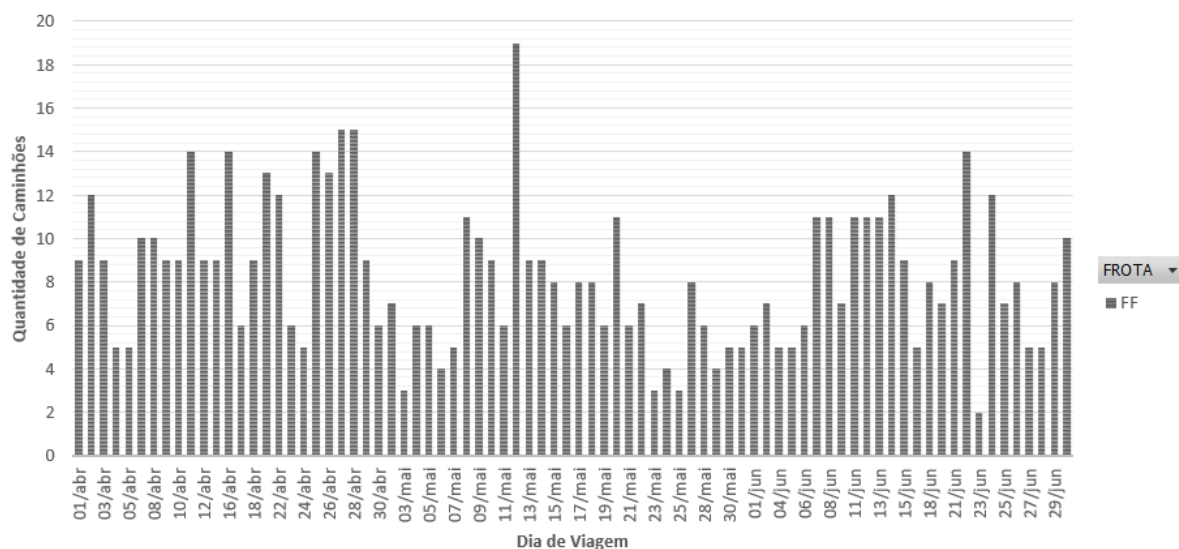


Gráfico 6 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí \_ CDD Campinas (260\_230)

Já para a rota 260\_230, referente ao trajeto de produtos acabados entre a Cervejaria de Jacareí e o Centro de Distribuição de Campinas, observa-se uma variabilidade maior no volume médio por dia de viagem. Mesmo assim, a partir do volume mínimo é possível assumir certa confiabilidade sobre o fato de que sempre haverá ao menos 2 caminhões realizando o trajeto, em dia de viagem da rota. Em relação ao período de ocorrência, pode-se considerar que as viagens ocorrem diariamente. Com isso, tem-se grande confiabilidade e previsibilidade, favorecendo a concatenação com outras rotas – todos os dias haverá 2 caminhões que saem de Jacareí e vão à Campinas.

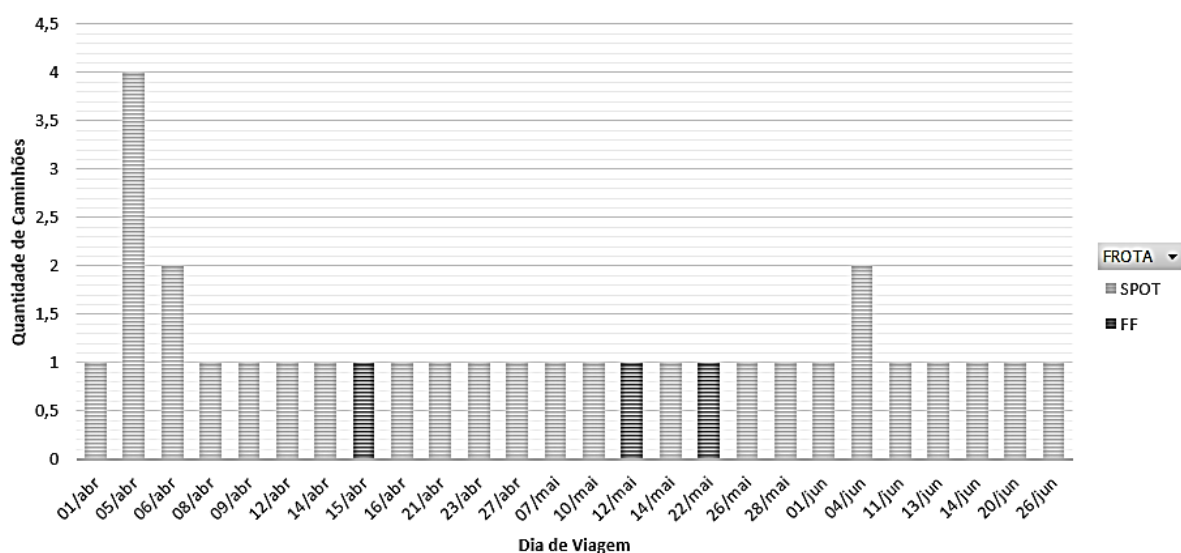


Gráfico 7 - Fluxo de caminhões da rota Cervejaria Jacareí \_ CDD Curitiba (260\_619)

A rota 260\_619, referente ao trajeto entre a Cervejaria de Jacareí e o Centro de Distribuição de Curitiba, apesar de aparentar, pelo gráfico, possuir uma boa regularidade em seu volume e período de ocorrência médios, não possui dados característicos. Isso porque seu percentual de viagens realizadas por spots é de 90% - valor acima do que foi determinado para essa análise - fazendo com que ela se tornasse inelegível para a concatenação (logo, essa rota não chegou a ser copiada para a aba *OrigemA*).

### 7.3.3. ANÁLISE DE CUSTOS

Neste estudo, a análise dos custos de transporte terá como foco o cálculo do chamado *saving*, que pode ser entendido como a economia possível de ser feita com a concatenação de rotas. Esse valor será obtido a partir da variação dos custos variáveis e spot dos ciclos gerados, cujas composições se encontram descritas abaixo.

Globalmente, pode-se dividir os custos de transporte em duas categorias: custos fixos e custos variáveis. Os primeiros, para o presente trabalho, compreendem os custos com equipamentos (cavalo e carreta) e motoristas. Os valores utilizados são mensais, ou seja, utiliza-se o custo do cavalo e das carretas de 28 e 42 pallets ao mês, bem como o salário dos motoristas para cada uma das duas frotas. Esses podem, portanto, ser diluídos pelo o número de viagens feitas para que o gasto total por viagem seja obtido.

Ainda, segundo um dos modelos de custo de transporte desenvolvidos pela NTC – Associação Nacional das Empresas de Transporte, os custos fixos mensais são compostos por:

Tabela 2 – Composição do custo fixo segundo um dos modelos da NTC

Custo por hora parada (230 h/mês, sem administração)
Custo por dia parado (30 dias, sem administração)
a - Remuneração de capital
b - Salário do motorista
c - Salário de oficina
d - Reposição do veículo
e - Reposição da carroceria
f - Licenciamento
g - Seguro do casco do veículo
h - Seguro do Equipamento
i - Seguro de responsabilidade civil facultativa

Já os custos variáveis estão diretamente relacionados com os quilômetros rodados. Sua composição pode ser feita da seguinte forma:

- a) Lucro variável
- b) Salário variável
- c) Pedágio
- d) Seguro
- e) Manutenção do cavalo
- f) Manutenção da carreta
- g) Pneus
- h) Lavagem
- i) Diesel
- j) Impostos

A rigor, o custo de uma viagem deve ser composto pela parcela fixa somada à variável. Entretanto, para as considerações deste trabalho, os custos fixos não serão analisados de

maneira aprofundada, pois a premissa de que os mesmos não irão mudar foi adotada. Isso ocorre uma vez que o número de caminhões e de motoristas é mantido e o rearranjo das viagens altera a diluição dos custos fixos, mas nenhum ganho monetário real é obtido neste sentido.

Finalmente, para o cálculo do custo de viagens feitas por frota spot, foi utilizada a tabela de fretes de Transporte Rodoviário de Carga Lotação da ANTT (Agência Nacional De Transportes Terrestres). Nela foram encontrados os valores de referência para o deslocamento, carga e descarga dos diferentes tipos de insumo.

Tabela 3 – Coeficientes Dos Pisos Mínimos De Transporte Rodoviário De Carga (Transporte Rodoviário De Carga Lotação)

Tipo de carga	Coeficiente de custo	unidade	Número de eixos da composição veicular						
			2	3	4	5	6	7	9
Granel sólido	Deslocamento (CCD)	R\$/km	1,7188	2,1436	2,6185	2,9912	3,4405	3,8479	4,3914
	Carga e descarga (CC)	R\$	102,18	199,48	232,38	239,58	279,69	310,60	346,57
Granel líquido	Deslocamento (CCD)	R\$/km	1,7598	2,1930	2,6643	3,0551	3,5406	3,9331	4,4617
	Carga e descarga (CC)	R\$	105,81	208,02	234,19	246,83	297,81	324,24	355,74
Frigorificada	Deslocamento (CCD)	R\$/km	2,0316	2,5038	3,0403	3,5999	4,0339	4,4901	5,1492
	Carga e descarga (CC)	R\$	122,26	234,40	259,94	316,63	356,74	380,05	423,16
Conteinerizada	Deslocamento (CCD)	R\$/km		2,1334	2,6064	3,0033	3,4525	3,8237	4,3672
	Carga e descarga (CC)	R\$		196,40	228,75	243,21	283,31	303,35	339,33
Carga Geral	Deslocamento (CCD)	R\$/km	1,7157	2,1334	2,6064	3,0033	3,4525	3,8237	4,3672
	Carga e descarga (CC)	R\$	101,63	196,40	228,75	243,21	283,31	303,35	339,33
Neogranel	Deslocamento (CCD)	R\$/km	1,7157	2,1334	2,6064	3,0033	3,4525	3,8237	4,3672
	Carga e descarga (CC)	R\$	101,63	196,40	228,75	243,21	283,31	303,35	339,33
Perigosa (granel sólido)	Deslocamento (CCD)	R\$/km	2,2309	2,6557	3,1514	3,5241	3,9734	4,3834	4,9269
	Carga e descarga (CC)	R\$	165,26	304,61	340,59	347,80	387,90	419,59	455,57
Perigosa (granel líquido)	Deslocamento (CCD)	R\$/km	2,3021	2,7415	3,1961	3,6401	4,1400	4,5519	5,0968
	Carga e descarga (CC)	R\$	178,08	330,33	353,99	382,57	437,90	470,14	506,54
Perigosa (carga frigorificada)	Deslocamento (CCD)	R\$/km	2,4251	2,8973	3,4426	4,0022	4,4362	4,8959	5,5549
	Carga e descarga (CC)	R\$	166,99	308,96	338,49	395,19	435,30	459,62	502,73
Perigosa (containerizada)	Deslocamento (CCD)	R\$/km		2,3684	2,8622	3,2591	3,7084	4,0822	4,6257
	Carga e descarga (CC)	R\$		263,41	298,84	313,30	353,40	374,22	410,20
Perigosa (carga geral)	Deslocamento (CCD)	R\$/km	1,9508	2,3684	2,8622	3,2591	3,7084	4,0822	4,6257
	Carga e descarga (CC)	R\$	141,84	263,41	298,84	313,30	353,40	374,22	410,20

Fonte: Agência Nacional De Transportes Terrestres – ANTT

A tabela 3 apresenta valores por tipo de carga e número de eixos da composição veicular. Todavia, os insumos transportados em cada uma das rotas não estão especificados na base de dados, o que leva à adoção de um valor médio de frete. Ressalta-se ainda que os veículos da frota fixa de 28 pallets possuem 6 eixos enquanto os de 42 pallets possuem 9 e que esses valores de frete serão usados no simulador para o cálculo do custo das viagens CA.

Todos os custos descritos acima serão levados em consideração para o cálculo do chamado *saving*. Esse valor busca mostrar o real ganho que a empresa pode ter ao substituir



viagens spot por viagens da frota fixa concatenadas. A lógica de cálculo utilizada pelo simulador se encontra descrita abaixo, lembrando que apenas os custos variáveis serão de fato contabilizados.

$$Saving = CR_{Depois\ da\ Concatenação} - CR_{Antes\ da\ Concatenação}$$

$$CR_{Depois\ da\ Concatenação} = Custo\ Variável\ por\ km_{Pallets}^{Geo} * Distância\ percorrida_{ABC}$$

$$CR_{Antes\ da\ Concatenação} = CR_{variável}^{AB} + CR_{SPOT}^{CA}$$

$$CR_{SPOT}^{CA} = Distância\ percorrida_{CA} * CCD + CC$$

Equações 1 - Cálculo dos Custos das Rotas

Onde:

- CR: Custo da Rota
- $Custo\ Variável\ por\ km_{Pallets}^{Geo}$  : Custo variável calculado da rota AB;
- $CR_{variável}^{AB}$  : Custo variável histórico da rota AB;
- $CR_{SPOT}^{CA}$  : Custo da rota CA calculado a partir da tabela de fretes da ANTT;
- CCD: Coeficiente de custo de deslocamento;
- CC: Carga e Descarga;

De maneira detalhada, o *saving* será obtido a partir da diferença entre o valor calculado para a rota ABC e os valores considerados das rotas AB mais CA. O novo valor da rota ABC concatenada é obtido pela multiplicação da distância ABC percorrida pelo custo médio por quilômetro da região em questão. O custo da rota AB é obtido pela base histórica de viagens, enquanto o custo da rota CA é calculado a partir da distância entre os pontos e dos valores de frete da ANTT mostrados na tabela 3.

### 7.3.3.1. CUSTO VARIÁVEL POR QUILOMETRO

A análise de custos variáveis foi feita de forma independente a partir da base de dados da composição dos custos da empresa para as frotas fixas de 28 e 42 pallets e para cada uma das cinco regiões definidas, identificadas como “Geo”. Ela consiste em uma regressão linear

simples com os dados de custo variável por viagem e distância percorrida, que resultam em uma equação de primeiro grau do tipo:

$$y = \alpha x + \beta$$

Equação 2 – Equação da regressão linear simples

Onde:

- $\alpha$ : coeficiente angular da reta de regressão linear simples
- $\beta$ : variável independente da reta de regressão linear simples

Aplicando ao caso dos custos variáveis em análise, tem-se:

$$\text{Custo Variável Total} = \text{Custo Variável por Quilômetro} * \text{Distância Percorrida} + 0$$

Equação 3 – Equação do custo variável calculado pela equação 2

Isso ocorre pois, a rigor, quando nenhum quilômetro é percorrido, o custo variável total é zero ( $y = \beta = 0$ ) e o custo fixo é mantido. Sabe-se ainda que a correlação entre o custo variável por viagem e a distância percorrida é extremamente elevada, da ordem de 0,98 e que  $\alpha$  é obtido de forma a minimizar a soma dos quadrados residuais do modelo, isto é, as distâncias entre os pontos verticais do conjunto de dados e a linha reta devem ser tão pequenas quanto possível.

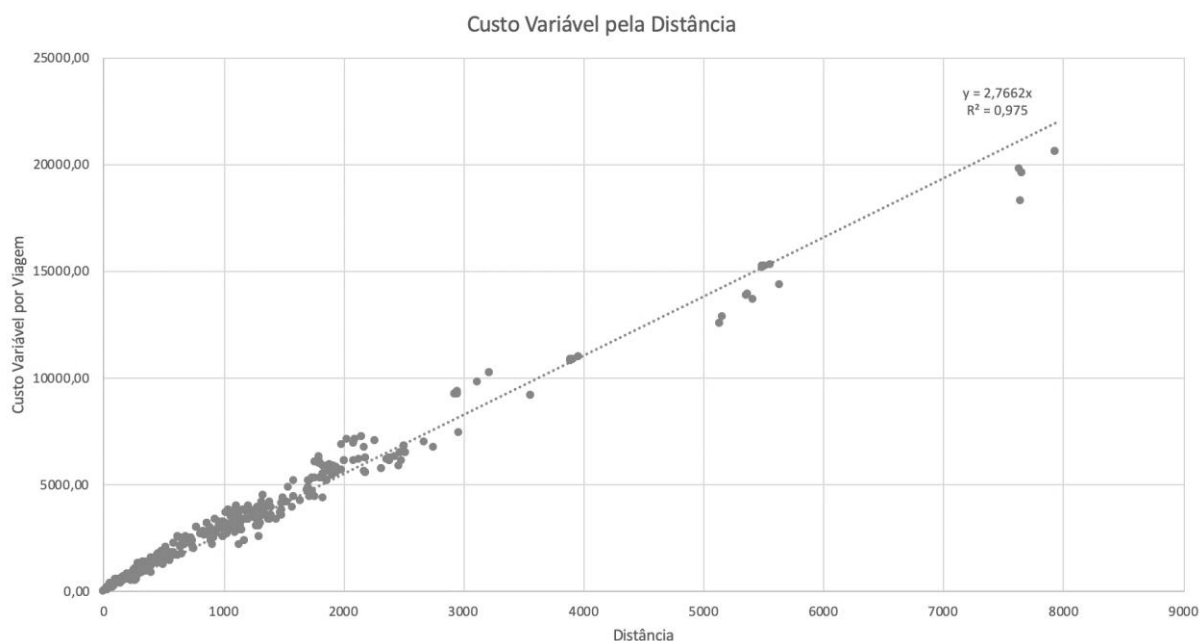


Gráfico 8 – Regressão Linear Simples (Custo variável x Distância) para a região Sudeste (SE) e frota fixa de 28 pallets

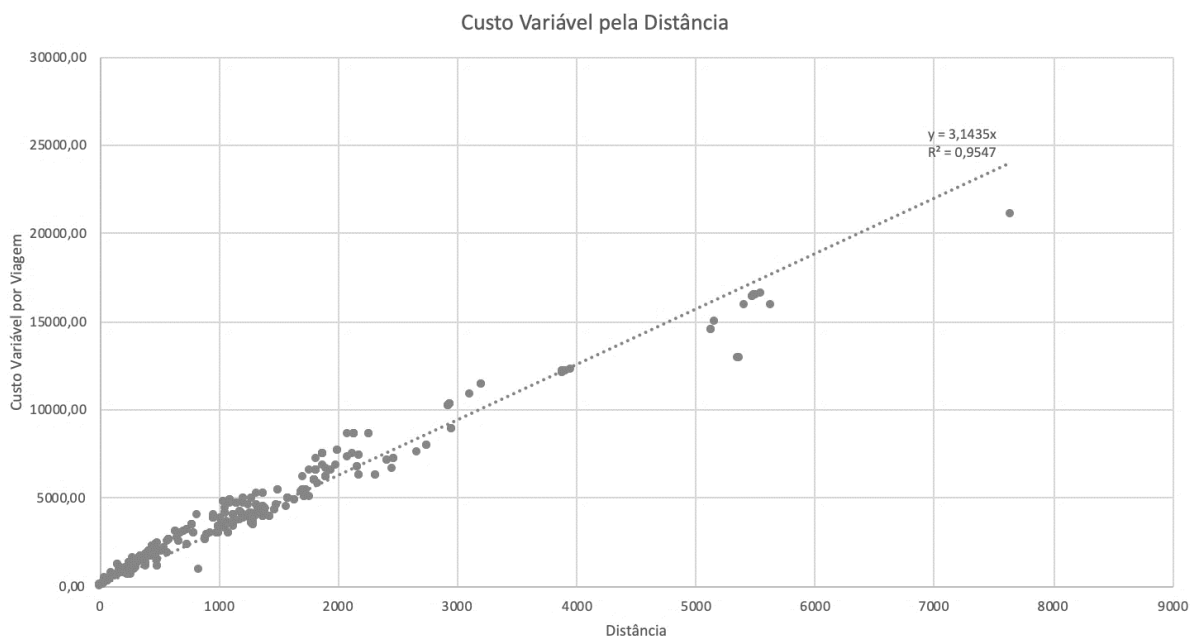


Gráfico 9 – Regressão Linear Simples (Custo variável x Distância) para a região Sudeste (SE) e frota fixa de 42 pallets

### 7.3.3.2. CONSIDERAÇÕES PARA CUSTOS

Os valores de custo variável médio por quilômetro foram definidos a partir de um conjunto de dados não exaustivo e a presença de alguns valores atípicos pode reduzir a precisão dos resultados obtidos.

O *saving* calculado pode ser entendido como a economia conseguida com a substituição da frota spot pela frota fixa, mesmo que as distâncias percorridas sejam maiores.

## 7.4. GERAÇÃO DE CICLOS

Para a geração dos ciclos concatenados, foi necessário adotar diversos fatores que limitassem as possibilidades de concatenação, proporcionando rotas operacionais. Com isso, foram adotados quatro fatores de exclusão, citados na sequência do relatório, o que possibilitou um filtro adequado das rotas e criando ciclos de características similares.

### 7.4.1. DISTÂNCIA DO NOVO TRECHO DO CICLO

O primeiro critério de exclusão adotado foi referente à distância do novo trecho concatenado, quando o caminhão se desloca do primeiro destino, após ter sido descarregado, para buscar insumos.

Neste caso, o critério adotado foi que a rota seria desconsiderada caso o novo trecho percorrido fosse maior que a distância entre o primeiro deslocamento e o terceiro deslocamento

somados. Isto significaria uma situação em que o caminhão percorre mais tempo ocioso do que carregado, o que foi considerado como uma viagem pouco eficiente em reuniões com a S.A..

### **7.4.2. TEMPO DO CICLO**

O segundo critério adotado para a exclusão de rotas foi o tempo total do ciclo concatenado. Quanto a este ponto, o limitante são as horas máximas que os motoristas podem trabalhar continuamente, sabendo-se que o limite é de três motoristas por caminhão.

Segundo a norma, um caminhoneiro pode trabalhar no máximo 10 horas e 30 minutos, considerando que, neste período, sejam feitas pausas que totalizem 1 hora e 30 minutos. Com isso, sabemos que cada motorista pode dirigir por 9 horas durante o ciclo, limitando o ciclo a ter, no máximo, 27 horas de duração. Neste contexto, todas as rotas concatenadas que tivessem duração superior a 27 horas seriam desconsideradas nas análises.

### **7.4.3. VOLUME DE CAMINHÕES DO CICLO**

A formação de um ciclo a partir de uma rota AB com outra CA implica na análise de quantos caminhões que realizam AB irão concatenar e de quanto, da carga que é transportada em CA, será retirada por eles. Essa análise é feita pelas informações do volume médio por dia de viagem e do tipo de caminhão (normal ou bitrem).

Para concatenações entre rotas que são realizadas por um mesmo tipo de caminhão, o menor valor entre os volumes médios por dia de viagem de AB e CA é adotado como volume do ciclo. A rota de maior volume, portanto, ficará com caminhões disponíveis para realizar outras concatenações.

Já para concatenações entre rotas que são realizadas por diferentes tipos de caminhões, uma análise mais complexa é realizada. Primeiramente é necessário definir uma unidade comum de comparação entre a capacidade de caminhões dos tipos normal e bitrem. Sabendo que um caminhão normal consegue transportar 28 pallets e um bitrem consegue transportar 42, o grupo assumiu o valor de 1,4 como fator de conversão, assim, de maneira simplificada, um caminhão bitrem equivale a 1,4 caminhão normal.

Ainda dentro desse cenário, com os volumes já convertidos para uma mesma unidade, há duas situações: o volume médio por dia de viagem de AB é maior do que o de CA ou o oposto. Na primeira toda a carga transportada em CA conseguirá ser retirada com o ciclo ABC, porém nem todos os caminhões que realizam AB necessariamente serão utilizados nele e ainda poderá haver situações de subutilização do caminhão.

Enquanto isso, na segunda situação, nem toda a carga transportada em CA conseguirá ser retirada com o ciclo ABC e é possível que todos os caminhões que realizam AB sejam utilizados nele, porém foi estabelecida pelo grupo uma restrição que não permite que frações de carga (que não preencham a total capacidade de pelo menos 1 caminhão – independente do seu tipo) sejam deixadas no ponto C. Caso um ciclo resulte nessa situação, ele é desconsiderado.

Abaixo seguem alguns exemplos dos cenários descritos acima, com ciclos ABC.

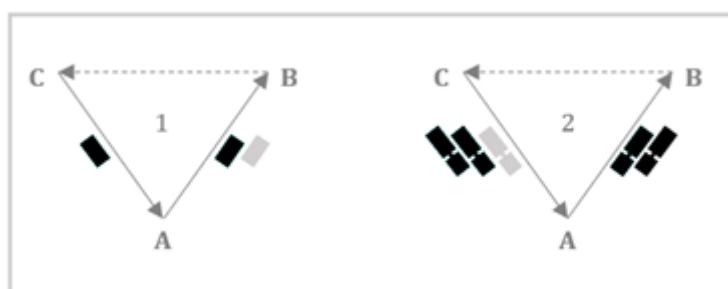


Figura 8 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas pelo mesmo tipo de caminhão

Os ciclos (1) e (2) ilustram concatenações entre rotas que são realizadas pelo mesmo tipo de caminhão. Em (1) o volume médio por dia de viagem de AB é maior do que de CA, que atua como limitante do volume do ciclo. Já em (2), o volume limitante é o de AB, fazendo com que reste, em CA, a carga equivalente à 1 caminhão bitrem para ser retirada com outra concatenação ou com o próprio caminhão original da rota.

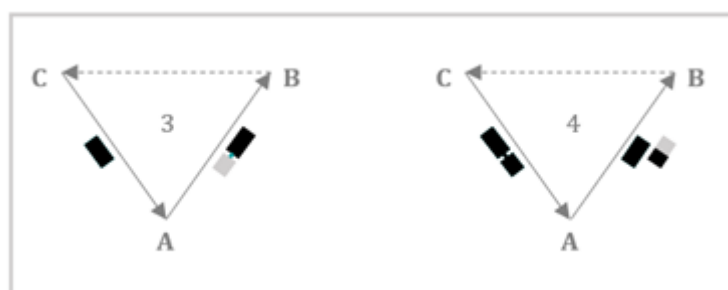


Figura 9 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas por tipos diferentes de caminhão: volume AB maior do que o volume CA

Os ciclos (3) e (4) ilustram concatenações entre rotas que são realizadas por diferentes tipos de caminhão e apresentam o volume médio por dia de viagem de AB maior que o de CA. Em (3), o volume de AB é de 1,4 caminhão e o de CA é de 1. Desse modo, toda a carga de CA

é retirada pelo caminhão de AB, que fica com a sua capacidade subutilizada (equivalente à 0,4 caminhão). Em (4), o volume de AB é de 2 caminhões, e o de CA é de 1,4. Os dois caminhões de AB são utilizados na concatenação, porém um deles fica subutilizado para retirar a carga total de CA.

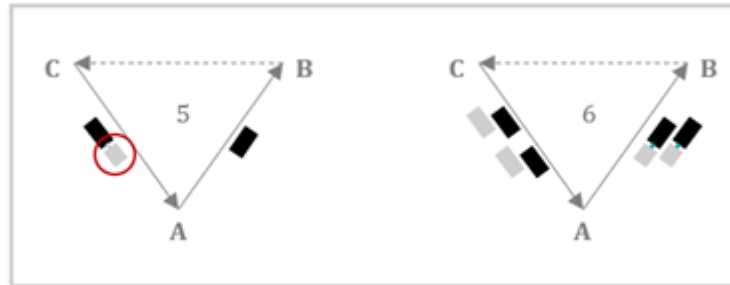


Figura 10 - Ilustração de ciclos formados por rotas realizadas por tipos diferentes de caminhão: volume AB menor do que o volume CA

Os ciclos (5) e (6) ilustram concatenações entre rotas que são realizadas por diferentes tipos de caminhão, porém apresentam o volume médio por dia de viagem de CA maior que o de AB. Em (5), o volume de CA é de 1,4 caminhão e o de AB é de 1. Caso a concatenação seja realizada e o caminhão de AB busque o equivalente a 1 caminhão de carga de CA, irá restar 0,4 caminhão de carga em CA, violando a restrição estabelecida. Desse modo, o ciclo (5) deve ser desconsiderado. Já no ciclo (6), o volume AB é de 2,8 caminhões e o de CA é de 4. Os dois caminhões do tipo bitrem de AB são concatenados e retiram o equivalente à 2 caminhões normais de CA, deixando quantidades inteiras de carga para serem retiradas por outros ciclos ou pelos caminhões originais da rota.

#### 7.4.4. SAVING

O último, mas não menos importante critério de exclusão é o *saving* da rota. Uma vez que esse valor representa a economia conseguida com a concatenação das rotas, estabeleceu-se que esse valor deve ser maior que zero, significando que as rotas que se tornarem mais caras após uma possível concatenação não serão levadas em consideração na etapa final do simulador. O cálculo deste valor se encontra detalhadamente descrito no item 5.3.3 acima.

## 7.5. COMBINAÇÃO DOS CICLOS

Para realizar a análise de redução de custo logístico que pode ser obtida em cada base, foi adotada uma solução que utiliza o *Solver* para determinar a solução ótima. O *Solver* é uma ferramenta disponível no *Excel* para análises que visam maximizar, minimizar ou atingir um valor determinado a partir da variação de alguns valores, podendo-se adotar inúmeras restrições de cálculo.

Esta ferramenta foi considerada ideal para o exercício em questão, visto que ela consegue fornecer uma combinação otimizada de rotas que maximizem os *savings* e considerando as restrições necessárias para isso. A estrutura utilizada para realizar o processamento será detalhada a seguir.

### 7.5.1. OTIMIZAÇÃO

A estrutura utilizada para a análise de otimização com o *Solver* (ferramenta *OpenSolver* – extensão do *Excel*) está demonstrada na imagem a seguir.

		Pontos B		Pontos C					
		Horas consumidas – caminhão Normal	Horas consumidas – caminhão Bitrem	Quantidade de caminhões utilizados em AB para 1 ciclo	Quantidade de caminhões utilizados em AB para 1 ciclo	Quantidade de carga retirada de CA para 1 ciclo	Quantidade de carga retirada de CA para 1 ciclo	Saving (R\$) para 1 ciclo	Quantidade de ciclos
Ciclos ABC									
Ciclos ABC									
Ciclos ABC									
Ciclos ABC									
Ciclos ABC									
Utilizado na Combinação									
Restrição									
		Limite de horas disponíveis na base de caminhão normal		Limite de horas disponíveis na base de caminhão bitrem		Limite de caminhões que realizam uma rota AB no período de análise			Limite de caminhões que realizam uma rota CA no período de análise

Figura 11 – Problema matricial resolvido pelo *Solver*

Inicialmente, na coluna da esquerda, estão identificadas as rotas concatenadas, contendo uma Cervejaria ou CDR como ponto de partida, seguido de um CDD e por fim um fornecedor, na maioria dos casos. Já nas duas colunas seguintes, a estrutura apresenta, para cada rota, quantas horas disponíveis seriam consumidas do banco de horas caso o ciclo fosse realizado, separando as horas de caminhões do tipo “normal” e do tipo bitrem. Estas duas colunas têm

como restrição o banco de horas disponíveis para cada tipo de veículo na sua base, ou seja, na última linha desta coluna, está indicado o limitante de horas que estes caminhões podem circular para atingir o máximo de horas disponíveis.

A partir da próxima coluna, temos uma sequência com as colunas dos pontos que são o primeiro destino do ciclo e o segundo destino do ciclo. Nesta coluna deve estar indicado se a linha em questão passa pelo determinado ponto, consumindo tanto uma viagem de entrega de PA quanto uma viagem de busca de insumo. Estas colunas são limitadas pela necessidade da Cervejaria ou CDR de entregar produtos e de buscar insumos, visto que um caminhão da frota não partirá em viagem se ele não necessitar entregar algo e não irá passar por um fornecedor caso ele não precise buscar nenhum material, o que limita o número de viagens a serem realizadas para cada destino.

Na penúltima coluna temos a parte de *savings* que cada rota pode gerar a cada concatenação realizada. O valor indicado é referente a 1 ciclo realizado e deve ser multiplicado pelo total de vezes que essa rota for ser realizada. A última linha desta coluna deve ser o total de *savings* gerados com a concatenação de rotas da Cervejaria ou CDR, sendo este valor a ser maximizado quando o *Solver* for processado.

Por fim, temos a coluna de variáveis que a ferramenta deve alterar para atingir a maior redução de custos. Esta coluna representa o número de vezes que cada concatenação deve ser realizada considerando o período de análise selecionado. Ao variar estes valores (utilizando apenas número inteiros, por se tratar de viagens a serem realizadas), o *Solver* estará consumindo as horas disponíveis para concatenação de rotas da Cervejaria/CDR, assim como o número de entregas/coletas a serem realizadas. Estes dois aspectos limitam o total de concatenações de cada rota, limitando o resultado de redução de custo.

Por fim, o *Solver* fornece a combinação ideal de ciclos por rota a serem realizados, assim como o impacto financeiro total que isto trará para a S.A.. Apesar disso, os resultados poderão ser alterados em uma segunda interação com o simulador, a qual será descrita no capítulo seguinte.

### **7.5.2. PENALIZAÇÕES**

A etapa de penalização consiste em uma iteração do simulador para o aprimoramento da proposta final de concatenação de rotas. Nela, a participação do usuário é fundamental e o que se busca é uma maior aproximação com a realidade dos custos percebido pela empresa por meio de seu histórico e experiência.



O simulador desenvolvido propõe rotas de maneira a maximizar o *saving* total conseguido. Esse valor é calculado com base em um valor médio de frete por quilometro por tipo de caminhão e por região. Entretanto, essa simplificação adotada pode divergir bastante do custo real para algumas rotas, uma vez que as condições de viagem dos diferentes pontos podem ser bastante distintas.

Busca-se, então, refletir no novo *saving* a ser utilizado pelo solver fatores como os mostrados pela pesquisa realizada anualmente pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) sobre as diferentes condições da malha pavimentada para todo o Brasil. Suas pesquisas mostram que, para o ano de 2019 por exemplo, 20% das estradas do Sudeste se encontram em más condições. Sabe-se ainda que se uma rodovia tem problemas, o consumo de combustível e o desgaste dos veículos são maiores, o que gera um aumento dos custos de transporte. Além disso, há a questão dos acidentes rodoviários, que podem ocasionar o aparecimento de elevados custos adicionais e até mesmo a perda de vidas.

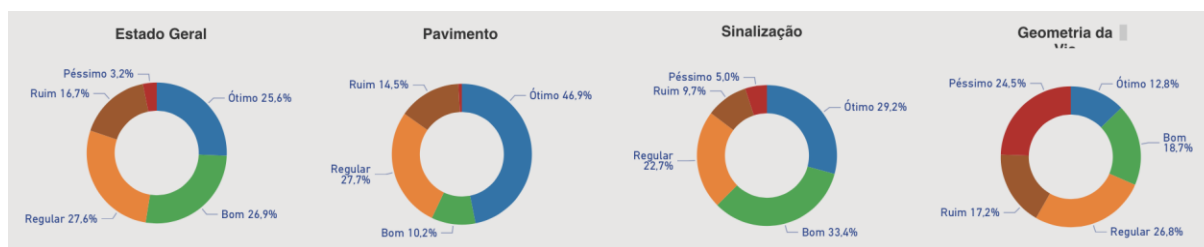


Figura 12 - Pesquisa CNT de rodovias 2019 - extensão total da região Sudeste

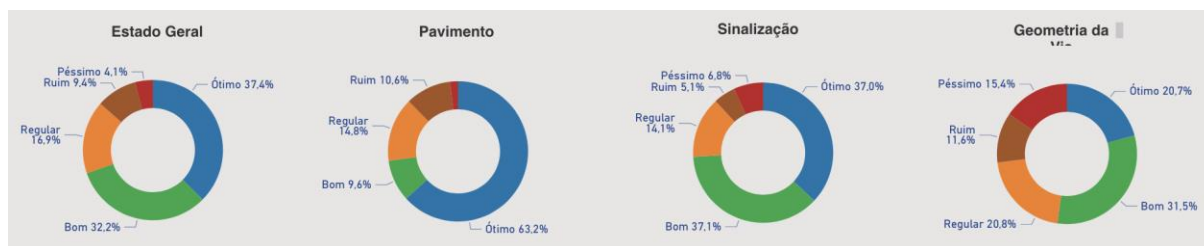


Figura 13 - Pesquisa CNT de rodovias 2019 - extensão total do estado do Rio de Janeiro

As duas imagens a seguir são um exemplo desta realidade. Enquanto em Jacareí, local de uma das fábricas da S.A., as estradas possuem múltiplas faixas de rolamento e elevada velocidade permitida, em Mogi Mirim, local de um CDD da empresa, a malha pavimentada não apresenta as mesmas características. Além de apenas metades das faixas, a velocidade máxima de rolamento é de 50km/h.



Figura 14 – Trecho da malha pavimentada em Jacareí (SP)



Figura 15 – Trecho da malha pavimentada em Mogi Mirim (SP)

Outros motivos pelos quais a fase de penalização pode ser importante são os tempos de fila ou de carregamento e descarregamento excepcionalmente longos, que podem desarranjar a logística pensada para a rota; um histórico de custos consistente capaz de evidenciar que os custos variáveis de uma dada rota são na realidade muito diferentes dos custos médios adotados; a impossibilidade de realização da rota prevista por conta do produto levado, dado que alguns insumos ou produtos são incompatíveis com os caminhões da frota fixa gerida pela empresa; a necessidade de um treinamento complementar para os motoristas, que são inicialmente capacitados para atuar em uma dada região e podem se ver alocados em uma rota que ultrapassa os limites dessa última; entre outras dificuldades operacionais gerais.

Pode-se adicionar a isso fatores externos como uma possível incapacidade dos fornecedores de se adaptarem às novas condições de periodicidade e volume das rotas, o que impossibilitaria a concatenação prevista, ou ainda um histórico de congestionamento de tráfego percebido em determinadas áreas, o que alteraria consideravelmente o *lead time* calculado.

No que diz respeito à sua performance dentro do simulador, a penalização ocorre após a execução da otimização via *OpenSolver* e obtenção da primeira proposta de combinação de ciclos. Neste ponto, o usuário será convidado a fazer modificações manuais nos valores dos *savings* de input, de forma a reduzi-los para as rotas menos viáveis a serem desfavorecidas ou

aumentá-los para as rotas a serem priorizadas. Essa decisão poderá ser tomada tendo como suporte uma série de informações calculadas e mostradas para o usuário, como por exemplo os volumes e períodos dos ciclos, com seus respectivos coeficientes de variação, entre outros.

### **7.5.3. SOLUÇÃO FINAL**

Enfim, como resultado, o simulador propõe a combinação de ciclos concatenados que maximiza a economia nos custos de transporte de uma determinada base. Desta forma, o usuário é capaz de ver os ciclos ABC que devem ser adotados e a quantidade de vezes que a concatenação pode ser feita ao longo do período analisado.

Juntamente a isso é fornecido o valor total do *saving* proporcionado pela combinação, a quantidade de motoristas necessária (dentro do veículo) para realizar cada ciclo, o tipo de caminhão que realiza o ciclo e a quantidade de quilômetros que deixam de ser rodados pela eliminação de viagens improdutivas.

## 8. RESULTADOS

Com o simulador pronto, foram processados os resultados para duas Cervejarias distintas com o intuito de visualizar os resultados que a concatenação de rotas pode gerar para a S.A..

Para ambas as análises, foram adotados alguns parâmetros iguais, sendo eles:

- Período de análise: 3 meses, de abril a junho de 2019
- Considerar os domingos: sim
- Spot aceitáveis por rota: 80%
- Considerar viagens spot: não
- Fator de produtividade: 0,94
- Fator de segurança: 1,20
- Velocidade média do caminhão: 55 km/h
- Pallets por caminhão normal: máx 35 pallets
- Conversão bitrem x normal: 1 bitrem = 1,4 normal

A partir destas características, o simulador processa todos os dados descritos nos capítulos anteriores e fornece os resultados indicados a seguir.

### 8.5. ESTUDO DE CASO: CERVEJARIA JACAREÍ

Para o caso da Cervejaria de Jacareí, uma das maiores do estado de São Paulo, os resultados indicam um potencial de *savings* de R\$ 460 mil no período de 3 meses e com os inputs descritos anteriormente.

Este resultado indica um potencial significativo para a S.A. como um todo. Considerando uma projeção do ano todo, este potencial seria de R\$ 1,8 milhões, apenas para uma das 32 cervejarias.

Para chegar neste resultado, o simulador partiu de um histórico com aproximadamente 150 mil viagens, sendo que delas, 4.300 viagens partiram de Jacareí e 370 partiram em direção de Jacareí, considerando o período selecionado. Das 4.300 viagens que saíram desta cervejaria, temos 70 destinos distintos, e das 370 que foram em direção de Jacareí, temos 49 origens distintas. A partir do primeiro critério de exclusão, a quantidade de *spot* aceitável nas rotas que partem de Jacareí, neste caso adotado até 80% como aceitável, foi possível excluir 38 dos 70

destinos possíveis, como por exemplo, o fluxo entre a Cervejaria de Jacareí e a Fábrica de Cebrasa, nos restando apenas 32 destinos elegíveis.

Em seguida, foram criados os 32 fluxos partindo de Jacareí e os 49 fluxos em direção da mesma. Foi realizada, então, a análise de volume e periodicidade, buscando entender quais rotas tem um volume mínimo esperado e quais delas tem uma periodicidade regular. Nesta etapa, foi possível excluir mais 4 destinos e 21 origens das que restaram do filtro anterior.

A partir destes destino e origens citados, foram criadas 784 rotas possíveis. Aplicando o primeiro filtro, o qual determinar se a distância da rota concatenada é superior que a distância percorrida pelos caminhões sem a concatenação, foi possível reduzir em 107 o número de rotas possíveis, como por exemplo, o ciclo que partia de Jacareí, passaria pelo CDD Suzano e buscaria insumos em Camaçari (BA). Com as 677 rotas restantes, foi utilizado o filtro de tempo, o qual analisava quais rotas tinham um tempo máximo de percurso que respeitasse o total de horas que três motoristas de caminhão poderiam dirigir (27h somando-se os três motoristas), e que resultou na exclusão de 368 rotas, como foi o caso do fluxo entre Jacareí, CDR Sete Lagoas e o CDR Extrema, em que o tempo total de viagem seria de 33h. Por fim, com os 309 fluxos restantes, filtrou-se aqueles que tinham *savings* negativos ao realizar a concatenação de rotas, excluindo mais 11 rotas, como foi o caso do fluxo que partia em direção do CDD São José dos Campos e depois passaria pelo fornecedor de vidros “Vidros Rio”, no Rio de Janeiro, onde haveria um prejuízo de R\$ 275 para cada vez que fosse realizado o ciclo.

Sendo assim, sobraram apenas 298 rotas elegíveis para concatenação, considerando os critérios de exclusão adotados no projeto. Destas, apenas 28 tiveram um ou mais ciclos realizados para compor o *saving* indicado, o que representa menos de 10% das rotas consideradas após os filtros. Com estas 28 rotas, o simulador indica que há horas disponíveis para realizar um total de 498 concatenações no período indicado, sendo que 360 delas (72%) estão concentradas em 8 rotas distintas, as quais totalizam R\$ 295 mil dos R\$ 460 mil de *savings* indicados anteriormente. Dentre estas rotas com maior número de ciclos, todas elas necessitam de 2 motoristas para poder realizar o ciclo completo, o que mostra que são rotas de trechos não tão longos.

A rota que mais gerou impacto dentre as 28 utilizadas foi entre a Cervejaria de Jacareí, o CDD de Taubaté e o fornecedor de insumos Owens – Rio de Janeiro. Esta rota apresenta um *saving* de R\$ 1.622 por ciclo realizado, sendo possível realizar esta mesma rota 37 vezes no período dos 3 meses analisados, o que totaliza um ganho de R\$ 60.000. Esta rota está limitada pelo total de caminhões que partem em direção ao fornecedor de insumos, visto que o total de

viagens necessárias para buscar este material é de 37 vezes no espaço de 3 meses, o que impede que mais caminhões concatenem fluxos entre a cervejaria de Jacareí e o fornecedor.

Quanto ao impacto da concatenação das rotas de Jacareí para os municípios, foi verificado que, para o total de 498 ciclos realizados com eficiência logística, foi possível reduzir a quilometragem rodada pelos caminhões em aproximadamente 36.500 km. Para efeito de comparação, isto equivale a um caminhão indo e voltando da Cervejaria Jacareí para o CDD da Mooca 212 vezes ou 42 viagens de ida e volta entre São Paulo e Rio de Janeiro. Este impacto explicita que a concatenação de rotas de Jacareí tem um potencial satisfatório na redução de circulação de caminhões, principalmente nas vias de acesso da cidade e seus entornos.

## **8.6. ESTUDO DE CASO: CERVEJARIA GUARULHOS**

Já no caso da Cervejaria Guarulhos, localizada dentro de um dos maiores municípios do Estado de São Paulo, os resultados foram menos expressivos se compararmos à Cervejaria Jacareí, devido à diferença de escala entre elas, mas com um potencial de impactar ainda mais em um município maior e com mais dificuldades de transportes.

Com as mesmas condições que no caso anterior, considerando o mesmo período de análise, obteve-se um ganho total de R\$ 114 mil para os 3 meses, um quarto do resultado de Jacareí.

Para esta cervejaria, partimos do mesmo histórico de 150 mil viagens, sendo que delas, 3.000 viagens partiram de Guarulhos e 110 partiram em direção de Guarulhos, considerando o período selecionado. Das 3.000 viagens que saíram desta cervejaria, temos 23 destinos distintos, e das 110 que foram em direção de Guarulhos, temos 14 origens distintas, sendo apenas 22 destinos elegíveis e 5 origens elegíveis com base nos critérios de seleção.

Com isso, chegamos a um total de 110 ciclos possíveis para apenas 39 elegíveis, sendo que destes apenas 7 foram utilizados para a concatenação de rotas, com um total de 84 ciclos a serem realizados. Para todas as rotas selecionadas são necessários apenas 1 motorista para fazer o ciclo.

Dentre as 7 rotas utilizadas, é notável que três delas passem pelo mesmo fornecedor, compondo um total de 63 viagens concatenadas com este mesmo fornecedor, ou seja, 75% dos ciclos passando pelo mesmo local para buscar insumos. Isso mostra que, além do município de Guarulhos, a região do entorno deste fornecedor poderá ser beneficiada pela eficiência logística da S.A.. O total impacto em termos de quilômetros percorridos por caminhões é de 13.900 km para o caso de Guarulhos.

## **8.7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

A partir dos resultados apresentados neste item, pode-se perceber que os ciclos são bastante sensíveis às distâncias e tempos. Isso pois aproximadamente 60% dos ciclos inicialmente possíveis não respeitam os critérios de distância máxima ou tempo máximo de ciclo e são, portanto, eliminados. Em seguida, aproximadamente 5% das rotas são descartadas por serem mais caras após a concatenação ou por apresentarem volumes incompatíveis entre os pontos escolhidos.

Desta forma, o problema da otimização das concatenações é resolvido com cerca de 35% das rotas inicialmente consideradas elegíveis e as soluções propostas sugerem uma adoção efetiva da ordem de 10% a 20% desses ciclos. Em outras palavras, concatenando de 3% a 7% de todas as rotas possíveis, uma economia considerável pode ser conseguida pela empresa.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após diversas simulações, foi notável o potencial que a concatenação de rotas tem para a S.A. em questão e os benefícios que pode trazer para os municípios.

Quanto ao lado que impacta a S.A., o simulador apresenta dados consistentes de que a concatenação de rotas tem um alto potencial monetário na redução de custos logísticos para a empresa. Apenas com dois exemplos de cervejarias foi possível estipular um impacto de mais de R\$ 2 milhões, lembrando que as simulações não apresentam todos os pontos possíveis para concatenação, podendo ter uma oportunidade ainda maior. Além disso, o simulador trouxe uma praticidade para testar hipóteses, sendo que a S.A. tem a possibilidade de verificar ideias e cenários de maneira fácil e rápida, sem demandar diversas análises. Este ganho intangível permite que a empresa acelere discussões estratégicas sobre o tema logístico e obtenha dados consistentes mais rapidamente.

Como próximo passo a ser tomado pela S.A., a inclusão de bases mais completas com todos os possíveis pontos de concatenação seria essencial para ter uma análise com maior potencial de *savings* para a empresa. Além disso, a implementação dos resultados obtidos no simulador é necessária para a melhor compreensão da viabilidade do projeto e para comparar os valores obtidos teoricamente com os resultados da prática. Isto poderia validar os resultados deste estudo e auxiliar a S.A. na calibração dos valores fornecidos pelo simulador.

Já ao que se refere aos benefícios sociais da concatenação de rotas, pode-se perceber que o impacto na quantidade de caminhões circulando é relevante. Apenas com os dois exemplos citados, no período de 3 meses, teríamos uma redução de mais de 40 mil km rodados nas estradas brasileiras, com uma estimativa de reduzir mais de 500 viagens de caminhão. Apesar de não ter sido calculado o impacto monetário disto para os municípios, sabe-se que estes veículos são grandes responsáveis pela degradação das vias, aumento do trânsito nos acessos e grandes vias das cidades e emissão de poluentes. Com a redução proposta na circulação destes veículos, existe um ganho potencial expressivo para os municípios com a concatenação de rotas, sendo um tema que deveria ser incentivado por políticas públicas.

Desta maneira, a concatenação de rotas se confirma como um tema de alta relevância e que pode ter diversos benefícios, tanto para as empresas com cadeias logísticas relevantes como para o bem público. Com isso, o tema tende a ganhar importância com o tempo, sendo cada vez mais incorporado nas organizações privadas e incentivados pelos órgãos públicos, gerando parcerias de diversas entidades para potencializar os benefícios já apresentados nesse relatório.



## BIBLIOGRAFIA

BOTTER, R. C.; TACLA D.; HINO C. M. **Estudo e aplicação de transporte colaborativo para cargas de grande volume**. Revista Pesquisa Operacional v.26 n.1, Rio de Janeiro, jan./abr. 2006.

ERGUN, O.; KUYZY, G. & SAVELSBERGH, M. **The Lane Covering Problem**. ISYE, Georgia Institute of Technology, EUA, 2004.

ERGUN, O.; KUYZU, G. & SAVELSBERGH, M. **Reducing Truckload Transportation Costs Through Collaboration**. Transportation Science n. 41(2), p.206–221, 2007.

ESPER, T. L.; WILLIAMS, L. R. **The value of collaborative transportation management (ctm): Its relationship to cpfr and information technology**. Transportation Journal, v.42, n.4, p.14, 2003.

FERRI, E. B, **Uma proposta de heurística para solução do problema de cobertura de rotas com cardinalidade restrita**. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ROSIN R. A, **Heurística com busca local para solução do problema de cobertura de rotas com cardinalidade restrita**, São Paulo 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

STRINGHER, F. G **Designação de rotas para frota dedicada em uma rede de distribuição de linha branca**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

TACLA, D. **Estudo para Otimização de Rotas no Transporte Rodoviário de Cargas Granelizadas na Indústria Química**. São Paulo, 1999. 129p. Tese (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

**TACLA, D. Estudo de Transporte Colaborativo de Cargas de Grande Volume, com Aplicação em caso de Soja e Fertilizante.** São Paulo, 2003. 338p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

## ANEXO I – CONTEÚDO DAS ABAS DO SIMULADOR

Para que a simulação ocorra é necessário que as informações das seguintes abas estejam preenchidas nos seus respectivos formatos, estabelecidos pelo grupo:

### I. HISTÓRICO: registro histórico de todas as viagens realizadas.

Os dados desta aba devem estar inseridos no formato:

Data da viagem (dd/mm/aaaa)	ID da Origem	ID do Destino	Tipo de Frota (FF <sup>1</sup> ou SPOT)	Quantidade de caminhões	Quantidade de Pallets transportados por caminhão	Tipo de produto transportado (PA <sup>2</sup> ou INSUMO)
--------------------------------	--------------	---------------	---	-------------------------	--	--

<sup>1</sup> FF = Frota Fixa

<sup>2</sup> PA = Produto Acabado

### II. DE-PARA: correspondência entre as diversas referências das bases.

ID	Latitude	Longitude	Carregamento/ descarregamento (h)
----	----------	-----------	--------------------------------------

### III. BASE HORAS: cálculo das horas disponíveis na base escolhida por tipo de frota .

### IV.

Cerevaria ou CDR	Normal (Nº de veículos)	Bitrem (Nº de veículos)	Dias semana	Dias considerados	Horas disponíveis Normal	Horas disponíveis Bitrem	ID	Geo
------------------	-------------------------	-------------------------	-------------	-------------------	--------------------------	--------------------------	----	-----

### V. CV<sup>3</sup>: valores de custo variável por quilômetro por região e tipo de frota fixa.

Os valores apresentados nesta aba são os resultados das regressões lineares simples descritas no item x acima. Para cada uma das regiões, temos o valor do custo por quilômetro para caminhões de 28 e de 42 pallets (equivalentes ao fator alfa das equações x).

Estas informações devem, portanto, ser preenchidas manualmente a cada vez que uma nova análise do histórico de custos variáveis for feita com o auxílio de uma ferramenta Excel complementar.

Região (Geo)	Tipo da FF <sup>1</sup>	Custo Variável por km
--------------	-------------------------	-----------------------

<sup>1</sup> FF = Frota Fixa

## VI. C\_SPOT: tabela de fretes da ANTT.

Os dados desta aba são fixos e se encontram descritos no item 5.3.3 deste relatório. Ressaltamos que como os insumos de cada rota não estão especificados no histórico, adotamos um valor médio de frete.

Tipo de carga	Coefficiente de custo	Unidade	Tipo de FF <sup>1</sup>
---------------	-----------------------	---------	-------------------------

<sup>1</sup> FF = Frota Fixa

## VII. CV\_CUSTOS\_FF: valores históricos de custo variável por rota.

Esta aba contém os valores de custo variável por viagem para cada uma das rotas presentes no histórico.

Origem	ID Origem	Destino	ID Destino	Rota	1.Variável Viagem FF <sup>1</sup> - 28	1.Variável Viagem FF <sup>1</sup> - 42
--------	-----------	---------	------------	------	--	--

# ANEXO II – IMAGENS DAS ABAS DO SIMULADOR

Imagem das abas do simulador

INTERFACE	HISTORICO	DE-PARA	BASE HORAS	LEAD TIME	CV	C_SPOT	CV_CUSTOS_FF	OrigemA	DestinoA	CICLOS POSSIVEIS	SOLVER	PENALIZAÇÃO
-----------	-----------	---------	------------	-----------	----	--------	--------------	---------	----------	------------------	--------	-------------

## Imagem da aba “HISTORICO”

DATA	ID ORIGEM	ID DESTINO	FROTA	QUANTIDADE	PALLETS/VIAGEM	PRODUTO	NOME DA ROTA	PERÍODO	BASE
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	421	52	SPOT	1	28	PA	421_52	FORA	NAO
01/01/2019	421	52	SPOT	1	28	PA	421_52	FORA	NAO
01/01/2019	893	50	FF	1	26	PA	893_50	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO
01/01/2019	260	230	FF	1	26	PA	260_230	FORA	NAO

## Imagem da aba “BASE HORAS”

CERVEJARIA OU CDR	NORMAL (N DE VEICULOS)	BITREM (N DE VEICULOS)	DIAS SEMANA	DIAS CONSIDERADOS	HORAS DISPONÍVEIS NORMAL	HORAS DISPONÍVEIS BITREM	ID	GEO
Cervejaria 1	13	14	7	90	21 996	23 688	324	REG SE
Cervejaria 2	22	0	7	90	37 224	-	891	REG SE
Cervejaria 3	37	3	7	90	62 604	5 076	803	REG SE
Cervejaria 4	27	0	7	90	45 684	-	140	REG SE
Cervejaria 5	13	0	7	90	21 996	-	25	REG SUL
Cervejaria 6	17	4	7	90	28 764	6 768	893	REG SUL
Cervejaria 7	4	0	7	90	6 768	-	612	REG SUL
Cervejaria 8	19	0	7	90	32 148	-	577	REG SUL
Cervejaria 9	8	0	7	90	13 536	-	47	REG CO
Cervejaria 10	20	0	7	90	33 840	-	175	REG CO
Cervejaria 11	11	0	7	90	18 612	-	240	REG NE

## Imagem da aba “LEAD TIME”

NOME DA ROTA	ORIGEM	DESTINO	LAT ORIGEM	LONG ORIGEM	LAT DESTINO	LONG DESTINO	DISTÂNCIA (km)	TEMPO IDA E VOLTA (h)	GEO
260_230	260	230	-	23,21 -	46,01 -	22,73 -	47,17	163	5,91 REG SE
421_52	421	52	-	12,67 -	38,32 -	14,21 -	42,79	640	23,27 REG SE
893_50	893	50	-	22,50 -	48,93 -	27,64 -	48,66	715	26,00 REG SE
320_185	320	185	-	22,52 -	42,70 -	22,86 -	43,61	126	4,57 REG SE
893_926	893	926	-	22,50 -	48,93 -	26,89 -	48,72	611	22,23 REG SE
25_47	25	47	-	30,15 -	50,88 -	29,82 -	51,17	58	2,12 REG SE
47_50	47	50	-	29,82 -	51,17 -	27,64 -	48,66	430	15,65 REG SE
47_118	47	118	-	29,82 -	51,17 -	31,72 -	52,39	302	10,98 REG SE
47_418	47	418	-	29,82 -	51,17 -	29,75 -	52,43	152	5,53 REG SE
47_713	47	713	-	29,82 -	51,17 -	30,01 -	51,32	32	1,16 REG SE
74_39	74	39	-	18,96 -	48,07 -	15,80 -	47,95	439	15,97 REG SE
74_88	74	88	-	18,96 -	48,07 -	19,74 -	47,88	111	4,04 REG SE
74_191	74	191	-	18,96 -	48,07 -	7,18 -	48,20	1 638	59,57 REG SE
74_240	74	240	-	18,96 -	48,07 -	16,34 -	48,90	381	13,85 REG SE
74_324	74	324	-	18,96 -	48,07 -	22,87 -	46,36	586	21,32 REG SE
74_435	74	435	-	18,96 -	48,07 -	17,79 -	50,91	409	14,87 REG SE
74_453	74	453	-	18,96 -	48,07 -	17,97 -	50,34	329	11,97 REG SE

## Imagem da aba “CV”

REGIAO	TIPO FF	CUSTO VARIÁVEL POR KM
REG SE	NORMAL	2,77
REG SE	BITREM	3,14
REG SUL	NORMAL	2,87
REG SUL	BITREM	3,18
REG NE	NORMAL	2,58
REG NE	BITREM	2,51
REG RJ	NORMAL	2,79
REG RJ	BITREM	3,12
REG CO	NORMAL	2,76
REG CO	BITREM	0

