

Projeto de Estudos LabPEC/DTI/UFES

Título do Projeto:	Programação de entregas em áreas urbanas considerando recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo
Aluno:	
Orientador:	
Data:	2021

Resumo

Este subprojeto é parte integrante do projeto “Pesquisa Operacional e Inovação em Logística Regional”. Neste subprojeto nos interessamos em estudar técnicas de otimização combinatória e sua adaptação ao problema de programação de entregas em áreas urbanas considerando recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo. Para isso, buscamos aprofundar os estudos dos problemas de logística de transportes em centros urbanos, adaptando para a sua resolução, técnicas da literatura de Teoria dos Grafos e Otimização Combinatória. Visamos continuar os estudos já realizados sobre o tema, buscando novos métodos de resolução do problema, com intuito de avaliar e comparar o desempenho dos mesmos.

Palavras-chave: Logística, Otimização Combinatória, Problemas de transporte, Heurísticas, Meta-heurísticas.

2 Introdução

Os centros urbanos, compostos por um grande número de lojas e também de residências, concentram as principais atividades comerciais e financeiras e, conseqüentemente, têm aumentado de tamanho rapidamente. Por conta desse aumento considerável, a distribuição de mercadorias cresce e faz-se necessário utilizar de mais veículos para que as demandas sejam atendidas. Maior quantidade de veículos, principalmente veículos de grande porte para transporte de carga, resulta em problemas como tráfego intenso, aumento da emissão de gases de efeito estufa, dentre outros (CRAINIC et al., 2004).

Considerando o cenário descrito acima, algumas cidades brasileiras decidiram delimitar áreas nas quais caminhões de grande porte não podem circular durante o horário comercial. A limitação imposta para caminhões dessa categoria é mais uma estratégia para tentar conter os problemas causados pelo crescimento desordenado dos centros urbanos. Ao mesmo tempo, a limitação imposta sobre circulação de veículos de grande porte dentro dos limites urbanos no horário comercial faz com que os grandes armazéns, denominados armazéns centrais, fiquem localizados fora dos limites urbanos. Dessa forma, mantém-se permitido o uso de caminhões de grande porte durante todo o dia para abastecer os armazéns centrais. Já

dentro dos limites urbanos, a distribuição de mercadorias para os clientes deve ser realizada por veículos menores (SANTANA et al., 2017).

Estudos (SOUZA et al., 2020) apontam a utilização de alguns tipos de veículos alternativos que possam auxiliar na resolução do problema da restrição de circulação de veículos de grande porte como, por exemplo: triciclos, drones, bicicletas elétricas e convencionais, dentre outros. O uso desses veículos de pequeno porte para entregas é uma estratégia que reduz a utilização de automóveis e a emissão de gases poluentes.

Considerando a obrigatoriedade do uso de veículos de pequeno porte dentro da área urbana e a localização dos armazéns centrais fora dos limites urbanos, a última etapa da entrega, denominada *last mile*, fica prejudicada (ARAÚJO, 2014). A maior distância do armazém central para o consumidor final e a baixa capacidade de carga dos veículos menores torna as rotas de distribuição urbanas mais demoradas e mais caras devido à necessidade de reabastecimento dos veículos (retorno ao armazém central) e ao maior consumo de energia ou combustível. Sendo assim, Astoures e Rosa (2019) propuseram uma nova estratégia e uma nova formulação matemática para planejamento e implantação, dentro da área urbana, de armazéns intermediários em combinação com veículos de pequeno porte.

Este subprojeto de IC propõe o estudo e uma nova implementação da estratégia proposta por (ASTOURES; ROSA, 2019) para resolver a logística do *last mile* dentro de centros urbanos com restrição de horário para a circulação de veículos de grande porte.

A estratégia e a modelagem matemática propostas por (ASTOURES; ROSA, 2019) prevê a utilização de pequenos armazéns intermediários dentro das cidades, onde os veículos podem ser recarregados e continuar a sua rota sem ter que retornar ao armazém central para recarregar e iniciar uma nova rota. Esta estratégia propõe, em conjunto com os armazéns intermediários, o uso de bicicletas convencionais e elétricas como mostradas na Figura 1. Pelo fato de bicicletas terem limitação quanto ao peso e volume das mercadorias, precisam ser recarregadas com maior frequência. A adoção de armazéns intermediários busca, assim, reduzir a distância entre o ponto de recarga e o cliente final.

Figura 1: Veículos de carga considerados



a) Bicicleta elétrica de carga



b) Bicicleta convencional de carga

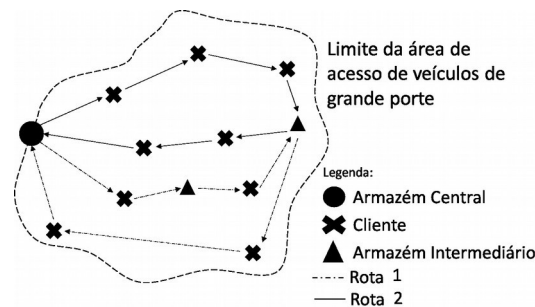
Fonte: Astoures (2020, p. 29)

Os armazéns intermediários, localizados dentro do limite imposto para circulação de veículos de grande porte no horário comercial, são recarregados à noite, quando é permitida a circulação desses cami-

nhões. Quanto maior a área limitada pelas leis de acesso, maiores são as vantagens da utilização de armazéns intermediários, pois seu uso diminui o percurso da mercadoria até o consumidor. As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, o cenário com armazéns intermediários e o cenário sem armazéns intermediários.

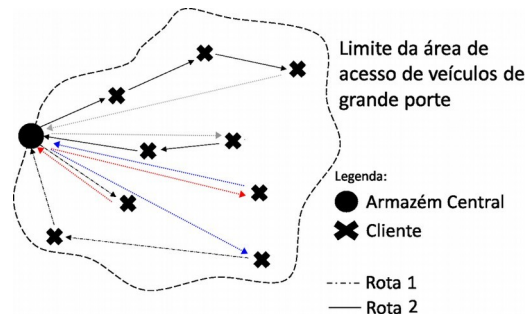
Na Figura 2 temos dois veículos de pequeno porte iniciando a sua rota de distribuição no armazém central em direção ao primeiro cliente. O veículo 1 (rota 1) já fica sem mercadorias após a primeira visita, sendo obrigado a parar em um armazém intermediário para reabastecer. Em seguida, ele continua a sua rota precisando de mais uma parada para reabastecimento, finalizando no armazém central após visitar todos os clientes em sua rota. O veículo 2 (rota 2) faz o mesmo, entretanto precisa apenas de uma única parada para reabastecimento.

Figura 2 – Solução dada pela estratégia proposta usando armazéns intermediários



Fonte: Astoures (2020, p. 9)

Figura 3: Solução alternativa sem os armazéns intermediários



Fonte: Autor

Na Figura 3, sem armazéns intermediários, toda vez que o veículo precisa ser reabastecido ele retorna para o armazém central, evidenciando o maior gasto de tempo e energia quando comparado ao cenário da Figura 2. Pelo fato das bicicletas terem limitação da capacidade de armazenagem das mercadorias, poucos clientes podem ser atendidos em cada rota. Sendo assim, o veículo precisa abandonar a rota original, voltar ao armazém central para ser reabastecido e retornar a rota original, percorrendo uma distância maior do que com a implementação dos armazéns intermediários. As linhas azuis, vermelhas e cinzas correspondem ao percurso adicional que os veículos precisam fazer para atender todos os clientes tendo as mercadorias centradas somente em um armazém.

Na formulação matemática proposta em (ASTOURES; ROSA, 2019) para resolver a estratégia de distribuição de cargas em centros urbanos que faz uso de veículos de pequeno porte com múltiplos com-

partimentos, cada compartimento comporta uma caixa a ser transportada. A solução construída pela formulação também deve respeitar as janelas de atendimentos estabelecidas pelos clientes, ou seja, a entrega de mercadorias de um determinado cliente só pode ser feita dentro do intervalo de tempo definido pela sua janela de atendimento. Foi definido então um novo problema denominado *Multiple Compartment Vehicle Routing Problem with Intermediate Replenishment Facilities and Time Windows* (MCVRPIRFTW) a partir da integração dos modelos *Vehicle Routing Problem with Intermediate Replenishment Facilities* (VRPIRF) (TARANTILIS et al., 2008) e o *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Time Windows* (MCVRP) (ABDELAZIZ; ROUCAIROL; BACHA, 2002) acrescentando o tratamento de cada caixa individualmente e janela de atendimento. Eles propuseram uma formulação matemática para o problema MCVRPIRFTW com o objetivo de minimizar o custo total do transporte.

Em (ASTOURES; ROSA, 2019) são apresentados resultados computacionais através da solução da formulação proposta usando o CPLEX. Entretanto, dada a complexidade da formulação, o CPLEX se limita a encontrar a solução ótima de problemas de pequena escala que nem sempre se encaixam na proporção dos problemas reais. O objetivo desse subprojeto é ultrapassar as limitações de escala do CPLEX e propor algoritmos aproximados para solucionar problemas de maiores proporções. Os métodos aproximados mais conhecidos são as heurísticas e meta-heurísticas que, diferente do CPLEX e dos métodos exatos, procuram por boas soluções, não necessariamente ótimas.

Esse subprojeto e o intitulado "Planejamento de entregas em áreas urbanas considerando o recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo" são ligados ao mesmo projeto de pesquisa e o intuito principal de ambos consiste em estudar e desenvolver meta-heurísticas distintas para resolver o mesmo problema de Otimização visando a análise e comparação dos resultados obtidos. As meta-heurísticas a serem estudadas e implementadas em cada subprojeto serão definidas no período inicial do seu desenvolvimento.

Existem muitas meta-heurísticas famosas na literatura. Esses métodos de solução consistem em abordagens de alto nível que oferecem esquemas de projeto e integração de heurísticas para resolver problemas de otimização. Cada uma tem características, concepções, históricos e evolução diferentes, porém todas compartilham a característica de oferecerem mecanismos para escapar de ótimos locais e realizar uma busca mais robusta no espaço de soluções do que algoritmos clássicos de busca local.

Nesse subprojeto pretende-se, assim, desenvolver algoritmos heurísticos e meta-heurísticas para resolver o problema MCVRPIRFTW e comparar as soluções aproximadas construídas pelos algoritmos propostos com as soluções exatas dadas pela formulação matemática de (ASTOURES; ROSA, 2019). A comparação será útil para calibração das heurísticas e meta-heurísticas, bem como para demonstrar a qualidade das soluções aproximadas.

3 Objetivos

Os objetivos deste subprojeto são:

- (1) estudar o problema da programação de entregas em áreas urbanas considerando recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo sob a ótica de Otimização Combinatória e Teoria dos Grafos;
- (2) estudar algoritmos construtivos, de busca local e meta-heurísticas;
- (3) propor e implementar, utilizando Python, algoritmos construtivos e de buscas locais, adaptando-os ao problema em estudo;
- (4) propor e implementar em Python uma meta-heurística para o problema de interesse.

As principais motivações para a realização deste subprojeto de pesquisa são desenvolver e transferir o conhecimento, tecnologias e inovações desenvolvidas na UFES para o mercado, interagindo e contribuindo com alterações aprimoradas de desenvolvimento logístico urbano.

4 Metodologia

Este subprojeto será desenvolvido segundo as seguintes etapas:

1. Estudo dos problemas VRPIRF e MCVRP, e MCVRPIRFTW e Revisão bibliográfica;
2. Estudo de conceitos básicos de Otimização Combinatória, algoritmos em grafos e Python;
3. Estudo dos conceitos básicos em algoritmos construtivos, meta-heurísticas e algoritmos de busca local;
4. Proposta e implementação em Python de algoritmos construtivos aplicados ao problema em estudo;
5. Elaboração de relatório parcial;
6. Proposta e implementação em Python de buscas locais aplicadas ao problema em estudo;
7. Proposta e implementação em Python de meta-heurística aplicada ao problema em estudo;
8. Realização de testes computacionais com os algoritmos implementados;
9. Investigação e comparação de resultados entre os algoritmos implementados e resultados da literatura;
10. Elaboração de monografia.

As etapas 1 e 2 envolvem, basicamente, o estudo da literatura da área e conceitos preliminares para o desenvolvimento do trabalho. As etapas 3 e 4 tem como enfoque o estudo e implementação de algoritmos construtivos e do problema de interesse. A etapa 5 prevê a elaboração de relatório técnico parcial. As etapas 6 a 9 são de desenvolvimento dos algoritmos de busca local e meta-heurística, com enfoque no estudo, análise de resultados e comparação com algoritmos conhecidos na literatura do problema de interesse. Todos os algoritmos serão implementados na linguagem Python, cujo aprendizado será desenvolvido no decorrer do trabalho. A etapa 10 será dedicada à elaboração de monografia.

5 Plano de Trabalho / Cronograma

Abaixo apresentamos um sumário das atividades e o cronograma de execução deste subprojeto.

ATIVIDADES

Lista de atividades	
1-	Estudo dos problemas VRPIRF e MCVRP, e MCVRPIRFTW e Revisão bibliográfica;
2-	Estudo de conceitos básicos de Otimização Combinatória, algoritmos em grafos e Python;
3-	Estudo dos conceitos básicos em algoritmos construtivos, meta-heurísticas e algoritmos de busca local;
4-	Proposta e implementação em Python de algoritmos construtivos aplicados ao problema em estudo;
5-	Elaboração de relatório parcial;
6-	Proposta e implementação em Python de buscas locais aplicadas ao problema em estudo;
7-	Proposta e implementação em Python de meta-heurística aplicada ao problema em estudo;
8-	Realização de testes computacionais com os algoritmos implementados;
9-	Investigação e comparação de resultados entre os algoritmos implementados e resultados da literatura;
10-	Elaboração da monografia.

CRONOGRAMA (Ago/2020 a Jul/2021)

Atividade	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1	X	X										
2	X	X										
3		X	X	X								
4			X	X	X							
5			X	X	X	X						
6				X	X	X	X	X				
7							X	X	X	X	X	
8				X	X	X	X	X	X	X	X	
9						X	X	X	X	X	X	X
10										X	X	X

6 Referências

ARAÚJO, J. G. Distribuição urbana e os efeitos das restrições de circulação nas grandes cidades. In: Tecnológica, No. 195, p. 62-68, 2012.

ASTOURES, H. F. Planejamento de entregas em áreas urbanas considerando recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo. 2020. 54 f. (qualificação de Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ASTOURES, H. F. ; ROSA, R. A. Planejamento de entregas em áreas urbanas considerando recarregamento intermediário, veículos com múltiplos compartimentos e janela de tempo. In: **Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte ANPET**. v. 1. p. 2418-2429. Balneário Camboriú, 2019.

CRAINIC, T.G., RICCIARDI, N. e STORCHI, G. **Advanced freight transportation systems for congested urban areas**. Transportation Research, Part C, Vol. 12, No. 2, 119–137. 2004.

SANTANA, R. A., ROSA, R. D. A., ASTOURES, H. F., e SILVA, D. S. D. **Planning the distribution of goods in the context of city logistics considering split deliveries with access and time restrictions**. International Journal of Logistics Systems and Management, 28(4), 507-527. 2017.

SOUZA, C. O.; DAGOSTO, M; BANDEIRA, RENATA A.M. ; ALMEIDA, I. R. P. L. **Soluções para o transporte urbano de cargas na etapa de última milha**. In: urbe. Revista Brasileira de gestão Urbana. v. 12. Curitiba, 2020.