

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Allana Miguel Lehnhard

**AGRUPAMENTO DE ORDENS DE ATENDIMENTO DE SERVIÇO  
POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA BASEADA EM  
PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA**

Santa Maria, RS

2021

**Allana Miguel Lehnhard**

**AGRUPAMENTO DE ORDENS DE ATENDIMENTO DE SERVIÇO POR MEIO DE  
MODELAGEM MATEMÁTICA BASEADA EM PROGRAMAÇÃO LINEAR  
INTEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro(a) de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Jacques Garcia

Santa Maria, RS

2021

## RESUMO

### AGRUPAMENTO DE ORDENS DE ATENDIMENTO DE SERVIÇO POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA BASEADA EM PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

AUTORA: Allana Miguel Lehnhard  
ORIENTADOR: Vinícius Jacques Garcia

Quando é considerado o cenário de fornecimento de energia elétrica, percebe-se que existe um volume de entrada de serviços que oscila influenciado por diversos fatores externos, principalmente aqueles de cunho climático como intepéries, e manter equipes disponíveis para atender esta demanda é extremamente custoso. Com base nisso o estudo realizado teve como objetivo reduzir o tempo necessário para o atendimento das ordens por meio do agrupamentos das mesmas. Como resultado, foi desenvolvido um modelo matemático baseado em programação linear inteira capaz de realizar o agrupamento das ordens, respeitando as restrições impostas de número de equipes e reduzindo o deslocamento necessário para o atendimento das ordens. Verificou-se uma redução do tempo de atendimento não linear para os cenários testados em relação ao número de agrupamentos, isso nos leva a levantar a hipótese de que existe um número de agrupamentos ideal para cada caso, com o qual a redução do tempo seja o suficiente para justificar o uso daquele número de equipes.

**Palavras-chave:** Agrupamento. Ordens de Serviço. Modelo matemático. Programação Linear Inteira. Tempo de atendimento.

## ABSTRACT

### GROUPING OF SERVICE SERVICE ORDERS THROUGH MATHEMATICAL MODELING BASED ON ENTIRE LINEAR PROGRAMMING

AUTHOR: ALLANA MIGUEL LEHNHARD

ADVISOR: VINÍCIUS JACQUES GARCIA

When looking at the electric energy scenario, it is noticed that there is a volume of entry of services that fluctuates influenced by several external factors, mainly those of a climatic nature such as weather, and keeping teams available to meet this demand is extremely costly. Based on this, the study carried out aimed at reducing the time needed to fulfill orders by grouping them. As a result, a mathematical model was developed based on integer linear programming capable of grouping orders, respecting the restrictions imposed on the number of teams and reducing the displacement required to fulfill orders. There was a reduction in the time of non-linear service for the scenarios tested in relation to the number of outages, which leads us to raise the hypothesis that there is an ideal number of clusters for each case, with which the reduction of time is the enough to justify the use of that number of teams.

**Keywords:** Grouping. Service orders. Mathematical model. Integer Linear Programming. Service time.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                             | <b>3</b>  |
| 1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA.....              | 4         |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....                               | 4         |
| 1.3 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO .....                 | 5         |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                    | <b>5</b>  |
| 2.1 FORMAÇÃO DE DEMANDA.....                          | 5         |
| 2.2 ATENDIMENTO DE ORDENS DE SERVIÇOS COMERCIAIS..... | 6         |
| 2.3 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....         | 8         |
| 2.4 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA .....                  | 9         |
| <b>3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....</b>              | <b>10</b> |
| <b>4. ELABORAÇÃO DO MODELO.....</b>                   | <b>13</b> |
| 4.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS.....                          | 13        |
| 4.2 CONTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO.....                 | 13        |
| 4.3 CONTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....               | 19        |
| <b>5 RESULTADOS .....</b>                             | <b>21</b> |
| <b>6 CONCLUSÃO.....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                               | <b>26</b> |
| <b>APÊNDICES.....</b>                                 | <b>28</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia é considerado um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e também do nível de qualidade de um país, uma vez que o consumo energético é atrelado ao nível de atividade das indústrias, comércio e de serviços (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2008). No entanto, apesar de o crescimento do consumo de energia refletir no crescimento econômico, na chegada de energia a um número maior de pessoas e no aumento da qualidade de vida, este traz uma série de problemas. Dentre eles, podem-se citar a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia, e a necessidade de elevados investimentos para atender as demandas geradas pelos consumidores.

No que tange ao cenário de fornecimento de energia elétrica, percebe-se que existe uma entrada de serviços a partir dos processos básicos da empresa ou de uma necessidade do cliente. Além disso, há um certo tempo de espera até que estes processos sejam efetuados, uma vez que as empresas possuem uma quantidade limitada de recursos fixos, como equipes de serviços, carros e equipamentos.

Neste contexto, espera-se que todas as demandas requisitadas para o sistema sejam atendidas, uma vez que a ANEEL, órgão regulamentador do sistema elétrico brasileiro, impõe padrões de qualidade e prazos para o atendimento das solicitações dos consumidores de energia elétrica. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2011), a distribuidora deve dispor de estrutura de atendimento adequada às necessidades de seu mercado, acessível a todos os clientes de sua área de concessão ou permissão, que possibilite a apresentação de solicitações e reclamações.

O atendimento de uma ordem de serviço neste setor é composto pelo tempo de espera somado ao tempo de deslocamento e o tempo execução. O tempo de espera vai desde a geração da ordem de serviço até o início do deslocamento da equipe, quando se inicia o tempo de deslocamento, que é o tempo que a equipe de manutenção leva para chegar ao local para o qual a ordem de serviço foi gerada. Só então tem-se o tempo de execução, que é compreendido entre o momento em que a equipe começa a executar a atividade até a sua finalização. Segundo Fonini (2016), atribuir aos sistemas de distribuição uma grande quantidade de recursos para atender à demanda é extremamente complexo e custoso, em razão de toda variabilidade de serviços e de modos de entradas de novas ordens, as quais possuem diferentes escalas de prioridade.

Diante disso, surge a necessidade de encontrar a forma ótima de alocação das equipes, visando uma melhor utilização dos recursos disponíveis e um menor tempo de entrega dos

serviços solicitados. Fitzsimmons (2014) destaca que entre as dificuldades encontradas na prestação de serviço, o gerenciamento da capacidade e da demanda bem como equilibrar a demanda dos clientes com a disponibilidade de um serviço é um dos principais desafios dos gerentes de serviços.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA

O tema proposto para este estudo é a aplicação de modelagem matemática baseada em programação linear inteira para agrupamento de ordens de atendimento de serviço. Através deste problema de natureza prática se pretende encontrar qual é a formulação computacionalmente viável do problema de agrupamento de ordens de serviço, assumindo os atributos de tempo disponível para o atendimento e localização geográfica de cada ordem de serviço.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O problema abordado neste estudo é motivado por uma aplicação em uma concessionária de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Dentre as dificuldades encontradas no gerenciamento das ordens de serviço neste ramo, pode-se destacar o vasto território de atuação das concessionárias e a grande variação na demanda de ordens de serviços. Estes problemas são decorrentes de eventos que afetam as distribuidoras de energia elétrica, como falhas no sistema de distribuição, que geralmente ocorrem em decorrência de eventos climáticos severos (tempestades). Ainda, sobrecargas em equipamentos e eventos causados por agentes externos (colisão de veículo, entre outros) também afetam as distribuidoras (ZHU, 2009).

Sabendo da dificuldade de prever tal demanda, abre-se a possibilidade de estudo no que diz respeito ao modo como tal necessidade será gerenciada. O desafio é fazer com que as ordens de serviços sejam atendidas da forma mais eficiente possível, utilizando os recursos disponíveis da distribuidora. Uma forma pela qual se pode contribuir nesse sentido é através da utilização de técnicas para uma melhor alocação das equipes de trabalho.

### 1.3 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

O objetivo principal deste trabalho é estruturar um modelo para representar o agrupamento das ordens de serviço baseado em Programação Linear Inteira. Pretende-se encontrar uma formulação computacionalmente viável para o problema de agrupamento de ordens de serviço, assumindo os atributos de tempo e localização que reduza o tempo necessário para o atendimento das ordens. Esta formulação deve ser capaz de encontrar uma solução satisfatória para o problema de agrupamento das ordens de serviço de uma concessionária de energia elétrica, além de definir abordagens de solução por meio da combinação entre modelos exatos e métodos Heurísticos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão descritos e referenciados a formação de demanda em concessionárias de energia, o atendimento de ordens de serviços neste ramo, o problema de roteirização de veículos e o conceito de Programação Linear Inteira. Através deste referencial, pretende-se obter o embasamento teórico requerido para apoiar os resultados alcançados através deste estudo.

### 2.1 FORMAÇÃO DE DEMANDA

Quando trata-se de concessionárias de distribuição de energia elétrica, é preciso entender que as mesmas possuem uma grande área de atendimento e as ordens de serviço podem ser geradas em qualquer localização entre os mais de 2,86 milhões de clientes vinculados a empresa RGE (2020).

Segundo Amorim (2010), o número de ocorrências de defeitos em um sistema de distribuição de baixa tensão está relacionado às condições climáticas, uma vez que este é influenciado fortemente pelas altas temperaturas. Estas contribuem para o surgimento de problemas de mau contato nas conexões dos ramais dos clientes e desconexão. As fortes chuvas, que por vezes vem acompanhadas de rajadas de ventos, também influenciam diretamente no aumento do número de ocorrências. Tais fatores fazem com que a demanda por ordens de serviço seja sazonal.

Uma vez que a demanda pode se formar por diferentes motivos, torna-se necessário realizar a classificação e o agrupamento das mesmas de acordo com o nível de serviço esperado.



Fonini (2016), por exemplo, realizou a diferenciação entre ordens programáveis e emergenciais, uma vez que as ordens emergenciais são consideradas prioritárias. Por este motivo, estas interferem na rota das ordens programáveis. Após a diferenciação, as ordens de serviço foram divididas em 10 tipos, e agrupadas de acordo com suas origens, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos de ordens programadas

| Nome da Ordem de Serviço           | Grupo    |
|------------------------------------|----------|
| Ligação e instalação da medição    | Regulada |
| Religie de reforma                 | Regulada |
| Mudança de ponto de medição        | Cliente  |
| Troca de medidor baixa tensão      | Cliente  |
| Aferição do medidor                | Cliente  |
| Retirada de equipamento de medição | Cliente  |
| Corte CP ou ramal                  | AES      |
| Encerrado                          | AES      |
| Manutenção de rede equipe tipo – A | Técnica  |
| Manutenção de rede tipo – C        | Técnica  |

Fonte: Fonini (2016).

A divisão proposta pelo autor será adotada neste trabalho de modo que auxilie no entendimento do problema e no posterior tratamento dos dados.

## 2.2 ATENDIMENTO DE ORDENS DE SERVIÇOS COMERCIAIS

O atendimento de uma ordem de serviço começa pela triagem, realizada com atendente do *call center* da empresa, onde o cliente liga para empresa comunicando a falta de energia ou a existência de alguma anormalidade na rede. O operador deste setor realiza uma série de perguntas dentro de um roteiro pré-estabelecido, a fim de tentar diagnosticar, de forma imediata, o que levou a interrupção da energia elétrica. A partir disso, o cliente é orientado pelo operador a fazer uma verificação em suas instalações elétricas, observando se o seu disjuntor apresenta um aspecto diferente, se os fusíveis estão normais, ou se há alguma outra anormalidade na rede. A triagem inicial é feita com o intuito de minimizar as chances de uma equipe se deslocar até

um local que não necessite de fato da manutenção da concessionária. Após a realização da triagem, se houver necessidade, o pedido do cliente é registrado e uma ordem de serviço é gerada (AMORIM, 2010).

Para Amorim (2010), a alocação das equipes precisa respeitar alguns critérios. Dentre eles, podem-se destacar a quantidade de equipes de campo disponíveis naquele momento, a distância das equipes de campo do local a ser atendido, o número de ocorrências registradas, a natureza da ocorrência, o tempo previsto para execução do atendimento, o local onde o mesmo será realizado, e por fim, se foi registrada a ocorrência de um único cliente ou de toda uma região da cidade.

Segundo Miranda, González-Ramírez e Smith (2011), ao se definir um modelo matemático para alocação de equipes de serviço é necessário que seja feita a definição de um conjunto de variáveis de decisão e um modelo de otimização matemática. Por meio desta, busca-se otimizar um conjunto de indicadores de desempenho. Tal modelo precisa ser aplicado através da construção e implementação de algoritmos computacionais para a busca de soluções ótimas ou perto delas, sendo necessário observar se a solução ótima encontrada é viável para ser utilizada.

De acordo com a Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL (2018), quatro indicadores de tempo de atendimento são definidos:

1. TMP (Tempo Médio de Preparação das Equipes de Atendimento de Emergência) que indica a eficiência dos meios de comunicação, dimensionamento das equipes e dos fluxos de informação do Centro de Operação obtido por meio da expressão (2.1).

$$TMP = \frac{\sum_{i=1}^n TPi_n}{n} \quad (2.1)$$

Sendo:

TPi – tempo de preparação da equipe de atendimento de emergência para cada ocorrência emergencial, expresso em minutos.

n - número total de ocorrências emergenciais recebidas das unidades consumidoras, durante o mês de apuração.

2. TMD (Tempo Médio de Deslocamento) que indica a eficiência da localização geográfica das equipes de manutenção e operação é calculado através da expressão (2.2).

$$TMD = \frac{\sum_{i=1}^n TDi_n}{n} \quad (2.2)$$

Sendo:

TDi - tempo em minutos de deslocamento da equipe de atendimento de emergência para cada ocorrência.

n - número total de ocorrências emergenciais recebidas das unidades consumidoras, durante o mês de apuração.

3. TME (Tempo Médio de Execução) refere-se à eficiência do restabelecimento do sistema de distribuição pelas equipes de manutenção e operação, calculado pela expressão (2.3)

$$TME = \frac{\sum_{i=1}^n TEin}{n} \quad (2.3)$$

Sendo:

TE - tempo de execução do serviço em minutos pela equipe de atendimento de emergência para cada ocorrência emergencial.

n - número total de ocorrências emergenciais recebidas das unidades consumidoras, durante o mês de apuração.

Estes três indicadores obtidos por meio das equações (2.1), (2.2) e (2.3) possuem apuração mensal e são medidos na unidade minutos. A soma destes três indicadores resulta no indicador TMAE (Tempo Médio de Atendimento a Ocorrências Emergenciais).

$$TMAE = TMP + TMD + TME \quad (2.4)$$

Espera-se que os indicadores descritos anteriormente sejam impactados de forma positiva através da aplicação do método proposto, de modo que ao se conseguir uma redução nos tempos envolvidos no atendimento de uma ordem, uma melhoria no tempo total de atendimento de cada ordem de serviço gerada será atingida.

### 2.3 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

O Problema de Roteirização de Veículos consiste em definir a ordem e em que instante de tempo os clientes serão atendidos. Uma forma de otimizar este processo é a utilização das tecnologias disponíveis. O processo de roteirização de veículos oferece a possibilidade de

pesquisa para o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na realização das tarefas ou até mesmo a total automatização do processo.

A heurística de Gillett e Miller (1974) aborda o agrupamento dos vértices de problemas do tipo Problema do Caixeiro Viajante (Travelling Salesman Problem - TSP), em grupos seguindo prioritariamente o critério de proximidade. A proposta é que cada cluster seja solucionado de forma independente. O procedimento é dividido em duas partes, sendo a primeira a realização do agrupamento seguida pelo roteamento. Os nós são agrupados por suas respectivas coordenadas polares, ordenados e então reunidos em clusters de acordo com as restrições do problema. Este método é utilizado para problemas com múltiplos veículos para atendimento, já com ele é possível reduzir consideravelmente a complexidade computacional. Para Ríos-Mercado e Fernández (2009), o problema de design do território de vendas pode ser visto como o problema de agrupar pequenas unidades geográficas de cobertura de vendas em clusters geográficos maiores, chamados territórios de vendas. O agrupamento é realizado de maneira que os territórios sejam aceitáveis de acordo com os critérios de planejamento relevantes. Tal definição também é válida para o caso de estudo deste trabalho, onde será feito o agrupamento das unidades geográficas de cobertura de manutenção que a empresa precisa cobrir.

Na solução proposta por Cândido (2020), os serviços necessários para atendimento das ordens por pontos geográficos são representados por coordenadas geográficas. Além das ordens, são dispostas as posições das equipes e das estações nas quais as equipes e eletricitas estão alocados e de onde os mesmos partem e retornam diariamente após um dia de serviço. O autor ressalta a existência de delimitação geográfica de atuação das equipes de cada estação. Na prática, a equipe de uma determinada região tem uma limitação de deslocamento para não atuar em áreas de outra, a não ser em casos especiais. Tal limitação precisa ser considerada como uma restrição na definição do problema abordado neste trabalho.

## 2.4 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

A denominação “Programação Linear Inteira” é utilizada para nomear problemas nos quais as variáveis de decisão e estado são números inteiros, em que na maioria dos casos assumem valores binários. Desta forma, trata-se de uma classe de problemas de otimização restrita. Com a intenção de minimizar os esforços computacionais para solução de problemas deste tipo, foram desenvolvidas técnicas que alcancem sempre soluções viáveis para um determinado problema de otimização. Estes métodos são denominados heurísticos. Dentre eles,

temos os algoritmos computacionais denominados meta-heurísticas, dentre os quais é possível destacar o algoritmo GRASP, que será o foco deste trabalho (CALHEIROS, 2017).

A meta-heurística GRASP é dividida em duas etapas: a primeira é construir uma solução de maneira "gulosa-aleatória", onde mescla as características de algoritmos heurísticos com algoritmos aleatórios. A segunda parte consiste em aplicar um procedimento de busca local com o objetivo de melhorar a qualidade da solução. Na primeira fase, a solução é construída adicionando-se elemento por elemento, onde cada elemento corresponde geralmente a uma unidade de decisão para a solução do problema. A principal característica do GRASP é justamente o modo em que os elementos são adicionados. Na segunda fase do GRASP, uma vez que a solução da atual iteração foi construída, espera-se com a aplicação de um procedimento de busca local alcançar melhorias na qualidade da solução, já que a construção aleatória inicial por si só dificilmente irá gerar soluções ótimas (CALHEIROS, 2017).

### **3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

O presente estudo será aplicado em uma concessionária de distribuição de energia elétrica denominada neste estudo como “empresa A”, a qual é responsável por atender uma área de 189 mil km<sup>2</sup> de extensão, correspondente a 65% da energia elétrica consumida no estado. Esta empresa abrange as áreas urbanas e rurais das regiões Metropolitana, Centro-Oeste, Norte e Nordeste em 381 municípios do estado do Rio Grande do Sul.

O método de pesquisa seguido neste trabalho é do tipo estudo de caso, por ser baseado na análise e tratamento dos dados de uma concessionária de energia elétrica, e é de natureza aplicada. O caráter da pesquisa classifica-se como descritiva, e a abordagem utilizada é do tipo quantitativa, pois analisará variáveis que podem ser mensuradas numericamente.

O foco deste trabalho será realizar a construção do modelo matemático baseado em programação linear inteira para agrupamento das ordens de serviço, com o intuito de reduzir o tempo necessário para o atendimento das ordens de serviço.

Ríos-Mercado e Fernández (2009) incluíram um filtro em sua aplicação da metodologia GRASP, a fim de evitar que a busca local fosse executada para soluções não promissoras, uma vez que maior parte do tempo computacional gasto pelo algoritmo se dá na busca local. Desta forma, conseguiu-se o aceleração do algoritmo. Neste mesmo sentido, Garcia et al., (2010) propõem um algoritmo onde cada ordem de serviço é alocada a uma equipe, e se refaz o roteamento para verificar o tempo necessário para atendimento do respectivo conjunto. Se este tempo não exceder os requisitos da empresa, a alocação é considerada factível; caso contrário,

ela é descartada. Em suma, a cada ordem incluída verifica-se a rota mais adequada e o tempo requerido. Os experimentos computacionais realizados em ambos os estudos demonstraram que o algoritmo produziu melhorias significativas se comparado a soluções obtidas com o método puro.

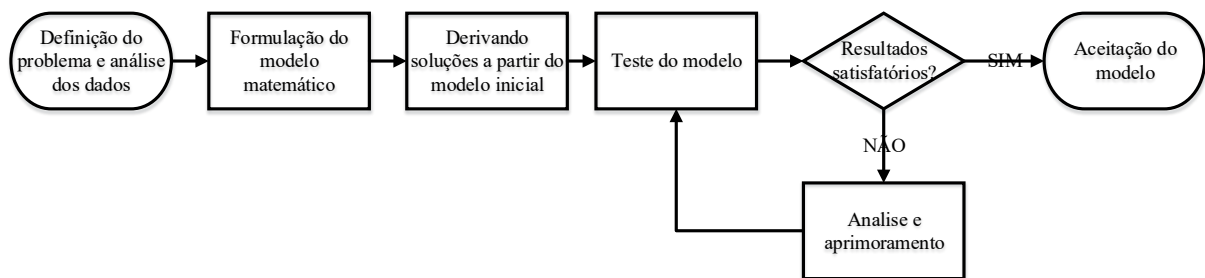
Para a realização do presente estudo, são definidas as seguintes etapas baseadas em Hillier; Lieberman (2006):

1. Definição do problema e análise de dados: Nesta primeira fase é feita a definição dos objetivos, determinação das restrições e possíveis caminhos alternativos. O problema principal do presente estudo é realizar o agrupamento das ordens de serviço, através da construção de um modelo matemático baseado em Programação Linear Inteira, é importante destacar que as variáveis consideradas para a agrupamento das ordens são aquelas relacionadas a tempo de execução do serviço e de deslocamento e localização dos pontos de atendimento, destaca-se que o objetivo deste trabalho se delimita na busca do modo de agrupamento das ordens de serviços. Esse processo de definição de problema é de suma importância, uma vez que afeta as conclusões do estudo. Os dados a serem utilizados e analisados são as informações de latitude e longitude os pontos de atendimento, com eles é possível saber o ponto exato da ordem de serviço, a data e hora de chegada de equipe ao local e data e hora de finalização, com isto é possível determinar o tempo de execução da ordem de serviço, tempo previsto para execução da ordem de serviço, ao realizar os agrupamentos espera-se que os grupos formados respeitem as restrições de prazo para execução das ordens e contemplem pontos geograficamente próximos de modo a reduzir o tempo de deslocamento das equipes.
2. Formular um modelo matemático para representar o problema: A próxima fase é reformular esse problema em uma forma que seja conveniente para análise. Ainda nesta etapa realiza-se a busca por modelos de referência, já utilizados por autores que possa servir como base para a formulação deste estudo. Gillett e Miller (1974) sugerem que tal formulação inicie com uma versão bem simples e, progressivamente, vá avançando para modelos mais elaborados que reflitam de forma mais próxima a todas as características do problema em questão. Tal processo deve continuar apenas enquanto o modelo permanecer tratável, considerando sempre o equilíbrio entre a precisão e a tratabilidade do modelo proposto. Nesta etapa será realizada um modelo didático matemático com o objetivo de construir uma solução inicial factível para o problema com a qual seja possível compreender o processo realizado pelo modelo final para a definição dos grupos. Primeiramente será delimitado um número de ordens de serviço

- localizadas em regiões próxima, com as coordenadas X e Y, latitude e longitude, será definido o ponto central aos quais as demais ordens estarão agrupadas, o modelo será aplicado ao software LibreOffice Calc.
3. Derivando soluções a partir do modelo: Nesta etapa, o modelo inicial proposto, já testado com um número restrito de pontos será aplicado ao modelo definido por meio do software LibreOffice Calc, de modo que seja possível iniciar a etapa quatro.
  4. Testar o modelo e aprimorá-lo: Esta é considerada a etapa de maior importância para este estudo. A primeira versão de um modelo matemático de grandes dimensões tende a conter muitas falhas, uma vez que nem todas as especificações foram incorporadas ao modelo. Por esta razão, a etapa de teste e aprimoramento deve ser realizada de modo a tentar identificar e corrigir o maior número possível de falhas, até que se atinja a validação do modelo final. O modelo será testado com base no banco de dados já existente, e avaliado quanto ao cumprimento das restrições, neste momento será feita a variação do número de elementos dentro dos agrupamentos e também do número de agrupamentos realizados, espera-se com isso demonstrar a interferência destas variáveis no tempo de execução das ordens. Nesta etapa o modelo será aceito ou reformulado, até que se encontre um modelo que proporcione resultados melhores do que o modelo atual utilizado.

A síntese da metodologia adotada neste estudo é apresentada pela Figura 1.

Figura 1 – Procedimento metodológico adotado no presente trabalho



Fonte: Adaptado Hillier e Liebermann (2020).

## 4 ELABORAÇÃO DO MODELO

A seguir será descrito as etapas presentes no modelo elaborado, com base nelas é possível entender como o modelo foi criado e como o agrupamento das orgens acontece.

### 4.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS

A base de dados utilizada é proveniente da concessionária de energia elétrica, tais dados são gerados a partir do momento que o cliente faz a requisição do serviço ou da identificação da necessidade de um, até a finalização da execução do serviço pela equipe de manutenção, os dados utilizados contemplam somente o grupo de ordens comerciais, para a aplicação do estudo foram delimitadas ordens de um horizonte de quinze dias dias.

### 4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO

De posse dos dados inicia-se o modelo matemático, realizado a partir de um número restritos de pontos, com a finalidade de gerar entendimento sobre o processo realizado pelo modelo final. Para esta etapa foram considerados inicialmente quarenta pontos da base de dados, divididos em dois grupos de vinte pontos cada, o critério para escolha destes pontos foi a proximidade dos mesmos a um ponto qualquer da base de dados, o intuito aqui é escolher pontos próximos geograficamente de forma que os grupos formados pelo modelo sejam aceitáveis.

Os pontos selecionados foram submetidos as seguintes etapas, com o intuito de encontrar os centros de gravidade ao redor dos quais os agrupamentos seriam definidos.

- Etapa 1: Primeiramente encontra-se  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$ , para isso aproxima-se a localização inicial das fórmulas para o centro de gravidade fazendo com que  $d_i = 1$ , sendo  $d_i$  a distância até o ponto central que desejamos encontrar, a partir das seguintes fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i \frac{v_i R_i x_i}{d_i}}{\sum_i \frac{v_i R_i}{d_i}} \quad (4.1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i \frac{v_i R_i y_i}{d_i}}{\sum_i \frac{v_i R_i}{d_i}} \quad (4.2)$$



- Etapa 2: Tendo  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  calcula-se di utilizando a equação 4.2, sendo K o fator de escala para converter uma coordenada em medida de distância, definido por Laporte (1992) como 0,4.

$$d_i = k\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.3)$$

- Etapa 3: Neste momento é necessário substituir o valor de di encontrado na equação 4.3, nas equações 4.1 e 4.2 de modo a encontrar novos valores para  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$ .
- Etapa 4: Recalcula-se di a partir dos novos valores obtidos para  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  na etapa 3.
- Etapa 5: Repete-se as etapas 3 e 4 até que as coordenadas não mudem ou até que mudem tão pouco que continuar o cálculo não seja necessário.

Como resultados das etapas a cima temos os de valores  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  para os grupos 1 e 2 conforme quadro 1.

Quadro 1 – Valores de  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$

|         | X médio      | Y médio      |
|---------|--------------|--------------|
| Grupo 1 | -29,69267148 | -51,37530977 |
| Grupo 2 | -29,80607219 | -51,68038628 |

Fonte: Autora.

- Etapa 6: Com os valores finais de  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  calcula-se a distancia dos centroides até os pontos de atendimento das ordens de serviço por meio da equação 4.4, conhecida como Equação de Haversine, a qual considera no calculo da distância entre dois pontos dados em latitude e longitude o raio de curvatura da terra.

$$D = 6372,795477589 \cdot (\arccos(\sin(\bar{X}c) \cdot \sin(\bar{X}c) + \cos((\bar{X}c)) \cdot \cos((\bar{X}c)) \cdot \cos(\bar{Y}c - YC))) \quad (4.4)$$

- Etapa 7: Tendo a distância dos pontos é possível encontrar o tempo necessário para o deslocamento entre os pontos de atendimento, para isso deve-se considerar algumas variáveis como a velocidade média de 40km/h sendo a velocidade média de deslocamento das equipes de serviços, considerando que os trajetos contemplam não somente rodovias mas áreas urbanas.

- Etapa 8: Calcula-se o tempo total de execução do serviço, sendo a soma do tempo gasto no deslocamento da equipe, obtido pela equação 4.5, com o tempo necessário para a finalização do serviço, conforme a equação 4.6.

$$T_D = \frac{D \cdot \bar{v}}{60} \quad (4.5)$$

$$T_{Total} = T_d + T_e \quad (4.6)$$

O resultado das etapas 6, 7 e 8 para os grupos 1 e 2 podem ser vistos na tabela 2 e 3.

Tabela 2 – Tempo de deslocamento Grupo 1

| Ponto | X (Latitude) | Y (Longitude) | D (distância) | Dc (distância corrigida) | Td (Tempo deslocamento) | Te (Tempo execução) | Tt (Tempo Total em min.) |
|-------|--------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1     | -29,880060   | -51,160610    | 273,8         | 191,7                    | 383                     | 70                  | 453                      |
| 2     | -29,834787   | -51,162308    | 117,3         | 82,1                     | 164                     | 22                  | 186                      |
| 3     | -29,652740   | -51,165770    | 1254,8        | 878,4                    | 1757                    | 123                 | 1880                     |
| 4     | -29,688370   | -51,092760    | 1038,1        | 726,7                    | 1453                    | 22                  | 1475                     |
| 5     | -29,401630   | -51,953840    | 2604,3        | 1823,0                   | 3646                    | 117                 | 3763                     |
| 6     | -29,767170   | -51,108870    | 546,7         | 382,7                    | 765                     | 114                 | 879                      |
| 7     | -29,848250   | -51,175160    | 71,3          | 49,9                     | 100                     | 63                  | 163                      |
| 8     | -29,702990   | -51,093540    | 948,1         | 663,7                    | 1327                    | 80                  | 1407                     |
| 9     | -29,448270   | -51,956160    | 2383,9        | 1668,7                   | 3337                    | 54                  | 3391                     |
| 10    | -29,920229   | -51,189496    | 528,6         | 370,0                    | 740                     | 50                  | 790                      |
| 11    | -29,682540   | -51,457640    | 1073,9        | 751,7                    | 1503                    | 18                  | 1521                     |
| 12    | -29,699160   | -51,233250    | 971,7         | 680,2                    | 1360                    | 50                  | 1410                     |
| 13    | -29,923910   | -51,201570    | 551,9         | 386,3                    | 773                     | 11                  | 784                      |
| 14    | -29,859540   | -51,272940    | 143,2         | 100,2                    | 200                     | 127                 | 327                      |
| 15    | -29,554323   | -51,420295    | 1826,8        | 1278,8                   | 2558                    | 85                  | 2643                     |
| 16    | -29,654920   | -51,114620    | 1241,7        | 869,2                    | 1738                    | 27                  | 1765                     |
| 17    | -29,654920   | -51,114620    | 1241,7        | 869,2                    | 1738                    | 68                  | 1806                     |
| 18    | -29,744230   | -51,100660    | 691,1         | 483,8                    | 968                     | 89                  | 1057                     |
| 19    | -29,514130   | -51,983900    | 2046,3        | 1432,4                   | 2865                    | 28                  | 2893                     |
| 20    | -29,927800   | -51,196310    | 576,4         | 403,5                    | 807                     | 34                  | 841                      |
| Soma  |              |               | 20131,6       | 14092,1                  |                         |                     | 29436                    |

Fonte: Autora.

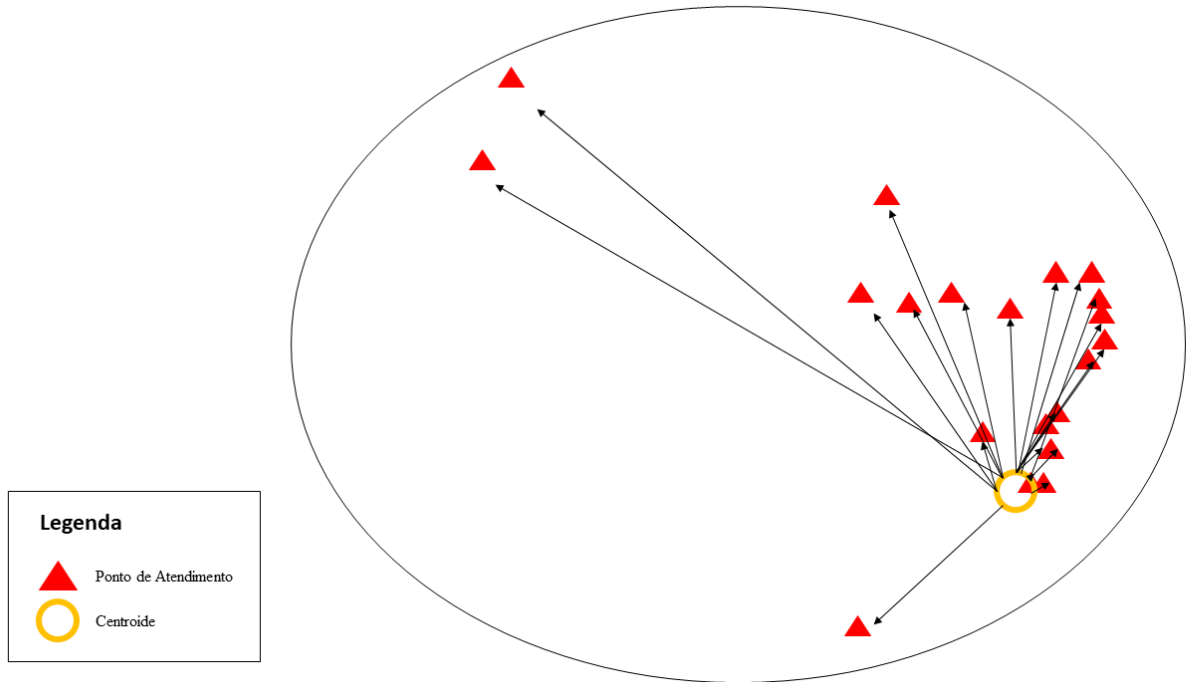
Tabela 3 – Tempo de deslocamento Grupo 2

| Ponto | X (Latitude) | Y(Longitude) | D (distância) | Dc (distância corrigida) | Td (Tempo deslocamento) | Te (Tempo execução) | Tt (Tempo Total em min.) |
|-------|--------------|--------------|---------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1     | -29,699780   | -53,872230   | 968,2         | 677,7                    | 1936                    | 146                 | 2082                     |
| 2     | -29,872360   | -51,262950   | 225,1         | 157,6                    | 450                     | 51                  | 501                      |
| 3     | -29,834170   | -51,152940   | 121,5         | 85,1                     | 243                     | 88                  | 331                      |
| 4     | -29,859520   | -51,169770   | 143,4         | 100,4                    | 287                     | 88                  | 375                      |
| 5     | -29,742330   | -51,141950   | 703,3         | 492,3                    | 1407                    | 38                  | 1445                     |
| 6     | -29,885470   | -51,133070   | 308,5         | 216,0                    | 617                     | 25                  | 642                      |
| 7     | -30,022700   | -52,898810   | 1165,5        | 815,9                    | 2331                    | 37                  | 2368                     |
| 8     | -29,901780   | -51,184230   | 412,1         | 288,5                    | 824                     | 40                  | 864                      |
| 9     | -29,819950   | -51,172970   | 212,1         | 148,5                    | 424                     | 16                  | 440                      |
| 10    | -29,909590   | -51,193280   | 461,6         | 323,1                    | 923                     | 8                   | 931                      |
| 11    | -29,766770   | -51,092440   | 549,5         | 384,7                    | 1099                    | 59                  | 1158                     |
| 12    | -29,579280   | -51,099650   | 1686,4        | 1180,5                   | 3373                    | 9                   | 3382                     |
| 13    | -29,913200   | -51,764270   | 484,5         | 339,1                    | 969                     | 78                  | 1047                     |
| 14    | -29,663950   | -51,084440   | 1187,4        | 831,2                    | 2375                    | 4                   | 2379                     |
| 15    | -29,677243   | -51,055799   | 1106,6        | 774,6                    | 2213                    | 31                  | 2244                     |
| 16    | -29,824970   | -51,132640   | 180,1         | 126,1                    | 360                     | 78                  | 438                      |
| 17    | -29,909350   | -51,203800   | 460,1         | 322,1                    | 920                     | 42                  | 962                      |
| 18    | -29,696680   | -51,245220   | 987,3         | 691,1                    | 1975                    | 81                  | 2056                     |
| 19    | -29,887230   | -51,140910   | 319,7         | 223,8                    | 639                     | 6                   | 645                      |
| 20    | -29,668080   | -51,127370   | 1162,4        | 813,6                    | 2325                    | 8                   | 2333                     |
| Soma  |              |              | 12845,4       | 8991,8                   |                         |                     | 26624                    |

Fonte: Autora.

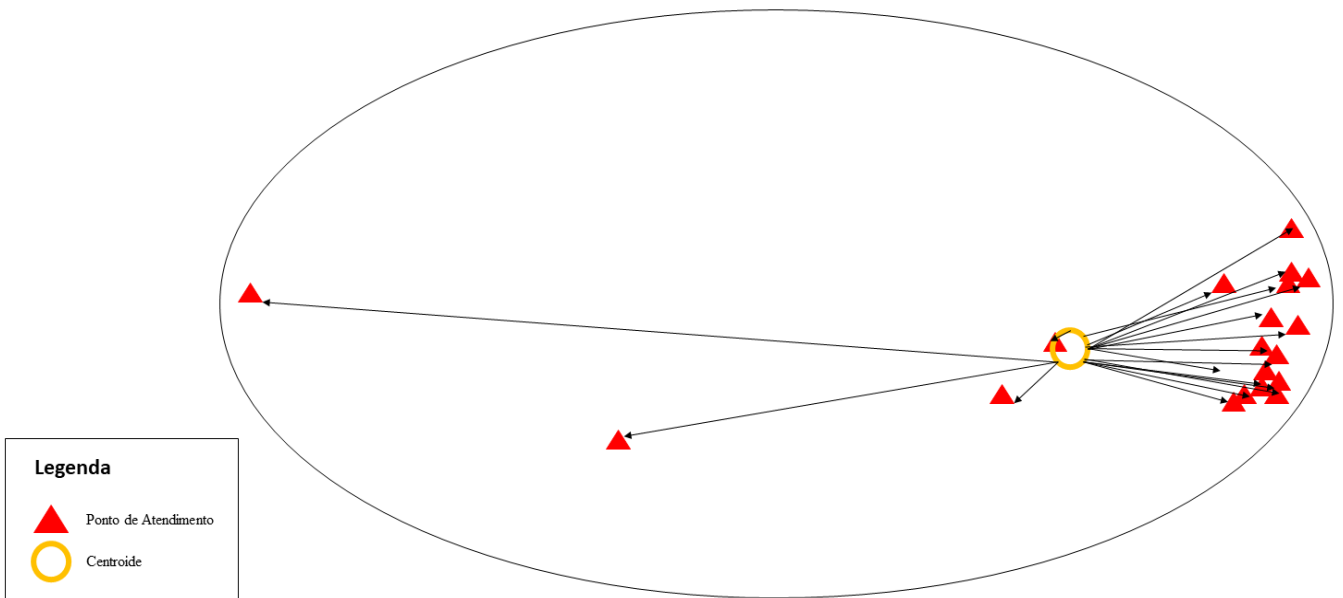
Após a execução das etapas é possível localizar os pontos no mapa, para isso foi utilizado o programa *Google Maps* por ser um software de fácil acesso e gratuito, fazendo a inserção dos pontos um a um e posterior agrupamento foi possível chegar a seguinte configuração de agrupamento.

Figura 2 – Grupo 1 – Agrupamento das ordens de serviço



Fonte: Autora.

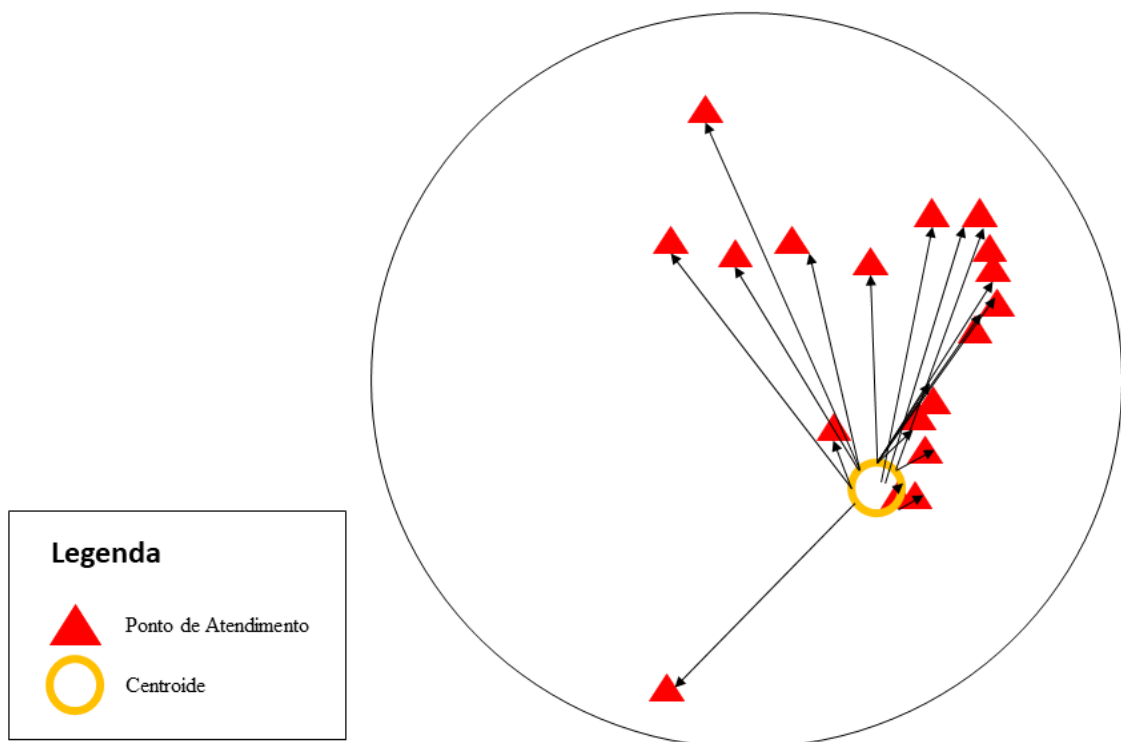
Figura 3 – Grupo 2 – Agrupamento das ordens de serviço



Fonte: Autora.

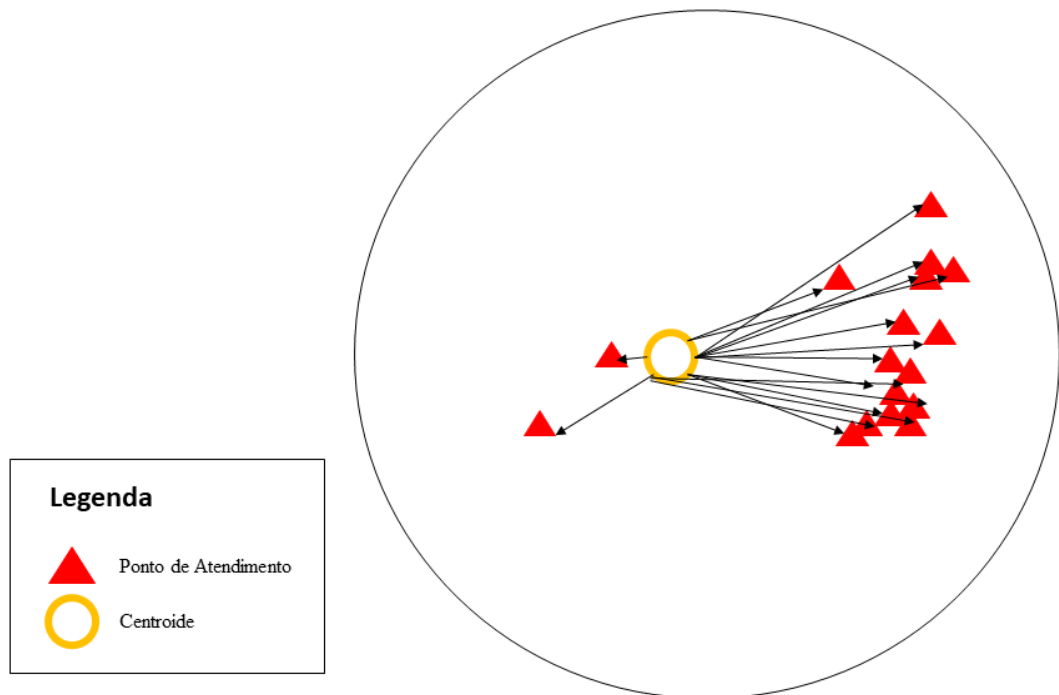
Com base na configuração dos pontos vistas nas figuras 2 e 3 foi possível perceber que ainda que tenha-se procurado por pontos próximos, dois pontos em cada grupo encontram-se geograficamente distante dos demais, por este motivo escolheu-se eliminar ambos os dois pontos em cada um dos grupos, de modo a ajustar a região do agrupamento. Conforme o modelo descrito é possível perceber que a mudança em um ou mais pontos do agrupamento, bem como a inserção ou exclusão de um ponto influencia na definição dos centroides e por consequência na configuração do agrupamento, por este motivo ao excluir os pontos faça-se necessário repetir todas as etapas descritas de modo a encontrar um novo agrupamento, uma vez repetida as etapas tem-se os seguintes novos agrupamentos, vistos nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Grupo 1 – Agrupamento das ordens de serviço após ajuste



Fonte: Autora.

Figura 5 – Grupo 2 – Agrupamento das ordens de serviço após ajuste



Fonte: Autora.

Após o ajuste dos grupos, com a remoção dos pontos distantes do centroide, se considerarmos o indicador tempo de execução das ordens de serviço, ao considerar o somatório destes valores nos grupos 1 e 2, antes e após a remoção dos pontos, no modelo didático, foi possível obter uma redução no tempo necessário para a execução das ordens de 24% e 18% respectivamente. Com isso é possível perceber que a correta escolha de um agrupamento contém impactos significativos no tempo de execução das ordens, o que impacta na capacidade de atendimento das equipes e custo de atendimento de cada ordem, uma vez que o deslocamento gera custos de combustível, desgastes da frota e tempo dos colaboradores envolvidos. Tal redução ocorre não só pela eliminação da necessidade de deslocamento até pontos distantes do centroide, mas também pela criação de um novo centroide.

#### 4.3 CONTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Uma vez que o modelo didático foi apresentado, torna-se possível entender como o modelo matemático irá fazer o tratamento dos dados, neste caso o modelo torna-se necessário pois diferente do problema inicial apresentado que possuía um número extremamente limitado

de ordens de serviço o problema real para o qual o modelo foi construído necessita da possibilidade do agrupamento de um número maior de ordens simultaneamente.

Para a construção do modelo foram realizadas as etapas descritas a seguir, todas executados por meio do *software LibreOffice Calc*, o *software* foi escolhido por ser de uso livre e gratuito.

- Etapa 1: Primeiramente é necessário obter as informações de latitude e longitude presentes nas ordens de serviço, é importante ressaltar que os dados são fornecidos em graus e precisa ser transformada em radianos, para correta aplicação no modelo, para isso utiliza-se a equação 4.7 e 4.8.

$$X_{rad} = \frac{x_i \cdot \pi}{180^\circ} \quad (4.7)$$

$$Y_{rad} = \frac{y_i \cdot \pi}{180^\circ} \quad (4.8)$$

- Etapa 2: Com os valores finais de X e Y em radianos calcula-se a matriz da distância de todo ponto ligado a uma ordem de serviço em relação a cada ponto do horizonte de ordens de serviço que desejasse agrupar, tal distância é calculado por meio da equação de Haversine, já utilizada no modelo didático.
- Etapa 3: De posse da matriz das distâncias de cada ponto, é preciso obter esse valor em forma de variável de tempo multiplicando a distância percorrida por uma velocidade média de 40km/h e convertendo este valor para a minutos, para que seja possível somar o tempo de deslocamento para atendimento de uma ordem comercial com o tempo de execução da mesma e assim obter o tempo total de atendimento da ordem conforme equação 4.9.

$$T_{Total} = T_d + T_e \quad (4.9)$$

- Etapa 4: Uma vez que os dados necessários estão nos formatos adequados para a execução do modelo, deve-se definir a função objetivo a qual é obtida pelo somatório da matriz correspondente ao tempo total de atendimento da ordem com a matriz de distribuição das mesmas conforme equação 4.10, importante destacar que a função objetivo em questão classifica-se como uma função de minimização, uma vez que deseja-se minimizar o tempo necessário para o atendimento das ordens de serviço.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4.10)$$

- Etapa 5: Nesta etapa são definidas as restrições as quais o problema será submetido, para isso é necessário entender que cada ordem de serviço deve ser atrelado somente a um agrupamento, de forma que a mesma seja atendida somente por uma equipe, além disso todas as ordens em questão devem obrigatoriamente estar agrupadas em um dos grupamentos gerados, para a garantia dessas restrições é preciso definir as variáveis do problema como binárias, além disso é necessário definir qual o número de agrupamentos deseja-se gerar. A restrições utilizadas podem ser observadas nas equações 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

$$\sum_{j=1}^n y_j = N_a \quad (4.11)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (4.12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (4.13)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\}, \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (4.14)$$

- Etapa 6: Com o modelo definido, insere-se todas as informações descritas na ferramenta *Solver* do *Libreoffice Calc*, e obtêm-se a formação dos agrupamentos e o tempo mínimo necessário para o atendimento das ordens, respeitando todas as restrições definidas.

## 5 RESULTADOS

A aplicação do modelo foi feita para três grupos diferentes de ordens de serviço o primeiro com 16 pontos, o segundo com 32 pontos e um terceiro com 64 pontos, de forma que fosse possível avaliar o comportamento do mesmo em diferentes cenários e demonstrar as variações esperadas quando se inserem pontos aos grupamentos, a escolha do número de pontos em cada agrupamento deu-se de tal forma que fosse possível verificar se a redução do tempo quanto a sua linearidade, além disso o delimitou-se o terceiro grupo em 64 pontos por este condizer com um número factível de ordens a serem agrupadas dentro do contexto da concessionária em questão, da mesma forma variou-se o número de agrupamentos realizados



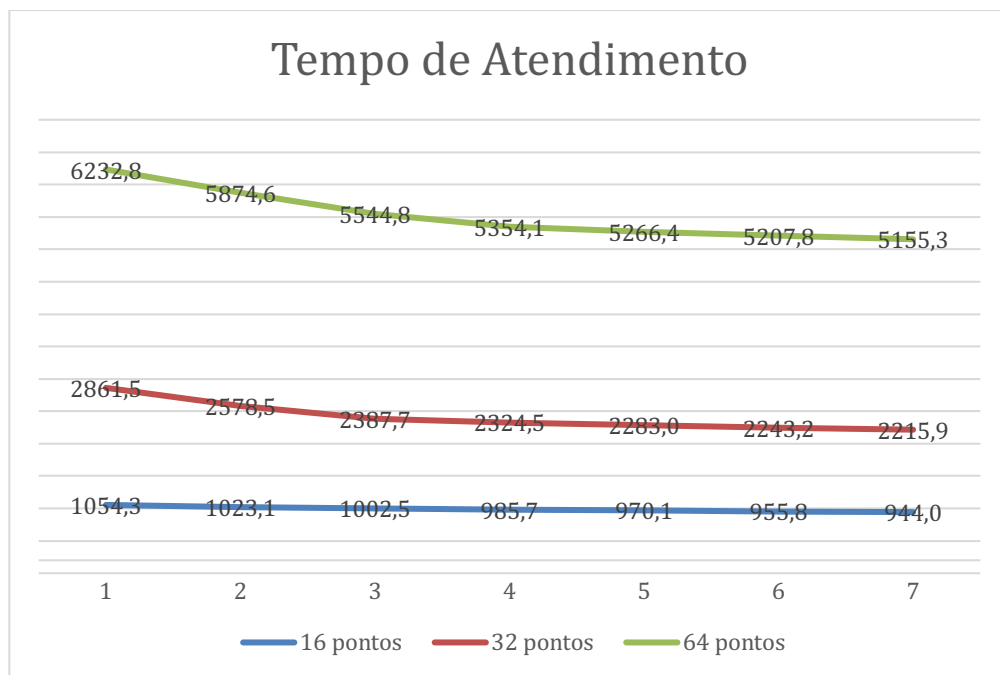
em cada grupo de ordens, no quadro 2 é possível verificar os valores obtidos, enquanto na figura 6 é possível visualizar a redução obtida com o aumento no número de agrupamentos.

Quadro 2 – Tempo Total por agrupamento em minutos

| Nº de agrupamentos |              | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       |
|--------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo              | Nº de pontos | T total | T total | T total | T total | T total | T total | T total |
| Grupo 1            | 16 pontos    | 1054,3  | 1023,1  | 1002,5  | 985,7   | 970,1   | 955,8   | 944,0   |
| Grupo 2            | 32 pontos    | 2861,5  | 2578,5  | 2387,7  | 2324,5  | 2283,0  | 2243,2  | 2215,9  |
| Grupo 3            | 64 pontos    | 6232,8  | 5874,6  | 5544,8  | 5354,1  | 5266,4  | 5207,8  | 5155,3  |

Fonte: Autora.

Figura 6 – Gráfico do Tempo de Atendimento por agrupamento



Fonte: Autora.

Com base nos valores presentes no quadro 2, e no gráfico da figura 6 é possível perceber que como esperado o aumento do número de ordens a serem atendidas implica em um aumento no número de tempo necessário para o atendimentos dos grupos, isso por que cada ordem está relacionada a um tempo de deslocamento e execução que somados resultam no tempo de atendimento das ordens, mas deste quadro destaca-se a variação do tempo total necessário para

atendimento das ordens conforme o número de agrupamentos realizados, é possível perceber que quanto maior o número de agrupamentos, menor o tempo de execução, isso se dá por que, mesmo que o tempo necessário para a execução do serviço não se altere, agrupamentos com um número menor de pontos resultam em menores deslocamentos entre os pontos de atendimento, uma vez que o critério utilizado para o agrupamento das ordens é justamente a menor distância percorrida entre a mediana, ponto central do agrupamento, e as demais ordens.

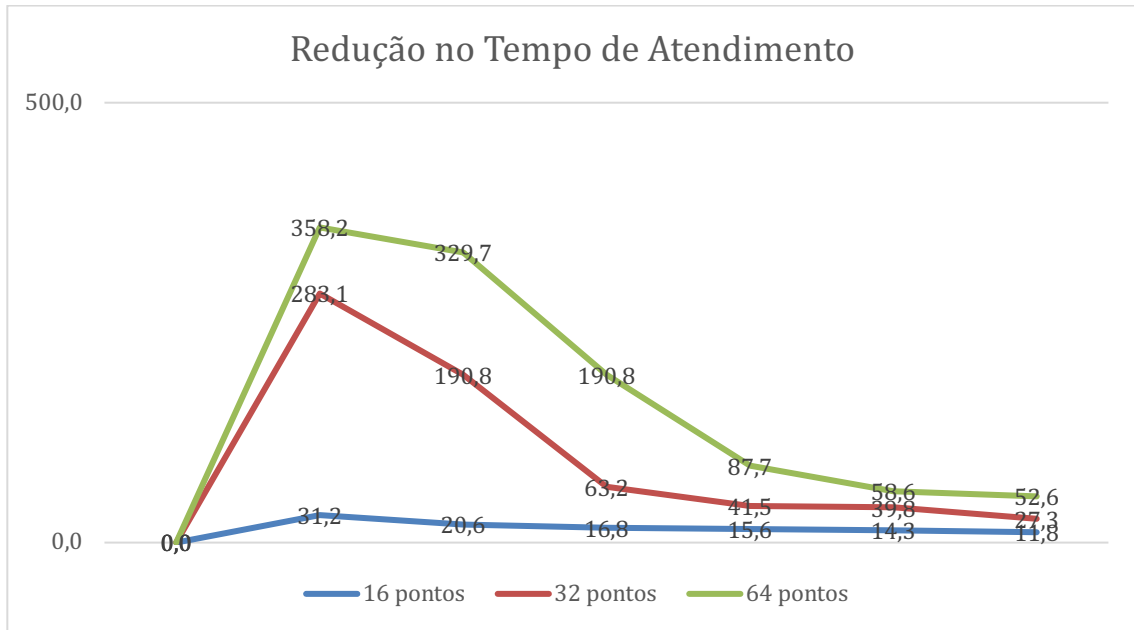
Se analisarmos os dados presentes no quadro 3 é possível verificar a diminuição em minutos do tempo de atendimento em cada um dos três grupos analisados conforme o aumento do número de agrupamentos, percebe-se com estes dados que mesmo que a redução no tempo necessário para o atendimento das ordens, ocorra com o aumento no número de agrupamentos, a mesma é não linear e a variação desta redução diminui ao longo do tempo, fato este que pode ser melhor observado na figura 7 , isso nos leva a levantar a hipótese de que existe um número de agrupamentos ideal para cada caso, com o qual a redução do tempo seja o suficiente para justificar o uso daquele número de equipes, uma vez que cada agrupamento na verdade nada mais é do que um grupo de ordens de serviço a ser destinado para uma equipe.

Quadro 3 – Tempo Total por agrupamento em minutos

| Nº de agrupamentos |              | 2                               | 3     | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    |
|--------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Grupo              | Nº de pontos | Redução no tempo de atendimento |       |       |       |      |      |      |
| Grupo 1            | 16           | 0,0                             | 31,2  | 20,6  | 16,8  | 15,6 | 14,3 | 11,8 |
| Grupo 2            | 30           | 0,0                             | 283,1 | 190,8 | 63,2  | 41,5 | 39,8 | 27,3 |
| Grupo 3            | 50           | 0,0                             | 358,2 | 329,7 | 190,8 | 87,7 | 58,6 | 52,6 |

Fonte: Autor (2021)

Figura 7 – Gráfico da Redução Tempo de Atendimento por agrupamento



Fonte: Autor (2021)

Nesse sentido é possível verificar a contribuição da utilização do agrupamento das ordens para uma melhor utilização dos recursos disponíveis na concessionária, uma vez que a redução dos tempos de execução está diretamente ligada aos custos da empresa. Ressalta-se que o número de agrupamentos realizados deverá ser definido pelos recursos disponíveis na concessionária, utilizando sempre a premissa de quanto maior a divisão dos grupos, melhor será a utilização destes recursos.

Nos apêndices A até ? encontram-se os gráficos de dispersão das ordens de serviço para os grupos de 16, 32 e 64 ponto e suas respectivas divisões em 2, 4, 6 e 8 agrupamentos. Nos gráficos é possível visualizar a formação dos agrupamentos e perceber o comportamento dos mesmos, como esperado quanto maior o número de divisões das ordens de serviço, ou seja, quanto mais grupos forem formados, menor é a dispersão entre os pontos de um mesmo grupo, ou seja, menor é a distância entre estes pontos.

## 6 CONCLUSÃO

Avalia-se que o objetivo inicial, a formulação de um modelo para agrupamento de ordens de serviço comerciais baseado em programação linear inteira para uma distribuidora de energia elétrica, foi atingido. É possível afirmar isto, pois a aplicação do modelo proposto resultou em um agrupamento de ordens que respeita as restrições impostas ao modelo e principalmente alcança o objetivo principal que levou a criação do modelo, a redução do tempo necessário para o atendimento das ordens.

Diversas etapas foram necessárias para a concretização dos objetivos, primeiramente foi necessário a realização de um modelo didático de modo que fosse possível entender os procedimentos realizados posteriormente pelo algoritmo e identificar o modo como o agrupamento das ordens se daria, com base na aplicação das etapas do modelo didático descrito foi possível identificar a influência da inserção ou remoção de um ou mais pontos nos grupos de dados, nos centroides e conseqüentemente na distância percorridas em cada agrupamento.

O modelo matemático proposto e aplicado trouxe resultados satisfatórios na medida que o ajuste dos agrupamentos nos mostram, uma redução considerável no tempo de atendimento das ordens e conseqüentemente uma melhor utilização das equipes de atendimento, sugere-se que o modelo seja inserido em uma ferramenta computacional mais apropriada e desta forma seja utilizado para a distribuição das ordens de serviço entre as equipes, uma vez que o modelo atual utiliza um tempo elevado para a realização de todas as suas interações, quando expande-se o horizonte de ordens para o grupo de 64 pontos. Outro ponto proposto é o posterior estudo de roteirização das ordens, uma vez que as mesmas estão divididas em seus agrupamentos ótimos, um segundo aprimoramento seria a realização da melhor rota possível entre os pontos presentes no agrupamento.

Ressalta-se ainda a contribuição da aplicação do presente estudo para os clientes da concessionária, uma vez que a redução no tempo de atendimento das ordens e uma melhora no nível de serviço significa um menor período de tempo sem energia elétrica, em suma o presente estudo se aplicado trará, além de ganhos financeiros a concessionária, uma melhor satisfação dos seus clientes e impactos positivos a sociedade, uma vez que pode ser aplicado em demais concessionárias de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Energia no Brasil e no Mundo - Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf)>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. [s.l], 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 - Qualidade da Energia**. [s.l], 2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo\\_8-Revisão\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo_8-Revisão_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9)>.

AMORIM, M. L. F. **Otimização de atendimentos de emergência em redes de distribuição de energia elétrica**. Niterói - RJ, Universidade Federal Fluminense (UFF), 2010.

CALHEIROS, Z. S. A. **O problema do caixeiro viajante com passageiros**. Natal - RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2017.

CÂNDIDO, G. V. **Otimização multicritério para roteirização de serviços de uma distribuidora de energia elétrica**. Campinas - SP, PUC-Campinas, 2020.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços: Operações, Estratégias e Tecnologia da Informação**. 7. ed., Porto Alegre: AMGH Editora, 2014.

FONINI, J. S. **Análise de desempenho do sistema de atendimentos de serviços em concessionária de energia**. Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2016.

GARCIA, V. J. et al. **Gestão estratégica das ordens de serviço: uma abordagem para despacho centralizado**. XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. **Anais...**São Paulo - SP: 2010. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w19656>>

GILLETT, B. E.; MILLER, L. R. A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. **Operations Research**, v. 22, n. 2, p. 205–451, 1974.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: The McGraw-Hill Companies, 2006.

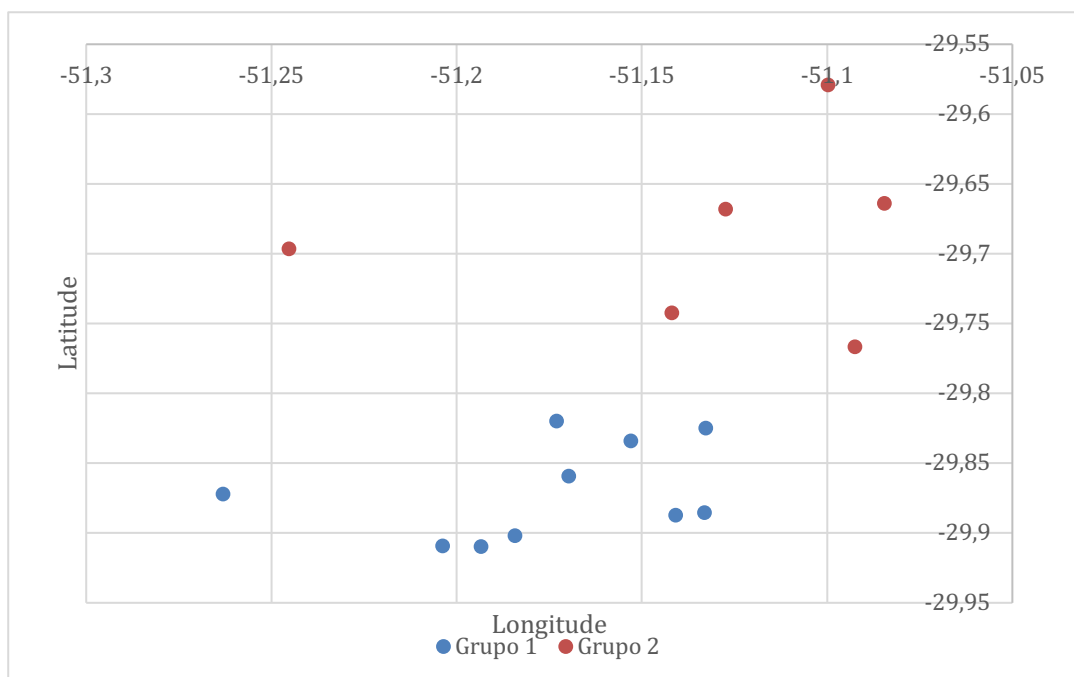
MIRANDA, P. A.; GONZÁLEZ-RAMÍREZ, R.; SMITH, N. R. Districting and Customer Clustering Within Supply Chain Planning: A Review of Modeling and Solution Approaches. In: RENKO, S. (Ed.). . **Supply Chain Management - New Perspectives**. 1. ed. [s.l.] InTech, 2011. p. 737–770.

RÍOS-MERCADO, R. Z.; FERNÁNDEZ, E. A reactive GRASP for a commercial territory design problem with multiple balancing requirements. **Computers and Operations Research**, v. 36, n. 3, p. 755–776, 2009.

ZHU, J. **Optimization of Power System Operation**. 1. ed, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

LAPORTE, G. **The Vehicle Routing Problem: an overview of exact and approximate algorithms**. *European Journal of Operational Research*, v. 59, pp. 345–358, 1992

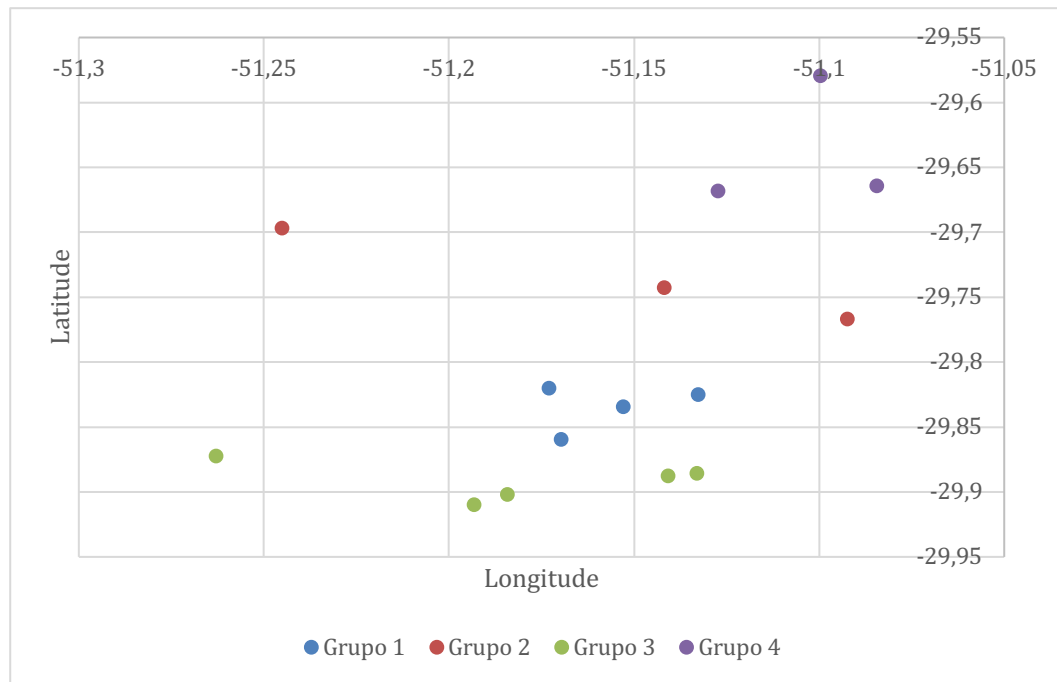
### APÊNDICE A - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 16 PONTOS E 2 AGRUPAMENTOS



Fonte: Autor (2021)

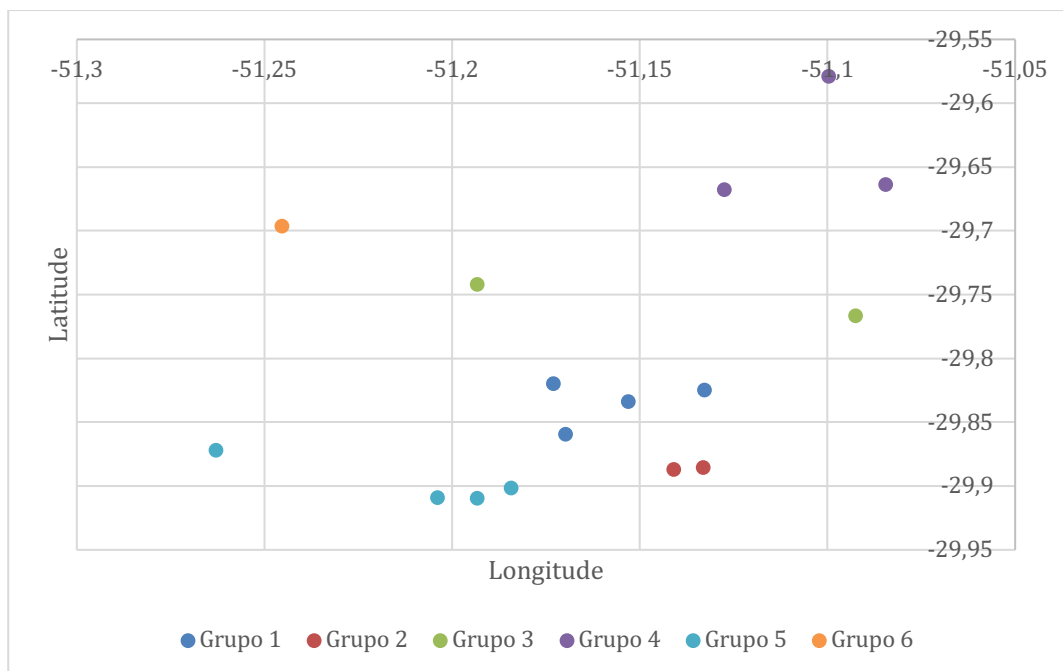
### APÊNDICE B - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 16 PONTOS E 4

## AGRUPAMENTOS



Fonte: Autor (2021)

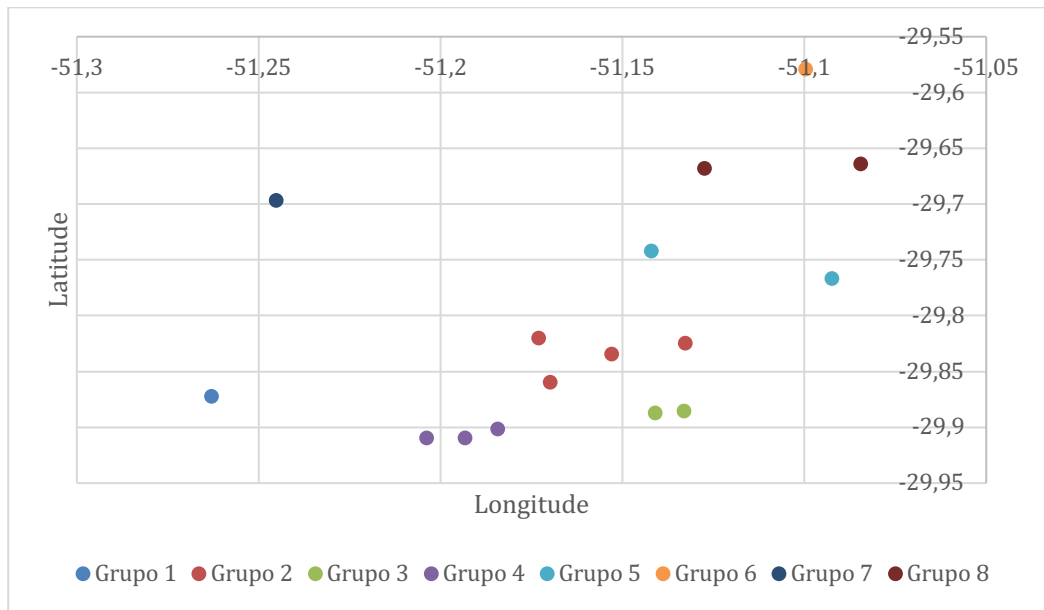
## APÊNDICE C - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 16 PONTOS E 6 AGRUPAMENTOS



Fonte: Autor (2021)

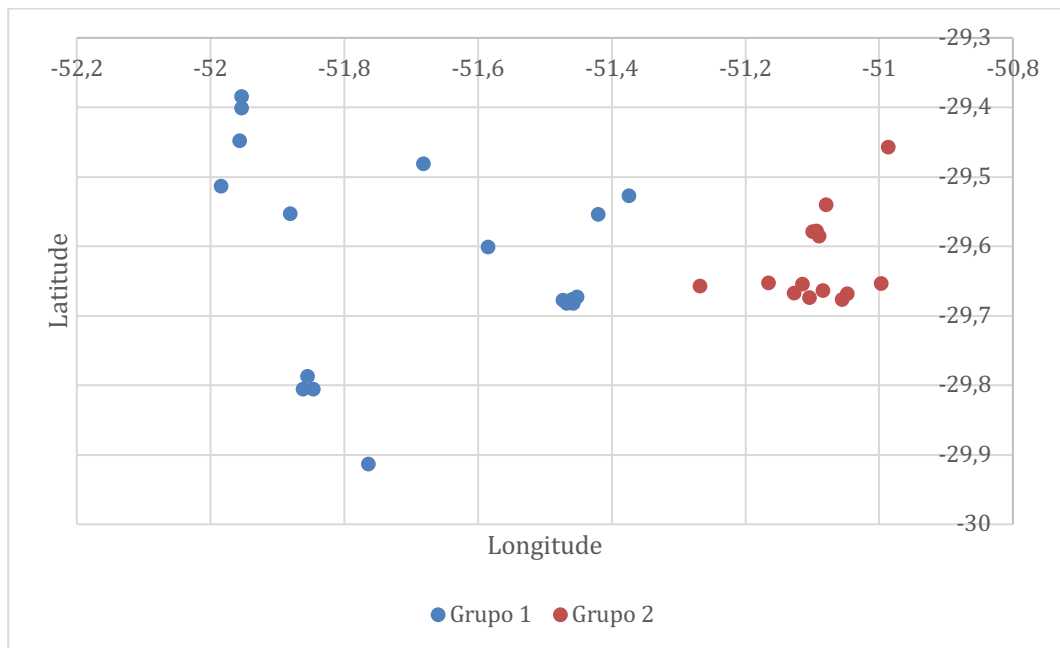
## APÊNDICE D - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 16 PONTOS E 8 AGRUPAMENTOS





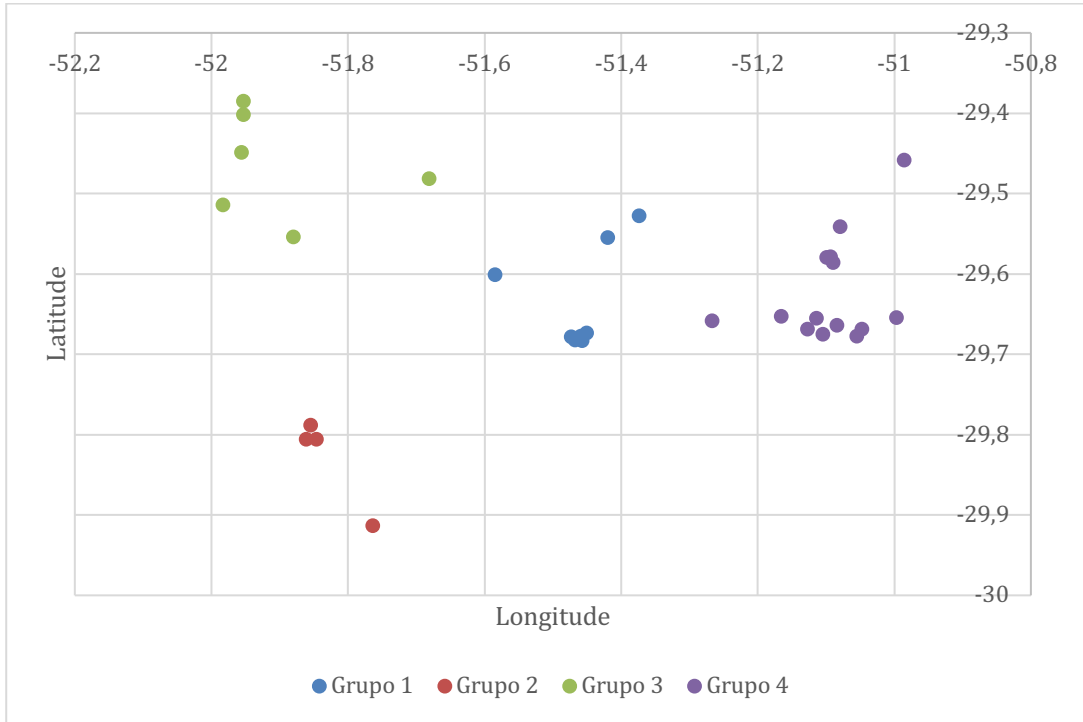
Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE E - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 32 PONTOS E 2 AGRUPAMENTOS**



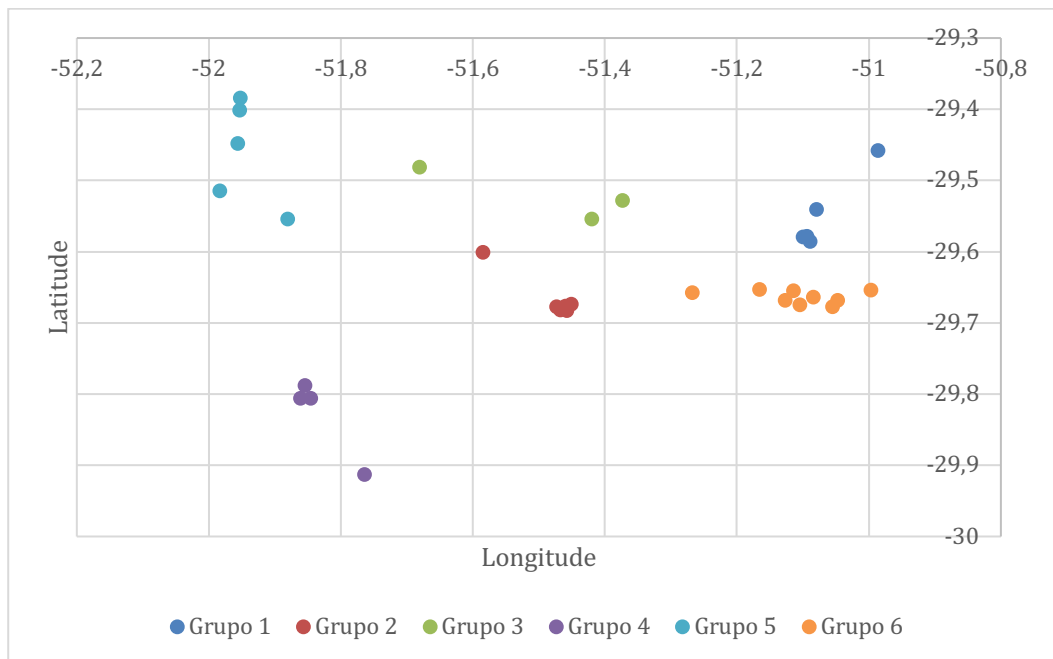
Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE F - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 32 PONTOS E 4 AGRUPAMENTOS**



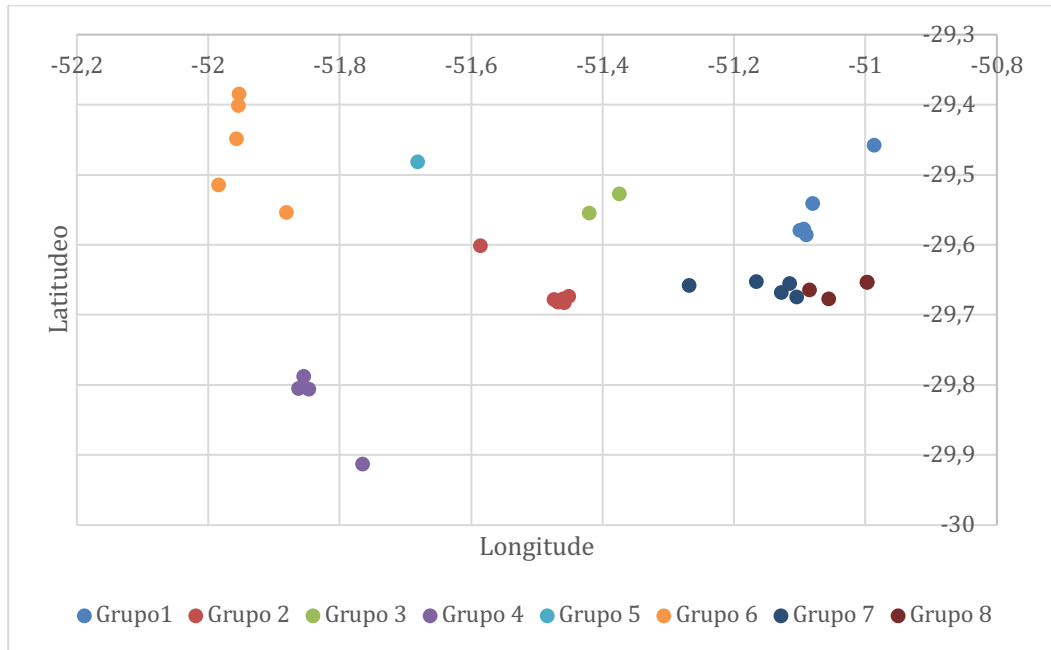
Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE G - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 32 PONTOS E 6 AGRUPAMENTOS**



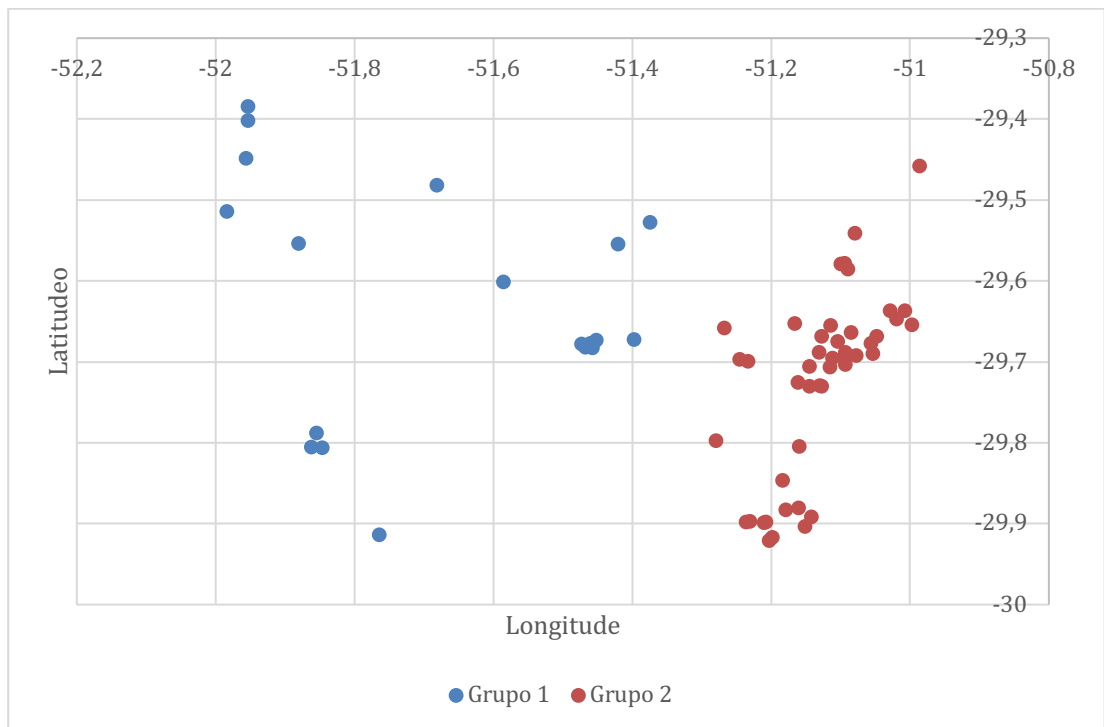
Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE H - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 32 PONTOS E 8 AGRUPAMENTOS**



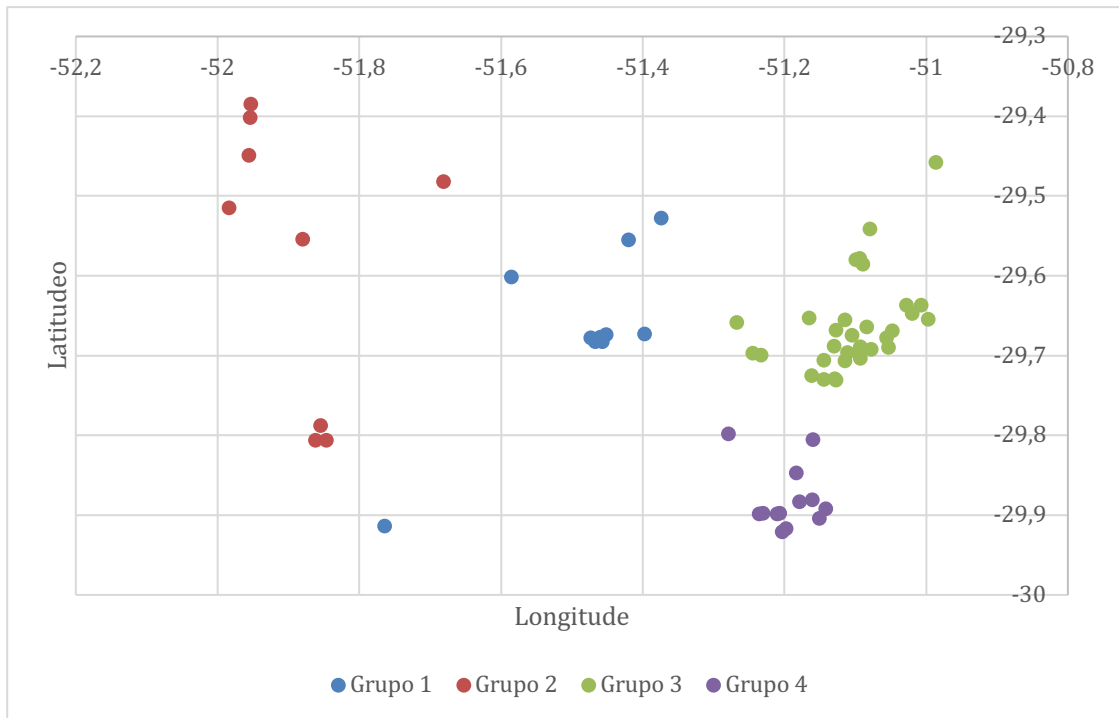
Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE I - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 64 PONTOS E 2 AGRUPAMENTOS**



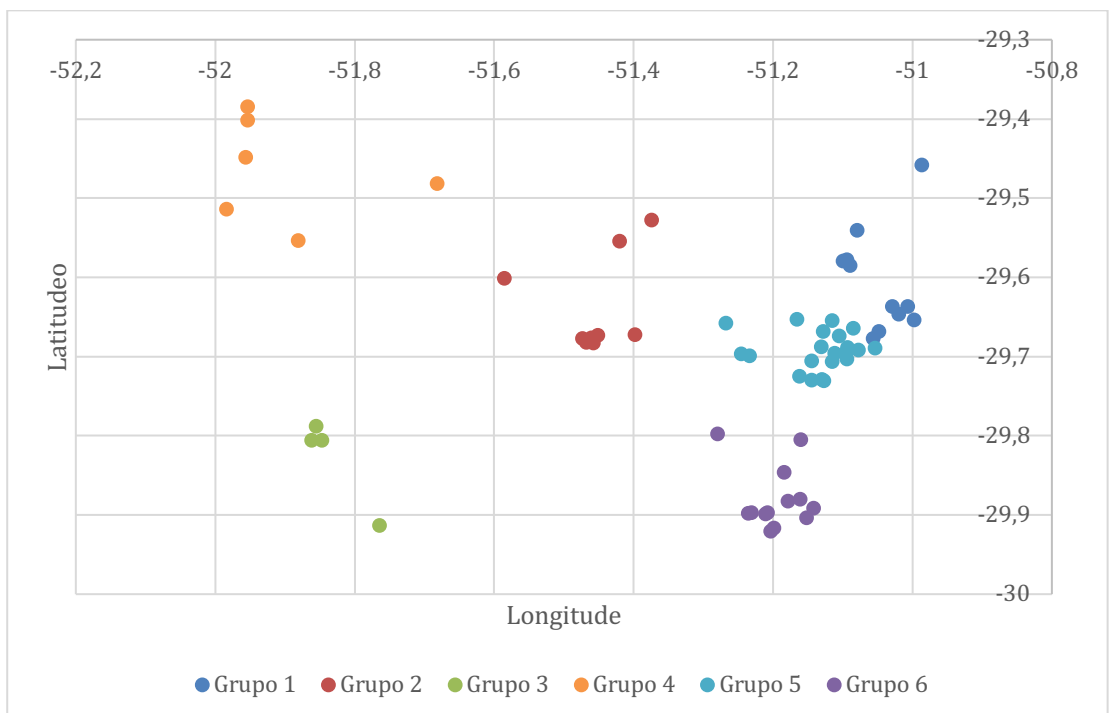
Fonte: Autor (2021)

### APÊNDICE J - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 64 PONTOS E 4 AGRUPAMENTOS



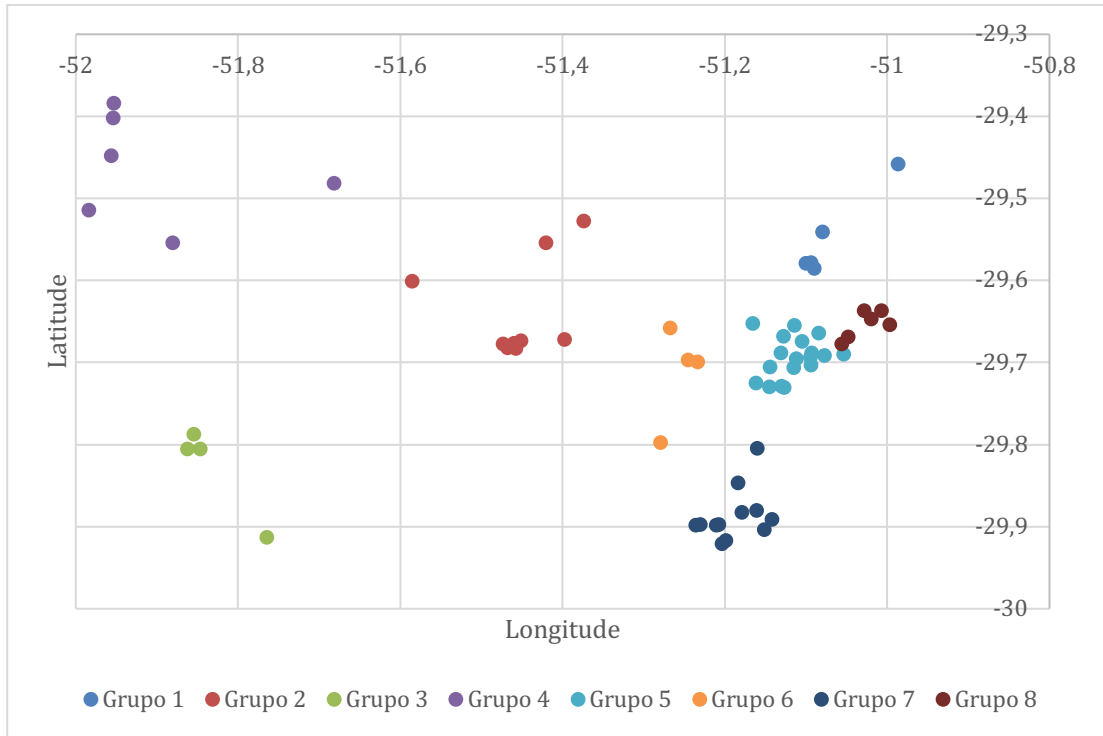
Fonte: Autor (2021)

### APÊNDICE K - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 64 PONTOS E 6 AGRUPAMENTOS



Fonte: Autor (2021)

**APÊNDICE L - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA 64 PONTOS E 8 AGRUPAMENTOS**



Fonte: Autor (2021)