

Análise de rotas semiflexíveis para atendimento em zonas de fraca demanda.

Ademar Antônio Paz da Silva Ribeiro<sup>1</sup>; Ronny Marcelo Aliaga Medrano<sup>2</sup>.

Universidade Federal de Goiás - Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UFG

Estrada Municipal - Quadra e Área Lote 04 - Bairro Fazenda Santo Antônio

Fone: +55 (62) 3209-6550

<sup>1</sup>[ademar.paz@discente.ufg.br](mailto:ademar.paz@discente.ufg.br); <sup>2</sup>[ronnymarcelo@ufg.br](mailto:ronnymarcelo@ufg.br).

## SINÓPSE

O presente trabalho buscou analisar, a partir do atendimento de demanda, a operação de rotas semiflexíveis para transporte público coletivo em zonas de fraca demanda. Para isso, primeiramente identificou-se uma zona de fraca demanda no município de Goiânia, em que foi desenhado um modelo de rota semiflexível e experimento em ambiente de simulação. As simulações apresentaram que a demanda com a inserção de modelos semiflexíveis apresenta variação entre as zonas, mas também que há redução nos tempos médios de viagem e de espera de maneira geral. Além disso, também houve redução média de 8% nas distâncias médias percorridas. A presença das rotas semiflexíveis também reduziu em 17% a quantidade de viagens realizadas pelas linhas de transporte público avaliadas, porém também houve reduções nos tempos médios de viagem e de espera da ordem de 9%, bem como de 10% nas distâncias médias percorridas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rotas semiflexíveis. Zonas de fraca demanda. Transporte Responsivo à Demanda. Simulação.

## INTRODUÇÃO

O transporte público coletivo é peça fundamental para o funcionamento das cidades, pois possibilita que várias pessoas possam deslocar-se em um mesmo veículo. Além disso, a utilização massiva do mesmo proporciona um uso mais racional da cidade, contribuindo para caminhabilidade e criando cidades mais humanas (FERRAZ E TORRES, 2004). Entretanto, nem todas as cidades priorizam a utilização do transporte público e apresentam fatores que interferem no seu funcionamento eficiente, como é o caso das zonas de baixa demanda.

As rotas flexíveis são um modelo intermediário entre rotas fixas e transporte sob demanda, permitindo desvios da rota principal para atender usuários porta-a-porta ou ponto-a-ponto, especialmente aqueles fora da cobertura da rota principal ou que necessitam de um serviço mais acessível (FU, 2002). Nos últimos anos, tem-se abordado o modelo semiflexível (ou demiflexível), que combina características de sistemas tradicionais e sob demanda, exigindo planejamento detalhado, ajustes na demanda de acordo com as rotas dos veículos e um processo formalizado de tomada de decisão (ERRICO et al., 2013).

O último censo de 2010 do IBGE revelou que a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) abriga 2.173.141 habitantes, correspondendo a 36,2% da população total de Goiás. No entanto, essa população está distribuída de forma desigual, com áreas mais densamente povoadas e outras mais dispersas. Essas áreas menos densas apresentam desafios para oferecer um transporte público frequente, especialmente devido aos altos custos operacionais nos horários de menor demanda.

Nos últimos anos, o transporte público em todo o país tem enfrentado uma queda na demanda, que se intensificou durante a pandemia de COVID-19, com uma redução de 67,3% das viagens em abril de 2020. Mesmo com o retorno das atividades após a disponibilização das vacinas, a recuperação da demanda para os níveis anteriores não é clara (NTU, 2021). Em resposta a essa queda, proporcionar uma alternativa ao transporte tradicional pode ser uma maneira de atrair novamente os usuários para o transporte

coletivo. Goiânia também experimentou uma redução significativa, com uma queda de 30,9% no número de passageiros entre fevereiro de 2020 e 2022, resultando em menos 161.461 validações (RMTC, 2022).

Este trabalho teve como problema a seguinte pergunta: “como melhorar o atendimento de transporte público nas zonas de fraca demanda?”. Além disso, o estudo teve como objetivo analisar, a partir do atendimento de demanda, a operação de rotas semiflexíveis para transporte público coletivo em zonas de fraca demanda, desenvolvendo um estudo de caso para o município de Goiânia e um método para identificar zonas de fraca demanda. Ademais, desenhou-se um tipo de rota semiflexível para ser utilizado no estudo de caso e aplicar o experimento num ambiente de simulação.

## DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

### REVISÃO DA LITERATURA

#### Rotas Flexíveis

O transporte público convencional, com rotas e agendas fixas atende de maneira satisfatória a demanda de regiões desenvolvidas, adensadas ou de alta demanda por transporte (NOURBAKHS; OUYANG, 2012). Contudo, prover esse serviço de forma regular e frequente em zonas de fraca demanda (como áreas pouco adensadas e zonas rurais) ou de característica pendulares torna-se um desafio (ERRICO et al., 2013). Como alternativa a atender essas situações, surgiu o conceito de transporte flexível ou rotas-flexíveis.

Koffman et al. (2004) considera os serviços de transporte flexível aqueles que incluem todo tipo de serviço híbrido que não são puramente sob demanda ou convencionais (rota fixa, itinerário fixo), mas encaixam entre os dois modelos de operação. Semelhantemente, Fu (2002) caracteriza o modelo flexível como sendo um híbrido entre o modelo sob demanda e o modelo de rotas fixas. O modelo assimila a característica de rota fixa, cobrindo um corredor com determinado número de paradas e itinerários, mas que também trabalha sob demanda, desviando de seu trajeto principal para prover serviço porta-a-porta.

O serviço de rotas flexíveis é amplamente abordado para zonas de fraca demanda, pois promove atendimento porta-a-porta. Entretanto, apresenta alto custos de operações, uma vez que demanda de pessoal capacitado e utilização de sistemas sofisticados, o que acaba desincentivando alguns operadores de transporte que acabam desistindo destes modelos após algum tempo de uso (QIU et al., 2015).

O serviço de transporte flexível proporciona atendimento ponto-a-ponto, podendo a solicitação ser atendida ou não, entretanto, a solicitação negada implica o não embarque do passageiro. Modelos mais recentes tem sido desenvolvidos a fim de atender essa demanda, de forma parcial. A literatura tem chamado esses modelos de modelos semiflexíveis ou demiflexíveis.

#### Rotas Semiflexíveis

O serviço de rotas semiflexíveis se enquadra entre os serviços de rotas fixas e rotas flexíveis, sendo um híbrido entre estes dois modelos. Qiu et al. (2015) caracteriza o serviço por não prover atendimento completo ponto-a-ponto/porta-a-porta, mas que ainda proporciona certo grau de flexibilidade aos clientes.

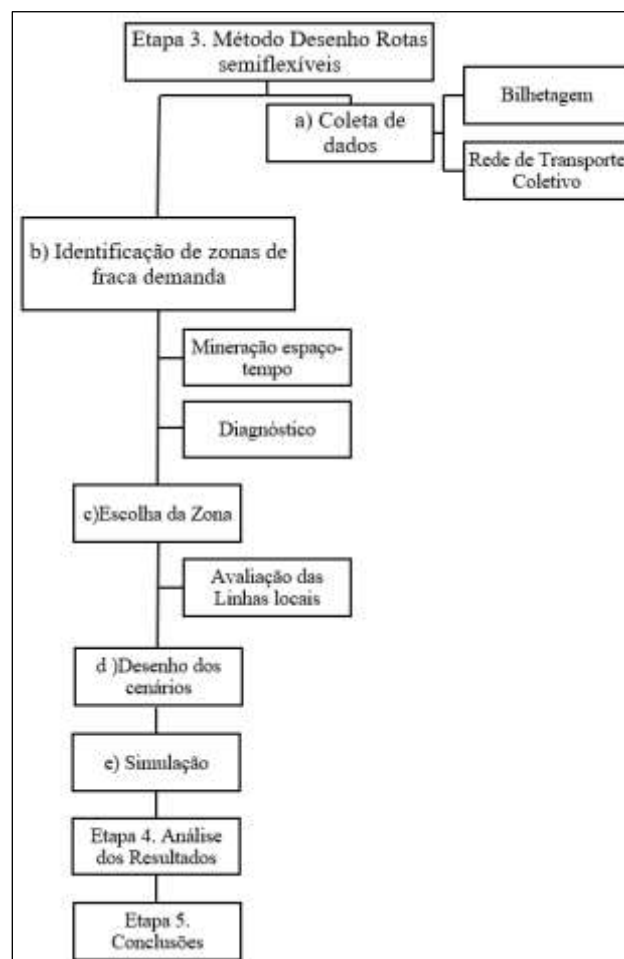
Já existem estudos que simulam modelos de rotas semiflexíveis e comparam desempenho com modelos de rotas flexíveis e/ou de rotas fixas. Qiu et al. (2015) propôs um modelo de operação semiflexível para zonas de fraca demanda e comparou seu desempenho com modelos de rotas flexíveis e fixa. Em seu modelo, considerou a incerteza da demanda por transporte público para explorar a vantagem do transporte semiflexível nestas zonas.

Qiu et al. (2015) utilizou de modelos analíticos para avaliar rotas semiflexíveis para zonas de baixa demanda. Os autores constataram que políticas deste modelo de rota apresentam características indispensáveis para unificar e projetar serviços de transporte público para zonas de fraca demanda. Adicionalmente, a política flagstop se mostrou ser a mais adequada em níveis de demanda baixo para moderado. Os autores recomendam a combinação dos modelos para sistemas de transporte, apontando presença de vantagem deste modelo combinado para níveis de fraca demanda.

## Metodologia

O desenvolvimento do estudo consiste no desenvolvimento do método, bem como desenho e aplicação do modelo para o estudo de caso. Esta etapa foi subdividida em 5 fases, sendo elas: a) Coleta de dados; b) Identificação das zonas de fraca demanda; c) Escolha da Zona; d) Desenho da rota semiflexível e; e) Simulação das Rotas. A Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..1. Fluxograma Desenho do Método mostra o fluxograma da etapa de desenvolvimento do projeto.

Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..1. Fluxograma Desenho do Método.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A coleta de dados consistiu na obtenção dos dados de bilhetagem eletrônica nos dias úteis correspondentes ao ano de 2019, pontos de embarque e desembarque e as zonas territoriais provenientes da pesquisa da Estimativa da Matriz Origem e Destino de Goiânia, estudo realizado pela Universidade Federal de Goiás em parceria com a prefeitura de

Goiânia. Além disso, também foram coletados os dados das linhas de transporte coletivo no formato General Transit Feed Service (GTFS).

Para identificar as zonas de fraca demanda, o estudo começou com uma análise espaço-temporal dos dados de bilhetagem. Um intervalo de dias úteis foi selecionado para representar uma semana comum, evitando eventos especiais ou feriados que pudessem distorcer a análise das validações.

Após escolher esse período, utilizou-se o método estatístico de Mann-Kendall para analisar os padrões de tendência espacial dos dados de bilhetagem. Isso permitiu a identificação das zonas com demanda heterogênea e as áreas com fraca demanda. Além disso, o estudo investigou a distribuição temporal das validações durante os dias selecionados para identificar o horário de menor demanda, conhecido como horário de vale.

Com base nas zonas e seus padrões de tendência identificados anteriormente, foi selecionada uma região para avaliar diferentes cenários de modelagem. Foram identificadas as linhas alimentadoras que atendem exclusivamente a essa região, incluindo informações sobre os intervalos entre veículos (headways) e os pontos de embarque e desembarque (PEDs).

Esses elementos, juntamente com a delimitação da região, serviram como base para o desenho de três cenários usando o software PTV Visum. O primeiro cenário, chamado "Cenário Base", representa o cenário padrão, sem a inclusão de rotas semiflexíveis. Os outros dois cenários, "Cenário B" e "Cenário C", incorporam um sistema de rotas semiflexíveis do tipo flagstop, com a principal diferença sendo a capacidade dos veículos utilizados.

Finalmente, partiu-se para simulação propriamente dita. Nesta etapa elencou-se os parâmetros que serviram de base para avaliação dos resultados em que tomou-se por base principalmente os parâmetros viagem de passageiros, tempo de viagem, tempo de espera e distância percorrida em cada cenário para cada par origem destino da área delimitada.

## RESULTADOS

### Identificação da Zona de Fraca Demanda

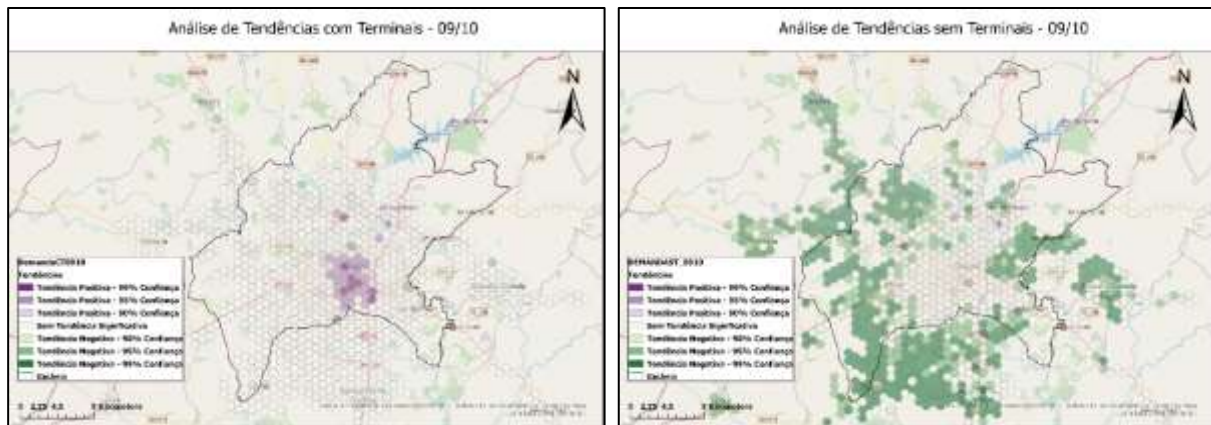
O estudo utiliza dados de bilhetagem e informações do sistema de transporte público da Região Metropolitana de Goiânia em 2019. Esses dados incluem registros de viagens em dias úteis desse ano, bem como os pontos de embarque e desembarque (PEDs) e os itinerários das linhas de ônibus.

Para analisar os padrões de viagem, o estudo selecionou uma "semana típica" em outubro de 2019, evitando eventos, festividades ou feriados que pudessem afetar os resultados. Usando o método Mann-Kendall, os dados foram agrupados em zonas hexagonais no espaço-tempo, considerando tanto as validações considerando os terminais quanto desconsiderando-os. O intervalo temporal escolhido para análise foi a semana útil entre os dias 7 e 11 de outubro de 2019.

Na análise dos dados de bilhetagem com terminais, foram identificadas poucas zonas com significância estatística para a análise de tendências. Destacaram-se as zonas do centro e sul da cidade, que mostraram uma tendência positiva na bilhetagem, indicando um aumento nas validações à medida que o dia avança.

Por outro lado, na análise das bilhetagens sem terminais, as zonas periféricas ao centro revelaram tendências negativas com significância estatística. A Figura 4.1 ilustra um exemplo para o dia 09/10, destacando as áreas com cores mais intensas que representam padrões de tendência mais significativos. As áreas esverdeadas indicam tendência negativa, enquanto as roxas apontam para tendência positiva.

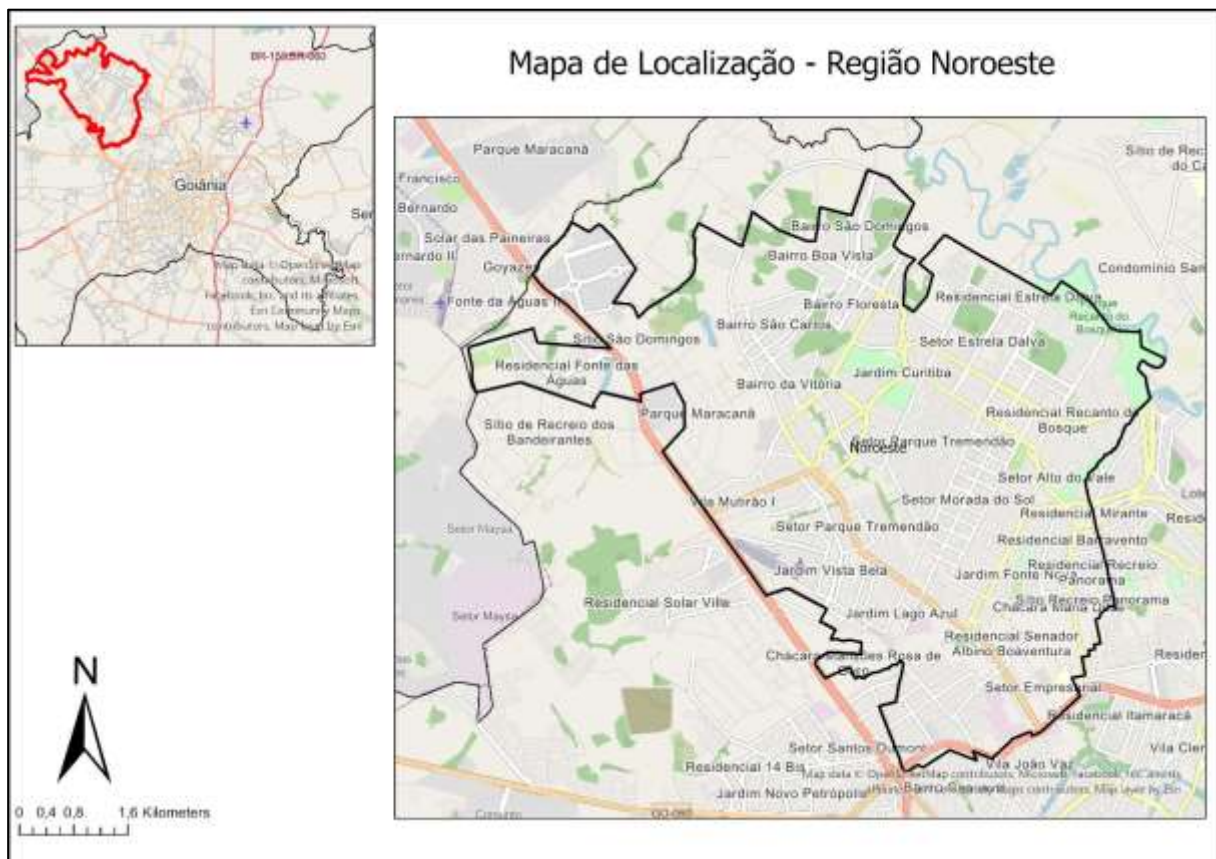
Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.**.2.  
Análise de tendência de bilhetagem 09/10.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Portanto, após avaliar as validações em todos os dias selecionados, a análise se concentrou nos dados sem terminais. Além disso, como parte do escopo do trabalho, a Região Noroeste de Goiânia foi delimitada devido ao agrupamento de áreas com tendências significativas. Sua localização pode ser observada conforme a imagem a seguir.

Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.**.3.  
Mapa de localização da Região Noroeste de Goiânia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após delimitar os dados de bilhetagem e o espaço territorial, uma análise específica dos padrões de tendência na região foi realizada. A análise das validações sem terminais ao longo do tempo revelou um padrão com um pico de validações no período da manhã entre 6:00 e 7:00, seguido por uma queda substancial após as 8:00.

No distrito como um todo, todas as tendências das validações foram negativas para os dias avaliados. Isso confirma a caracterização da região como uma zona de fraca demanda, não heterogênea. A delimitação do horário de vale na região foi feita observando a diferença considerável no número de validações entre as 9:00 e 11:00 em comparação com a janela horária entre as 6:00 e 8:00. Portanto, o horário de vale da manhã no distrito foi estabelecido entre 9:00 e 11:00.

O distrito é composto por várias zonas e é atendido por linhas alimentadoras e troncais, com a presença de dois terminais metropolitanos, Recanto Bosque e Padre Pelágio, que influenciaram as análises de transporte coletivo por servirem a região. As linhas alimentadoras foram listadas, juntamente com seus respectivos intervalos de partida (headways) durante o horário de entropico (horário de vale). No entanto, as rotas que não atendem exclusivamente a área delimitada não foram consideradas.

A partir da delimitação, o quantitativo de linhas consideradas foi de 10 rotas. Observou-se que a maioria destas apresentam headways longos, com intervalos de aproximadamente uma hora, indicando uma baixa oferta de transporte coletivo para deslocamentos dentro da própria região.

## CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS PARA MODELAGEM

A construção dos cenários e suas simulações foi realizada no software PTV Visum, usando uma licença de tese. Foram criados três cenários para o estudo, sendo o primeiro deles o "Cenário Base", que considerou a rede de transportes atual, sem a inclusão das rotas semiflexíveis. Neste cenário, as viagens foram atribuídas às zonas dentro da região delimitada.

Para a construção dos cenários de rotas semiflexíveis, foi utilizado o módulo DRT do software, que permitiu configurar as características das rotas semiflexíveis. Isso incluiu a definição de tempo máximo de espera, frota de veículos, capacidade e outros parâmetros.

Na seção de solicitações de viagem, foram definidos um tempo de pré-reserva de 15 minutos e um tempo máximo de espera de 20 minutos. A atribuição foi limitada às zonas ativas dentro do território em estudo, excluindo áreas fora dessa região. Os PEDs dentro da região foram configurados como pontos de embarque e desembarque para as rotas semiflexíveis.

Outras configurações incluíram o tempo máximo de espera na primeira busca (15 minutos) e a ativação do compartilhamento de veículos, permitindo que um veículo atendesse mais de uma viagem. Além disso, foram definidos um fator máximo de desvio de rota de 1.5, um tempo de desvio máximo de 30 minutos para toda a rota e um limite mínimo de tempo adicional aceito ao operar um sistema DRT (10 minutos).

As rotas foram planejadas de forma a atender um maior número de viagens, e o cálculo dos nós foi feito considerando o sistema de transporte de carro. Foram utilizados dois tipos de veículos, van e ônibus, com capacidades de 15 e 27 passageiros, respectivamente (apenas passageiros sentados). O "Cenário B" usou uma frota composta exclusivamente por 4 ônibus para DRT, enquanto o "Cenário C" utilizou uma frota composta exclusivamente por 10 vans para DRT. A velocidade máxima adotada para as ruas locais foi de 30 km/h, 50 km/h nas vias alimentadoras e 60 km/h nas troncais.

## RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

### **Alocação de viagens**

Na alocação de viagens, foi observada a quantidade de viagens produzidas e atraídas por cada nó. Analisando os cenários, nota-se que não houve uma diferença substancial na quantidade de viagens produzidas nos cenários modelados (Base, B e C). Curiosamente, não houve um aumento considerável na geração de viagens para nenhuma das zonas.

Semelhante à avaliação das viagens produzidas, ao avaliar as viagens atraídas, também é observada uma diferença drástica entre os números da matriz OD e a alocação realizada nos modelos. Ao comparar os cenários simulados, também não se observou uma grande diferenciação no número de viagens atraídas pelas zonas.

Quanto às rotas das viagens utilizando as linhas de transporte coletivo, a introdução das rotas semiflexíveis indicou uma migração desse serviço. Observou-se uma queda média de 17% comparando as viagens do cenário Base com os cenários de rotas semiflexíveis.

A rota com a maior perda apresentou uma queda de 37% em sua demanda. Uma linha apresentou aumento em sua demanda, com um crescimento de 2%, o que pode ser explicado pela integração das rotas semiflexíveis com o sistema de transporte público. Além disso, observa-se que as rotas semiflexíveis apresentaram pouca diferenciação entre si em relação ao total de viagens realizadas.

### **Tempos de Viagem**

Ao avaliar o tempo médio das viagens produzidas, foi observada uma pequena variação nos valores obtidos. De maneira geral, houve uma queda de 4% no tempo de viagem, sendo as maiores reduções no tempo médio de jornada, com quedas de 15% e 33%, respectivamente em duas zonas do distrito. Semelhantemente à análise dos tempos de viagem para as viagens produzidas, os tempos para as jornadas atraídas também apresentaram pouca alteração.

No que diz respeito ao tempo de viagem nas linhas de transporte público, observou-se uma redução média total de 3% nos tempos de viagem. Dois itinerários se destacaram por apresentarem as maiores reduções nas médias dos tempos de viagem, ambas com um percentual médio de diminuição de 26% e 27%. Contudo, duas linhas apresentaram um aumento médio de 5% e 2%, podendo ser explicado pela integração das rotas semiflexíveis com o sistema.

### **Tempos de Espera**

A avaliação da média dos tempos de espera indicou que a introdução das rotas semiflexíveis também reduziu os períodos médios de espera para as viagens alocadas. O Cenário B teve as maiores reduções nos tempos médios de espera, com uma diminuição média de 31% ao considerar todas as zonas. A maior redução na média do tempo de espera apresentou uma diminuição de 80% neste cenário, enquanto no cenário C a zona a maior redução obteve redução de 58%.

Semelhante à avaliação das viagens produzidas, o Cenário B apresentou tempos médios de viagem menores para as viagens atraídas. De maneira geral, o cenário registrou uma redução média de 32% ao avaliar o percentual de todas as zonas.

Quanto à avaliação do parâmetro nas jornadas de transporte público, observou-se que o Cenário B novamente apresentou reduções maiores. Houve uma melhoria significativa nos tempos de espera médios dos itinerários, embora 4 linhas tenham registrado aumento no tempo médio de espera.

Apesar disso, os demais itinerários demonstraram melhorias significativas em seus valores. Essa variação percentual nos tempos de espera pode ser explicada pelas transferências no sistema devido à integração das rotas semiflexíveis com a rede de transporte coletivo. Além disso, ao avaliar o mesmo parâmetro para os deslocamentos por rotas semiflexíveis, o Cenário C apresentou médias menores de tempo de espera.

## Distância

Ao avaliar a média das distâncias, observou-se uma diminuição geral nas viagens de ambos os cenários, tanto as produzidas quanto as atraídas. No entanto, não houve diferenças significativas entre os cenários. Além disso, notou-se que o cenário B apresentou médias menores de distância para viagens produzidas. Mais uma vez, ao considerar a inserção das rotas semiflexíveis, observa-se uma mudança na dinâmica dos deslocamentos, com a maioria das zonas apresentando diminuição nas distâncias médias.

Houve uma queda nas distâncias médias nas viagens produzidas, exceto para uma das zonas do distrito. Por outro lado, ao avaliar as viagens atraídas, mais zonas apresentaram aumento percentual. Ao analisar os valores individuais, as zonas mais afastadas do centroide do distrito avaliadas apresentaram médias de distância maiores, enquanto aquelas mais próximas tiveram valores menores.

Com relação às viagens de transporte público, mais uma vez seguiu-se a tendência de queda nos percentuais ao comparar os cenários base e de rotas semiflexíveis. No geral, a redução média foi de 8%, com a linha que apresentou a maior redução na média de distância percorrida em jornadas foi de 45%. Além disso, uma linha registrou aumento no percentual comparativo entre os cenários, relacionando-se ao aumento da demanda nas viagens alocadas.

## CONCLUSÕES

O estudo analisou a operação de rotas semiflexíveis para o transporte público em zonas de fraca demanda, com foco no município de Goiânia. Foram alcançados os objetivos de coletar dados, identificar zonas de fraca demanda e desenvolver um modelo de rotas semiflexíveis. As simulações demonstraram que os cenários de rotas semiflexíveis afetaram as dinâmicas das demandas nas zonas, com algumas apresentando queda e outras aumento na produção e atração de viagens.

A integração das rotas semiflexíveis resultou em uma queda média de 17% na demanda das linhas de transporte coletivo na região estudada. Observou-se também uma redução média de 4% nos tempos médios de viagem das viagens produzidas e atraídas nas zonas, bem como uma redução média de 9% nos tempos médios de viagem das linhas de transporte público analisadas.

Os tempos médios de espera também diminuíram, com uma redução média de 4% nos tempos médios de espera das viagens produzidas e uma queda de 9% nos tempos médios de espera das linhas de transporte público. Quanto às distâncias médias percorridas, houve uma redução média de 8% para as viagens produzidas e 9% para as viagens atraídas.

Algumas limitações incluíram a falta de informações sobre custos operacionais e a disponibilidade de dados apenas até o ano de 2019. Como futuras pesquisas, recomenda-se a análise da implementação de rotas semiflexíveis em outros distritos de Goiânia, o estudo da elasticidade da demanda em relação à tarifa e ao tempo de espera, e a replicação da pesquisa com dados de demanda mais atualizados.

## REFERENCIAS

ERRICO, F. et al. A survey on planning semi-flexible transit systems: Methodological issues and a unifying framework. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 36, p. 324–338, 2013.

Ferraz, A. C., & Torres, I. G. (2004). *Transporte Público Urbano*. São Carlos: RiMa.

FU, L. **Planning and design of flex-route transit services**. Transportation Research Record. **Anais...**2002.



KOFFMAN, DAVID. et al. **Operational experiences with flexible transit services**. [s.l.] Transportation Research Board, 2004.

NOURBAKHS, S. M.; OUYANG, Y. A structured flexible transit system for low demand areas. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 1, p. 204–216, 2012.

NTU. **Anuário NTU: 2020-2021**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.ntu.org.br](http://www.ntu.org.br)>.

QIU, F. et al. Demi-flexible operating policies to promote the performance of public transit in low-demand areas. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 80, p. 215–230, 1 out. 2015.

REDE METROPOLITANA DE TRANSPORTE PÚBLICO GOIÂNIA RMTG. **Volume de usuários mantém padrão de queda em todo o transporte público da Grande Goiânia**.