



## MODELAGEM DE LOCALIZAÇÃO DE MÁXIMA COBERTURA PARA APOIAR A INSTALAÇÃO DE PONTOS DE PARADA E DESCANSO EM RODOVIAS

Martins, Fernanda Souza<sup>1</sup>

Dávalos, Ricardo Villaroel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina UFSC

---

### RESUMO

Este estudo propõe um modelo integrado de localização otimizada de áreas de descanso em rodovias nacionais, combinando técnicas de p-mediana e Problema de Máxima Cobertura (MCLP), com objetivo de melhorar a segurança viária e otimizar o transporte de cargas. Utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process), a pesquisa considera variáveis como sinistros de trânsito, volume de tráfego e características da via. A BR-101, uma das rodovias mais movimentadas do Brasil, foi analisada para melhorar o conforto e a segurança dos caminhoneiros. A avaliação de 25 postos de combustíveis levou à identificação de locais ideais para áreas de descanso, propondo a abertura de 2 medianas para cada sentido da rodovia. O estudo ainda delineou 10 etapas para o processo de localização, destacando a importância do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e de novas tecnologias para resolver problemas complexos de planejamento rodoviário, com foco na minimização de riscos e maximização da cobertura.

**Palavras-chave:** Sistemas de transportes, Pontos de parada e descanso, Problemas de localização, Segurança viária.

---

### ABSTRACT

This study proposes an integrated model for optimizing the location of rest areas on national highways, combining the p-median and Maximum Covering Location Problem (MCLP) techniques. The aim is to improve road safety and optimize freight transportation, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to consider factors such as traffic accidents, traffic volume, and road characteristics. The BR-101, one of Brazil's busiest highways, was analyzed to enhance truck drivers' comfort and safety. The evaluation of 25 fuel stations led to the identification of ideal locations for rest areas, recommending the establishment of two medians for each direction of the highway. The study also outlined 10 steps for the location process, emphasizing the importance of Geographic Information Systems (GIS) and new information technologies in solving complex road planning issues, with a focus on minimizing risks and maximizing coverage.

**Palavras-chave:** Transportation systems, Rest areas, Location problems, Road safety.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o transporte rodoviário é o maior responsável pela integração e escoamento de produtos entre as regiões, se complementando com os modos de transportes ferroviário, aéreo e aquaviário. O país é dependente deste modo de transporte que, com vantagens e desvantagens, causam impactos relevantes à sociedade, como a capacidade de tráfego por qualquer rodovia, e entre as desvantagens estão o custo de operação, a emissão de gases poluentes, os riscos de roubo e acidentes (Logística para todos, 2011). Um dos principais fatores relacionados ao desenvolvimento do setor de transporte está ligado a um trânsito mais seguro, os sinistros nas estradas geram custos sociais e econômicos. As ocorrências envolvendo caminhões trazem riscos aos usuários e motoristas devido às características e porte desse tipo de veículo. Além disso, ao longo da última década observou-se que a frota de veículos dobrou, ao passo que a extensão rodoviária cresceu cerca de 12% no mesmo período (CNT, 2019).

Neste contexto, os pontos de parada e descansos para caminhoneiros, são entendidos como instalações que se destinam aos motoristas profissionais, para que realizam paradas para descanso visando maior segurança com o repouso entre jornadas.

O objetivo desta pesquisa foi propor um modelo integrado para otimizar a localização e representação cartográfica de áreas de descanso em rodovias, focando na segurança viária e na otimização do transporte de cargas. O estudo avaliou 25 postos de combustíveis existentes ao longo da rodovia, considerando locais com área mínima de 15.000 m<sup>2</sup>. Uma matriz de distância foi criada para calcular a distância entre os pontos médios dos segmentos homogêneos da rodovia e os postos, considerando ambos os sentidos (norte e sul). Critérios qualitativos e quantitativos, como taxas de sinistros, geometria da via, iluminação, pavimento, sinalização, níveis de serviço, e características urbanas/rurais, foram utilizados para atribuir pesos aos segmentos da rodovia. A combinação desses critérios permitiu identificar locais para implantar áreas de descanso, propondo a abertura de duas medianas para cada sentido. Os resultados obtidos foram comparados entre as técnicas de p-mediana e Problema de Máxima Cobertura.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

#### 2.1.1 Distâncias entre Pontos de Parada e Descanso

De acordo com Bertulienė and Juknevičiūtė-Žilinskienė, (2014), o uso das áreas de descanso é diferente em cada país, sua definição busca atender objetivos específicos, pois aspectos como velocidade da via, geometria, classes, comportamento dos usuários, definições públicas e técnicas são específicos de cada região.

Na Noruega, a Agência Nacional de Administração de vias públicas recomenda a instalação de áreas de descanso a cada 45 km ou 15 km em rodovias. As áreas devem oferecer serviços aos usuários, principalmente regiões turísticas, visando atrair turistas e promover o comércio (Elvik et al., 2015). No Japão, as áreas de descanso em rodovias são predominantemente gerenciadas por empresas privadas. Há uma distinção entre áreas de serviço, conhecidas como SAs, e áreas de estacionamento, chamadas de PAs. As SAs estão localizadas a cada 50 km, oferecendo geralmente banheiros, restaurantes, áreas de alimentação



e postos de gasolina. Por outro lado, as PAs são menores e encontradas a cada 15 km, oferecendo banheiros, máquinas de venda automática ou pequenos (Seya et al., 2020).

Na França, o documento "Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison", (ICTAAL, 2000), emitido pelo Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável e Energia em 2015, é utilizado como referência para projetos e gestão de rodovias. Ele diferencia entre áreas de descanso e serviços com base na presença de postos de combustível. A distância mínima recomendada entre áreas de descanso é de 30 km, enquanto entre áreas de serviço é de 60 km. A Espanha possui a maior rede rodoviária da Europa, conforme dados de 2019 do Eurostat. As distâncias mínimas são de 20 km e as máximas variam entre 40 a 60 km. Nos Estados Unidos, as distâncias são diferentes conforme cada estado. Um estudo de caso em Nova Jersey analisou a distribuição das áreas de descanso, recomendando distâncias de 15 a 20 km em trechos com maior volume de tráfego, 50 a 60 km se tiverem serviços adicionais, ou em outros casos a cada 80 km (Higgins, Chiu and Bai, 2015).

No Brasil, a Lei nº 13.103/2015 estabelece as normas para o tempo de descanso obrigatório dos motoristas profissionais, enquanto a Portaria nº 387, de 2024, define a Política Nacional para a implementação de Pontos de Parada e Descanso (PPDs) em rodovias federais. Essa política estabelece a distância máxima de 400 km e recomenda a consideração de dados de tráfego e segurança viária nos estudos. Atualmente, há 103 instalações certificadas pelo governo, incluindo postos de combustíveis e restaurantes. As concessões privatizadas têm até 2025 para implementar PPDs, tendo duas inaugurações recentes realizadas pelo Grupo Arteris na SP-255 e na BR-101 em Santa Catarina.

### 2.1.2 Pesquisas no mundo

O estudo de Jung, Joo e Oh (2017) na Coreia do Sul avaliou a eficácia das áreas de descanso na redução de sinistros de trânsito, comparando os acidentes antes e depois da instalação dessas áreas. A pesquisa estatística realizada pelo Ministério de Infraestrutura e Transporte da Coreia revelou que cada área de descanso é utilizada por cerca de 143 veículos por dia, com 66% dos automóveis e 34% dos caminhões utilizando-as em 2015. A metodologia aplicada foi o teorema de Bayes, que comparou os sinistros nas áreas de tratamento e nas de referência, estimando a função de desempenho de segurança (FPS) com base nos acidentes causados por sonolência. Os resultados indicaram uma redução de 14% nos sinistros após a instalação das áreas de descanso, sendo particularmente eficazes na prevenção de acidentes causados por sonolência, especialmente em trechos de 2 e 3 pistas.

Caro e Parolera (2011) analisaram a cobertura de áreas de descanso para veículos que transportam produtos perigosos na Espanha, utilizando um modelo de localização baseado em Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Foram identificadas 10 áreas adequadas para esses veículos, considerando índices de locais potenciais, pontos de demanda e a necessidade de áreas de estacionamento. O problema foi resolvido com o software LINGO, que alocou os pontos de demanda para diferentes locais, e os resultados foram visualizados no ArcGIS. A análise revelou lacunas na cobertura, com as áreas de descanso atendendo apenas 64% da demanda.

A pesquisa de Santos e Müller (2006) utilizou o modelo MCLP para definir a localização de bases de aeronaves de interceptação na Região Amazônica, adaptando o modelo para incluir bonificações baseadas nas características logísticas e geográficas das localidades candidatas. Além disso, foram impostas restrições quanto ao padrão mínimo que as bases escolhidas deveriam atender. Os resultados mostraram que, sem as restrições, a solução do MCLP original seria mais eficiente que o Problema SIVAM, cobrindo mais pontos. No entanto, em cenários com orçamentos limitados, a solução ajustada com bonificações pode ser mais realista, priorizando locais com maior valor de bonificação.



Na sua tese, Santos (2016) utilizou o método AAD para definir os 17 passos necessários para alocar áreas de descanso na malha viária, criando um ranking dos trechos mais adequados com base em um algoritmo de otimização que considera o tempo de percurso máximo estabelecido pela legislação. A pesquisa se concentra na modelagem de redes, com a aplicação de grafos, dados de origem e destino, pontos centroides e a árvore de caminhos mínimos do algoritmo de Dijkstra. Além disso, Santos (2016) usou a técnica da p-mediana e o Problema de Máxima Cobertura para otimizar a distância entre as áreas de descanso. Em resumo, enquanto a abordagem de Santos foca na modelagem de rede e otimização, a pesquisa proposta nesta dissertação enfatiza a formulação de critérios de segurança para definir a localização das áreas de descanso.

## **2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NARRATIVA**

### **2.2.1 Segurança Viária**

Os acidentes de trânsito são eventos raros e aleatórios, causados por falhas humanas, veiculares e ambientais (AASHTO, 2010). Os fatores humanos incluem álcool, drogas, cansaço, conduta perigosa e distração; os veiculares, manutenção inadequada e falta de dispositivos de segurança; e os ambientais, defeitos na estrada, sinalização deficiente e condições climáticas adversas. Embora o comportamento do usuário esteja frequentemente relacionado aos acidentes, sua gravidade nem sempre depende dele. A severidade do acidente pode ser influenciada por escolhas erradas feitas momentos antes do ocorrido (Grime, 1987; Nordquist, 1988). Para calcular o índice de accidentalidade, pode-se usar a Unidade Padrão de Severidade (UPS), conforme recomendado pelo DNIT (2006). A fórmula considera os tipos de sinistros: danos materiais (1), feridos (4), feridos com pedestres (6) e vítimas fatais (13), e o índice UPS é obtido a partir desses cálculos.

### **2.2.2 Características físicas e operacionais da rodovia**

As condições geométricas das rodovias, como aclives, interseções e curvas, influenciam a operação do tráfego de veículos de carga, considerando seu tamanho e peso. Fatores como volume de tráfego, velocidade e espaçamento entre veículos também impactam a operação, assim como as características da via, como tipo de pista e presença de elementos como pontes e curvas perigosas (CNT, 2017). A sinalização viária, composta por elementos horizontais, verticais e auxiliares, desempenha papel crucial na orientação, regulamentação e advertência dos motoristas, garantindo segurança e eficiência. A premissa básica para o bom desempenho da sinalização é de que as mensagens sejam transmitidas de modo que os usuários compreendam corretamente o seu significado com distância ou tempo suficiente para orientar as ações exigidas dele no sistema viário, assim, a sinalização viária efetiva é importante para a tomada de decisão do motorista (Fuji, 2017). A iluminação, especialmente em condições climáticas adversas, é fundamental para melhorar a visibilidade e auxiliar na tomada de decisões do motorista. Além disso, a qualidade do pavimento deve resistir ao desgaste e às condições climáticas, evitando deformações e problemas como buracos, que aumentam o risco de acidentes devido à perda de controle do veículo (CNT, 2022).

### **2.2.3 Capacidade da Rodovia**

O volume de tráfego diário ao longo da rodovia influencia diretamente a exposição ao risco de acidentes, com segmentos de tráfego elevado apresentando maior probabilidade de incidentes em comparação aos segmentos de tráfego reduzido. Para calcular o Volume Médio



Diário Anual (VDMA), os dados são ajustados com índices sazonais, obtidos por contagens de tráfego. As contagens, normalmente são separadas em intervalos de 15 minutos e abrangem veículos leves e pesados (caminhões e ônibus).

O Nível de Serviço (LOS - Level of Service) é uma medida que avalia o desempenho operacional de uma rodovia, indicando sua capacidade com base em diferentes fatores, como volume de tráfego e velocidade. O LOS quantifica a facilidade ou dificuldade de realizar manobras na via, refletindo a qualidade do fluxo de tráfego. Conforme o Highway Capacity Manual (HCM), o LOS é dividido em seis níveis, designados por A, B, C, D, E e F, cada um representando uma condição de trafegabilidade específica. Os níveis A, B e C indicam melhores condições de fluxo e liberdade de manobra, enquanto D, E e F refletem maior congestionamento e menos flexibilidade. Atribuir pesos aos diferentes níveis de serviço, permite diferenciar o impacto dos segmentos com boa performance daqueles mais críticos ou congestionados. Essa distinção auxilia no planejamento de intervenções, priorização de recursos, e na proposição de melhorias para aumentar a segurança e eficiência da rodovia.

#### 2.2.4 Problemas de Localização

Os problemas de localização de facilidades consistem em selecionar os locais mais adequados para uma ou mais instalações dentre um conjunto de opções, visando oferecer um serviço de qualidade aos clientes, ao mesmo tempo em que se busca minimizar custos e maximizar os lucros ou demandas de coberturas, buscando sempre a melhor solução deste conjunto, ou seja, uma solução ótima. Em transportes, a Pesquisa Operacional acrescenta importantes contribuições que auxiliam na definição da localização, entre as ferramentas e métodos disponíveis a programação linear trata do problema de alocar recursos escassos que competem entre si, representados por modelos de expressões lineares, que consistem em encontrar os valores das variáveis de decisão, de modo que maximizem ou minimizem a devida função, respeitando um sistema de igualdades ou desigualdades, com as restrições do modelo, que determinam um conjunto de soluções viáveis, sendo a melhor solução conhecida como solução ótima (Gomes e Gomes, 2019).

O modelo mais conhecido e utilizado associado ao problema de localização de facilidades é o modelo da p-mediana, o qual tem objetivo é determinar os locais para p facilidades (chamadas de medianas) em uma rede com n nós, de forma a minimizar a soma das distâncias entre cada nó de demanda e sua mediana mais próxima.

O Problema de Localização de Máxima Cobertura MCLP busca localizar um número limitado de facilidades para cobrir o máximo de pontos de demanda, mas não necessariamente todos os pontos. Church, R., ReVelle (1974), apresentam em seu estudo uma abordagem que não determina que todas as demandas estejam cobertas, mas procura maximizar a cobertura total, desta forma, o problema de localização de máxima cobertura tem o objetivo de maximizar a demanda coberta dentro de um padrão de serviço, dado um número de recursos. Em conjunto com modelos de otimização, devido a quantidade de dados envolvidos, o uso de recursos computacionais se torna imprescindível (Gomes e Gomes, 2019).

#### 2.2.5 Método AHP

Segundo (Ramos, 2000), não há um método consensual para definir pesos, mas várias abordagens são encontradas na literatura. Uma das mais conhecidas é o Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970. Esse método envolve a comparação par a par dos critérios em uma matriz quadrada, onde os valores representam a importância relativa entre os critérios, é baseada numa matriz quadrada  $n \times n$ , onde as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Assim, o valor a

$ij$  representa a importância relativa do critério da linha  $i$  face ao critério da coluna  $j$ . Como esta matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores iguais a 1. A principal ideia é decompor o problema em uma estrutura hierárquica de critérios e alternativas, facilitando a compreensão e a análise do problema.

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Pesquisadores têm se dedicado a elaborar metodologias com este objetivo, a fim de identificar trechos prioritários que devem receber os PPD, como abordou (SANTOS, et al, 2016). Dessa forma, a proposta da pesquisa foi utilizar a Pesquisa Operacional para otimizar a localização das áreas de descanso, considerando informações que envolvam critérios de segurança viária em rodovias, propondo um procedimento metodológico de dez etapas para a localização otimizada das áreas de descanso em rodovias, conforme apresentado na Figura 1:

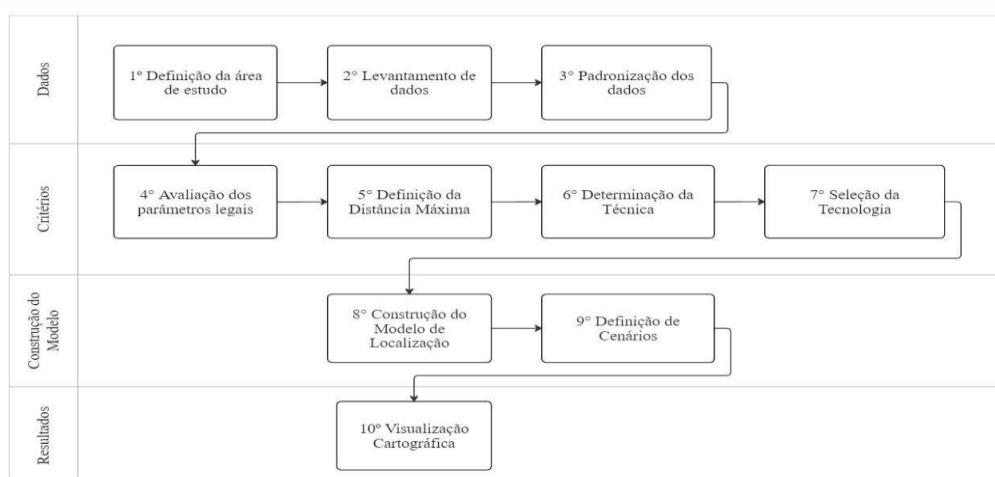


Figura 1 – Fluxograma Procedimento Metodológico.

Fonte: Autor (2024)

A 1ª etapa consiste em definir a área da malha viária a ser utilizada, o recorte proposto. A 2ª etapa trata-se do levantamento de dados, que pode ser dividido em três fases: 1) dados associados a pesquisa, seja custo de transporte, densidade demográfica, volumes de tráfego, características da rodovia, entre outros; 2) avaliação das instalações existentes que se enquadram como PPDs como postos de combustíveis, estacionamentos, hotéis entre outros; 3) consiste em definir os parâmetros de segurança viária que possuem impacto com o objeto do estudo, como sinistros de trânsito, condições do pavimento, sinalização viária, iluminação, extensão das tangentes e trechos com curvas sinuosas, distâncias entre as instalações, características físicas e operacionais da rodovia.

A 3ª etapa, é a normalização dos dados, ou seja, transformá-los em uma unidade unificada de pontuação, utilizando equações que irão expressar o impacto de cada variável e sua importância, de forma que seja possível correlacionar as informações para avaliar de forma quantitativa ou qualitativa. Na 4ª etapa deve-se verificar a legislação vigente que rege a jornada de trabalho dos motoristas profissionais, observando o tempo máximo de direção para longas viagens e o tempo mínimo para intervalos. A 5ª etapa consiste na definição da distância máxima entre uma instalação e outra, buscando na literatura ou considerando as legislações vigentes. A



6ª etapa é a determinação da técnica, a escolha do modelo matemático que será utilizado para analisar os dados.

A 7ª etapa consiste em definir a tecnologia, ou seja, por qual software ou ferramentas será realizada a construção do modelo, nesta fase deve-se avaliar o número de variáveis da pesquisa, em grandes conjuntos de dados devem ser considerados o uso de recursos computacionais. A 8ª etapa é a construção do modelo de localização, a fim de encontrar a função objetivo, devem ser definidas as variáveis de decisão e as restrições do modelo, determinando um conjunto de soluções viáveis, e a solução ótima.

A 9ª etapa é definir cenários para executar o modelo, a fim de solucionar diferentes situações para a solução ótima. E por fim, a 10ª etapa consiste em através de recursos em SIG, obter dados da localização das instalações como suas coordenadas geográficas e a partir deles, representar os resultados obtidos nos cenários em visualizações cartográficas.

### 3.1 Estudo de Caso

A rodovia BR-101 percorre o sul do Brasil, com 4.080 quilômetros de extensão entre os estados do Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul (BRASIL, 1964). Seus 465,9 quilômetros pavimentados em Santa Catarina facilitam o acesso à faixa litorânea, impulsionando atividades comerciais, industriais e turísticas, bem como o transporte de cargas pelos portos marítimos, (NUNES, 2008). A rodovia faz parte do corredor Mercosul e faz importantes ligações entre estados brasileiros, no entanto, o rápido crescimento do tráfego resultou em altas taxas de acidentes, classificando-a como a segunda rodovia com mais acidentes envolvendo caminhões a cada 100 km (CNT, 2018). Para este estudo, foi selecionado um trecho de 240,600 quilômetros da BR-101/SC, onde a privatização da rodovia proporcionou dados atualizados e confiáveis para a pesquisa.

### 3.2 Segmentos Homogêneos

A avaliação por quilômetro foi descartada devido à quantidade extensa de dados e à dificuldade em normalizá-los. Em vez disso, a avaliação baseou-se em segmentos homogêneos, definidos no Estudo de Tráfego fornecido pela concessionária Arteris. A definição dos SH é realizada através das características físicas da rodovia que afetam o desempenho do tráfego, como classe da rodovia, quantidade e dimensão das faixas de tráfego e acostamentos, velocidade diretriz, perfil longitudinal e tipo de ocupação lindeira, conforme apresentado na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Segmentos Homogêneos.

SH sentido norte e sul	km inicial	km final
101SH1	0	6
101SH2	6	41,2
101SH3	41,2	57,4
101SH4	57,4	111,3
101SH5	111,3	137,4
101SH6	137,4	144,1
101SH7	144,1	155
101SH8	155	193
101SH9	193	203,6
101SH10	203,6	205
101SH11	205	208
101SH12	208	212
101SH13	212	213,7



SH sentido norte e sul	km inicial	km final
101SH14	213,7	215,5
101SH15	215,5	220,9
101SH16	220,9	244,6

Fonte: Autora (2024)

### 3.3 Possíveis Instalações para PPDs existentes na Rodovia

Para identificar potenciais PPDs ao longo da rodovia, foi realizado um levantamento dos postos de combustível próximos à rodovia, utilizando o Google Earth. Foram analisadas as áreas de cada instalação e aplicados filtros considerando apenas instalações com áreas iguais ou superiores a 15.000m<sup>2</sup>. Esse processo resultou em 25 possíveis PPDs.

### 3.4 Matriz de distância e pesos associados

Após a definição da configuração do trecho em estudo, foi elaborada a matriz de distância, entre o ponto médio de cada segmento homogêneo e os postos de combustíveis separados por sentido de tráfego.

Para garantir a padronização dos dados coletados, cada critério que compõe o modelo foi ponderado de acordo com seu nível de importância. Para definir essas prioridades, foram realizadas pesquisas com profissionais da área, que ajudaram a atribuir pesos específicos a cada critério. Os critérios avaliados incluem a taxa de severidade dos acidentes, volume de tráfego, nível de serviço, geometria da via, iluminação, qualidade do pavimento, sinalização, urbanização e presença de serviços auxiliares. Por meio do método (AHP), foi possível determinar os pesos relativos aos riscos associados aos PPDs. Esses pesos foram incorporados na fórmula, conforme mostrado na Equação (1):

$$Ps = (0,30 \times FT) + (0,20 \times NS) + (0,30 \times CG) + (0,20 \times CF) \quad (1)$$

Os critérios levantados foram classificados em quatro grupos, sendo chamados de riscos associados, onde: Ps: Valor do Peso Associado; FT: Fluidez no tráfego; NS: Capacidade da Rodovia; CG: Características geométricas da rodovia; CF: Características físicas e operacionais.

### 3.5 Modelagem

No desenvolvimento do cenário 1, foi assumido que cada posto pode ter múltiplas demandas, devido à natureza do problema de transporte na corrente de tráfego. Um único cenário foi formulado e resolvido utilizando o OpenSolver no Excel. Esse cenário envolve a determinação da localização de dois PPDs no sentido norte e dois no sentido sul, considerando os pesos associados. Primeiramente foi utilizado o modelo da *p-mediana* para encontrar os possíveis PPDs a partir de pesos associados. Com os resultados obtidos na *p-mediana* foram aplicados o MCLP, adaptando as restrições à realidade do problema estudado.

#### 3.5.1 Modelo *p-mediana*

As equações a seguir apresentam o modelo da *p-mediana* utilizado:

Minimizar:

$$z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_j x_{jj} = p \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (6)$$

Onde:  $i$ = representa os postos de combustíveis;  $j$ = representa os segmentos homogêneos;  $x_{ij}$ = representa os postos de combustíveis  $i$  que atende os segmentos homogêneos  $j$ ;  $w_i$ = representa o peso associado;  $d_{ij}$ = é a distância entre os postos de combustíveis  $i$  e os segmentos homogêneos  $j$ ; e  $p$ = é o número de pontos de facilidades que serão instaladas;

### 3.5.2 Modelo Máxima Cobertura

As equações a seguir apresentam o modelo de Máxima Cobertura (MCLP) utilizado:

Maximizar:

$$z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i, \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq P \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J, e \quad (10)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \forall i \in I \quad (11)$$

Onde:  $a_i$ = é o valor da cobertura do ponto de demanda  $i$ , para  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $y_i = 1$ , se o ponto de demanda  $i$  está coberto, 0 caso contrário;  $x_j = 1$ , se o ponto da demanda  $j$  está ocupado, 0 caso contrário;  $J$ = é o conjunto de pontos de facilidades candidatos;  $I$ = é o conjunto de pontos de demanda;  $p$ = é o número máximo de pontos de facilidade que podem ser ocupados simultaneamente;

## 4 Resultados

Utilizando a técnica da *p-mediana* se obteve a distância de 173,7 entre as áreas de descanso no sentido norte, enquanto ao otimizar os resultados com o MCLP, se obteve a distância de 11,1 km. A Tabela 2 apresenta o comparativo entre as técnicas:

Tabela 2 - Comparativo resultados p-mediana x MCLP Sentido Norte.

Técnica	P-mediana	Distância	MCLP	Distância
Posto	P02 - km 24,8	173,7 km	P22 - km 110,0	11,1 km

Posto	P51 - km 198,5		P26 – km 121,1	
-------	----------------	--	----------------	--

Fonte: Autora (2024)

Para o sentido sul, a distância encontrada utilizando a técnica da *p-mediana* foi de 177 km, enquanto ao otimizar os resultados com o MCLP, se obteve a distância de 155 km. A Tabela 3 apresenta o comparativo entre as técnicas:

Tabela 3 - Comparativo resultados p-mediana x MCLP Sentido Sul.

Técnica	P-mediana	Distância	MCLP	Distância
Posto	P08 - km 46	177 km	P15 - km 83	155 km
Posto	P61 - km 223		P64 - km 238	

Fonte: Autora (2024)

Na Figura 2 é possível visualizar os resultados em representações cartográficas:

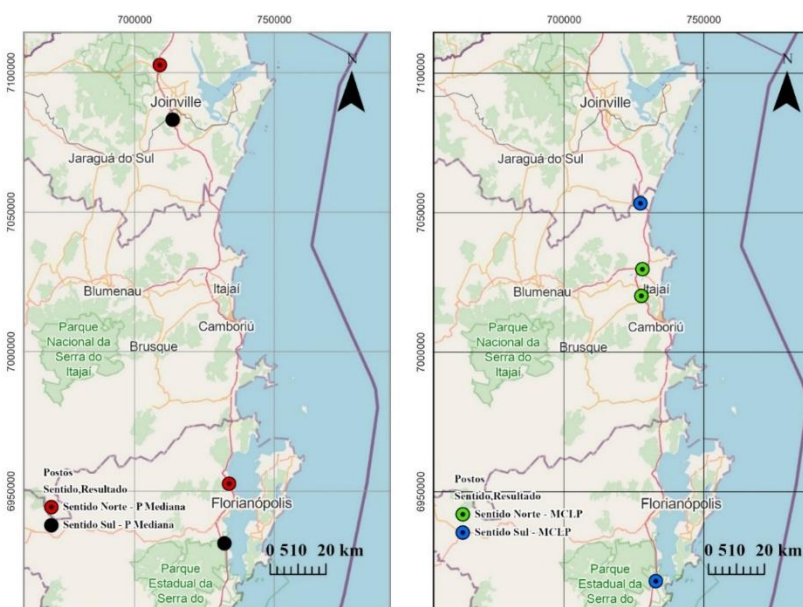


Figura 2 – Resultados em representações cartográficas sentido norte e sentido sul.

Fonte: Autora (2024)

## 5 Considerações Finais

A técnica da *p-mediana* é projetada para minimizar a distância média entre pontos de demanda e as instalações (neste caso, áreas de descanso). Seu objetivo é otimizar a localização com foco na eficiência agregada, o que muitas vezes resulta em locais que beneficiam a média dos usuários, mas não necessariamente maximizam a cobertura em termos de proximidade. O MCLP, por outro lado, busca maximizar a cobertura da demanda em um raio específico, priorizando o alcance máximo para atender a maior parte da demanda dentro de uma área-alvo. Assim, ele pode gerar distâncias menores, mas que privilegiam áreas com maior densidade ou necessidade de cobertura.



O estudo abordou dois problemas de otimização de localização: o da *p-mediana* e o de Máxima Cobertura (MCLP), ambos envolvendo decisões de alocação de recursos. Os resultados mostraram que no sentido norte, a *p-mediana* resultou em uma distância de 173,7 km entre áreas de descanso, enquanto o MCLP obteve 11,1 km, essa diferença reflete o objetivo da *p-mediana* em minimizar distâncias médias gerais, resultando em um posicionamento mais disperso das áreas de descanso para reduzir o custo total de deslocamento. Já o MCLP focou em garantir que as áreas de maior demanda fossem cobertas, levando a distâncias menores entre os postos.

No sentido sul, a diferença é menos acentuada (177 km para *p-mediana* contra 155 km para MCLP), mas ainda perceptível. Isso indica uma distribuição mais homogênea de demanda ou necessidades de cobertura que afetam o desempenho dos modelos de maneira mais equilibrada. As diferenças nos resultados destacam o impacto dos critérios de otimização escolhidos. Ao utilizar a *p-mediana*, é possível favorecer soluções de médio alcance com um impacto mais amplo, mas menos focado em uma cobertura de demanda mais densa e próxima. O MCLP, por sua vez, proporciona uma melhor resposta a necessidades locais e específicas, com maior cobertura em distâncias mais curtas. O uso do Power BI para visualização dos resultados facilitou a distinção dos cenários, integrando dados geoespaciais sem necessitar de programação extensiva, embora possa ser integrado com o ArcGIS ou *Python*. O estudo delineou dez etapas para a localização de áreas de descanso em rodovias, normalizando dados qualitativos e quantitativos para avaliação com o método AHP. Sugere-se abordar futuras pesquisas com o problema de MCLP utilizando bibliotecas de otimização em *Python* e avaliar a redução de gases de efeito estufa gerados antes e depois da implementação das áreas de descanso.

## Referências

AASHTO. **Highway Safety Manual**. [S.l.: s.n.], 2010. Aitken,

Bertulienė, L. and Juknevičiūtė-Žilinskienė, L. (2014) **Roadside infrastructure and rest areas concepts in Lithuania, 9th International Conference on Environmental Engineering**, ICEE, Lituânia, 22-23 May 2014. doi: 10.3846/enviro.2014.145.

BRASIL. **Lei 13103 (2015)**. Available at: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13103.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13103.htm) (Accessed: 17 May 2024).

BRASIL. **Lei 4592 (1964)**. Available at: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/l4592.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l4592.htm) (Accessed: 17 May 2024).

CARO, M. D.; PARALERA, C. Analysis of the need for a network of service/resting areas especially adapted to the transport of dangerous goods. **Journal of Transportation Security**, v. 4, n. 3, p. 187–200, 2011.

Church, R., ReVelle, C. O problema de localização de cobertura máxima. **Artigos da Associação Científica Regional**. 32, 101–118 (1974). <https://doi.org/10.1007/BF01942293>

CNT, Confederação Nacional do Transporte. (2017). **Pesquisa CNT de Rodovias**. Available at: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/> (Accessed: 15 January 2023).

CNT, Confederação Nacional do Transporte. (2018). **Pesquisa CNT de Rodovias**. Available at: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/> (Accessed: 18 May 2023).



CNT, Confederação Nacional do Transporte. (2019). **Pesquisa CNT de Rodovias**. Available at: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/> (Accessed: 15 Dez 2024).

CNT, Confederação Nacional do Transporte. (2022). **Pesquisa CNT de Rodovias**. Available at: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/> (Accessed: 10 May 2024).

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006). **Manual de estudos de tráfego**. (IPR. Publ., 723) 384 p. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Diário Oficial da União. **Portaria nº 387 de 17 de abril de 2024**. Available at: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=188&data=19/04/2024> (Accessed: 17 May 2024).

Elvik, R. Alena H. T. V. Michael S. (2015). **O manual de medidas de segurança viária. Edição ampliada e revisada**. Fundación Mapfre.

Fuji, W. Y. (2017). Avaliação do desempenho dos elementos de sinalização viária em rodovias. **Tese Doutorado**, p. 1–169.

Gomes, A. F. Luis. Gomes. F. Carlos. (2019). Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério. **Livro 6ª Edição**, p. 1-360. SP: Atlas, 08 de maio de 2019.

GRIME, G. **Handbook of road safety research**. Butterworth, London, 1987.

Higgins, C., Chiu, Y. and Bai, Y. (2015) **Methodological Framework Development for Evaluating Highway Truck Parking Location and Capacity Expansion**, p. 83.

ICTAAL (2000). **Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison**, p. 60.

JUNG, S.; JOO, S.; OH, C. Evaluating the effects of supplemental rest areas on freeway crashes caused by drowsy driving. **Accident Analysis and Prevention**, v. 1, p. 1–8, 2017.

Logística para todos (2011). **Os 05 (cinco) modais de transporte**. Available at: <https://logisticaparatodos-com-b.webnode.com.br/> (Accessed: 25 January 2023).

Nordquist, S. (1988). **Road safety technology**. STU Information no 667-1988. Stockholm, Styrelsen för teknisk utveckling (STU).

NUNES, I. T. (2008). A BR-101 e a Migração para o Litoral em Santa Catarina, **Monografia**. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 80.

Ramos, R. A. R. (2000). **Localização Industrial: Um Modelo Espacial Para o Noroeste De Portugal Um Modelo Espacial Para o Noroeste De Portugal**, UMinho, p. 245. July 2000.

Santos, A. V. dos (2016). Método para alocação de áreas de descanso para transporte de carga em redes rodoviária. **Tese Doutorado**. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 222.

SANTOS, R. P. DOS; MÜLLER, C. Problema de localização de máxima cobertura aplicado à localização de esquadrões de aeronaves de interceptação na região amazônica. **Pesquisa Operacional**, p. 1042–1053, 2006.

Seya, H. et al. (2020). **Decisions on truck parking place and time on expressways: an analysis using digital tachograph data**, Transportation, 47(2), pp. 555–583. doi: 10.1007/s11116-018-9899-y.