

# Organização do Trabalho de Graduação — Versão Detalhada

## Propósito deste documento

Servir como roteiro autoexplicativo antes da redação formal. Cada subitem explica *por que* ele existe e *o que* será colocado nele, além de deixar links ou referências-âncora para serem citados depois.

---

## 1 Introdução (≈ 10 % do texto final)

### 1.1 Contextualização

- **Crescimento da demanda por delivery**

- Mercado brasileiro: faturamento estimado em US\$ 1,3 bi (2024) e CAGR > 15 % até 2033 [WEF 2024a].
  - Mercado global: US\$ 288 bi em 2024, crescimento 9-10 % a.a. [WEF 2024b; Grand View 2024].
- *Justifica a relevância temporal do estudo.*

- **Limites do modelo “motoboy”**

- Congestionamento e fila-dupla: motofretes respondem por > 20 % das paradas em fila-dupla no centro de SP [CurbFlow 2023].
  - Sinistralidade: 1 925 mortes de motociclistas em SP (jan-set 2024) [Infosiga 2024].
  - Emissões: motos podem emitir 10× mais CO e HC por km que carros Euro 6 [Rio 2013].
- *Expõe o “problema” a ser resolvido.*

### 1.2 Motivação regulatória e tecnológica

- **Marco regulatório ANAC**

RBAC-E 94 (2017/2022) + ICA 100-40 permitem BVLOS para drones ≤ 25 kg. Caso real: Speedbird Aero recebeu CAER em 2022.

→ *Confere legitimidade e insere custos de licenciamento no modelo.*

- **Casos reais de escala**

iFood + Speedbird (Brasil), Wing + Walmart (EUA), Meituan (China).

→ *Mostram tração comercial e servem como parâmetros de adoção.*

### 1.3 Problema de pesquisa

**Pergunta central:** “É economicamente e logisticamente viável operar um serviço Drone-as-a-Service (DaaS) para entrega de comida, usando a demanda já capturada pela Brendi como fase piloto?”

### 1.4 Objetivos

1. **Mensurar** redução de tempo e rota frente ao motoboy.
2. **Dimensionar** infraestrutura (droneports) e frota de drones.
3. **Projetar** fluxo de caixa comparando Moto × Owned-Drone × DaaS.

4. **Testar** sensibilidade a clima, adoção e custos regulatórios.

## 1.5 Estrutura do texto

Descrever brevemente o conteúdo de cada capítulo: Introdução ▶ Revisão ▶ Materiais & Métodos ▶ Resultados ▶ Discussão ▶ Conclusão.

---

## 2 Revisão / Fundamentos ( $\approx 20\%$ )

### 2.1 Conceitos Logísticos

- **VRP-D e variantes** — algoritmos de roteamento com drones (Li 2021).
- **Distance-Shortening Rate (DSR)** — ganho geométrico drone vs. via [Bine 2023].
- **Clusterização K-means + Centralidade Eig** — localização de droneports.
- **Filas M/M/c** — dimensionamento de frota (Gross 2018; Figliozzi 2021).

### 2.2 Modelagem Energética

- Equação trecho-a-trecho com influência de vento, payload e voo vazio [Filiopoulou 2025].

### 2.3 Avaliação Financeira

- Conceitos de **CapEx/OpEx**, **NPV**, **ROI**, **Pay-back** e diferenças entre Frota Própria e DaaS.

### 2.4 Marco Regulatório

- Resumo de requisitos de peso, altitude, CAER, SARPAS (RBAC-E 94 & ICA 100-40) e impacto nos custos.

### 2.5 Estado da Arte / Casos Reais

- Métricas públicas: nº de entregas, raio, SLA, modelo de cobrança dos players citados.
- 

## 3 Materiais & Métodos ( $\approx 30\%$ )

### 3.1 Dados & Insumos

- **Pedidos Brendi**: ID, lat/lon origem & destino, timestamp, valor, peso.
- **Rede viária**: OSMnx 2.0 (grafo completo, 10 m nós).
- **Restaurantes totais OSM**: para cálculo da cobertura  $p$ .
- **Clima**: ERA5 (vento às 10 m) + precipitação INMET.
- **Custos**: combustível, energia, leasing drone, salários, licenças ANAC/DECEA.
- **Drone-target**: Classe 3 BVLOS  $\leq 25$  kg (Speedbird DLV-1 specs).

### 3.2 Escolha da Cidade & Período

1. **Cobertura  $p \geq 30\%$**  ou recorte de sub-polígono com melhor  $p$ .
2. **Moran's  $I \sim 0$**   $\rightarrow$  dispersão adequada.
3. **Janela temporal**: últimos 6–12 meses sem choques sazonais.

### 3.3 Pipeline Operacional

1. Geocodificação → limpeza.
2. Distâncias  $d_{street}$  (Dijkstra/OSMnx) e  $d_{air}$  (Haversine).
3. Métricas: DSR, tempos moto & drone.
4. Localização de droneports (K-means + Eig).
5. Classificação de pedidos (Drone, Misto, Moto).
6. Frota via M/M/c ( $\lambda$ ,  $\mu$ ) para  $SLA \leq 25$  min.
7. Consumo energético (trecho-a-trecho).
8. Clima: calcular matriz “flyable\_day”. Reatribuir pedidos a moto em dias críticos.
9. Indicadores:  $\Delta$ Tempo,  $\Delta$ DSR, km-moto evitados, kg CO<sub>2</sub>.

### 3.4 Modelo Econômico-Financeiro

- Tabelas CapEx/OpEx (Moto × Owned-Drone × DaaS).
- Fluxo de caixa 5 anos, Taxa desconto 10 %.
- Linhas dedicadas a custos regulatórios (CAER, SARPAS, paraquedas).
- Simulação Monte Carlo (1 000 runs) variando clima e adoção.

### 3.5 Análises de Sensibilidade

- Adesão de restaurantes (1 %, 5 %, 15 %).
- Tarifa (R\$ 12–25).
- Ratio drones/operador (1:1 → 5:1).
- Dias não-voáveis (10–25 %).

### 3.6 Ferramentas

- **Python:** pandas, NumPy, NetworkX, OSMnx, SimPy, numpy-finance, matplotlib.
- **GIS:** QGIS / Kepler.gl.
- **Financeiro:** Excel ou Google Sheets para consolidação.

---

## Cronograma (6 meses)

Mês	Entregáveis	Marco de Conclusão
<b>M-1</b>	Revisão completa + extração & anonimização dos pedidos + escolha da cidade	15 %
<b>M-2</b>	Scripts de distância & DSR + mapa de calor + droneports preliminares	30 %
<b>M-3</b>	Classificação pedidos + frota M/M/c + módulo energético	50 %
<b>Checkpoint</b>	Reunião com orientador ⇒ validação operacional	—
<b>M-4</b>	Integração clima + simulação anual + planilha CapEx/OpEx	70 %
<b>M-5</b>	NPV/ROI + Sensibilidade + Monte Carlo + gráficos finais	90 %
<b>M-6</b>	Redação final, revisão ABNT, submissão	100 %

---

## Lista rápida de referências-âncora (para preencher depois)

- WEF 2024a/b, Grand View 2024
- Bine et al. 2023
- Gross et al. 2018; Figliozi 2021; Li 2021
- Filiopoulou et al. 2025
- RBAC-E 94, ICA 100-40
- Speedbird Aero 2022
- Rio 2013 (emissões moto), Infosiga 2024 (acidentes)

**Próximo passo:** validar esta estrutura com o orientador e iniciar implementação dos scripts de M-2.

## Links de Referência (com URL completo)

### Mercado e Motivação

- Mercado brasileiro de delivery: Insight Partners — <https://www.imarcgroup.com/brazil-food-delivery-market>
- Mercado global de delivery: Grand View Research — <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/online-food-delivery-market-report>
- Wing + Walmart (1 000 entregas/dia, expansão 2025): <https://www.wired.com/story/walmart-wing-expand-drone-delivery/>
- Speedbird Aero + iFood (1ª autorização BVLOS, 2022): <https://parazero.com/2022/03/01/speedbird-aero-receives-first-multirotor-anac-design-authorization-for-dlv-1-neo-delivery-drone-with-integrated-safeair-system/>

### Conceitos Logísticos

- Revisão VRP-Drone (ResearchGate): [https://www.researchgate.net/publication/305339526\\_Vehicle\\_Routing\\_Problems\\_for\\_Drone\\_Delivery](https://www.researchgate.net/publication/305339526_Vehicle_Routing_Problems_for_Drone_Delivery)
- Artigo “Drone Delivery: Why, Where, and When” (PDF): <https://www.updwg.org/wp-content/uploads/2023/11/Drone-Delivery-Where-when.pdf>

### Modelagem Energética

- Filiopoulou et al., 2025 (Economics of Transportation): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212012225000061>
- Planejamento de rotas UAV com vento (2025): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936125002110>

### Marco Regulatório

- RBAC-E nº 94 (ANAC): <https://www.anac.gov.br/en/drones/files/rbac-e-no-94-amdt-00-english.pdf>
- ICA 100-40 (DECEA): <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/indice>

### Casos Reais

- iFood / Speedbird (Brasil): <https://parazero.com/2022/03/01/speedbird-aero-receives-first-multirotor-anac-design-authorization-for-dlv-1-neo-delivery-drone-with-integrated-safeair-system/>

- Wing / Walmart (EUA): <https://www.wired.com/story/walmart-wing-expand-drone-delivery/>
- Meituan (China): <https://www.yolegroup.com/industry-news/meituans-drone-service-takes-flight-over-100000-orders-delivered-in-2022/>

## **Arquitetura & Ferramentas**

- OSMnx 2.0: <https://github.com/gboeing/osmnx>
- SimPy tutorial (2024): <https://medium.com/@noel.B/a-complete-guide-to-using-simpy-for-ai-simulations-testing-fdc4ed1cf271>
- ERA5 “flyability”: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91325-w>

## **Representatividade & Seleção da Cidade**

- Avaliação de representatividade geográfica: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2399808319894334>