

Análise Comparativa entre Logísticas de Entrega Terrestre e Aérea por Drones em Municípios do Interior do Paraná

Lailla M. S. Bine¹, Agnaldo Carlos R. Junior¹, Alisson R. Svaigen²,

¹ Universidade Estadual do Paraná - campus Apucarana (UNESPAR)
Apucarana – PR – Brasil

² Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Departamento de Informática - Maringá – PR – Brasil

lailla.bine@unespar.edu.br, agnaldoagenda@gmail.com, arsvaigen@uem.br

Abstract. *This study analyzes the temporal feasibility of drone deliveries in cities of Paraná, Brazil, by comparing real ground deliveries with simulated aerial deliveries. To the best of our knowledge, there is a lack of studies investigating this type of delivery in small and medium-sized Brazilian cities. Using real-world data from a food delivery company, the results show that time savings increase with route length and become more significant when drones operate at 60 km/h. In the best-case scenario, delivery time was reduced by more than 60%, while the traveled distance decreased by an average of 26%.*

Resumo. *Este trabalho analisa a viabilidade temporal de entregas por drones em cidades do interior do Paraná - BR, por meio da comparação entre entregas terrestres reais e entregas aéreas simuladas. No melhor do nosso conhecimento, há escassez de estudos voltados à análise desse tipo de entrega em cidades de menor porte no país. Utilizando dados reais de uma empresa de delivery, os resultados mostram que os ganhos temporais aumentam com o tamanho da rota e são mais expressivos quando o drone opera a 60 km/h. No melhor cenário analisado, o tempo de entrega foi reduzido em mais de 60%, com diminuição média de 26% na distância percorrida.*

1. Introdução

Nos últimos anos, a entrega de mercadorias realizadas por drones, deixou o campo da ficção e começou a se tornar realidade [Bine et al. 2024]. A entrega por drones tem despertado o interesse de grandes companhias globais, visto o seu viés econômico e sustentável [Bine et al. 2023, Benarbia and Kyamakya 2021]. A Amazon e o FedEx, por exemplo, já fornecem este tipo de serviço, mesmo que apenas em ambientes limitados [Garg et al. 2023]. Já a Meituan, uma empresa chinesa, oferece o serviço de *delivery* aéreo em larga escala, como é o caso da cidade de Shenzhen [MyChina Guide 2024].

A entrega por drones tem o potencial de favorecer a logística de entrega, tornando o processo mais eficiente e econômico [Garg et al. 2023]. Comparado aos meios de entrega terrestres, drones conseguem atingir regiões que são de difícil acesso, além de conseguir evitar áreas urbanas congestionadas, reduzindo o tempo de transporte e os custos operacionais associados ao uso de veículos tradicionais. Além disso, drones podem ser considerados um modal de mobilidade sustentável, pois emitem menos poluentes e não consomem combustíveis fósseis [Benarbia and Kyamakya 2021].

Embora a entrega por drones seja uma tendência no setor logístico, seus principais desafios estão relacionados ao planejamento operacional e à análise de viabilidade em comparação aos meios terrestres tradicionais. Para tal, é fundamental a obtenção de dados reais e simulações de cenários comparativos. Embora a literatura apresente diferentes estudos que analisam o planejamento, implantação e viabilidade de entrega aérea por drones [Garg et al. 2023, Dissanayaka et al. 2023, Li et al. 2023, Shuaibu et al. 2025], poucos estudos convergem para uma análise comparativa da logística entre a entrega aérea e terrestre, principalmente considerando centros urbanos de diferentes tamanhos (e.g., metrópoles e pequenas cidades do interior) [Bine et al. 2023].

Uma das principais justificativas para o uso de drones em entregas está relacionada à maior velocidade de deslocamento [Bine et al. 2023], à capacidade de acesso a áreas remotas [Betti Sorbelli 2024], à sustentabilidade e à economia do ponto de vista energético [Kumar et al. 2025]. Entretanto, devido às limitações atuais dos dados disponíveis, este trabalho concentra sua análise principalmente no aspecto geográfico e temporal das entregas, avaliando o impacto do uso de drones na redução do tempo de entrega em comparação aos métodos tradicionais.

Assim, é possível estabelecer a seguinte questão de pesquisa: “*Considerando o aspecto de viabilidade temporal, há impacto na utilização de entrega de drones em centros urbanos de diferentes escalas geográficas do estado do Paraná?*”. Dessa forma, o objetivo deste estudo é **realizar uma análise comparativa temporal entre entregas terrestres (dados reais) e entregas aéreas com drone (dados simulados) em cidades de diferentes escalas geográficas do estado do Paraná**. Para a condução deste trabalho, utilizou-se uma base de dados de entregas por via terrestre com dados reais da trajetória dos entregadores, criada em parceria com uma empresa nacional de serviço de *delivery*. O estado do Paraná foi escolhido como área de estudo devido à maior disponibilidade de dados fornecidos pela empresa parceira.

O restante deste estudo está organizado conforme descrito a seguir. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 introduz os materiais e métodos empregados. Na Seção 4, detalha-se a avaliação experimental. Na sequência, são expostos os resultados e discussões na Seção 5. Por fim, na Seção 6, são apresentadas as conclusões, seguidas pela declaração de uso de inteligência artificial, agradecimentos e referências.

2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, diferentes trabalhos discutem a utilização de drones para a prestação de serviço de *delivery*. De modo geral, os trabalhos concentram-se na otimização de rotas [Dissanayaka et al. 2023], no planejamento logístico [Benarbia and Kyamakya 2021, Li et al. 2023] e na integração entre drones e meios de transporte terrestres (*last mile delivery*) [Bine et al. 2023, Garg et al. 2023, Shuaibu et al. 2025].

No contexto de logística, [Benarbia and Kyamakya 2021] realizaram uma revisão sobre sistemas logísticos, destacando diferentes desafios, como a otimização de rotas, o dimensionamento de frotas, o posicionamento de estações de recarga e integração entre drones e veículos terrestres. É discutido que entregas aéreas reduzem os custos operacionais e impactos ambientais, porém, há uma série de limitações práticas, como a autonomia energética e a ausência de dados reais para validação dos modelos. Similarmente, [Li et al. 2023] analisam diferentes abordagens de modelagem

e otimização para logística, cujos benefícios e desafios são convergentes com os de [Benarbia and Kyamakya 2021]. No entanto, os trabalhos não analisam temporalmente as entregas realizadas por drones e por veículos terrestres, de maneira comparativa.

Seguindo a tendência da utilização de drones em cenários de *last mile delivery*, [Garg et al. 2023] e [Shuaibu et al. 2025] realizaram revisões sistemáticas convergentes. Ambos os autores destacam a crescente investigação de estratégias para utilização de drones no período de pandemia, cujo foco concentra-se na entrega em locais de acesso remoto, ou então com mínima intervenção humana. Nota-se que drones podem oferecer entregas mais rápidas e econômicas em cenários específicos, especialmente para pequenas encomendas e suprimentos médicos. Os autores ainda analisam tendências para as estratégias de integração, como a utilização de métodos de inteligência artificial, as preferências dos consumidores e a potencial integração com sistemas de transporte urbano. Novamente, não há uma discussão aprofundada em como a entrega aérea pode ser benéfica quando comparada a entrega terrestre, considerando resultados quantitativos.

Por fim, o estudo de [Bine et al. 2023] é o que mais se assemelha com este estudo. Foi analisado um cenário real de entregas utilizando dados de entregas realizadas por motociclistas em cidades brasileiras, simulando essas mesmas entregas com drones. Entretanto, o estudo considerou que os drones deveriam seguir vias aéreas sobrepostas às vias terrestres, evitando o sobrevoo de casas e prédios. O principal objetivo do trabalho foi identificar critérios que pudessem ser utilizados em um sistema de decisão para entregas por drones no contexto da Internet of Drones (IoD). Dessa forma, o foco do estudo não foi realizar uma análise aprofundada sobre a viabilidade das entregas por drones em cidades brasileiras de pequeno e médio porte, mas sim propor uma metodologia e diretrizes para apoiar a tomada de decisão nesse tipo de sistema.

De modo geral, este estudo supera os trabalhos anteriores ao realizar uma análise comparativa do ponto de vista temporal entre entregas aéreas e terrestres. Além disso, o foco está em analisar centros urbanos de diferentes escalas geográficas. Assim, este estudo contribui, experimental e analiticamente, com uma discussão da viabilidade da entrega por drones nestes diferentes centros, potencialmente impactando a futura experimentação e adoção desta modalidade de entrega em cidades do Brasil.

3. Materiais e Métodos

Esta seção detalha os materiais e métodos relacionados a este estudo. Mais especificamente, a Seção 3.1 descreve a base de dados utilizada. Na sequência, na Seção 3.2 é delineada a metodologia utilizada na condução dos experimentos e avaliação realizada.

3.1. Base de Dados

A base de dados utilizada neste estudo é um conjunto privado de dados, fornecido pela empresa Aiqfome¹. O Aiqfome consiste em uma plataforma de *delivery* de mercadorias, englobando desde compras de supermercado até refeições prontas para o consumo. A base foi elaborada em 2023, contemplando dados no período de 22 de julho de 2022 a 19 de maio de 2023. Os dados são compostos por pontos de geolocalização relacionados às viagens realizadas pelos motociclistas parceiros da empresa. No total, o *dataset* compreende 9968 viagens, realizadas em 67 cidades de diferentes estados do Brasil. Devido

¹<https://aiqfome.com/>

ao termo de confidencialidade firmado entre a empresa e os pesquisadores envolvidos, a base não está disponível publicamente.

Com o intuito de preservar a privacidade dos clientes, os dados de localização dos restaurantes e dos pontos de entrega foram anonimizados pela técnica de generalização espacial, correspondendo a aproximações das coordenadas reais. O conjunto de dados abrange informações de entregas provenientes de diferentes cidades de pequeno e médio porte no Brasil, contendo os seguintes campos: cidade; coordenada aproximada do restaurante; coordenada aproximada de entrega; quilômetros percorridos; quilômetros estimados via Google Maps e tempo despendido pelo motociclista. Diante disso, ressalta-se que não é possível determinar a rota real efetuada pelo condutor.

3.2. Metodologia

A Figura 1 ilustra as etapas da metodologia empregada para se realizar a análise comparativa temporal entre entrega terrestre e aérea. Elas são descritas a seguir.

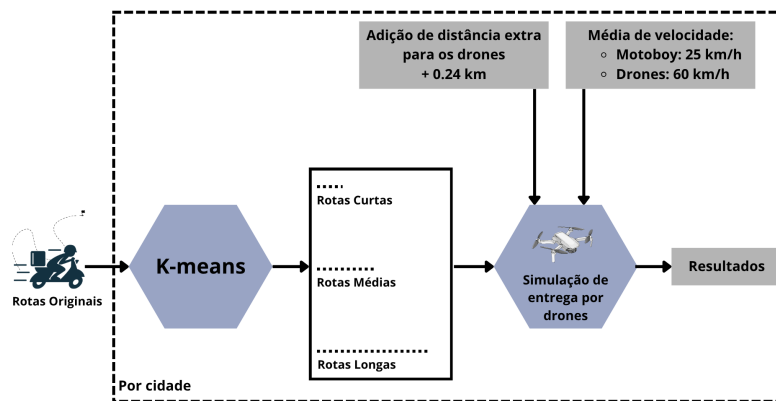


Figura 1. Visão geral da metodologia deste trabalho

- **Seleção de rotas:** inicialmente, são selecionadas rotas originais das bases de dados, considerando um grupo de cidades a serem analisadas;
- **Aplicação do algoritmo *k-means*:** com o objetivo de estratificar os trajetos em rotas curtas, médias e longas, para cada cidade, aplica-se o *k-means* (algoritmo de aprendizado de máquina não-supervisionado para clusterização) nas rotas selecionadas, respeitando as características intrínsecas de cada localidade;
- **Simulação de entrega aérea por drones:** de modo a comparar analiticamente os modais de entrega, são feitas simulações de entregas por drones, considerando o mesmo ponto de início e de fim de rota. A simulação considera uma série de características particulares de voo, conforme descrito na Seção 4;
- **Análise comparativa dos resultados:** com os resultados de simulação e os dados reais do *dataset*, as viagens são comparadas, tanto na modalidade temporal quanto na de distância geográfica.

4. Avaliação Experimental

Esta seção descreve a configuração e demais considerações tomadas para a avaliação experimental realizada, tendo como base as etapas metodológicas apresentadas na seção anterior.

4.1. Seleção de rotas

Tendo como premissa a análise de rotas em cidades de diferentes escalas geográficas, este estudo considerou três modalidades de escala: pequena (área urbana inferior a 25 km² e população inferior a 50 mil habitantes); média (área urbana entre 25 e 100 km² e população entre 50 e 300 mil habitantes); e grande (área urbana acima de 100 km² e população superior a 300 mil habitantes). Devido ao desbalanceamento da base de dados, foi adotado o critério de que as cidades selecionadas deveriam ter, no mínimo, 100 rotas de entrega registradas. A Tabela 1 apresenta o resumo dos dados.

Tabela 1. Resumo dos dados das cidades analisadas

Cidade	Quantidade de Entregas	Área Urbana (km ²) [IBGE 2019]	População (hab.) [IBGE 2025]
Palotina	205	16,73	37.039
Apucarana	236	39,87	134.910
Maringá	765	112,70	429.660

Dadas essas especificações, foram selecionadas para este estudo as rotas de três cidades do estado do Paraná: Maringá foi escolhida por apresentar a maior área urbana dentre os municípios paranaenses disponíveis no *dataset*; Palotina foi selecionada por deter a menor extensão urbana (porém, cumprindo o critério de possuir ao menos 100 entregas registradas); Apucarana foi incluída por se configurar como uma cidade de porte intermediário que também atendia ao requisito mínimo de 100 entregas.

4.2. Configuração do algoritmo *k-means*

Para cada uma das cidades selecionadas, considerou-se o parâmetro $k = 3$ para a aplicação do *k-means*. O processamento em 3 clusters distintos visa estratificar os trajetos em rotas curtas, médias e longas, respeitando as características intrínsecas de cada localidade. A variável adotada para a clusterização foi a distância estimada via Google Maps, visto que a quilometragem real percorrida apresenta distorções decorrentes do comportamento do condutor.

4.3. Simulação de entrega aérea por drones

A simulação foi estruturada com base na distância linear entre as coordenadas do restaurante e o ponto de entrega, utilizando-se a fórmula de Haversine para considerar a curvatura da Terra, comum em trabalhos com drones [Andreou et al. 2023]. O modelo de aeronave adotado como referência foi o drone de 4^a geração da empresa Meituan, operado em Shenzhen, na China [Zhang et al. 2025]. Sabendo que é comum os países permitirem uma altitude máxima para voos de drones de 120 metros [Xu et al. 2020], estipulou-se um acréscimo de 0,24 km em cada rota aérea, correspondente aos procedimentos verticais de decolagem e pouso (conforme apresentado na Figura 1). Ressalta-se que 120 metros é mais alto que todos os prédios nas cidades simuladas.

No que concerne à modelagem temporal, considerou-se que a velocidade média de deslocamento terrestre dos entregadores no Brasil é de 25 km/h [iFood 2024]. Embora as aeronaves da Meituan atinjam até 80 km/h, adotaram-se nas simulações as velocidades de 60 km/h [MyChina Guide 2024] e 25 km/h. Como a Meituan é uma empresa privada, os dados obtidos não são considerados oficiais. Todas as simulações foram feitas na linguagem Python na versão 3.13.5.

5. Resultados e Discussão

Esta seção discute os resultados obtidos com as simulações realizadas. Eles são analisados sob duas perspectivas: por um viés geográfico (de distâncias) e por um viés temporal.

5.1. Análise geográfica

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes às distâncias das rotas, tanto para a entrega terrestre quanto para a entrega por drones. A coluna “Média Google” representa a distância estimada pela plataforma Google Maps para o respectivo trajeto, enquanto a coluna “Média Entregador” indica os quilômetros reais percorridos pelo profissional. Conforme observado anteriormente em [Bine et al. 2023], a rota real do entregador apresenta um valor superior ao sugerido pelo Google. Hipotetiza-se que essa divergência decorra do fato de o condutor realizar múltiplas entregas simultâneas, inclusive por meio de diferentes aplicativos, ou efetuar desvios para abastecimento ao longo do percurso.

Tabela 2. Comparação entre distâncias percorridas nas entregas.

Tipo de Rotas	Qtd	Média $\pm$ DP Google (Km)	Média $\pm$ DP Entregador (Km)	Média $\pm$ DP Drone (Km)	Diferença Google e Drone (%)
Palotina					
Rotas Curtas	92	1.46 $\pm$ 0.48	5.40 $\pm$ 3.92	1.32 $\pm$ 0.40	5.27
Rotas Médias	82	2.92 $\pm$ 0.47	6.57 $\pm$ 3.19	2.47 $\pm$ 0.40	14.87
Rotas Longas	31	4.57 $\pm$ 0.94	7.85 $\pm$ 3.61	3.70 $\pm$ 0.62	18.68
Apucarana					
Rotas Curtas	83	1.42 $\pm$ 0.57	5.42 $\pm$ 4.13	1.25 $\pm$ 0.49	7.41
Rotas Médias	88	3.49 $\pm$ 0.59	7.69 $\pm$ 3.55	2.79 $\pm$ 0.53	19.73
Rotas Longas	65	5.92 $\pm$ 0.97	10.27 $\pm$ 5.62	4.33 $\pm$ 0.80	26.64
Maringá					
Rotas Curtas	327	2.44 $\pm$ 0.85	6.17 $\pm$ 3.62	1.95 $\pm$ 0.71	19.25
Rotas Médias	313	5.09 $\pm$ 0.86	8.63 $\pm$ 3.79	4.03 $\pm$ 0.79	20.79
Rotas Longas	125	8.50 $\pm$ 1.29	12.65 $\pm$ 4.04	6.63 $\pm$ 1.12	21.89

Diante disso, a análise comparativa baseou-se na média estimada pelo Google. Constatou-se que, mesmo considerando que o drone possui um acréscimo máximo de 240 metros por rota devido aos procedimentos de decolagem e pouso, em todos os casos haveria redução de quilometragem com o uso dos drones. O benefício mais expressivo foi identificado nas rotas longas em Apucarana, onde a redução linear atingiu cerca de 27%.

5.2. Análise temporal

Sob a perspectiva temporal, avaliamos tanto para o cenário no qual a velocidade média dos drones é de 60 km/h quanto para o cenário em que eles se movem na mesma velocidade dos entregadores terrestres, sendo 25 km/h (Tabela 3). Trajetos que demandam cerca de vinte minutos por via terrestre, como as rotas longas de Maringá, poderiam ser reduzidos para aproximadamente 6 minutos via drones, o que representa uma contração temporal de 67% (quando considerada uma velocidade média de 60 km/h) e de 19% (considerando uma velocidade média de 25 km/h). A maior diferença é constatada para Apucarana em rotas longas, sendo 69% de redução para a velocidade média de 60 km/h e 27% para a velocidade de 25 km/h.

Tabela 3. Comparação temporal das entregas.

Tipo de Rotas	Qtd	Média ± DP Google (Min)	Média ± DP Entregador (Min)	Média ± DP 60 (Min)	Diferença 60 (%)	Média ± DP 25 (Min)	Diferença 25 (%)
Palotina							
Rotas Curtas	92	3.50 ± 1.15	10.70 ± 7.51	1.32 ± 0.40	60.53	3.17 ± 0.95	5.27
Rotas Médias	82	7.00 ± 1.13	13.21 ± 7.17	2.47 ± 0.40	64.53	5.94 ± 0.95	14.87
Rotas Longas	31	10.98 ± 2.25	16.06 ± 10.71	3.70 ± 0.62	66.12	8.88 ± 1.50	18.68
Apucarana							
Rotas Curtas	83	3.40 ± 1.38	9.70 ± 7.96	1.25 ± 0.49	61.42	2.99 ± 1.19	7.41
Rotas Médias	88	8.38 ± 1.43	14.64 ± 9.10	2.79 ± 0.53	66.56	6.69 ± 1.28	19.73
Rotas Longas	65	14.21 ± 2.34	18.40 ± 17.79	4.33 ± 0.80	69.43	10.39 ± 1.92	26.64
Maringá							
Rotas Curtas	327	5.87 ± 2.05	11.95 ± 7.71	1.95 ± 0.71	66.35	4.67 ± 1.71	19.25
Rotas Médias	313	12.21 ± 2.07	15.00 ± 7.50	4.03 ± 0.79	66.99	9.66 ± 1.89	20.79
Rotas Longas	125	20.40 ± 3.09	20.38 ± 7.48	6.63 ± 1.12	67.45	15.92 ± 2.68	21.89

Média 60: Drone a 60 km/h; Média 25: Drone a 25 km/h.

Diferença 60: Comparação percentual utilizando Média 60;

Diferença 25: Comparação percentual utilizando Média 25.

Contudo, a dimensão temporal envolve variáveis de maior complexidade operacional. Dados publicados pela empresa Meituan [Meituan 2023] apontam que uma entrega em um raio de até 3 km consome cerca de 15 minutos, em decorrência de fatores como preparação da carga, acoplamento e tempos de espera regulatórios. Apesar dessa ressalva, assumiu-se nesta modelagem que os tempos fixos de preparação e carregamento logístico são homólogos independentemente da extensão do trajeto, não escalando de forma proporcional à distância.

Desse modo, considerando que todos os cenários de entrega por aeronaves não tripuladas em Palotina situam-se próximos ao limiar de 3 km, infere-se que apenas a rota longa poderia apresentar alguma vantagem na entrega por drones. Fato que também é observado na Figura 2, considerando a análise do drone operando em 25 km/h, nas rotas pequenas, as medianas praticamente se sobrepõem em Palotina e Apucarana, enquanto em Maringá o drone apresenta uma pequena redução no tempo de entrega. Esse comportamento se repete nas rotas médias e longas, nas quais o drone mantém uma vantagem discreta em relação ao modal terrestre. A diferença entre os dois modais torna-se um pouco mais perceptível nas rotas longas, principalmente em Maringá, onde o tempo mediano do drone é aproximadamente quatro minutos inferior ao do transporte terrestre.

Em contrapartida, quando o drone opera a 60 km/h, as diferenças tornam-se significativamente mais expressivas. Nas rotas pequenas, o tempo mediano do drone corresponde aproximadamente à metade do observado para o transporte terrestre. Nas rotas médias, essa diferença aumenta, com reduções que variam entre aproximadamente 50% e 70%, dependendo da cidade. Já nas rotas longas, o ganho torna-se ainda mais evidente. Em Maringá, por exemplo, enquanto o transporte terrestre apresenta mediana próxima de 20 minutos, o drone a 60 km/h realiza o mesmo percurso em cerca de 6 a 7 minutos, re-

presentando uma redução superior a 60%. Além da redução dos tempos médios, o drone a 60 km/h apresenta menor variabilidade entre as observações. O transporte terrestre mantém elevada dispersão, principalmente nas rotas longas, refletindo maior influência das características da malha viária e da distância percorrida.

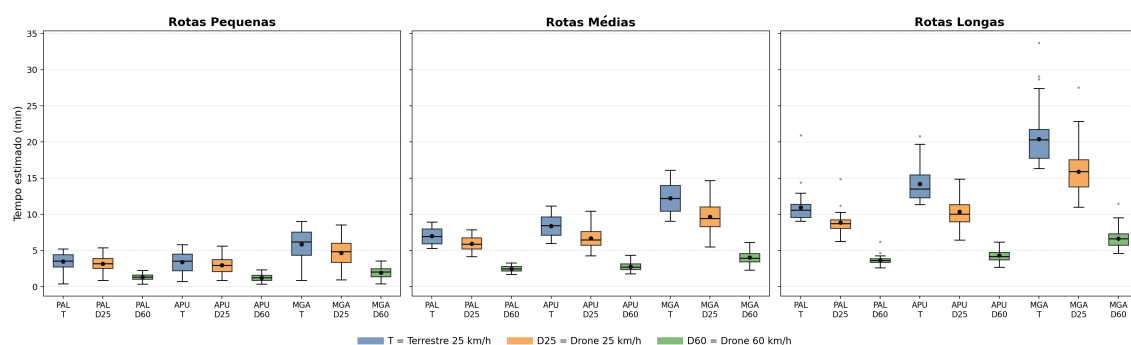


Figura 2. Comparação temporal por meio de boxplots

6. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma análise comparativa entre rotas de entregas terrestres e trajetos simulados por meio de veículos aéreos não tripulados. Diante dos cenários avaliados, as seguintes conclusões foram delineadas em resposta às questões de pesquisa iniciais. No que tange à pergunta verificou-se que, para rotas de maior extensão em cidades do interior do estado do Paraná (inclusive nos municípios de pequeno porte), a adoção de drones apresenta alta probabilidade de reduzir o tempo de espera dos usuários. Observou-se, contudo, que os dados operacionais que antecedem o voo propriamente dito carecem de maior clareza, exercendo influência significativa nos sistemas de tomada de decisão. Adicionalmente, evidencia-se que, com o amadurecimento e o avanço gradual dessas operações ao longo dos anos, os tempos logísticos tendem a decrescer, tornando a utilização do modal aéreo vantajosa também em rotas mais curtas sob a perspectiva temporal.

6.1. Limitações

O objetivo deste trabalho foi compreender como entregas atualmente realizadas por motociclistas se comportariam caso fossem executadas por drones. Para isso, foram utilizadas entregas reais como base para simulações de cenários de entrega aérea. Como as entregas por drones foram simuladas, alguns aspectos presentes em operações reais podem não ter sido capturados pelo modelo adotado. Além disso, os resultados refletem apenas as cidades analisadas e não são generalizáveis, uma vez que outras cidades podem apresentar características e particularidades distintas. O estudo também apresenta algumas limitações relacionadas ao conjunto de dados utilizado, as quais podem influenciar a análise e a interpretação dos resultados.

Um dos principais pontos observados foi que as distâncias e os tempos registrados nas entregas reais frequentemente apresentavam discrepâncias em relação às distâncias estimadas pelo Google Maps. Algumas situações podem justificar essas diferenças, como motoristas realizando múltiplas entregas simultaneamente, inclusive para diferentes aplicativos, o que pode resultar em tempos e percursos não registrados corretamente. Além disso, podem ocorrer desvios de rota para abastecimento, pausas durante o trajeto ou até

casos em que o entregador esqueceu de finalizar a entrega no aplicativo. Como o dataset não disponibiliza as rotas de GPS das entregas, não foi possível investigar de maneira mais aprofundada as causas dessas discrepâncias.

Outro fator que influencia a análise está relacionado às informações dos drones utilizados na simulação. Buscou-se utilizar dados de drones reais empregados em testes de entrega, especialmente os da empresa Meituan, uma das principais referências na área, responsável por operações de entrega em regiões delimitadas da cidade de Shenzhen. Contudo, por se tratar de uma empresa privada, poucas informações oficiais foram divulgadas, como detalhes de desempenho, incluindo velocidade e autonomia. Assim, parte das informações utilizadas também possui limitações que podem afetar os resultados da pesquisa. Apesar dessas restrições, o trabalho permite compreender de forma preliminar o comportamento de entregas por drones nos cenários analisados, fornecendo indícios importantes sobre o potencial dessa tecnologia em cidades brasileiras.

6.2. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, espera-se realizar análises considerando o uso de drones em apenas parte do trajeto de entrega, especialmente em cenários de *last mile delivery*, nos quais os drones seriam utilizados apenas na etapa final da entrega. Além disso, pretende-se investigar a integração de drones com outros modais de transporte, como o transporte público, buscando soluções híbridas e mais eficientes para logística urbana. Também pretende-se ampliar a análise estatística dos resultados, incorporando métodos inferenciais e modelos capazes de avaliar a significância das diferenças observadas, bem como a influência de fatores espaciais e temporais sobre o desempenho das entregas.

Por fim, à medida que dados empíricos de entregas reais realizadas por drones tornem-se disponíveis, novas investigações poderão ser conduzidas com o propósito de avaliar o comportamento operacional desse modal em cenários brasileiros. Tais estudos viabilizarão comparações empiricamente mais robustas e uma compreensão aprofundada acerca da viabilidade dessa operação no país. Adicionalmente, perspectivas futuras incluem a criação de um sistema de tomada de decisão e a integração de variáveis dinâmicas (tais como condições meteorológicas e eficiência energética), com o intuito de propor soluções que efetivamente contribuam para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Declaração do Uso de Inteligência Artificial

Os autores declaram o uso do assistente de inteligência artificial Gemini 3.1 Pro. A tecnologia foi empregada exclusivamente para auxiliar na revisão ortográfica e gramatical. O conteúdo revisado pela ferramenta foi submetido à validação humana, e os autores assumem total responsabilidade pela integridade do texto final.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná, e contou com o suporte e fornecimento de dados da empresa Aiqfome.

Referências

Andreou, A., Mavromoustakis, C. X., Batalla, J. M., Markakis, E. K., Mastorakis, G., and Mumtaz, S. (2023). UAV trajectory optimisation in smart cities using modified

- A* algorithm combined with haversine and vincenty formulas. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 72(8):9757–9769.
- Benarbia, T. and Kyamakya, K. (2021). A literature review of drone-based package delivery logistics systems and their implementation feasibility. *Sustainability*, 14(1):360.
- Betti Sorbelli, F. (2024). Uav-based delivery systems: A systematic review, current trends, and research challenges. *Journal on Autonomous Transportation Systems*, 1(3):1–40.
- Bine, L. M., Boukerche, A., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. (2023). Drone delivery: Why, where, and when. In *Proceedings of the Int'l ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, pages 35–43.
- Bine, L. M., Svaigen, A. R., Boukerche, A., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. (2024). Flavors of the next generation of unmanned aerial vehicles networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(14):24604–24620.
- Dissanayaka, D., Wanasinghe, T. R., De Silva, O., Jayasiri, A., and Mann, G. K. (2023). Review of navigation methods for uav-based parcel delivery. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 21(1):1068–1082.
- Garg, V., Niranjana, S., Prybutok, V., Pohlen, T., and Gligor, D. (2023). Drones in last-mile delivery: A systematic review on efficiency, accessibility, and sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 123:103831.
- IBGE (2019). Sidra: Tabela 8418. <https://bit.ly/4ujCShU>. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Acesso em: 17 maio 2026.
- IBGE (2025). Cidades e estados: Paraná. <https://bit.ly/4dyxCkN>. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso em: 17 maio 2026.
- iFood (2024). ifood lança portal de dados que compartilha informações inéditas sobre entregadores. <https://bit.ly/4eXnYct>. Acesso em: 17 maio 2026.
- Kumar, A., Prybutok, V., and Sangana, V. K. R. (2025). Environmental implications of drone-based delivery systems: A structured literature review. *Clean Tech.*, 7(1):24.
- Li, X., Tupayachi, J., Sharmin, A., and Martinez Ferguson, M. (2023). Drone-aided delivery methods, challenge, and the future: A methodological review. *Drones*, 7(3):191.
- Meituan (2023). Meituan drone completes new urban low-altitude logistics delivery scenario. <https://bit.ly/4urxBoI>. Acesso em: 17 maio 2026.
- MyChina Guide (2024). Shenzhen drone delivery guide. <https://bit.ly/4fxXHBB>. Acesso em: 17 maio 2026.
- Shuaibu, A. S., Mahmoud, A. S., and Sheltami, T. R. (2025). A review of last-mile delivery optimization: Strategies, technologies, drone integration, and future trends. *Drones*, 9(3):158.
- Xu, C., Liao, X., Tan, J., Ye, H., and Lu, H. (2020). Recent research progress of unmanned aerial vehicle regulation policies and technologies in urban low altitude. *Ieee Access*, 8:74175–74194.
- Zhang, M., Zhou, H., Lan, Y., Zhu, R., Xie, W., and Li, Y. (2025). The impact of weather factors on low-altitude logistics distribution path planning decisions. In *2025 8th Inter. Conf. on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, pages 638–644. IEEE.