

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

GERMANO AUGUSTO METZNER DE ANDRADE

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE CARGAS ITINERANTES UTILIZANDO UM
MÉTODO CLARKE E WRIGHT ADAPTADO**

Joinville

2018

GERMANO AUGUSTO METZNER DE ANDRADE

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE CARGAS ITINERANTES UTILIZANDO UM
MÉTODO CLARKE E WRIGHT ADAPTADO**

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso
de Graduação em Engenharia de
Transportes e Logística do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Christiane Wenck
Nogueira Fernandes

Joinville

2018

GERMANO AUGUSTO METZNER DE ANDRADE

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE CARGAS ITINERANTES UTILIZANDO UM
MÉTODO CLARKE E WRIGHT ADAPTADO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 29 de novembro de 2018.

Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Orientadora

Dra. Vanina Macowski Durski Silva
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Silvia Lopes de Sena Taglialenha
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À minha família, em especial a minha mãe Magrit e ao meu pai Alvaro, pelas oportunidades que me proporcionaram carinho, atenção e tantas outras coisas que nem sei como agradecer. Amo muito vocês.

À minha orientadora Christiane, pela orientação, suporte e paciência durante esse ano.

Aos amigos Bruna, Marco, Talita e Stefany que conheci durante a graduação, essa jornada foi muito mais tranquila e descontraída graças a vocês.

Aos meus amigos Guilherme, Lara, Luana e Pedro, que me proporcionaram grandes momentos de diversão durante estes sete anos de companheirismo.

Por fim, à banca avaliadora, professoras Silvia e Vanina, pela disponibilidade em participar desta avaliação.

RESUMO

Este trabalho emprega ferramentas de pesquisa operacional para análise de agrupamentos de cargas itinerantes em uma empresa multinacional de materiais plásticos. O método de resolução aplicado é o algoritmo Clarke & Wright, e uma modificação do algoritmo anterior para estipular frequências de entrega sem afetar significativamente o indicador de nível de serviço utilizado pela empresa. Após a execução destes modelos, ambos foram comparados ao cenário utilizado pela empresa atualmente, onde foram realizadas comparações e análises dos resultados. Tanto o algoritmo Clarke & Wright como a modificação reduziram o número de viagens e a distância total percorrida, porém o segundo apresentou agrupamentos geográficos mais concisos em comparação com o primeiro. Desta maneira, este trabalho contribui para evidenciar grandes chances de otimização nos processos de entrega da organização.

Palavras-chave: Custos logísticos. Roteirização. Clarke & Wright.

ABSTRACT

This work employs operational research tools for analysis of less-than-truckload clustering in a multinational company of plastic materials. The resolution method applied is the Clarke & Wright algorithm, and a modification of the previous algorithm to stipulate delivery frequencies without significantly affecting the key performance indicator used by the company. After the execution of these models, both were compared to the scenario used by the company today, where comparisons and analyzes of the results were made. Both the Clarke & Wright algorithm and the modification reduced the number of trips and the total distance traveled, but the second presented more concise geographical clustering compared to the first. In this way, this work contributes to show great chances of optimization in the organization's delivery processes.

Keywords: Logistics Costs. Routing Problem. Clarke & Wright.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia utilizada	15
Figura 2 - Compensações gerais nos custos/receitas em vários níveis de serviços. 19	
Figura 3 - Movimentações realizadas em uma cadeia de suprimentos genérica.	20
Figura 4 - Composição da matriz do transporte de carga no Brasil em 2013.....	21
Figura 5 - Estratégias para solução de PRV	23
Figura 6 - Jogo de Hamilton	24
Figura 7 - Rota mais custosa.....	30
Figura 8 - Rota otimizada	31
Figura 9 - Pseudocódigo C&W Sequencial	34
Figura 10 - Pseudocódigo C&W Paralelo	35
Figura 11 - Regiões intermediárias de Santa Catarina.....	40
Figura 12 - Pseudocódigo modelo sequencial modificado	41
Figura 13 - Pseudocódigo modelo paralelo modificado.....	42
Figura 14 - Equação do OTIF.....	48
Figura 15 - Mapa dos agrupamentos estipulados pelo algoritmo C&W.....	56
Figura 16 - Mapa dos agrupamentos estipulados pelo algoritmo C&W modificado ..	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - OTIF por agrupamento (C&W).....	54
Gráfico 2 - OTIF por agrupamento (C&W modificado)	60
Gráfico 3 - Número de viagens realizadas por mês (Cenário Real x Método C&W) .	63
Gráfico 4 - Distância total percorrida em quilômetros (Cenário Real x Método C&W)	64
Gráfico 5 - OTIF cumprido (Cenário Real x Método C&W)	64
Gráfico 6 - Número de viagens realizadas por mês (Cenário Real x Método C&W modificado).....	65
Gráfico 7 - Distância total percorrida em quilômetros (Cenário Real x Método C&W modificado).....	66
Gráfico 8 - OTIF cumprido (Cenário Real x Método C&W modificado)	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo: lista de cidades e sua volumetria.	35
Tabela 2 - Exemplo: matriz de distâncias das cidades.....	36
Tabela 3 - Lista de economias.	37
Tabela 4 - Matriz OD das zonas intermediárias de Santa Catarina.....	40
Tabela 5 - Lista de regiões geográficas imediatas de Santa Catarina	43
Tabela 6 - Volume de vendas associado às RGI	44
Tabela 7 - Coordenadas de GPS utilizadas	46
Tabela 8 - Número de viagens realizadas no cenário real	49
Tabela 9 - Distância percorrida (km) pelos veículos no cenário real	49
Tabela 10 - OTIF do primeiro trimestre	50
Tabela 11 - Porcentagem de pedidos por rota	50
Tabela 12 - Restrição de capacidade em 42 m ³ (C&W)	51
Tabela 13 - Restrição de capacidade em 43 m ³ (C&W)	52
Tabela 14 - Restrição de capacidade em 44 m ³ (C&W)	53
Tabela 15 - Número de viagens projetadas (C&W).....	54
Tabela 16 - Distância percorrida pelos veículos por mês em quilômetros (C&W).....	54
Tabela 17 - Projeção do OTIF (C&W)	55
Tabela 18 - Restrição de capacidade em 42 m ³ (C&W modificado).....	57
Tabela 19 - Restrição de capacidade em 43 m ³ (C&W modificado).....	58
Tabela 20 - Restrição de capacidade em 44 m ³ (C&W modificado).....	59
Tabela 21 - Número de viagens projetadas (C&W modificado).....	60
Tabela 22 - Distância percorrida pelos veículos por mês em quilômetros (C&W modificado).....	60
Tabela 23 - Projeção do OTIF (C&W modificado)	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SRPV – Sistemas de roteirização e programação de veículos.

CD – Centro de distribuição.

PRV – Problema de roteamento de veículos.

PCV – Problema do caixeiro viajante.

PCVM – Problema do caixeiro viajante múltiplo.

PCVJT – Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo.

Matriz OD – Matriz origem/destino.

C&W – Clarke e Wright.

RGI – Região geográfica imediata.

RGINT – Região geográfica intermediária.

OTIF – On Time In Full.

FIFO – First In First Out.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 METODOLOGIA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 CUSTOS LOGÍSTICOS.....	16
2.1.1 Custos de armazenagem	16
2.1.2 Custos de embalagem	16
2.1.3 Custos com tecnologia da informação	17
2.1.4 Custos com cargas tributárias	18
2.1.5 Custos relacionados a níveis de serviços	18
2.1.6 Custos de transporte	19
2.2 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS.....	22
2.2.1 Complexidade dos problemas de roteamento	22
2.2.2 Classificação dos problemas de roteamento	23
2.2.2.1 O Problema do Caixeiro Viajante (PCV).....	24
2.2.2.2 Variações do Problema do Caixeiro Viajante (PCV)	25
3 ESTUDO DE CASO	27
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	27
3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	28
3.3 MODELO PROPOSTO.....	29
3.3.1 Algoritmo Clarke & Wright (C&W)	30
3.3.1.1 Descrição do algoritmo Clarke & Wright.....	32
3.3.1.2 Exemplificação do algoritmo Clarke & Wright.....	35
3.3.2 Algoritmo Clarke & Wright Modificado	39
3.3.2.1 Descrição	40
3.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O ESTUDO DE CASO.....	42
3.4.1 Zonas geográficas imediatas	42

3.4.2 Volume de remessas	43
3.4.3 Coordenadas geográficas	44
3.4.4 Cálculo das distâncias	47
3.4.5 Indicadores de nível de serviço	47
4 APLICAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS	49
4.1 CENÁRIO REAL.....	49
4.2 MÉTODO 01 – C&W	51
4.3 MÉTODO 02 – C&W MODIFICADO	57
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
5.1 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL X MÉTODO 1 (C&W)	63
5.2 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL X MÉTODO 2 (C&W MODIFICADO)	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
6.1 TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Segundo Ballou (2006), inicialmente as mercadorias não eram consumidas nos lugares com maior necessidade nem nos lugares de maior procura, os povos consumiam seus produtos próximos aos lugares de origem, pois o transporte era limitado ao que as pessoas podiam carregar. Esta situação ligada ao sistema de estocagem rudimentar e a durabilidade menor dos produtos limitava o consumo de uma vasta gama de mercadorias.

Apesar dos mais diversos recursos, o consumo e a produção de diversas mercadorias estão restritos à regiões com alto poder aquisitivo. Boa parte da população vive em zonas de desenvolvimento, supostamente independentes e preferencialmente adquirem artigos de localidades próximas. Em decorrência disso, a produtividade e o padrão econômico dessas regiões são geralmente baixos (BALLOU, 2006).

Com o passar dos anos, as empresas tem se empenhado em otimizar as operações de logística a fim conquistar maiores fatias de mercado. A necessidade de atender o cliente de forma eficiente sem desprender de confiabilidade, velocidade, pontualidade e qualidade nas entregas de mercadorias vem fazendo com que o mercado invista em novas tecnologias.

No entanto Bodin et al. (1983), afirma que projetos de entrega para atividades de distribuição em empresas comerciais deve levar em conta os níveis de atendimento ao cliente, bem como os custos relacionados à distribuição (tripulações e veículos). Na maioria das vezes esses objetivos são conflitantes, pois a redução de custos de transporte geralmente acarreta uma redução do nível de serviço ao cliente.

O problema de pesquisa que se apresenta acima, portanto, evidencia a necessidade de analisar e aplicar novas tecnologias de maneira mais abrangente de modo a otimizar processos logísticos de entrega sem abrir mão do nível de serviço prestado ao consumidor.

1.1 JUSTIFICATIVA

Sistemas logísticos eficazes dão ao comércio a chance de extrair o que há de melhor de cada localidade, uma estrutura bem desenvolvida e de baixo custo incentiva o comércio e a produção de bens, gerando empregos além do intercâmbio de culturas. Uma gestão eficaz dos custos é vital para a conexão eficiente dos locais de produção e consumidores separados por tempo e distâncias. Assim, conforme Silva Melo e Ferreira Filho (2001) a fim de obter excelência nos processos de distribuição de mercadorias as empresas têm adquirido os chamados sistemas de roteirização e programação de veículos (SRPV) como grandes auxiliares na tomada de decisão.

Esses sistemas consideram inúmeras condições tais como restrições de horário de atendimento, capacidade do veículo, distância percorrida e tempo de viagem (CUNHA, 2000). São ferramentas robustas que vem sendo muito difundidas e amplamente consideradas nas últimas décadas em toda a literatura.

Com os SRPV é possível estipular agrupamentos de clientes a fim de criar frequências de envio de mercadorias. Este tipo de metodologia para distribuição de cargas reduz o número de viagens, pois evita que o veículo seja enviado de maneira ociosa ou mesmo para clientes muito distantes um do outro. Ao delimitar prazos de entrega fixos para determinadas regiões planeja-se de maneira muito mais eficiente as operações do centro de distribuição (CD) e diminui-se a distância total percorrida pelo motorista.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como foco identificar as operações de envio de mercadorias de uma empresa do setor plástico, no qual será feita uma análise para formação agrupamentos de entrega para cargas itinerantes mantendo-se níveis de serviço adequados.

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico são apresentados os objetivos gerais e específicos para este trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar o método Clarke e Wright adaptado a fim de estipular agrupamentos de cargas itinerantes em uma empresa multinacional de materiais plásticos.

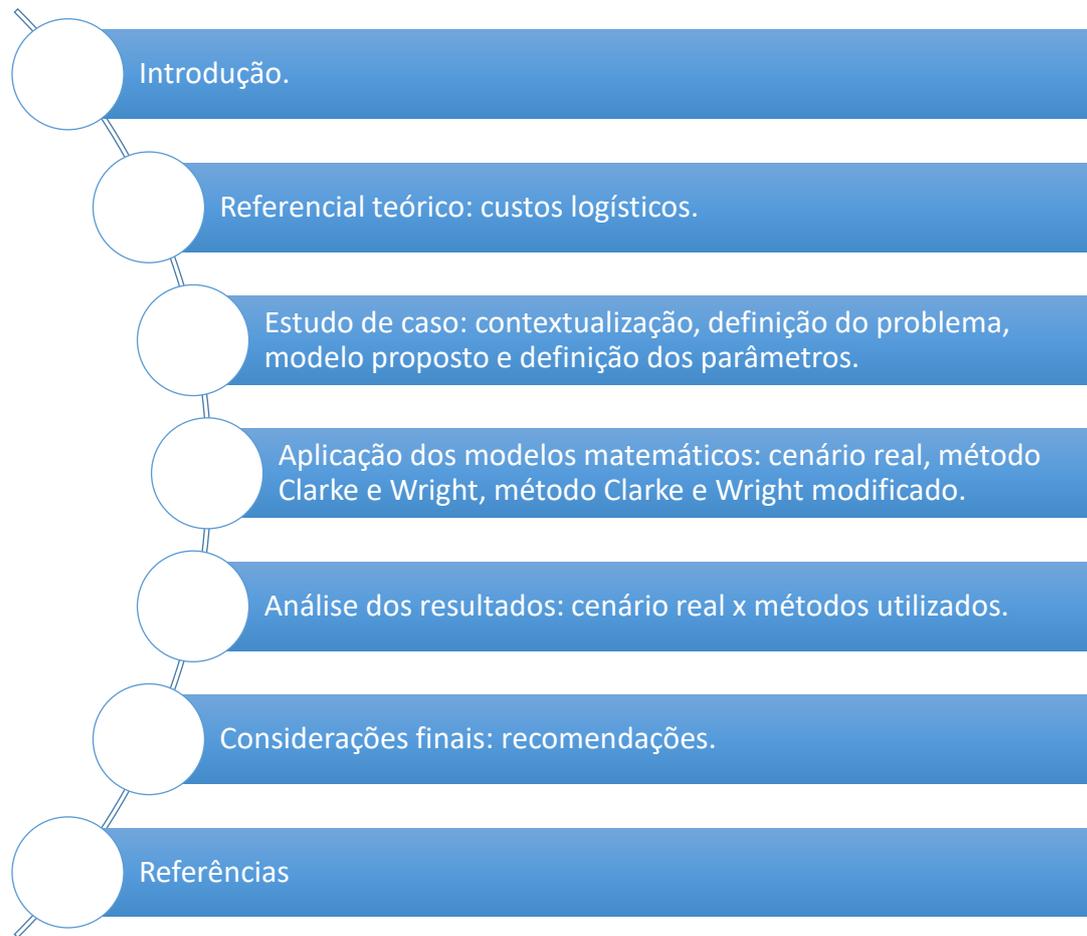
1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as informações pertinentes sobre as viagens realizadas;
- Criar e analisar frequências de entrega a fim de otimizar as operações da empresa;
- Analisar os resultados obtidos pelo modelo Clarke & Wright e o modelo adaptado.

1.3 METODOLOGIA

Na figura 1 está presente a estrutura do trabalho no qual compõe as seguintes seções: introdução, referencial teórico, estudo de caso, aplicação dos modelos matemáticos, análise dos resultados, considerações finais e referências.

Figura 1 - Metodologia utilizada



Fonte: Autor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CUSTOS LOGÍSTICOS

Segundo Faria e Costa (2005) os custos logísticos são associados ao planejamento, implementação e controle do inventário no momento de entrada (*inbound*) até a chegada ao cliente (*outbound*), são todos os gastos relacionados às atividades logísticas do negócio. São considerados muito importantes, sendo inferior apenas para os gastos de produto.

De acordo com Novaes (2001) reduzir custos de produção é uma tarefa extremamente complexa - “É melhor atacar os custos que se distribuem ao longo da cadeia”. Como em boa parte dos casos os custos de produção são praticamente fixos, é mais vantajoso agir nas despesas variáveis da organização. Dentre eles, destacam-se: custos de armazenagem e movimentação de materiais, transportes, embalagens, tecnologia da informação, cargas tributárias e custos decorrentes de nível de serviço.

2.1.1 Custos de armazenagem

Conforme Faria e Costa (2005, p. 79), as operações de armazenagem estão relacionadas com os movimentos de acolhimento, estoque, separação e expedição do produto bem como a gestão desse bem dentro do depósito. É por meio do processo de armazenagem que ocorre o abastecimento dos insumos para a criação dos produtos finalizados bem como o estoque dos produtos para uma posterior distribuição externa.

Dentre os fatores que impactam nos custos logísticos podemos citar o número de movimentações, as formas de acondicionamento, volume, etiquetagem, equipamentos, mão de obra, limpeza, manutenção e segurança (FARIA; COSTA, 2005).

2.1.2 Custos de embalagem

Um dos custos associados à logística é o que está relacionado à preservação dos materiais a fim de entregar o produto solicitado com a melhor qualidade possível

ao consumidor. Além da função de revestimento as embalagens têm como objetivo economizar e otimizar o uso do espaço dentro dos veículos e dos centros de distribuição bem como facilitar o manuseio e a movimentação dos mesmos.

O material utilizado como invólucro pode variar dependendo das características do produto, porém os mais comumente usados são os compostos de madeira, plástico, papelão, aço ou ferro. Vale ressaltar a popularização dos pallets e contêineres como uma forma de padronização, segundo Bowersox e Closs (2001) a utilização destes é vista de maneira muito positiva dentro do mercado, pois além de unificar os processos auxilia também na identificação do produto.

Apesar de importante, os custos envolvendo embalagens estão associados a depreciação e manutenção dos equipamentos utilizados na produção das embalagens, com os materiais propriamente utilizados e principalmente com o tempo despendido com a mão-de-obra.

2.1.3 Custos com tecnologia da informação

Devido à grande quantidade de informações e processos, as empresas necessitam de recursos que agrupem e sintetizem dados a fim de tornar as entregas mais rápidas, informar clientes com maior agilidade bem como entender a situação dos processos.

Dessa maneira, Vieira Neto (2004) ressalta que a tecnologia da informação veio para proporcionar maior nível de automatização integrando todas as atividades de produção e gestão, dentro da combinação: hardware e software, para garantir melhores índices de produtividade e flexibilização para eventuais mudanças.

Com essas plataformas, há uma diminuição significativa de processos burocráticos e repetitivos e também a minimização de erros e inconsistências durante a sua gestão (PATRUS, 2018).

Apesar de todas as vantagens, estes sistemas geram custos de aquisição, manutenção, mão-de-obra, serviços, seguros, treinamentos, entre outros. Adquirir esses recursos vai depender das escolhas e necessidades de cada empresa. (FARIA; COSTA, 2005).

2.1.4 Custos com cargas tributárias

De maneira geral, custos tributários são valores obrigatórios definidos pelo governo que consistem em impostos, taxas, contribuições de melhoria, contribuições sociais, entre outros. (CITTADIN e SORATTO, 2010).

O Brasil é um país que possui uma carga tributária elevada e uma legislação altamente complexa (MUNIZ, 2018). É imprescindível que a empresa tome conhecimento de isenções e evite multas para reduzir custos de tributação resultantes de produção e movimentação de produtos.

Os custos mais comuns associados a logística são: IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados, II - Imposto de Importação, ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transportes Interestaduais, taxas e obrigações incidentes sobre operações alfandegárias (FARIA; COSTA, 2005). Vale ressaltar que as taxas cobradas diferem de acordo com o tipo de produto, local, transporte e atividade da empresa.

2.1.5 Custos relacionados a níveis de serviços

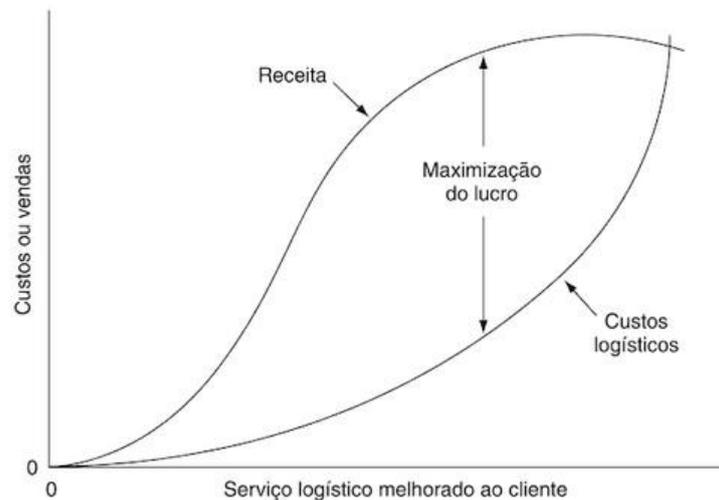
De acordo com Ballou (2006) os serviços logísticos são resultados da definição do nível de serviço que se adota em uma empresa. Isto implica que os custos envolvidos são proporcionais às respostas esperadas ao final do processo. A maneira de como a organização age em relação aos seus serviços e produtos impacta diretamente sobre como o mercado vê esta empresa em relação às outras. Os retornos mais esperados pelos clientes, quanto à compra de um produto, geralmente são: disponibilidade do produto/serviço (inventário), confiabilidade do serviço (qualidade), velocidade e consistência nas entregas.

Ballou (2006) também afirma que

enfoque integrado da administração logística sugere que as necessidades de serviço dos clientes devem ser satisfeitas dentro de limites razoáveis de custo. Ou seja, o custo de estabelecer certo nível de serviço deve ser contrabalanceado com vendas potenciais para aquele serviço, de maneira a dar a máxima contribuição nos lucros.

A Figura 2 representa a visão de lucro (receita sobre nível de serviço) citada anteriormente.

Figura 2 - Compensações gerais nos custos/receitas em vários níveis de serviços.



Fonte: Ballou (2006).

A análise do nível de serviço neste trabalho se faz necessária visto que a proposta apresentada visa diminuir o número de viagens sem afetar os prazos acordados com os clientes, ou seja, pretende-se garantir o nível de serviço que o cliente já espera.

2.1.6 Custos de transporte

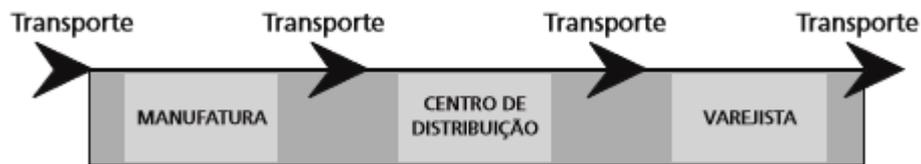
Os custos de transportes são os mais representativos dentro de uma organização. Segundo Arantes (2005) este é o gasto que possui maior representatividade dentro de uma empresa, chegando a ser de um a dois terços dos custos logísticos das organizações. Eles são todos os gastos realizados na movimentação do produto desde a origem (centro de distribuição) até o cliente (varejistas).

Dentre os fatores interferem diretamente nos custos de transporte de uma organização, pode-se citar o tipo de produto, volume, peso, facilidade de acondicionamento, manuseio, os riscos de roubos, frequência de viagens e terceirização.

Segundo Novaes (2001) os custos relacionados ao transporte estão diretamente ligados ao valor final do produto. Este valor é significativo, pois demanda grande quantidade de tempo e recursos nos quais poderiam estar associados a outros processos mais importantes.

Conforme observado na Figura 3, o processo de criação de um material dentro de uma cadeia de suprimentos genérica demanda grande quantidade de movimentações. Dependendo da quantidade e da localização de estruturas capazes de alocar esse material, o deslocamento dessas viagens pode ser relativamente curto como demandar grandes quantidades de combustível.

Figura 3 - Movimentações realizadas em uma cadeia de suprimentos genérica.



Fonte: Novaes (2001).

Arantes (2005) complementa que existem outros fatores associados ao processo que interferem no custo do transporte além do fator de movimentações. Segundo ele esses fatores podem estar associados tanto a condições referentes ao produto como de mercado, como descrito a seguir:

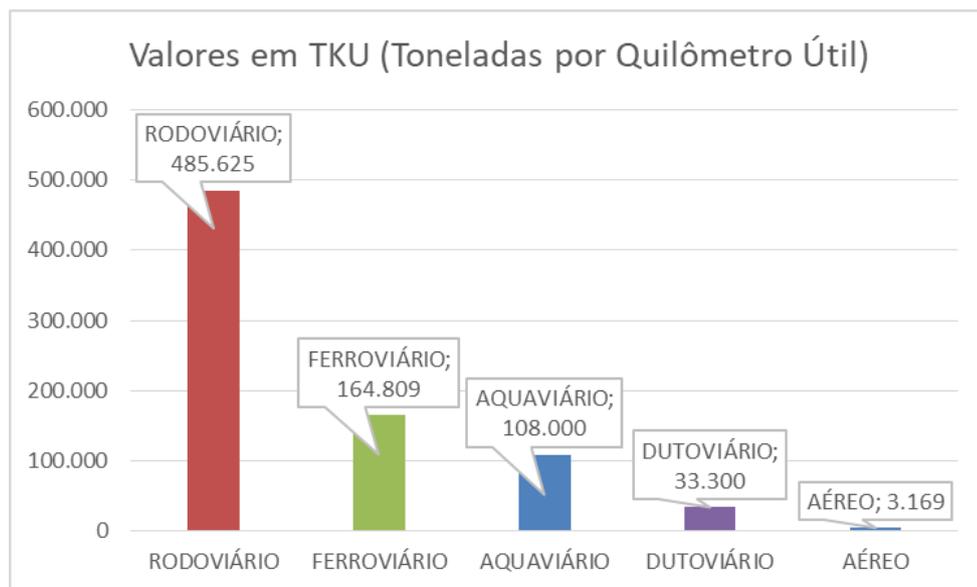
- **Fatores relacionados com o produto:** Os custos embutidos em um produto compreendem não somente os valores associados à matéria prima, mas também todo o trabalho despendido para o manuseio, movimentação e proteção do material. Dessa maneira, fatores que podem influenciar os custos de transporte são: peso, volume, facilidade de manuseio do material, fragilidade, perecibilidade, maquinário necessário e tipo de embalagem.
- **Fatores relacionados com o mercado:** Está relacionado com os fatores externos que podem ou não ser previstos durante a fase de gestão e implementação. Entre eles podemos citar o grau de competição com outras empresas do mesmo gênero buscando economia com outros meios de

transporte, localização de mercados (onde está o cliente), movimentações sazonais, alteração do valor do combustível e variações regulamentais.

Dependendo das características do produto, a empresa também deverá eleger o modal de transporte que mais se adequa as propostas estabelecidas ao nível de serviço desejado. Segundo Ballou (2006), a escolha do modal pode ser usada para criar vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes.

Existem inúmeras formas de reduzir os custos de transporte dependendo do tipo de modal utilizado. Para o modal rodoviário, que é o mais utilizado no Brasil, como pode ser observado na Figura 4, uma das possíveis medidas para redução dos custos é a manutenção e otimização das vias já existentes (CNT, 2013).

Figura 4 - Composição da matriz do transporte de carga no Brasil em 2013



Fonte: CNT (2013).

No entanto, segundo Faria e Costa (2005), quando isso não é possível deve-se buscar a otimização do transporte, por meio do desenvolvimento de rotas que contemplem ciclos fechados, técnicas de ordenamento de entregas (roteirização) ou outras formas de otimização que diminuam os custos inerentes às viagens.

Vale ressaltar a existência dos conceitos de multimodalidade e intermodalidade como uma forma de entrega porta a porta a um menor custo e um tempo relativamente menor. A multimodalidade consiste na integração entre dois ou

mais modais já a intermodalidade consiste no mesmo aspecto do anterior, porém regulamentado e praticado por um único prestador de serviço (RIBEIRO; FERREIRA, 2002). No entanto, o aprofundamento destes conceitos não é o foco deste trabalho sendo passíveis de estudo em atividades futuras.

2.2 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Segundo Arenales et al. (2007) problemas de roteamento de veículos determinam sequencias de visitas que objetivam otimizar rotas de entrega/coleta de custo mínimo em uma determinada rede de transportes.

Dessa maneira, sempre é desejado encontrar soluções ótimas, ou quase ótimas, para problemas de grande magnitude e em tempo computacional hábil. Nesse contexto, surge o que é denominado problemas de roteamento de veículos (PRV) com o objetivo de estabelecer rotas ou sequenciamento de veículos que propiciem a minimização dos custos de transporte (MIURA, 2008).

2.2.1 Complexidade dos problemas de roteamento

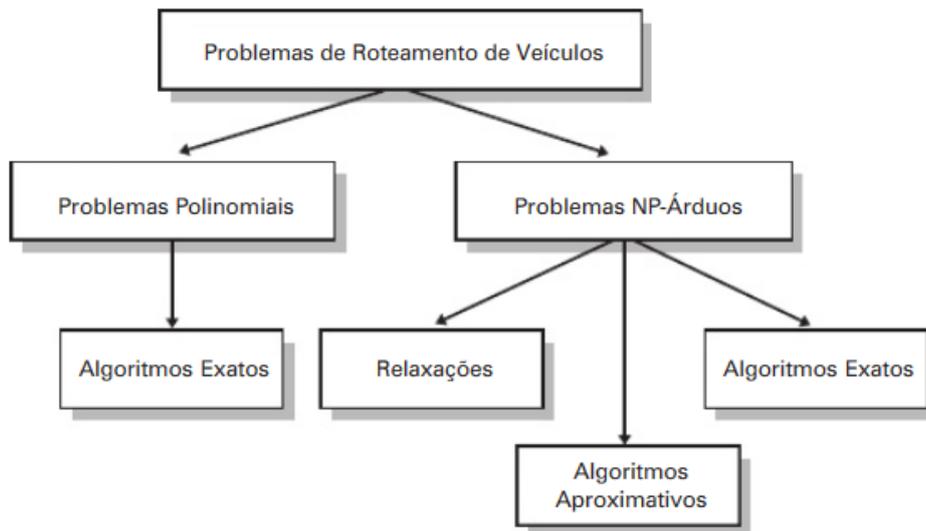
A complexidade de um problema de roteamento de veículos esta diretamente ligada à quantidade de dados e restrições envolvidas, quanto maior a carga de informações em um problema, exponencialmente maior é o tempo necessário para a sua resolução (BODIN et al., 1983). Se o crescimento das variáveis for muito elevado, o custo computacional logo se tornará inviável, mesmo para problemas moderados, limitando assim a aplicabilidade de uma técnica de solução em um ambiente realista.

Tentando analisar o grau de complexidade envolvido, bem como as técnicas necessárias de tratamento, os problemas de roteamento foram classificados conforme os custos computacionais necessários para a sua resolução.

Segundo Bodin et al. (1983), problemas de classe P admitem um algoritmo polinomial de solução. Os problemas dessa classe geralmente são resolvidos de forma bastante eficiente. Em contrapartida com os problemas de classe P , existe uma grande quantidade de problemas combinatórios que não são resolvidos através de métodos polinomiais, esses casos são denominados de $NP - Hard$, ou $NP - \text{Árduo}$ em português.

O conceito para essa classe é que se existir um problema que possa ser resolvido por algoritmos polinomiais, qualquer outro problema, dessa mesma classe, também poderá ser resolvido com tais procedimentos. Isto sugere (mas não prova) que o esforço necessário para resolver problemas *NP – Hard* aumenta exponencialmente com o tamanho das restrições (GAREY e JOHNSON, 1999).

Figura 5 - Estratégias para solução de PRV



Fonte: Goldberg e Luna (2000)

A grande maioria dos PRV é do tipo *NP – Hard* (GOLDBARG e LUNA, 2000). Conforme Figura 5 este tipo de problema pode ser resolvido através de 3 métodos: relaxações, algoritmos exatos e algoritmos aproximativos.

Algoritmos exatos são usados apenas quando o problema possui poucas variáveis e restrições, geralmente estão associados com técnicas de relaxações que diminuem o número de variáveis e conseqüentemente o custo computacional (MIURA, 2008). Já algoritmos aproximativos (heurísticas) são os mais utilizados na literatura, pois encontram, de maneira simplificada, soluções razoavelmente boas, em intervalos de tempo razoavelmente curtos.

2.2.2 Classificação dos problemas de roteamento

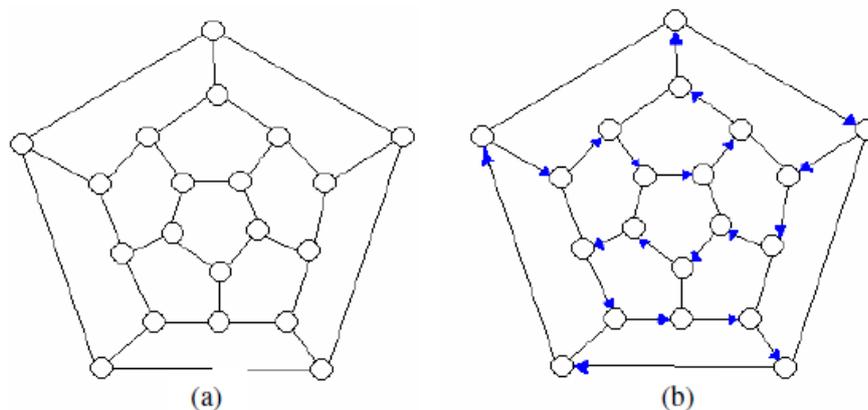
Precursor dos problemas de roteirização que conhecemos hoje, chamado de problema do caixeiro viajante ou PCV (*travelling salesman problem* ou TSP), este

consiste em encontrar o roteiro a ser utilizado a fim de atender todas as cidades minimizando a distância total percorrida. Este será apresentado abaixo, sendo suas variações apresentadas logo após.

2.2.2.1 O Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Segundo Goldberg e Luna (2000), o PCV é um dos mais tradicionais e conhecidos problemas de programação matemática. Seu propósito, na maior parte, é criar *tours* ou trajetos através de pontos denominados nós ou cidades. Apesar de antigo o PCV só foi amplamente difundido através de um jogo chamado *Around the World*, criado por Hamilton em 1857. O jogo consistia em encontrar um caminho no qual se percorre todos os vértices, porém sem utilizar duas vezes a mesma aresta. Na Figura 6 (a) encontramos o tal grafo proposto por Hamilton, já na Figura 6 (b) encontramos uma possível solução.

Figura 6 - Jogo de Hamilton



Fonte: Goldberg e Luna (2000)

Desde então, se existe um ciclo (caminho fechado) neste contendo todos os seus vértices, o mesmo é chamado de ciclo Hamiltoniano em sua homenagem.

Dantzig et al. (1954), formularam o PCV em um grafo $G(v, a)$ em que v é o conjunto de nós (cidades) e a é o conjunto de arcos, segue abaixo:

$$\text{Minimizar } z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad j=1,2,\dots,N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (5)$$

onde $x_{ij} = 1$ se o caminho entre i até j for considerado, em caso negativo $x_{ij} = 0$, c_{ij} é o custo de percorrer a distância i até j , S é um subgrafo de G , onde $|S|$ representa o número de vértices desse subgrafo.

A função objetivo (1) permite obter o custo total dos vértices utilizados; a equação (2) assegura que se passe uma única vez por cada cidade; a restrição (3) obriga que se deixe cada cidade uma única vez e a restrição (4) evita que circuitos pré-hamiltonianos (sub-rotas) sejam formados; para cada sub-rota é necessário implementar a restrição (4).

2.2.2.2 Variações do Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Segundo BODIN et al. (1983) soluções para PCV tem como propósito otimizar problemas práticos no dia-a-dia. Para problemas relacionados a transporte existem vários métodos na literatura capazes de propor soluções relativamente boas. Abaixo segue duas variações comuns para o PCV as quais podem ser utilizadas no problema em questão.

- **PCVM:** o Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo (PCVM) é uma modificação do PCV no qual é necessário usar mais de um caixeiro, para isso devem ser encontradas r rotas, todas iniciando e terminando num mesmo nó n , onde a soma total dos trajetos é mínima. Cada caixeiro deve visitar uma sub-rota de nós, e estes devem ser visitados por exatamente um caixeiro. A solução pode ser encontrada através de rotas simples, agrupando-as depois em rotas

otimizadas (*cluster first, route second*) ou encontrar uma grande rota ótima e dividi-la em rotas menores (*route first, cluster second*).

- **PCVJT**: o Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo (PCVJT) estipula um intervalo de tempo $[a, b]$ para cada vértice, estes só podem ser visitados entre a e b . Caso o vértice seja acessado antes do tempo a , o veículo deverá esperar um tempo w até poder visitá-lo, mas se o vértice for visitado depois de b , a rota fica inviável. O objetivo é minimizar o custo da rota, onde este custo pode representar a trajetória ou o tempo total de transporte.

Apesar de ambos os métodos citados satisfazerem a temática deste trabalho a particularidade do PCVM quanto a criação de rotas R sugere uma melhor aplicação para este tema. Dito isso, o algoritmo PCVM utilizado será apresentado no próximo capítulo juntamente com a definição problema.

3 ESTUDO DE CASO

O problema de análise de agrupamentos para diminuição do número de entregas em uma indústria de materiais plásticos é apresentado neste capítulo, o qual está dividido em quatro seções. A primeira descreve todos os processos que compõe as operações logísticas da empresa, a segunda com a descrição do problema e suas dificuldades.

A seção três descreve o modelo proposto para solução do problema estipulado bem como a sua formulação. Por fim, na quarta seção são admitidos os valores utilizados como parâmetros.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A empresa multinacional que será estudada neste trabalho, denominada Empresa A, atua na indústria do ramo plástico e possui quatro filiais por todo o país, todas possuem centros de distribuição além de terem áreas específicas voltadas para acolhimento de pedidos e roteirização de cargas. A filial analisada possui sede em Joinville e atende toda a região sul do país.

O setor de Administração de Vendas é o responsável pelo acolhimento dos pedidos, é através deste que ocorrem a interação cliente-empresa, a manutenção de estoque do cliente bem como a circulação dos produtos no mercado. Entre as principais operações desta área pode-se descrever:

- **Recebimento de pedido:** responsável por obter os itens desejados, manter o bom relacionamento com o cliente além de definir prioridades de entrega favorecendo o giro de estoque;
- **Geração de remessas:** operação responsável por dividir o pedido em remessas para que possam ser enviadas ao cliente além de definir prazos de entrega a fim de servir como indicador de conformidade com os prazos acordados;
- **Medição do OTIF:** OTIF significa *On Time In Full*, é o indicador utilizado pela empresa o qual determina se os materiais solicitados foram entregues nos prazos combinados bem como se todos os materiais foram entregues dentro dos padrões de qualidade.

No setor de Logística são oferecidos serviços de formação e otimização de cargas, planejamento e gestão de veículos, programação de saída de veículos do CD e gestão e otimização de rotas para entregas. Pode-se detalhar essas funções como:

- **Formação de cargas:** operação responsável por analisar as remessas e definir a quantidade de clientes a serem atendidos;
- **Planejamento e gestão de veículos:** operação responsável por definir o melhor meio de transporte para entrega (*truck*, carreta, contêiner marítimo ou avião);
- **Programação de saída de veículos:** definir e validar junto ao CD as melhores datas para o envio das cargas analisando a necessidade do cliente, bem como a capacidade de carregamento do CD;
- **Gestão de rotas para entrega:** definir a rota utilizada para envio e programar a sequência de entregas reduzindo a distância, o número de regiões a serem atendidas e o custo com cargas tributárias.

3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A logística corporativa da Empresa A trabalha com dois formatos de entrega para cargas rodoviárias: fechada e itinerante. Cargas fechadas compõem entregas realizadas exclusivamente para um único cliente, geralmente *home-centers*, enquanto cargas itinerantes atendem até 30 clientes em uma mesma viagem.

Cargas fechadas são as primeiras definidas no momento da roteirização. Apesar de terem o mesmo retorno financeiro quando comparado às cargas itinerantes, este tipo de transporte tem uma maior rentabilidade devido aos baixos custos de operação. O valor da viagem neste tipo de transporte é inferior, pois o período de tempo demandado para a entrega da mercadoria até o seu retorno é menor.

As remessas que sobram são então enviadas por de cargas itinerantes, pois neste tipo de transporte prioriza-se a maior quantidade de materiais possíveis a fim atingir a capacidade máxima do veículo. O limite de remessas é definido pela capacidade volumétrica do veículo utilizado, para *trucks* o volume ideal disponibilizado é de 42 até 44 m³ enquanto carretas comportam entre 84 e 88 m³.

Para reduzir custos com este tipo de transporte a empresa decidiu estipular limites de volume para definir as frequências de entrega de cada agrupamento.

Agrupamentos com volume semanais de até 30 m³ seriam atendidas em frequências quinzenais, para volumes de 30 m³ até 44 m³ o envio seria feito a cada 7 dias e rotas acima dessa capacidade não possuiriam frequências definidas, ou também chamadas de rotas de “envio diário”.

A vantagem de se trabalhar com esta metodologia é a certeza de atendimento ao cliente em frequências bem definidas. Sendo assim, tanto o CD como o cliente teriam uma melhor percepção do planejamento como do recebimento respectivamente. No entanto, ao conversar com os responsáveis por esta área na empresa do estudo de caso, observou-se que as rotas não estavam alinhadas com as necessidades da companhia, gerando certos incômodos em determinados momentos.

O sistema de contratação de transportadoras também é associado a esses agrupamentos, sendo que muitos estão ligadas à transportadoras diferentes. Este sistema apesar de mais econômico acaba prejudicando a operação quando há remessas dispersas em rotas de transportadoras diferentes.

Uma forma de contornar esta situação foi a descontinuação das frequências de entregas e a introdução da metodologia *First In First Out* (FIFO) para a composição de carga, desta maneira as remessas mais antigas são priorizadas e os veículos enviados no momento em que atingem a volumetria necessária.

Neste contexto, surge a ideia de propor novos agrupamentos para a reimplantação do programa de frequências de entrega dentro da Empresa A, para isso este trabalho propõe a modificação do algoritmo Clarke & Wright para visualização de possíveis melhorias dentro do contexto atual.

3.3 MODELO PROPOSTO

Este item será dividido em duas partes: a primeira apresentando de forma detalhada a heurística Clarke e Wright, explicando passo a passo cada etapa do método e a segunda parte apresenta as alterações realizadas para a resolução do problema considerado.

3.3.1 Algoritmo Clarke & Wright (C&W)

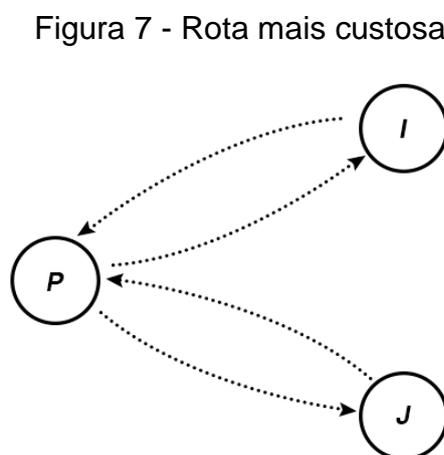
O modelo considerado para este trabalho foi apresentado pela primeira vez por Clarke e Wright (1962) em “*Scheduling of Vehicles From a Central Depot to a Number of Delivery Points*”, “*Operations Research*”. Apesar de antigo o modelo é bastante dissipado por grandes autores, sendo mencionado por Bodin et al. (1983) em “*Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – The State of the Art*”, “*Computers and Operations Research*” como um dos métodos de resolução PRV para um único depósito e vários caixeiros (Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo).

O algoritmo em questão foi escolhido, pois de acordo Ballou (1985) este modelo apresenta soluções próximas a 2% em relação à solução ótima, bem como permite a inclusão de restrições de capacidades dos veículos, presentes no problema em estudo.

Para entender a lógica da metodologia utilizada no algoritmo suponha n clientes que precisam ser atendidos por um depósito p . Tendo a disposição m veículos a solução mais custosa, e ao mesmo tempo mais simples, seria a realização de uma viagem v por cliente. Desta maneira teríamos $v = n$ viagens sendo que a distância total percorrida seria de:

$$D_1 = d_{pi} + d_{ip} + d_{pj} + d_{jp} \quad (6)$$

onde i e j seriam dois clientes a serem atendidos conforme ilustrado na Figura 7.



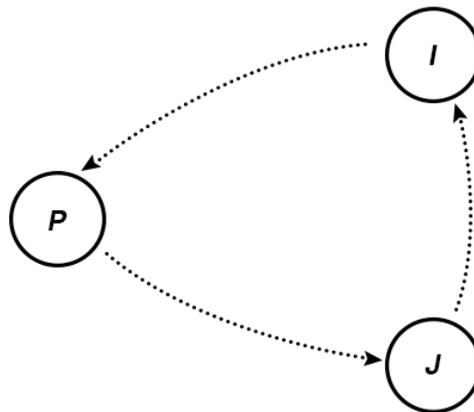
Fonte: Autor.

Assumindo que as distâncias de ida e de volta são as mesmas (problema simétrico) temos:

$$D_1 = 2 \cdot (d_{pi} + d_{pj}) \quad (7)$$

Para diminuir a distância percorrida deve-se considerar que o veículo queira realizar apenas uma viagem, dessa maneira o mesmo atenderia os clientes i e j para então retornar ao depósito. Sendo assim a única maneira viável é sair do depósito p , atender os clientes e retornar novamente ao ponto de origem conforme Figura 8:

Figura 8 - Rota otimizada



Fonte: Autor.

Nota-se que se retiram as distâncias d_{ip} e d_{pj} e acrescenta-se a distância d_{ij} do modelo, dessa maneira tem-se a nova formulação de distância total percorrida:

$$D_2 = d_{pi} + d_{ij} + d_{jp} \quad (8)$$

Assim, encontra-se a economia realizada fazendo a subtração do percurso dos dois roteiros.

$$S_{ij} = D_1 - D_2 \quad (9)$$

$$S_{ij} = 2 \cdot (d_{pi} + d_{pj}) - (d_{pi} + d_{ij} + d_{jp}) \quad (10)$$

$$S_{ij} = d_{pi} + d_{jp} - d_{ij} \quad (11)$$

O método de solução proposto por Clarke e Wright (1964) vem através da análise dessas economias. Para uma rede de nós n calcula-se as economias de cada par de nós e ordena-se de maneira decrescente. Dessa forma as maiores economias são adicionadas ao roteiro até que as restrições tenham sido atingidas.

A heurística em questão trabalha com a programação de rotas, no entanto a característica da economia (equação 11) favorece a aparição de pequenos agrupamentos em regiões mais afastadas. Dessa maneira este algoritmo será analisado quanto a sua capacidade de realizar agrupamentos visto que as operações de sequência já são consolidadas dentro do setor da logística da Empresa A.

A descrição completa dos passos da heurística de Clarke & Wright é apresentada na próxima seção:

3.3.1.1 Descrição do algoritmo Clarke & Wright

Conforme Miura (2008) o algoritmo de Clarke & Wright possui uma capacidade grande de adaptações quanto às suas restrições, por exemplo: restrições de distância, tempo de percurso, capacidade, entre outras. Dessa maneira, faz-se necessário estabelecer as premissas do problema:

- A rota inicia e termina no depósito;
- Apenas um depósito pode ser utilizado;
- A demanda do cliente não pode ultrapassar as restrições estabelecidas;
- O cliente deve ser visitado apenas uma única vez.

Tem-se como objetivo atender as demandas minimizando o deslocamento entre os pontos.

Procedimentos:

Passo 1: Calcular as economias S_{ij} para todos os pares de clientes existentes. Não calcular quando $i = j$.

Passo 2: Ordenar em ordem decrescente as economias calculadas em uma lista.

A partir deste ponto o modelo Clarke & Wright pode ser dividido em duas variantes: o modelo sequencial e paralelo. Ambos serão descritos na ordem mencionada e sucedem os Passos 1 e 2 mencionados.

Modelo sequencial

Passo 3: Crie uma rota e comece pela maior economia.

Passo 4: Analise a economia. Caso respeite as restrições (distância, carregamento, tempo etc.) adicione os pares i e j que compõem a economia na rota e apague a economia utilizada da lista. Em caso negativo vá para a próxima economia.

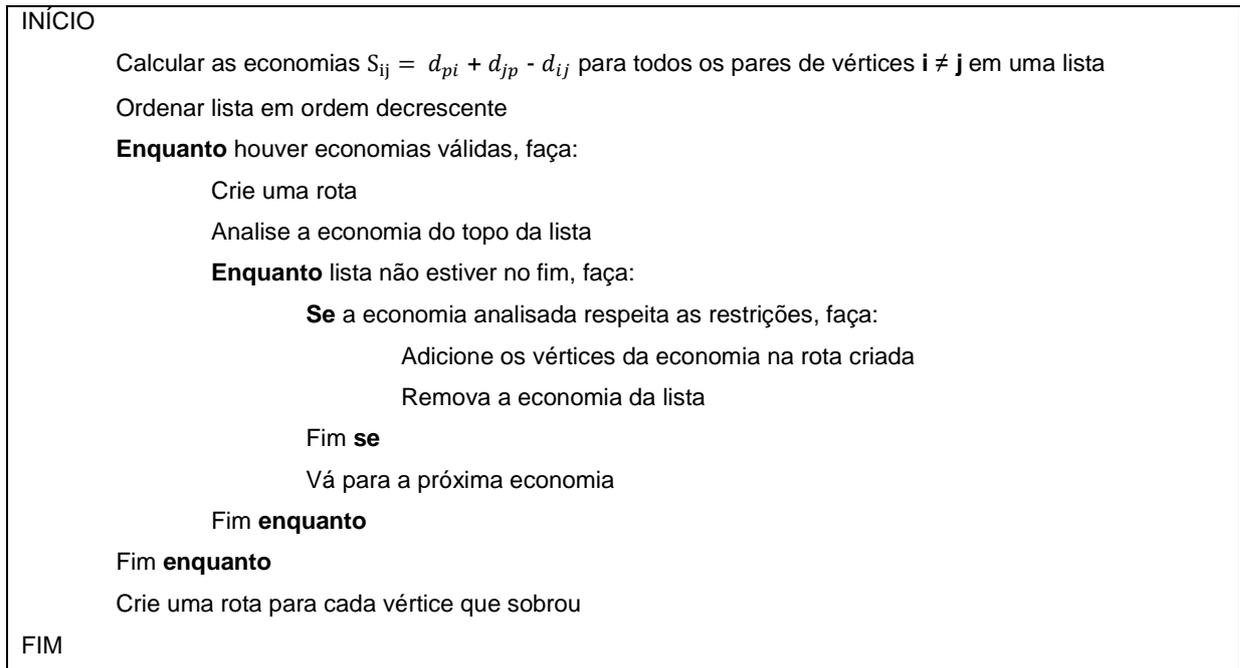
Passo 5: Faça o processo acima até não sobrar mais economias. A rota formada compõe todos os vértices que foram adicionados.

Passo 6: Repita os passos 3, 4 e 5 até não sobrar mais economias válidas.

Passo 7: Para os vértices não utilizados formar uma rota para cada.

O pseudocódigo apresentado na Figura 9 descreve os procedimentos realizados no algoritmo Clarke & Wright Sequencial:

Figura 9 - Pseudocódigo C&W Sequencial



Fonte: Adaptado de Miura (2008).

Modelo paralelo

Passo 3: Vá para o topo da lista de economias.

Passo 4: Analise a economia. Caso respeite as restrições (distância, carregamento, tempo etc.) e exista uma rota factível que permita o acréscimo desta economia, então, una-a nesta rota. Em caso negativo, crie uma nova rota e acrescente estes vértices.

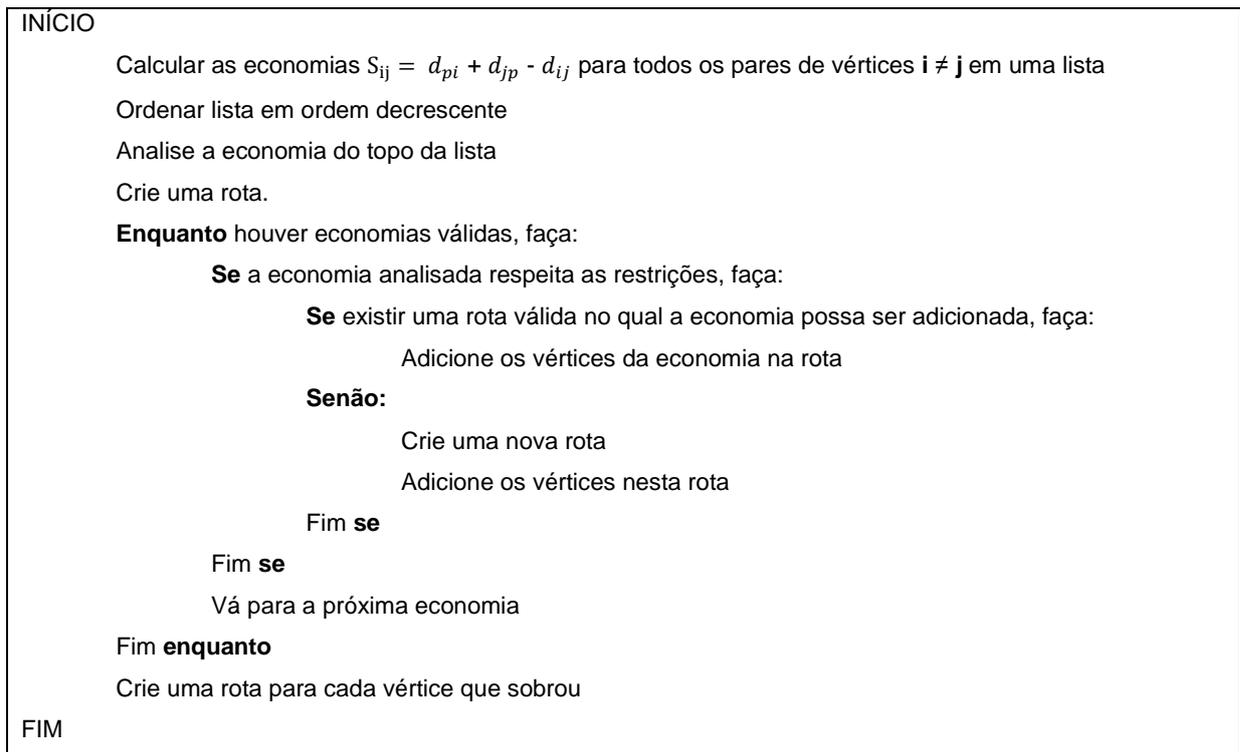
Passo 5: Vá para a próxima economia.

Passo 6: Caso ainda exista economia repetir os passos 4, 5.

Passo 7: Para os vértices não utilizados formar uma rota para cada.

O pseudocódigo exemplificado na Figura 10 descreve os procedimentos realizados no algoritmo Clarke & Wright Paralelo:

Figura 10 - Pseudocódigo C&W Paralelo



Fonte: Adaptado de Miura (2008).

3.3.1.2 Exemplificação do algoritmo Clarke & Wright

Considere uma demanda fictícia para 12 cidades exemplificada na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo: lista de cidades e sua volumetria.

CIDADE	CÓDIGO	VOLUME M ³
ARAQUARI	1	15,00
BALNEÁRIO BARRA DO SUL	2	5,00
CORUPÁ	3	10,00
GARUVA	4	10,00
GUARAMIRIM	5	15,00
ITAPOÁ	6	20,00
JARAGUÁ DO SUL	7	20,00
JOINVILLE	8	5,00
MASSARANDUBA	9	10,00
SÃO FRANCISCO DO SUL	10	15,00
SÃO JOÃO DO ITAPERIÚ	11	5,00
SCHROEDER	12	5,00

Fonte: Autor.

Imagine que se faz necessário atender essa demanda em apenas um dia. O objetivo é saber quais os roteiros de viagens e quantos veículos serão utilizados para concluir esta atividade.

Outras restrições do problema:

- Capacidade de cada veículo: 40 m³
- Localização do depósito: cidade de Joinville (mas a distância do depósito ao centroide da cidade é diferente de 0)

Para começar calculamos a matriz de distâncias entre todos os pontos (depósito + 12 cidades = 13 nós), estes estão presentes na Tabela 2 em quilômetros;

Tabela 2 - Exemplo: matriz de distâncias das cidades.

CÓDIGO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,0	14,7	28,8	42,6	30,3	24,5	30,4	30,6	0,8	38,0	21,2	36,3	26,2
1	14,7	0,0	14,2	52,8	40,7	30,1	30,6	37,2	15,2	38,7	15,5	27,8	35,6
2	28,8	14,2	0,0	63,2	53,5	38,9	38,2	45,8	29,2	42,6	22,5	23,7	46,3
3	42,6	52,8	63,2	0,0	59,0	24,7	71,4	18,6	41,8	31,7	63,7	52,3	17,2
4	30,3	40,7	53,5	59,0	0,0	51,1	25,3	55,2	30,6	66,5	33,4	66,4	47,9
5	24,5	30,1	38,9	24,7	51,1	0,0	54,9	7,1	23,8	15,8	43,5	28,8	9,5
6	30,4	30,6	38,2	71,4	25,3	54,9	0,0	61,0	31,1	67,2	15,9	58,2	56,1
7	30,6	37,2	45,8	18,6	55,2	7,1	61,0	0,0	29,9	15,4	50,3	33,7	8,2
8	0,8	15,2	29,2	41,8	30,6	23,8	31,1	29,9	0,0	37,5	22,0	36,1	25,4
9	38,0	38,7	42,6	31,7	66,5	15,8	67,2	15,4	37,5	0,0	53,9	23,6	23,2
10	21,2	15,5	22,5	63,7	33,4	43,5	15,9	50,3	22,0	53,9	0,0	42,6	47,0
11	36,3	27,8	23,7	52,3	66,4	28,8	58,2	33,7	36,1	23,6	42,6	0,0	38,3
12	26,2	35,6	46,3	17,2	47,9	9,5	56,1	8,2	25,4	23,2	47,0	38,3	0,0

Fonte: Autor.

Calcule as economias entre todas as cidades ($S_{ij} = d_{pi} + d_{jp} - d_{ij}$), coloque em uma lista e ordene em ordem decrescente (Tabela 3).

Tabela 3 - Lista de economias.

DE	PARA	ECONOMIA	DE	PARA	ECONOMIA	DE	PARA	ECONOMIA
3	7	54,6	4	10	18,1	3	6	1,6
7	9	53,2	10	11	14,9	7	10	1,5
3	12	51,5	1	6	14,6	7	8	1,5
9	11	50,7	2	5	14,5	5	8	1,5
3	9	48,9	1	9	14,0	8	9	1,4
7	12	48,7	3	4	13,9	6	9	1,2
5	7	48,1	2	7	13,7	8	11	0,9
5	9	46,8	1	5	9,1	4	8	0,5
3	5	42,4	2	12	8,7	6	12	0,5
2	11	41,3	4	12	8,6	2	8	0,4
5	12	41,2	6	11	8,5	10	12	0,4
9	12	41,0	1	7	8,2	1	8	0,3
6	10	35,7	2	3	8,1	4	11	0,2
4	6	35,5	4	7	5,8	5	6	0,1
7	11	33,2	2	4	5,6	3	10	0,1
5	11	32,0	9	10	5,4	6	8	0,0
1	2	29,4	1	12	5,3	8	10	0,0
2	10	27,5	1	3	4,5	6	7	0,0
3	11	26,5	1	4	4,3			
2	9	24,3	4	5	3,7			
11	12	24,1	5	10	2,2			
1	11	23,2	4	9	1,9			
2	6	21,0	3	8	1,6			
1	10	20,4	8	12	1,6			

Fonte: Autor.

Com esses dados obtidos pode-se seguir por um dos dois modelos, neste exemplo será utilizada a versão paralela da heurística de Clarke & Wright visto a sua dificuldade comparado a versão sequencial.

Modo Paralelo

Para o mesmo exemplo ilustrativo, começa-se efetuando as ligações entre os pares, iniciando do topo da lista e obedecendo as restrições volumétricas do problema. A primeira ligação a ser realizada é entre os pontos 3 e 7. Isto significa que estão retirando as rotas custosas 0-3-0 e 0-7-0, onde 0 representa o depósito do problema. Dessa maneira, na nova rota será 0-3-7-0 com as seguintes características:

Roteiro n°1: 0-3-7-0

Distância percorrida: 91,85 km

Volume total: 30 m³

Concluindo a iteração passa-se para a próxima linha da lista, no caso analisam-se os pares 7 e 9. Como a cidade nº 7 está presente no Roteiro nº1 e a cidade nº 9 não está, logo é uma candidata a ser inserida nesta rota. Visto que a solução se torna viável e respeita as restrições de volume, então o nó 9 é adicionado ao problema.

Roteiro nº1: 0-3-7-9-0

Distância percorrida: 114,69 km

Volume total: 40 m³

Como a restrição volumétrica foi atingida para o Roteiro nº1 a próxima solução viável deverá ser inserida em uma nova rota, no caso a próxima combinação viável se encontra com os pares 2 e 11 resultando em:

Roteiro nº2: 0-2-11-0

Distância percorrida: 88,81 km

Volume total: 10 m³

A próxima combinação da lista, o possível roteiro 0-5-12-0 apesar de não ter conexão com nenhuma rota já existente possui condições válidas em todos os aspectos. Dessa maneira acrescenta-se um novo roteiro mesmo com o anterior não tendo sido completamente preenchido.

Roteiro nº3: 0-5-12-0

Distância percorrida: 50,27 km

Volume total: 20 m³

O algoritmo segue assim até que não exista mais roteiros para serem formados e nem pares de vértices a serem analisados. Como resultado, temos as seguintes combinações ao final do algoritmo C&W com modo paralelo:

Roteiro nº1: 0-3-7-9-0

Distância percorrida: 114,69 km

Volume total: 40 m

Roteiro n°2: 0-1-2-11-0

Distância percorrida: 88,88 km

Volume total: 25 m³

Roteiro n°3: 0-8-5-12-4-0

Distância percorrida: 112,44 km

Volume total: 35 m³

Roteiro n°4: 0-6-10-0

Distância percorrida: 67,50 km

Volume total: 35 m³

Vale ressaltar que se existisse uma cidade X não visitada e que não obedecesse às restrições nos roteiros criados a mesma deveria ter uma rota própria no esquema 0-X-0.

3.3.2 Algoritmo Clarke & Wright Modificado

Apesar da solução obtida pelo algoritmo Clarke & Wright ser relativamente boa, o mesmo pode criar rotas com centroides/clientes geograficamente distantes um dos outros. Isso se deve ao fato dele alocar os pares de acordo com a ordem decrescente das economias e não com base nas características dos seus vizinhos.

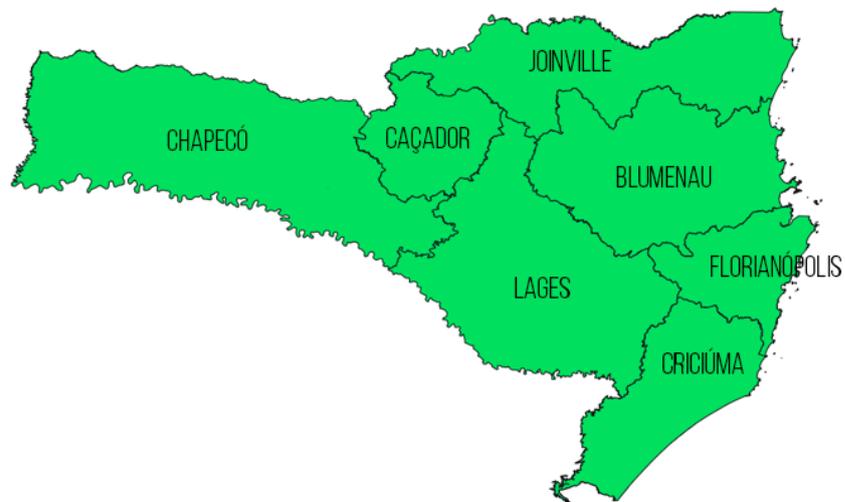
Uma estratégia para contornar esta característica seria limitar a quilometragem a ser percorrida pelo veículo a fim de não encontrar clientes demasiadamente distantes, porém com esta visão prioriza-se somente o trajeto, não focando no agrupamento de clientes para formação de uma carga completa. Em regiões distantes, nos quais o volume de compra é relativamente baixo, a condição de distância poderia ser atingida antes mesmo da restrição de capacidade do veículo, aumentando assim o número de viagens.

Para solucionar este problema é proposto a alteração do processo de construção das economias realizado no passo 1 tanto dos modelos sequencial como do modelo paralelo. A formação das economias funcionará a partir das condições geográficas de vizinhança, tendo somente as economias das regiões que formam

fronteiras contabilizadas, desta maneira formam-se apenas agrupamentos com regiões limítrofes e reduz o custo computacional do algoritmo.

A modificação da etapa citada se faz com a implementação de uma matriz origem/destino conforme pode ser observado na Figura 11 e na Tabela 4 no qual 1 representa regiões vizinhas e 0 regiões não próximas.

Figura 11 - Regiões intermediárias de Santa Catarina



Fonte: Autor.

Tabela 4 - Matriz OD das zonas intermediárias de Santa Catarina

	BLUMENAU	CAÇADOR	CHAPECÓ	CRICIÚMA	FLORIANÓPOLIS	JOINVILLE	LAJES
BLUMENAU	-	0	0	0	1	1	1
CAÇADOR	0	-	1	0	0	1	1
CHAPECÓ	0	1	-	0	0	0	1
CRICIÚMA	0	0	0	-	1	0	1
FLORIANÓPOLIS	1	0	0	1	-	0	1
JOINVILLE	1	1	0	0	0	-	1
LAJES	1	1	1	1	1	1	-

Fonte: Autor.

3.3.2.1 Descrição

As etapas abaixo são passos precursores dos modelos sequencial e paralelo descritos anteriormente, deste modo somente as etapas modificadas serão

descritas, cuja as quais têm como objetivo atender as demandas minimizando o deslocamento entre os pontos. Neste sentido, os procedimentos são:

Passo 1: Definir a matriz OD para todos os pares de vértices $i \neq j$.

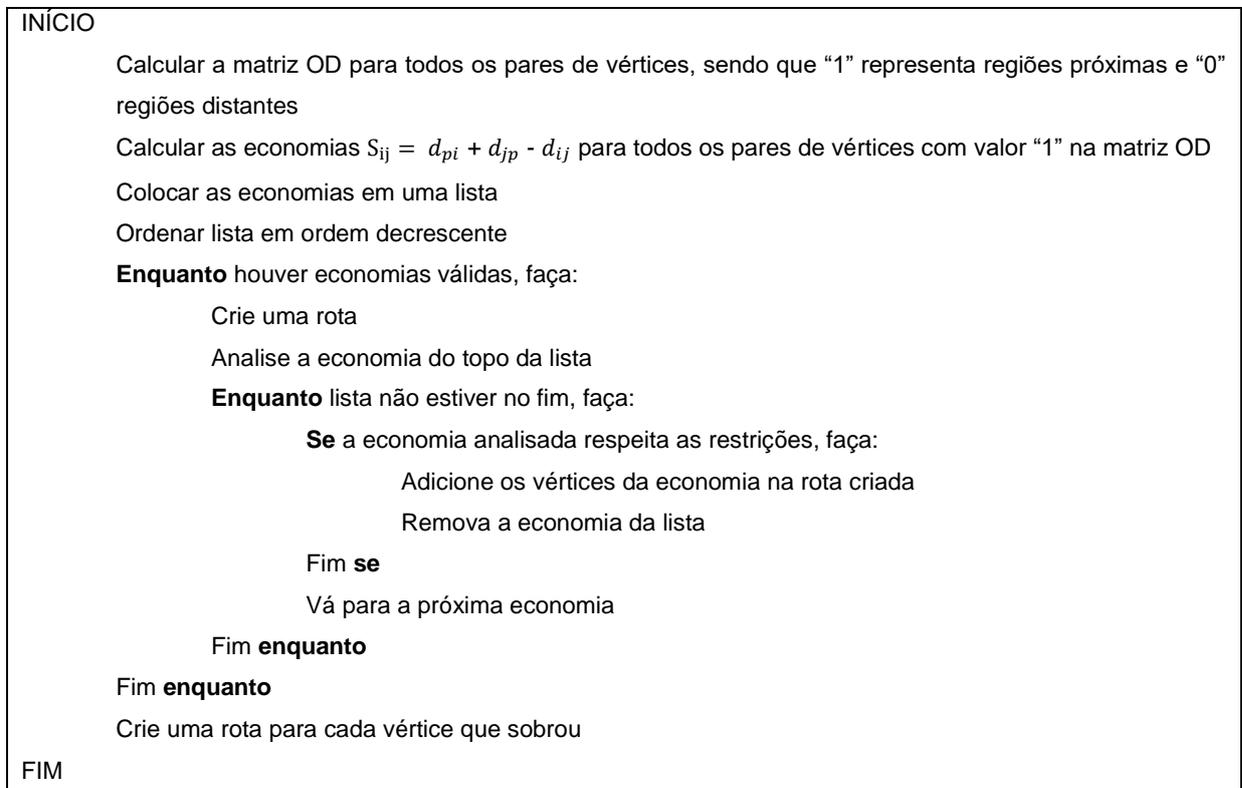
Passo 2: Calcular as economias S_{ij} para todos os pares de vértices com valor 1 na matriz OD criada.

Passo 3: Ordenar em ordem decrescente as economias calculadas em uma lista.

Passo 4: Proceder com a resolução conforme o modelo escolhido (sequencial ou paralelo).

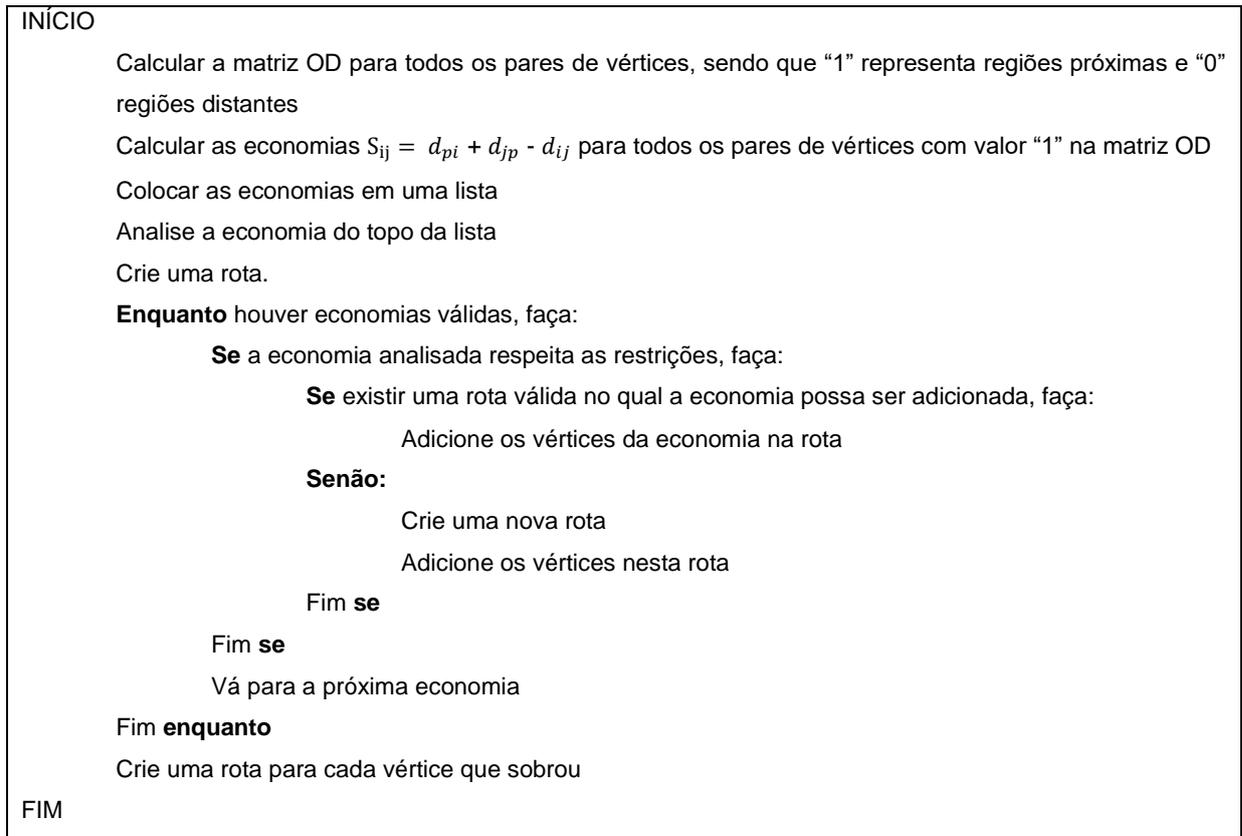
As Figuras 12 e 13 representam os pseudocódigos do modelo sequencial e paralelo dos algoritmos modificados.

Figura 12 - Pseudocódigo modelo sequencial modificado



Fonte: Autor.

Figura 13 - Pseudocódigo modelo paralelo modificado



Fonte: Autor.

3.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O ESTUDO DE CASO

Nesta seção é feita a definição dos parâmetros empregados bem como as equações utilizadas como cálculo das distâncias e de OTIF para ambos os algoritmos.

3.4.1 Zonas geográficas imediatas

Antes de definir as posições geográficas utilizadas foi necessário entender se o algoritmo iria roteirizar todas as cidades ou se os volumes de remessas iriam ser agrupados em zonas de interesse econômico em comum, também chamadas de microrregiões.

Após conversar com os coordenadores das áreas de Administração de Vendas e Logística definiu-se que a melhor maneira de estruturar o plano de rotas seria através de delimitadores conhecidos como microrregiões. Esta estrutura se deve ao fato de que no momento de contratação de uma transportadora, usar microrregiões facilitaria o processo de delimitação e entendimento das rotas.

Conforme o IBGE (2017) houve atualização das antigas micro e mesorregiões nas quais passaram a se chamar zonas geográficas imediatas (RGI) e intermediárias (RGINT), respectivamente. Estas atualizações aconteceram, pois conforme o próprio instituto os antigos agrupamentos estavam desatualizados, sendo sua última modificação feita em 1989. Devido a isso, as delimitações feitas no trabalho respeitam as novas regiões geográficas imediatas citadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Lista de regiões geográficas imediatas de Santa Catarina

Código IBGE	Região Geográfica Imediata
420001	Florianópolis
420002	Criciúma
420003	Tubarão
420004	Araranguá
420005	Lages
420006	Curitibanos
420007	Chapecó
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste
420009	São Miguel do Oeste
420010	Concórdia
420011	Xanxerê
420012	Maravilha
420013	São Lourenço do Oeste
420014	Caçador
420015	Videira
420016	Joinville
420017	Mafra
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho
420019	Blumenau
420020	Itajaí
420021	Brusque
420022	Rio do Sul
420023	Ibirama-Presidente Getúlio
420024	Ituporanga

Fonte: IBGE (2017)

3.4.2 Volume de remessas

Para definir o volume de mercadorias foram utilizados os dados de geração de remessas registrados no sistema da empresa do estudo de caso, todas as operações contemplam a data de janeiro/18 até março/18. Foram extraídas informações que continham os pedidos de cada cliente, o volume de materiais solicitados, o número da viagem representada no sistema bem como a cidade e estado do cliente recebedor da mercadoria.

Os dados foram divididos em cargas fechadas e itinerantes, sendo analisado apenas o segundo grupo. Desses dados também é possível saber quantas viagens foram realizadas, assim é possível se estipular um cenário base para verificar se o algoritmo proposto diminuiria ou não o número de viagens realizadas.

A Tabela 6 representa o volume médio de compra por semana, em metros cúbicos, e a divisão destes nas regiões geográficas imediatas.

Tabela 6 - Volume de vendas associado às RGI

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Média p/ semana (m ³)
420001	Florianópolis	115,67
420002	Criciúma	11,34
420003	Tubarão	22,84
420004	Araranguá	15,47
420005	Lages	17,19
420006	Curitibanos	2,36
420007	Chapecó	29,62
420008	Joaçaba - Herval d'Oeste	26,44
420009	São Miguel do Oeste	4,36
420010	Concórdia	7,02
420011	Xanxerê	8,95
420012	Maravilha	1,84
420013	São Lourenço do Oeste	4,81
420014	Caçador	7,82
420015	Videira	7,16
420016	Joinville	88,85
420017	Mafra	4,52
420018	São Bento do Sul - Rio Negrinho	1,72
420019	Blumenau	40,70
420020	Itajaí	61,70
420021	Brusque	23,97
420022	Rio do Sul	19,68
420023	Ibirama - Presidente Getúlio	5,58
420024	Ituporanga	2,44

Fonte: Autor.

3.4.3 Coordenadas geográficas

A fim de identificar os centroides a serem utilizados por suas respectivas zonas geográficas imediatas, analisou-se as cidades com os maiores pedidos de compra na empresa estudada. Com base nesse critério, os centroides escolhidos foram as respectivas cidades com maior média volumétrica nos 3 meses analisados.

Todas as cidades do estado de Santa Catarina tiveram suas coordenadas de GPS baixadas de arquivos presentes no site de contribuição de projetos GitHub. A Tabela 7 mostra as cidades centroides que foram utilizadas neste trabalho e suas

respectivas coordenadas geográficas que foram empregadas nas análises. O depósito utilizado está presente na região de Joinville e possui coordenadas de GPS genéricas situadas na posição <-26.3018, -48.8415>.

Tabela 7 - Coordenadas de GPS utilizadas

Código IBGE	Região Imediata	Média p/ Semana (m³)	Cidade Centróide	Latitude	Longitude
420001	FLORIANÓPOLIS	115,67	SÃO JOSÉ	-27.6136	-48.6366
420002	CRICIÚMA	11,34	CRICIÚMA	-28.6723	-49.3729
420003	TUBARÃO	22,84	TUBARÃO	-28.4713	-49.0144
420004	ARARANGUÁ	15,47	TURVO	-25.0437	-51.5282
420005	LAGES	17,19	LAGES	-27.8150	-50.3259
420006	CURITIBANOS	2,36	CURITIBANOS	-27.2824	-50.5816
420007	CHAPECÓ	29,62	CHAPECÓ	-27.1004	-52.6152
420008	JOAÇABA - HERVAL D'OESTE	26,44	JOAÇABA	-27.1721	-51.5108
420009	SÃO MIGUEL DO OESTE	4,36	SÃO MIGUEL DO OESTE	-26.7242	-53.5163
420010	CONCÓRDIA	7,02	SEARA	-27.1564	-52.2990
420011	XANXERÊ	8,95	XANXERÊ	-26.8747	-52.4036
420012	MARAVILHA	1,84	MARAVILHA	-26.7665	-53.1737
420013	SÃO LOURENÇO DO OESTE	4,81	SÃO LOURENÇO DO OESTE	-26.3557	-52.8498
420014	CAÇADOR	7,82	CAÇADOR	-26.7757	-51.0120
420015	VIDEIRA	7,16	VIDEIRA	-27.0086	-51.1543
420016	JOINVILLE	88,85	JOINVILLE	-26.3045	-48.8487
420017	MAFRA	4,52	PORTO UNIÃO	-26.2451	-51.0759
420018	SÃO BENTO DO SUL - RIO NEGRINHO	1,72	SÃO BENTO DO SUL	-26.2495	-49.3831
420019	BLUMENAU	40,70	BLUMENAU	-26.9155	-49.0709
420020	ITAJAÍ	61,70	BALNEÁRIO CAMBORIÚ	-26.9926	-48.6352
420021	BRUSQUE	23,97	BRUSQUE	-27.0977	-48.9107
420022	RIO DO SUL	19,68	RIO DO SUL	-27.2156	-49.6430
420023	IBIRAMA - PRESIDENTE GETÚLIO	5,58	PRESIDENTE GETÚLIO	-27.0474	-49.6246
420024	ITUPORANGA	2,44	ITUPORANGA	-27.4101	-49.5963

Fonte: Autor.

3.4.4 Cálculo das distâncias

Para o cálculo das distâncias entre os centroides foi utilizado o método proposto por Ballou (2006) conhecido como trigonometria esférica. Essa equação além de evitar distorções de mapeamento, ela reconhece a curvatura da Terra. A equação do Autor para este problema pode ser vista a seguir.

$$D_{x-y} = R * \cos^{-1} \left(\sin \left((Lat\ x) * \frac{\pi}{180} \right) * \sin \left((Lat\ y) * \frac{\pi}{180} \right) + \cos \left((Lat\ x) * \frac{\pi}{180} \right) * \cos \left((Lat\ y) * \frac{\pi}{180} \right) * \cos \left((Long\ x - Long\ y) * \frac{\pi}{180} \right) \right) \quad (12)$$

Sendo:

D_{x-y} = Distância entre os pontos x-y;

$Lat\ x$ = Latitude do ponto x;

$Lat\ y$ = Latitude do ponto y;

$Long\ x$ = Longitude do ponto x;

$Long\ y$ = Longitude do ponto y;

R = Raio da Terra (6731 km).

Vale notar que a fórmula anterior estima viagens entre dois pontos em linha reta respeitando a curvatura da Terra, porém, na realidade, todos os trajetos respeitam os contornos rodoviários existentes no estado. Para ajustar esses valores, Ballou (2006) traz em sua publicação fatores de correção para diversos países nos quais servem para minimizar este erro. No Brasil, o autor sugere um fator de correção de 1,23 entre as distâncias rodoviárias e os valores obtidos das linhas retas. Neste sentido, utilizou-se neste trabalho o fator de 1,23 recomendado pelo autor.

3.4.5 Indicadores de nível de serviço

Para medir o desempenho estabelecido pelo algoritmo C&W modificado extraíram-se informações dos pedidos de compra realizados dos 3 meses bem como as suas datas de entrega. Ao se concluir a entrega de todas as mercadorias na data

planejada se atinge o OTIF, porém caso algum item não seja entregue em tempo hábil o mesmo não é alcançado.

Este indicador é o principal utilizado pela empresa em questão, tendo este um resultado binário, assim, para cada pedido, ou você atinge ele em sua totalidade ou não atinge. Para calcular a aderência do OTIF nos Métodos 1 e 2 foi aplicado a metodologia FIFO para as remessas que eram criadas, dessa maneira busca-se de forma simples e intuitiva o envio dos produtos no menor tempo possível. A metodologia utilizada no trabalho esta representada na Figura 14.

Figura 14 - Equação do OTIF

Se $(DF + TT \leq DP)$ faça:

OTIF do pedido atingido, valor 1.

Caso contrário:

OTIF do pedido não atingido, valor 0.

Fim.

Fonte: Autor.

Sendo:

DF = Data de faturamento/envio da última remessa

TT = *Transit Time*

DP = Data prometida

A data de faturamento representa o dia em que é realizado o envio e o *Transit Time* reproduz o período necessário para entregar a mercadoria sendo este valor iniciado no instante em que o veículo sai da empresa (DF) até o momento da entrega ao cliente recebedor.

Datas de faturamento, de *Transit Time* e datas prometidas não serão apresentadas por serem informações sigilosas, porém os resultados desses cálculos serão exibidos a fim de compreender os impactos causados pela aplicação dos algoritmos.

4 APLICAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Os dados utilizados para análises bem como seus resultados serão apresentados neste capítulo em 3 partes. A Seção 4.1 irá detalhar o cenário atual no qual a empresa está inserida, a segunda parte irá apresentar o modelo matemático e algumas considerações na empresa do estudo de caso e a terceira irá mostrar os resultados obtidos com a aplicação do modelo modificado.

4.1 CENÁRIO REAL

No atual cenário, a Empresa A divide o estado de Santa Catarina em 3 rotas sendo estas não apresentadas no trabalho devido a sua confidencialidade. O número de viagens bem como as distâncias percorridas pelos veículos são apresentados abaixo. Estes dados foram multiplicados por um fator K para garantir o sigilo dos dados reais.

Tabela 8 - Número de viagens realizadas no cenário real

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
59	63	68	63,3

Fonte: Autor.

Na Tabela 8 observa-se um aumento do número de viagens no decorrer dos meses. Em janeiro o baixo volume de vendas é motivado pelas férias e comemorações deste período. No mês de fevereiro este valor é decorrente do menor número de dias no mês.

Tabela 9 - Distância percorrida (km) pelos veículos no cenário real

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
34.840,90	37.527,11	41.807,27	38.391,76

Fonte: Autor.

O resultado das distâncias obtidas na Tabela 9 foi calculado utilizando a fórmula de distância entre os pontos da seção 3.4.4.

Tabela 10 - OTIF do primeiro trimestre

Documentos dentro do OTIF	Documentos fora do OTIF	Total	Porcentagem
4.221	2.261	6.482	65,12%

Fonte: Autor.

A Tabela 10 representa a quantidade de pedidos atendidos dentro do primeiro trimestre e a Tabela 11 representa a quantidade de pedidos feitos por região. O valor de 65,12% será utilizado como valor médio do OTIF. Também será considerado que a quantidade de pedidos por rota se manterá constante.

Tabela 11 - Porcentagem de pedidos por rota

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Qtde. de pedidos	% Pedidos
420001	FLORIANÓPOLIS	1406	21,7%
420002	CRICIÚMA	184	2,8%
420003	TUBARÃO	252	3,9%
420004	ARARANGUÁ	141	2,2%
420005	LAGES	233	3,6%
420006	CURITIBANOS	29	0,4%
420007	CHAPECÓ	388	6,0%
420008	JOAÇABA - HERVAL D'OESTE	320	4,9%
420009	SÃO MIGUEL DO OESTE	82	1,3%
420010	CONCÓRDIA	145	2,2%
420011	XANXERÊ	111	1,7%
420012	MARAVILHA	39	0,6%
420013	SÃO LOURENÇO DO OESTE	73	1,1%
420014	CAÇADOR	87	1,3%
420015	VIDEIRA	121	1,9%
420016	JOINVILLE	916	14,1%
420017	MAFRA	97	1,5%
420018	SÃO BENTO DO SUL - RIO NEGRINHO	19	0,3%
420019	BLUMENAU	456	7,0%
420020	ITAJAÍ	805	12,4%
420021	BRUSQUE	330	5,1%
420022	RIO DO SUL	170	2,6%
420023	IBIRAMA - PRESIDENTE GETÚLIO	44	0,7%
420024	ITUPORANGA	34	0,5%

Fonte: Autor.

4.2 MÉTODO 01 – C&W

Neste método consideraram-se apenas as restrições de volume para se restringir as rotas. Para obtenção do valor ideal da restrição fez-se necessário o cálculo de diversos panoramas, pois como visto anteriormente, a volumetria desejada por rota é de 42 m³ sendo expansível até 44 m³.

Ao se definir um valor para a capacidade qualquer volume extra, mesmo que mínimo, inviabilizaria o agrupamento em questão prejudicando a análise dos resultados. Sendo assim, foram calculadas rotas com capacidade de 42 m³ até 44 m³ para avaliar o melhor modelo a ser utilizado. O método utilizado é o Clarke & Wright paralelo e os resultados podem ser conferidos nas Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12 - Restrição de capacidade em 42 m³ (C&W)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento
420007	Chapecó	1	4	40,63	963,67	Semanal
420009	São Miguel do Oeste		2			
420012	Maravilha		3			
420013	São Lourenço do Oeste		1			
420010	Concórdia	2	2	30,04	762,23	Semanal
420011	Xanxerê		3			
420014	Caçador		1			
420017	Mafra		4			
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho		5			
420002	Criciúma	3	1	29,25	623,29	Quinzenal
420004	Araranguá		2			
420024	Ituporanga		3			
420006	Curitibanos	4	1	35,96	579,54	Semanal
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste		2			
420015	Videira		3			
420003	Tubarão	5	1	40,02	613,11	Semanal
420005	Lages		2			
420022	Rio do Sul	6	1	25,25	261,55	Quinzenal
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		2			
420001	Florianópolis	7	-	115,67	294,78	Diário
420016	Joinville	8	-	88,85	1,57	Diário
420019	Blumenau	9	-	40,70	143,08	Semanal
420020	Itajaí	10	-	61,70	140,48	Diário
420021	Brusque	11	-	23,97	177,51	Quinzenal
Distância total percorrida					4560,82	

Fonte: Autor.

Tabela 13 - Restrição de capacidade em 43 m³ (C&W)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento
420006	Curitiba	1	5	42,99	984,85	Semanal
420007	Chapecó		4			
420009	São Miguel do Oeste		2			
420012	Maravilha		3			
420013	São Lourenço do Oeste		1			
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste	2	1	42,41	753,04	Semanal
420010	Concórdia		2			
420011	Xanxerê		3			
420002	Criciúma	3	1	26,81	613,66	Quinzenal
420004	Araranguá		2			
420005	Lages	4	5	40,85	662,35	Semanal
420014	Caçador		3			
420015	Videira		4			
420017	Mafra		2			
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho		1			
420024	Ituporanga		6			
420022	Rio do Sul	5	1	25,25	261,55	Quinzenal
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		2			
420001	Florianópolis	6	-	115,67	294,78	Diário
420003	Tubarão	7	-	22,84	483,68	Quinzenal
420016	Joinville	8	-	88,85	1,57	Diário
420019	Blumenau	9	-	40,70	143,08	Semanal
420020	Itajaí	10	-	61,70	140,48	Diário
420021	Brusque	11	-	23,97	177,51	Quinzenal
Distância total percorrida					4516,54	

Fonte: Autor.

Tabela 14 - Restrição de capacidade em 44 m³ (C&W)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento
420006	Curitibanos	1	5	42,99	984,85	Semanal
420007	Chapecó		4			
420009	São Miguel do Oeste		2			
420012	Maravilha		3			
420013	São Lourenço do Oeste		1			
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste	2	1	42,41	753,04	Semanal
420010	Concórdia		2			
420011	Xanxerê		3			
420002	Criciúma	3	1	44,00	672,34	Semanal
420004	Araranguá		2			
420005	Lages		3			
420014	Caçador	4	2	43,48	622,87	Semanal
420015	Videira		3			
420017	Mafra		1			
420021	Brusque		4			
420003	Tubarão	5	1	25,28	517,16	Quinzenal
420024	Ituporanga		2			
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho	6	3	26,97	294,08	Quinzenal
420022	Rio do Sul		1			
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		2			
420001	Florianópolis	7	-	115,67	294,78	Diário
420016	Joinville	8	-	88,85	1,57	Diário
420019	Blumenau	9	-	40,70	143,08	Semanal
420020	Itajaí	10	-	61,70	140,48	Diário
Distância total percorrida					4424,25	

Fonte: Autor.

Vale notar que os resultados obtidos pelos 3 cenários geraram agrupamentos semelhantes entre si, enquanto capacidades de 42 e 43 m³ geraram 11 rotas a restrição de 44 m³ gerou 10, o tipo de atendimento atribuído a cada rota também sofreu variações.

Observou-se uma diminuição da distância total percorrida para se atender todas as regiões quando a capacidade de 44 m³ é utilizada. A diferença da distância entre a capacidade de 42 m³ e 44 m³ apresenta uma diminuição de aproximadamente 150 km na distância total percorrida.

A menor distância total é pertencente a rota com capacidade máxima de 44 m³ com apenas 4.424,25 km percorridos. Esta será utilizada neste cenário visto que

considera menos rotas com atendimentos quinzenais em comparação as outras duas.

Tabela 15 - Número de viagens projetadas (C&W)

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
49	54	59	54

Fonte: Autor.

Para cálculo a variação do número de viagens utilizou-se a metodologia FIFO para formação das cargas. No momento em que a capacidade era atingida, foi considerada uma entrega. O resultado do somatório de todas as viagens projetadas é apresentado na Tabela 15.

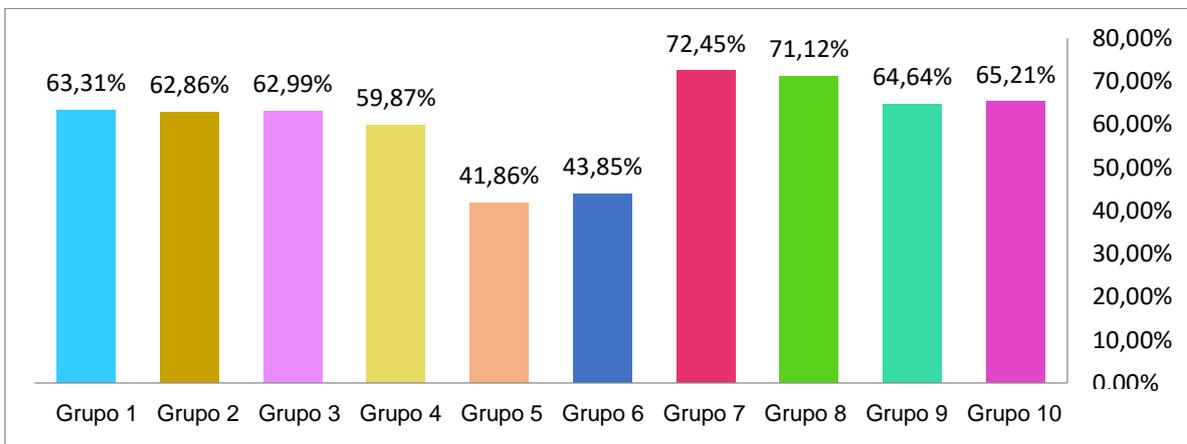
Tabela 16 - Distância percorrida pelos veículos por mês em quilômetros (C&W)

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
26.162,54	31.895,68	33.698,25	30.585,49

Fonte: Autor.

As distâncias obtidas na Tabela 16 são estimadas de acordo com as remessas e o número de viagens projetadas da Tabela 15, o método utilizado para cálculo é o da seção 3.4.4.

Gráfico 1 - OTIF por agrupamento (C&W)



Fonte: Autor.

Para definição do OTIF seguiu-se novamente a metodologia FIFO para o envio das remessas juntamente com a equação da seção 3.4.5. É possível visualizar no Gráfico 1 que rotas com frequências de entrega semanais estão próximos do percentual atingido do cenário real. No entanto conforme Tabela 17 o número de entregas dentro do prazo vezes a quantidade de pedidos representa o OTIF alcançado de 64,7%.

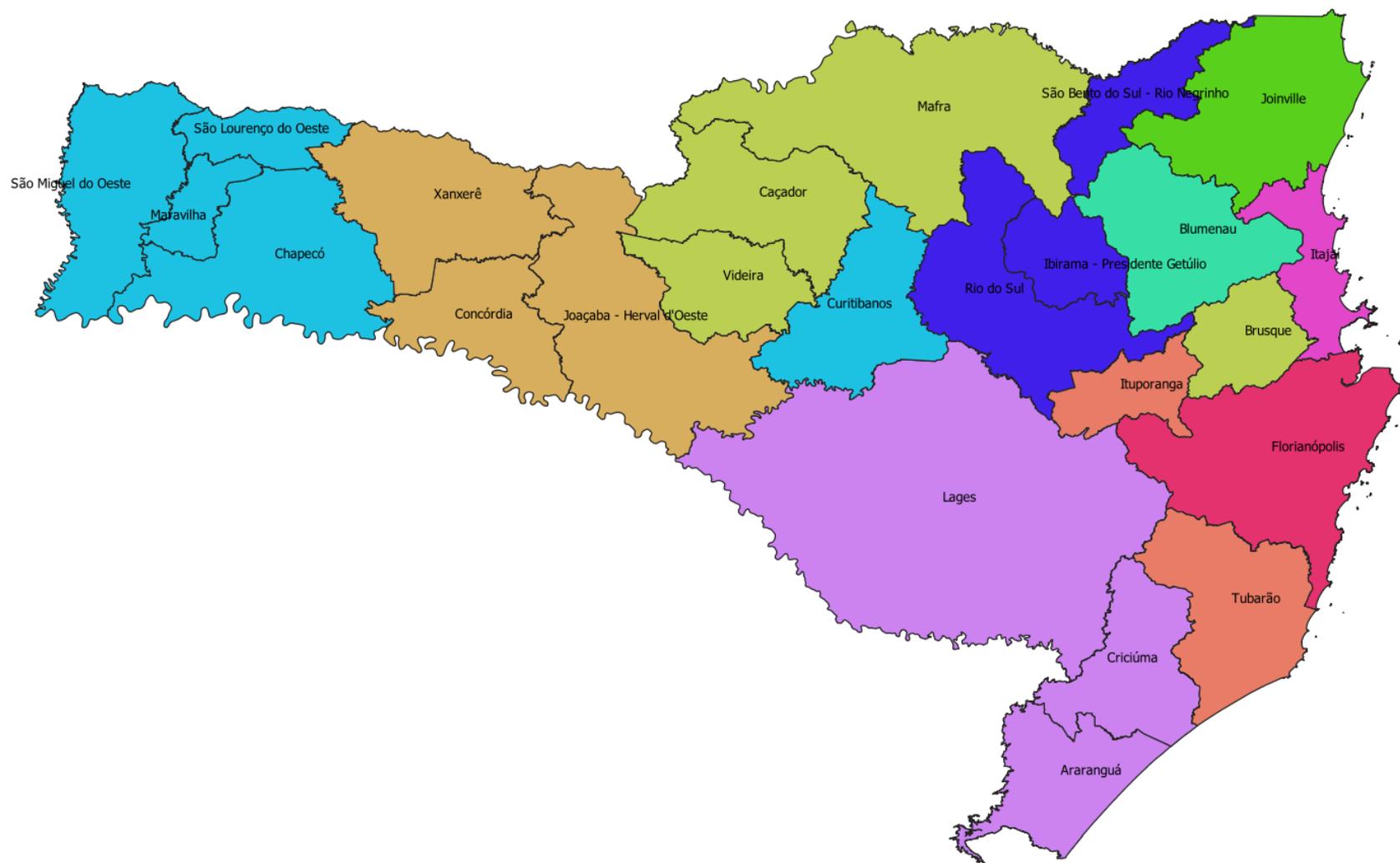
Tabela 17 - Projeção do OTIF (C&W)

Rota	Qtde de pedidos	Percentual OTIF (C&W)	Pedidos dentro do OTIF
1	611	63%	387
2	576	63%	362
3	558	63%	351
4	635	60%	380
5	286	42%	120
6	233	44%	102
7	1406	72%	1019
8	916	71%	651
9	456	65%	295
10	805	65%	525
OTIF total			64,7%

Fonte: Autor.

A Figura 15 demonstra graficamente os agrupamentos escolhidos pelo algoritmo C&W para a capacidade definida de 44 m³. O mapa foi criado com utilização de programa de georreferenciamento open source Quantum GIS e apresenta cada rota com uma respectiva cor, analisando o mapa é possível constatar a criação de rotas inválidas, ou não úteis, para a proposta da Empresa A.

Figura 15 - Mapa dos agrupamentos estipulados pelo algoritmo C&W



Fonte: Autor.

4.3 MÉTODO 02 – C&W MODIFICADO

Tomando como base as premissas do cenário anterior, este cenário tem como objetivo fazer com que as rotas desconexas se tornem agrupamentos viáveis sem perder as características de OTIF e otimização das distâncias.

Nesta seção também foram aplicadas restrições de capacidade de 42, 43 e 44 m³ para se escolher a melhor proposta. Todos os três resultados são apresentados nas Tabelas 18, 19 e 20.

Tabela 18 - Restrição de capacidade em 42 m³ (C&W modificado)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento	
420007	Chapecó	1	4	40,63	963,67	Semanal	
420009	São Miguel do Oeste		2				
420012	Maravilha		3				
420013	São Lourenço do Oeste		1				
420010	Concórdia	2	1	15,97	749,13	Quinzenal	
420011	Xanxerê		2				
420002	Criciúma	3	1	26,81	613,66	Quinzenal	
420004	Araranguá		2				
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste	4	2	41,42	571,08	Semanal	
420014	Caçador		1				
420015	Videira		3				
420005	Lages	5	3	41,66	504,62	Semanal	
420006	Curitibanos		4				
420022	Rio do Sul		1				
420024	Ituporanga		2				
420017	Mafra	6	2	11,82	506,43	Quinzenal	
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho		3				
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		1				
420003	Tubarão	7	-	22,84	486,24	Quinzenal	
420001	Florianópolis	8	-	115,67	294,78	Diário	
420016	Joinville	9	-	88,85	1,57	Diário	
420019	Blumenau	10	-	40,70	143,08	Semanal	
420020	Itajaí	11	-	61,70	140,48	Diário	
420021	Brusque	12	-	23,97	177,51	Quinzenal	
					Distância total percorrida	5152,24	

Fonte: Autor.

Tabela 19 - Restrição de capacidade em 43 m³ (C&W modificado)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento	
420007	Chapecó	1	4	40,63	963,67	Semanal	
420009	São Miguel do Oeste		2				
420012	Maravilha		3				
420013	São Lourenço do Oeste		1				
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste	2	1	42,41	753,04	Semanal	
420010	Concórdia		2				
420011	Xanxerê		3				
420002	Criciúma	3	1	26,81	613,66	Quinzenal	
420004	Araranguá		2				
420005	Lages	4	5	41,49	669,42	Semanal	
420006	Curitibanos		4				
420014	Caçador		2				
420015	Videira		3				
420017	Mafra		1				
420024	Ituporanga		6				
420022	Rio do Sul	5	1	25,25	261,55	Quinzenal	
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		2				
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho	6	1	42,41	206,56	Semanal	
420019	Blumenau		2				
420001	Florianópolis	7	-	115,67	294,78	Diário	
420003	Tubarão	8	-	22,84	486,24	Quinzenal	
420016	Joinville	9	-	88,85	1,57	Diário	
420020	Itajaí	10	-	61,70	140,48	Diário	
420021	Brusque	11	-	23,97	177,51	Quinzenal	
Distância total percorrida					4568,49		

Fonte: Autor.

Tabela 20 - Restrição de capacidade em 44 m³ (C&W modificado)

Código IBGE	Região Geográfica Imediata	Agrupamento	Sequência	Volume	Distância	Atendimento	
420007	Chapecó	1	4	40,63	963,67	Semanal	
420009	São Miguel do Oeste		2				
420012	Maravilha		3				
420013	São Lourenço do Oeste		1				
420008	Joaçaba-Herval d'Oeste	2	1	42,41	753,04	Semanal	
420010	Concórdia		2				
420011	Xanxerê		3				
420002	Criciúma	3	1	26,81	613,66	Quinzenal	
420004	Araranguá		2				
420005	Lages	4	6	43,21	669,68	Semanal	
420006	Curitibanos		5				
420014	Caçador		3				
420015	Videira		4				
420017	Mafra		2				
420018	São Bento do Sul-Rio Negrinho		1				
420024	Ituporanga		7				
420022	Rio do Sul	5	1	25,25	261,55	Quinzenal	
420023	Ibirama-Presidente Getúlio		2				
420001	Florianópolis	6	-	115,67	294,78	Diário	
420003	Tubarão	7	-	22,84	486,24	Quinzenal	
420016	Joinville	8	-	88,85	1,57	Diário	
420019	Blumenau	9	-	40,70	143,08	Semanal	
420020	Itajaí	10	-	61,70	140,48	Diário	
420021	Brusque	11	-	23,97	177,51	Quinzenal	
					Distância total percorrida	4505,27	

Fonte: Autor.

Da mesma maneira que ocorreu no Método 1, a restrição de 44 m³ no volume das rotas apresentou um melhor resultado da distância total em relação as outras pelo fato da capacidade ser mais elevada. No entanto, ao contrário do primeiro cenário, percebeu-se uma saturação de regiões geográficas imediatas na rota 4, de 5 para 7 RGI.

Visto que a diferença total de percurso entre os cenários de 43 e 44 m³ é de aproximadamente 50 km e que a quantidade de rotas semanais e quinzenais são as mesmas optou-se pelas rotas com restrição de 43 m³ de volume. Isso se deve ao fato de que ao alocar mais regiões a limitação de 30 clientes poderia exceder a capacidade com maior facilidade. Sendo assim, os resultados apresentados nesta seção serão avaliados a partir deste agrupamento.

Tabela 21 - Número de viagens projetadas (C&W modificado)

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
46	52	56	51,33

Fonte: Autor.

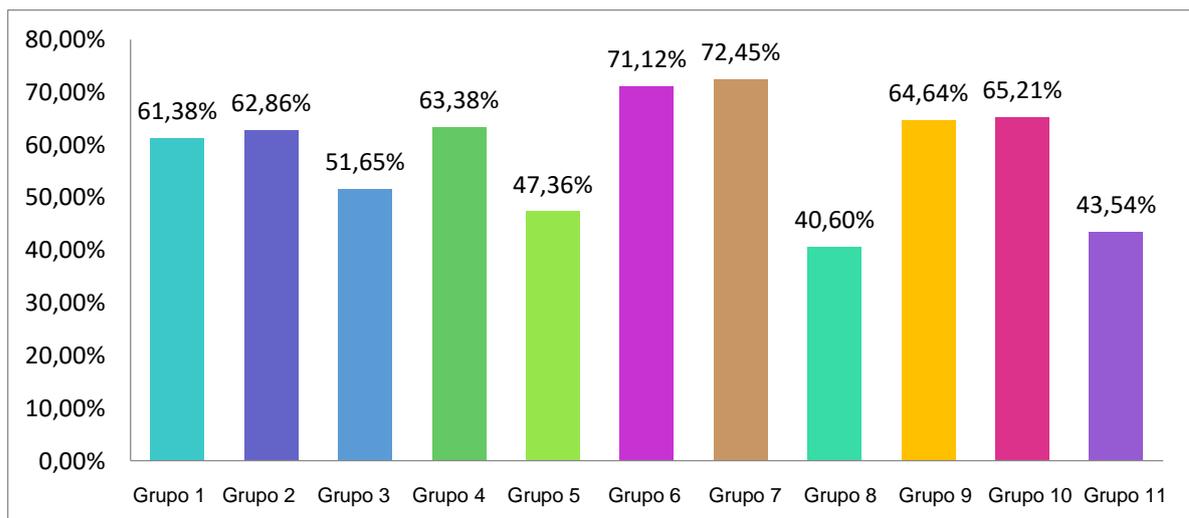
Tabela 22 - Distância percorrida pelos veículos por mês em quilômetros (C&W modificado)

Janeiro/18	Fevereiro/18	Março/18	Média
26.846,00	32.710,67	34.508,27	31.354,98

Fonte: Autor.

Conforme esperado, houve uma redução de 12 viagens (Tabela 21) quando comparado ao cenário real, isso é em decorrência da formação de mais rotas quinzenais. Em contrapartida, a distância percorrida total (Tabelas 22) mostrou-se superior ao Método 1, este fato se deve as restrições de fronteira no qual limitaram o número de possibilidades de agrupamento e consequentemente da solução.

Gráfico 2 - OTIF por agrupamento (C&W modificado)



Fonte: Autor.

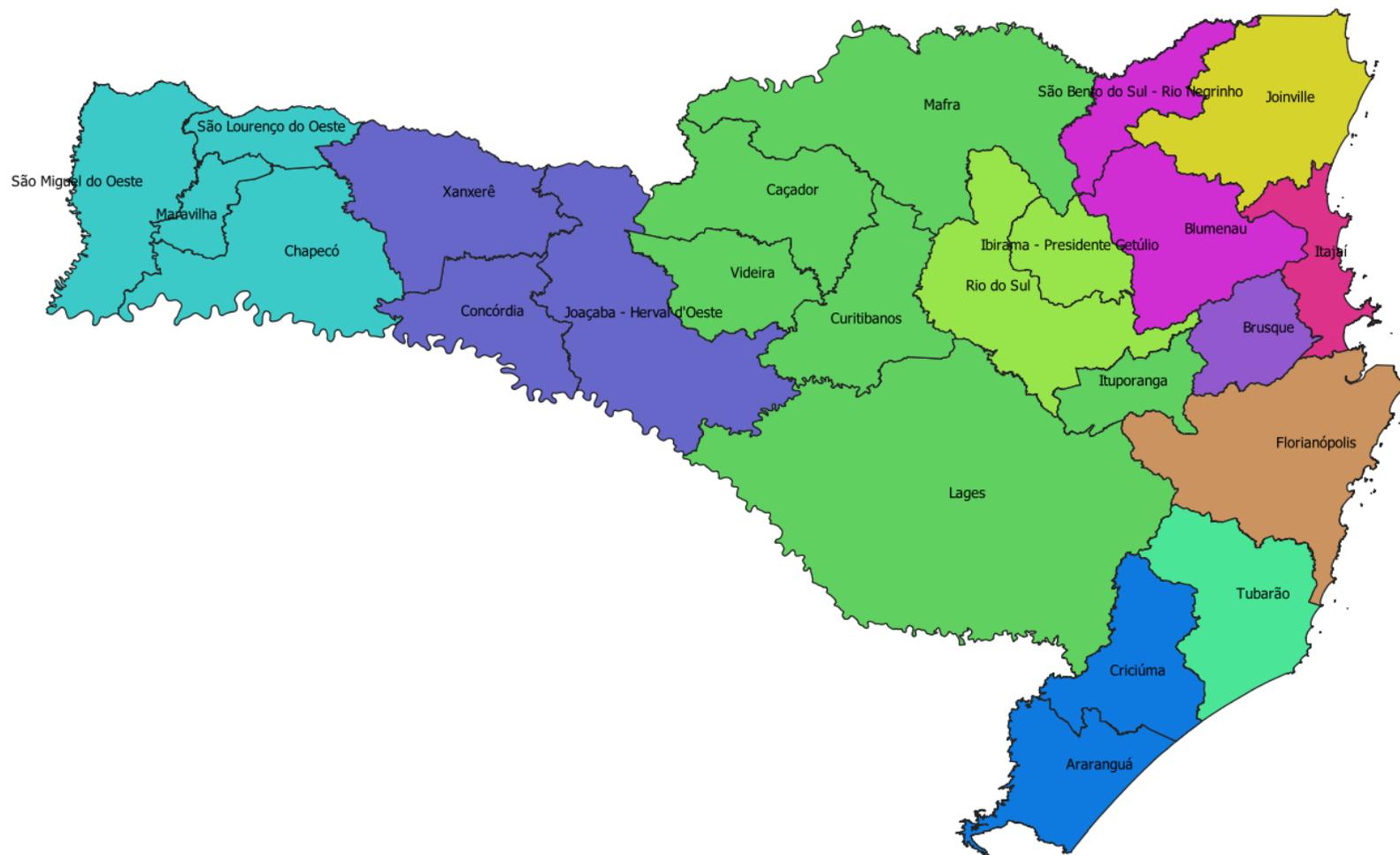
Tabela 23 - Projeção do OTIF (C&W modificado)

Rota	Qtde de pedidos	Percentual OTIF (C&W)	Pedidos dentro do OTIF
1	582	61%	357
2	576	63%	362
3	325	52%	168
4	601	63%	381
5	214	47%	101
6	475	71%	338
7	1406	72%	1019
8	252	41%	102
9	916	65%	592
10	805	65%	525
11	330	44%	144
OTIF total			63,1%

Fonte: Autor.

A partir do Gráfico 2 é possível notar que todas as rotas com frequências de entrega quinzenais tiveram reduções quanto ao indicador de nível de serviço, isso evidencia que este tipo de proposta não é vantajosa quando aplicada em larga escala no estado de Santa Catarina. No entanto, conforme Tabela 23, estas rotas quinzenais impactaram na redução de 2% do OTIF quando comparado com o cenário real, mostrando que apesar de não eficiente esta metodologia pouco interfere em regiões com baixas quantidade de pedidos.

Figura 16 - Mapa dos agrupamentos estipulados pelo algoritmo C&W modificado



Fonte: Autor.

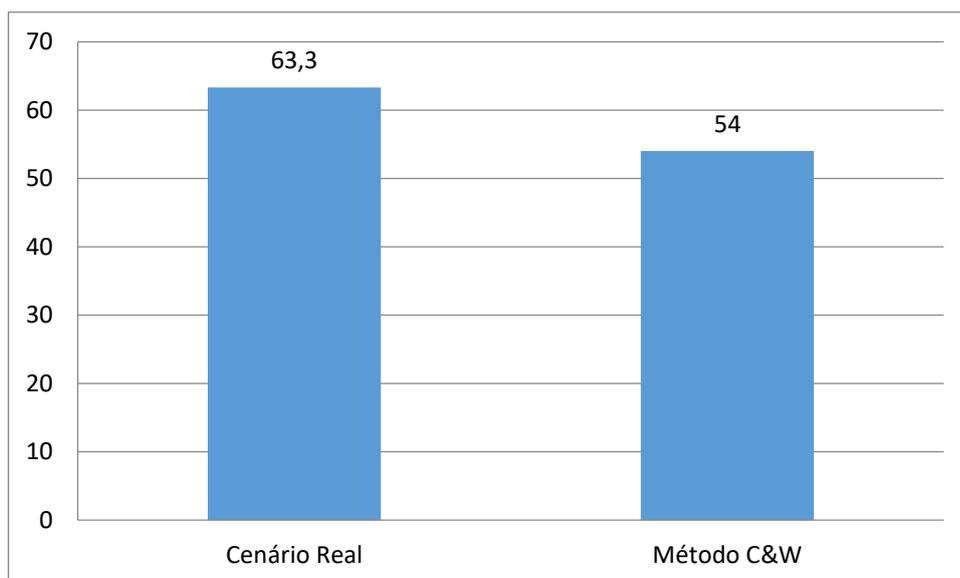
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão analisados os resultados para cada método apresentado na seção anterior. Para isto, serão realizadas comparações entre a perspectiva atual da Empresa A e os cenários gerados pelos métodos considerados.

5.1 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL X MÉTODO 1 (C&W)

O primeiro ponto analisado diz respeito ao número de viagens realizadas para atendimento dos clientes no Gráfico 3. Observa-se que a média de viagens realizadas diminuiu de 63,3 para 54, uma redução de aproximadamente 15% quando comparado com o cenário atual.

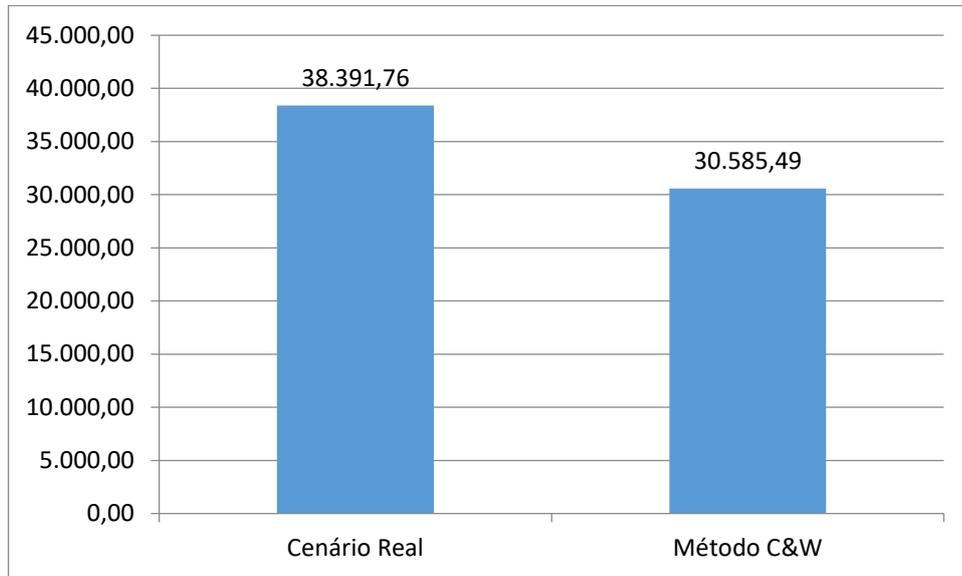
Gráfico 3 - Número de viagens realizadas por mês (Cenário Real x Método C&W)



Fonte: Autor.

O percurso para atendimento de todos os clientes também foi reduzido, neste quesito houve um decréscimo de 7.806,27 km, aproximadamente 20,3%, conforme Gráfico 4. Visto que a Empresa A possui terceirização dos transportes, esta redução poderia ser aplicada na redução dos custos do frete em virtude de que a transportadora teria um menor desgaste do veículo.

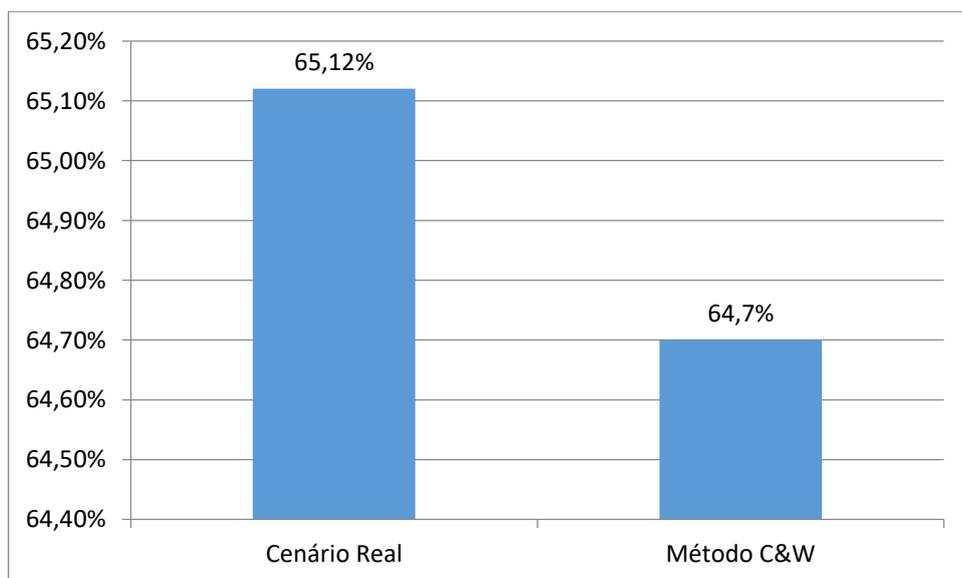
Gráfico 4 - Distância total percorrida em quilômetros (Cenário Real x Método C&W)



Fonte: Autor.

Observa-se no Gráfico 5 que o OTIF foi o único indicador não alcançado, tendo uma variação de apenas 0,4% entre ambos. Isto se deve ao não cumprimento dos prazos exigidos pelas rotas quinzenais nos quais não atingiram 50% das entregas prometidas, no entanto, em relação a média, o OTIF permaneceu praticamente inalterado.

Gráfico 5 - OTIF cumprido (Cenário Real x Método C&W)



Fonte: Autor.

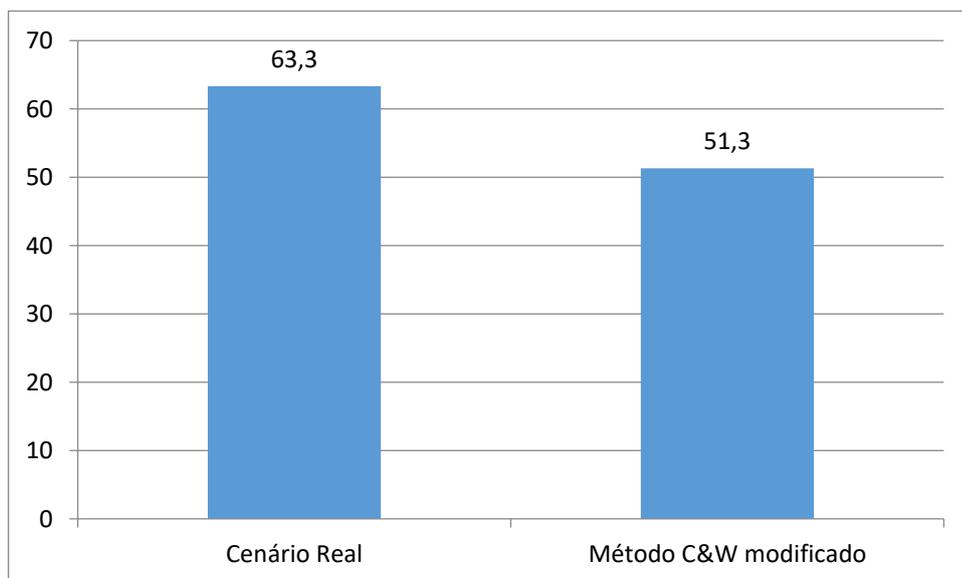
A não viabilidade do método para este problema se deve as descontinuidades das regiões geográficas imediatas em alguns agrupamentos. As rotas 1, 4 e 5 do Método 1, por exemplo, mostram-se ineficazes devido a este problema. No entanto, caso o estado seja atendido por uma única transportadora, esta tornaria-se uma solução plausível para o problema.

5.2 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL X MÉTODO 2 (C&W MODIFICADO)

Esta análise faz referência ao atual cenário da Empresa A em relação ao método proposto como alternativa ao C&W convencional. Este, por sua vez, tem como proposta solucionar os erros de continuidade, até então presentes na solução anterior, bem como otimizar as operações dos problemas anteriormente citados.

Em relação ao número de viagens, mostradas no Gráfico 6, o algoritmo modificado obteve o melhor desempenho entre todos os métodos propostos, alcançando uma média de 51,3 viagens mensais em relação ao cenário real com uma média de 63,3 viagens, representando uma redução de 18,9% neste indicador. Este fato pode ser explicado pelo maior número de rotas quinzenais presentes neste resultado.

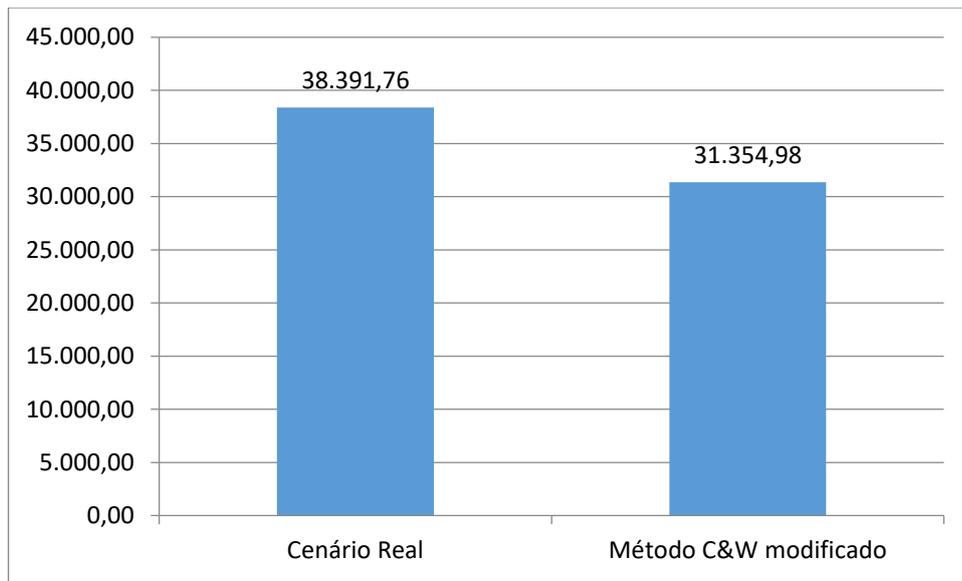
Gráfico 6 - Número de viagens realizadas por mês (Cenário Real x Método C&W modificado)



Fonte: Autor.

No Gráfico 7 observa-se que o percurso total necessário, em quilômetros, para atendimento de todos os pedidos foi de 31.354,98 km em relação aos 38.391,76 km do cenário base, uma redução de 7036,78 km ou 18,3%.

Gráfico 7 - Distância total percorrida em quilômetros (Cenário Real x Método C&W modificado)

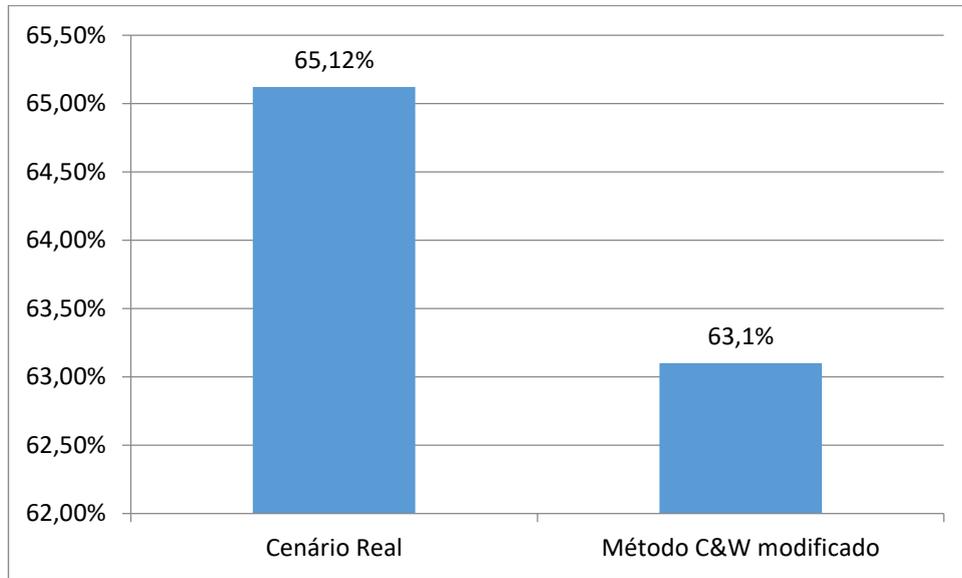


Fonte: Autor.

O OTIF no algoritmo modificado teve uma taxa de entrega de 63,1% em comparação aos 65,1% do cenário real (Gráfico 8). Isto é causado pelo surgimento de mais rotas quinzenais que acarretam no não cumprimento da data prometida em boa parte dos casos.

Analisando a Figura 15 percebe-se que rotas quinzenais em sua totalidade não favorecem o cumprimento do OTIF, as rotas semanais tem uma taxa razoável de aceitação.

Gráfico 8 - OTIF cumprido (Cenário Real x Método C&W modificado)



Fonte: Autor.

Um detalhe perceptível, mas que não deve ser considerado como característico do algoritmo C&W modificado, diz respeito à formação de rotas em “U”. Esta é uma das condições mais desejáveis quando se quer formar rotas otimizadas, pois, dessa maneira, inicia-se e completa-se o trajeto o mais próximo possível do ponto de origem. Esta característica se encontra presente nas rotas 4 e 6 da Figura 16.

Neste capítulo foram apresentadas as características da aplicação dos métodos propostos e os resultados advindos dos respectivos algoritmos. Através das análises é possível identificar particularidade em cada um dos algoritmos que permitam otimização das variáveis de distância, número de viagens e do nível de serviço da organização. No próximo capítulo serão apresentadas as considerações finais bem como a análise do autor para os possíveis agrupamentos de viagem formados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo determinar uma solução aperfeiçoada das operações de transporte itinerante de uma empresa do ramo plástico, reduzindo o número de viagens e a distância total percorrida sem prejudicar significativamente o nível de serviço prestado. Definiu-se agrupamento de clientes com frequências de entrega para atendimento dos clientes, para isso foram aplicados dois algoritmos com o objetivo de estudar os impactos causados pela mudança de serviço.

O primeiro algoritmo, chamado Clarke & Wright, serviu como modelo base no qual se planejava estudar o melhor cenário para a proposta apresentada, já o segundo trata de uma modificação do primeiro, porém determinando agrupamentos de entrega bem definidos no âmbito geográfico.

O Método 1, utilizando-se o algoritmo C&W foi o que apresentou a menor redução de nível de serviço comparado ao atendimento atual prestado pela Empresa A, resultando em uma diferença de apenas 0,42% entre eles. Este também foi o que evidenciou a menor distância percorrida, reduzindo 7.806,27 km da estimativa calculada para atendimento dos clientes.

A maior redução do número de viagens para atendimento do volume de vendas foi obtida no Método 2, utilizando o algoritmo Clarke & Wright modificado, minimizando 12 entregas quando comparado ao cenário real. Este também apresentou as rotas geográficas mais concisas sem ter grandes perdas de nível de serviço, apenas 2%.

Além de apresentar um modelo computacional que pode ser utilizado para formação de agrupamentos, este trabalho contribui para evidenciar grandes chances de otimização nos processos de entrega desta organização. Ambos os métodos analisados neste trabalho apresentaram bons resultados em todos os critérios utilizados. Portanto o algoritmo proposto apresentou uma melhora dos resultados em relação ao cenário atual mantendo-se níveis de serviço adequados.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como forma de expansão deste trabalho, sugere-se estudar os impactos causados pela formação das frequências de entregas junto aos Centros de

Distribuição, afim de não comprometer as operações de carregamento visto que o mix de produtos de cada região é diferente, tomando tempos diferentes para separação e carregamento dos mesmos.

Outro ponto não abordado neste trabalho é o número de clientes atendidos em um único percurso, visto que para descarregar o material em cada cliente este demora um tempo razoável, caso existam muitos clientes o último pode demorar longos prazos até conseguir ser abastecido.

Por fim, propõe-se estudar o comportamento do algoritmo modificado para formação de rotas em nível municipal e não microrregional. Para essa alteração será necessária uma otimização do processo de formação de economias para regiões limítrofes ao invés de definir uma grande matriz origem-destino ao analisar cada grupo de centroides.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, A. **O papel da logística na organização empresarial e na economia: Introdução: Factores que influenciam custo e o pricing do transporte.** Portugal, 2005.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V., MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional.** Editora Campus/Elsevier, Rio de Janeiro: 2007.
- BALLOU, R. H. *Business Logistics Management – Planning And Control.* 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, p. 445-450, 1985.
- _____. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BODIN, L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A. BALL, M. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – The State of the Art. **Computers and Operations Research.** v.10, p. 63 – 211, 1983.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos.** São Paulo: Atlas, 2001.
- CITTADIN, A.; ZILLI, G.; SORATTO, K. A. D. L. Proposta de reestruturação e gerenciamento logístico das atividades que compõem a cadeia de valor de uma empresa do segmento de transportador revendedor retalhista (TRR). **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ.** Rio de Janeiro, v.15, n.3, p.2-18, 2010.
- CLARKE, G.; WRIGHT J.W. Scheduling Of Vehicles From A Central Depot To A Number Of Delivery Points. **Operations Research,** v. 12, p.568-581, 1964.
- CNT. **Pesquisa Aquaviária – Relatório Gerencial.** Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2013. Disponível em:<www.cnt.gov.br >. Acesso em: 10 set. 2018.
- CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes,** v.8, n.2, p.51-74, 2000.
- DANTZIG, G.; FULKERSON, D.; JOHNSON S. Solution of a large-scale traveling salesman problem. **Operations Research,** 1954.
- FARIA, A. C. de; COSTA, M. F. G. da. **Gestão de custos logísticos.** São Paulo: Atlas, 2005.
- GAREY, M. R.; JOHNSON, D.S. **Computers And Intractability – A Guide to the Theory of NP-Completeness.** Nova York: W. H. Freeman, 1999.
- GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P. **Otimização Combinatória e Programação Linear – Modelos e Algoritmos.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

IBGE. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias, 2017. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/> Acesso em: 12 de julho de 2018

MIURA, M. Modelagem heurística no problema de distribuição de cargas fracionadas de cimento. 2008. 94f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2008.

MUNIZ, H. Planejamento Tributário como Ferramenta para Redução de Impostos. Disponível em: <<https://www.contabeis.com.br/artigos/708/planejamento-tributario-como-ferramenta-para-reducao-de-impostos/>> Acesso em: 31 de outubro de 2018

NOVAES, A. G. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

PATRUS. Conheça os 7 principais custos logísticos e como otimizá-los. Disponível em: < <http://www.patrus.com.br/blogpatrus/?p=610>>. Acesso em: 09 set. 2018.

RIBEIRO, P. C. C.; FERREIRA, K. A. Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Curitiba. Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Santa Bárbara D'Oeste: ABEPRO, 2002. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.tecspace.com.br/paginas/aula/mdt/artigo01-MDL.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2018.

SILVA MELO, A. C. da; FERREIRA FILHO, V. J. M. SISTEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 223-232, 2001.

VIEIRA NETO, L. A dimensão estratégica da logística e da tecnologia da informação como diferencial competitivo. FABAVI, Vila Velha (ES), v. 3, n. 1, p. 1-9, 2004.