

Geração de Colunas *Online* para o Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico

Qualificação de Doutorado

Aluno: Humberto César Brandão de Oliveira

Orientador: Geraldo Robson Mateus

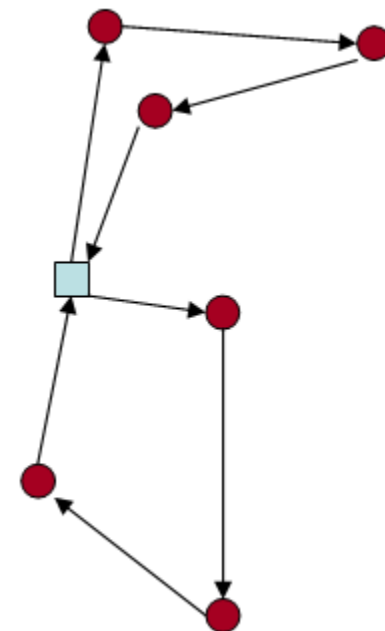


- **Introdução**
 - Problema de Roteamento de Veículos Estático e Dinâmico;
 - Motivação;
- **Discussão acerca da tese;**
 - Entendendo o despacho periódico para o PRVD;
 - Entendendo o despacho *online* para o PRVD;
- **Avanços sobre o Problema:**
 - Estático;
 - Simulação do dinâmico;
- **O projeto de tese;**
 - Contribuições
 - Produção Bibliográfica
 - Cronograma
- **Considerações finais;**

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV)



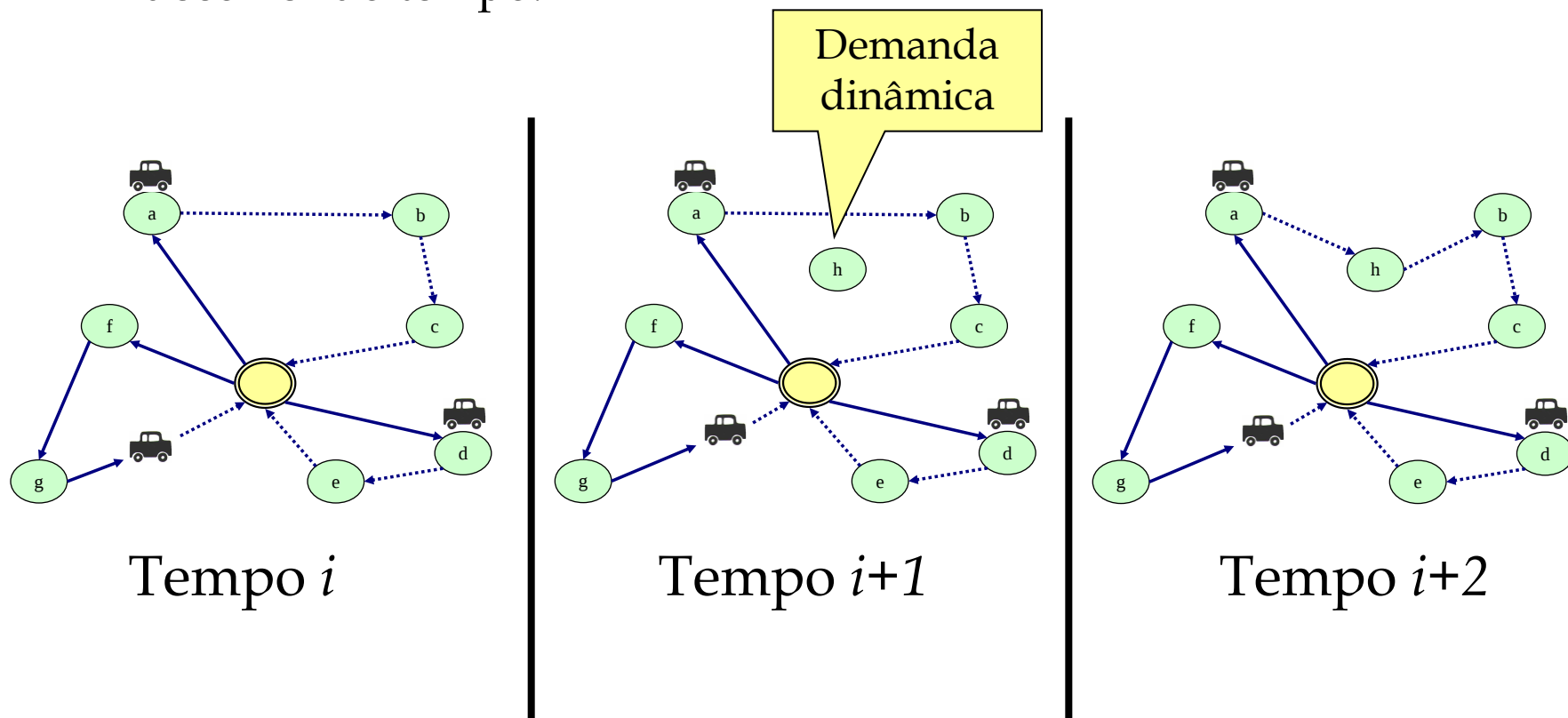
- Conceitos:
 - Têm-se um conjunto **C de consumidores** de recursos;
 - Têm-se um conjunto **V de veículos**, localizados a princípio no depósito central;
 - Deve-se **criar uma programação para os veículos**, buscando **redução custos** com o atendimento de todos os consumidores;
- **Características adicionais** do PRV:
 - Capacidade;
 - Janela de tempo;
 - Novos pedidos ao longo do tempo (dinamicidade).



Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico (PRVD)



- A dinamicidade pode estar em várias componentes do ambiente;
- Neste trabalho ela está no aparecimento de consumidores no decorrer do tempo.





- Impacto do custo da distribuição no valor final dos produtos;
- Poluição.
- O PRV estático é um problema NP-Completo. Tratar sua versão dinâmica representa um desafio extra, pois além de tratar a explosão combinatória de possibilidades de alocação, existe também a alteração no ambiente, ou seja, **o problema muda ao longo do tempo**.
- Dado: 2,53% do PIB brasileiro está em serviços relacionados a transporte (Fraga, 2007);

- Antes de apresentar o projeto de tese, apresentaremos **duas classes de algoritmos de tratamento para o PRV Dinâmico**;
 - Despacho periódico;
 - Despacho *online*;

Alocação de Veículos Periódica para o PRVD

Primeira forma apresentada para o tratamento do PRVD

Início do dia de serviço

Fim do dia de serviço

$t = a$

$t = b$

$t = c$

$t = d$

$t = e$

$t = f$

Um subconjunto de consumidores é conhecido antes do início do dia de serviço

Resolução de um PRV estático

1º consumidor dinâmico

2º consumidor dinâmico

3º consumidor dinâmico

4º consumidor dinâmico

5º consumidor dinâmico

6º consumidor dinâmico

7º consumidor dinâmico

8º consumidor dinâmico

Resolução do PRVD, considerando os consumidores ainda não atendidos e os 3 novos consumidores dinâmicos

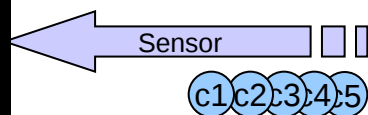
Resolução do PRVD, considerando os consumidores ainda não atendidos e os 2 novos consumidores dinâmicos

Linha do tempo

Ainda na madrugada, o sistema de despacho recebe as requisições estáticas, e processo um algoritmo que resolve o PRV estático.

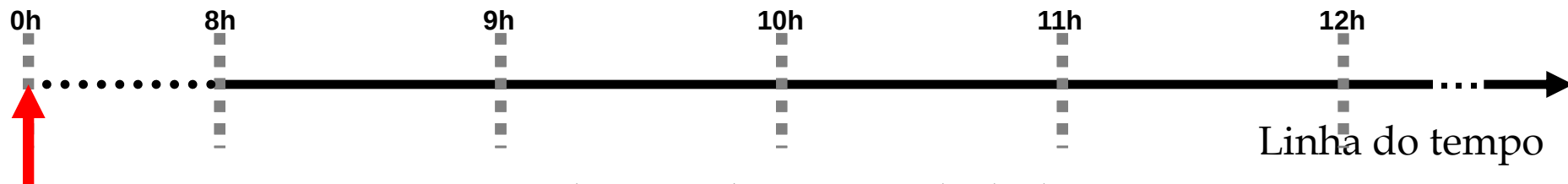
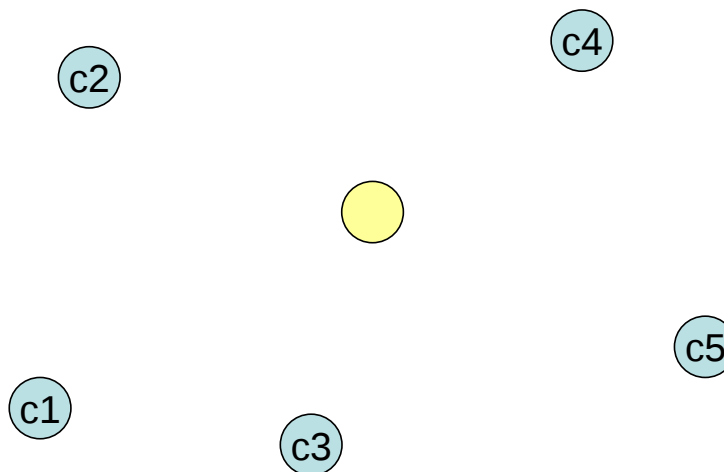
Status: comunicando com o ambiente.

Sistema de Despacho



Clientes conhecidos pelo despacho:

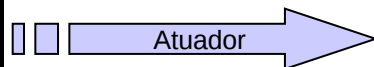
- C1, C2, C3, C4, C5



O sistema de despacho informa as rotas programadas para a frota veicular

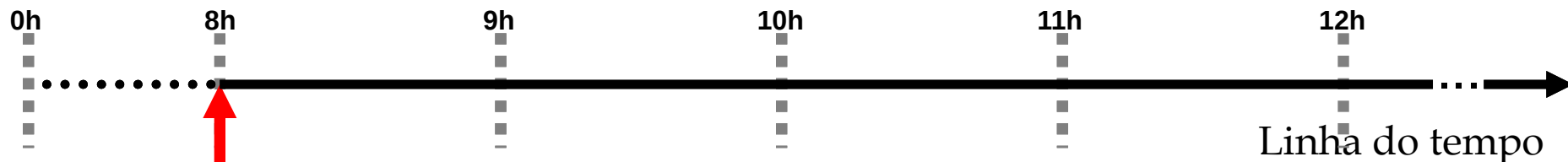
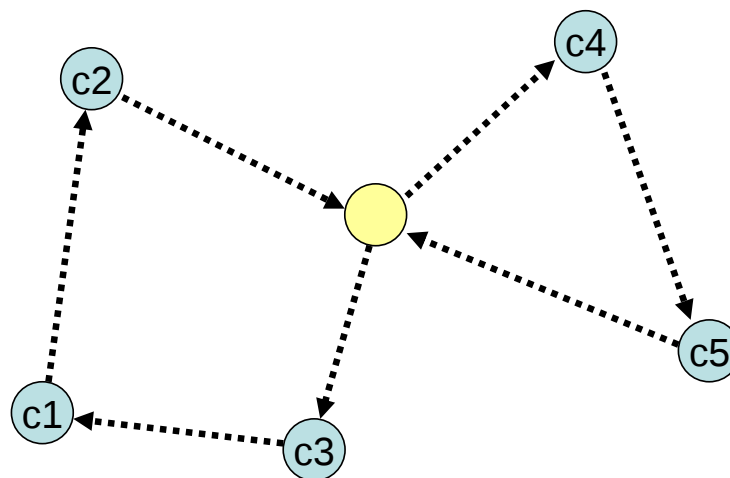
Status: aguardando
saída dos veículos

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5



Com os veículos já em movimento, requisições dinâmicas surgem no ambiente

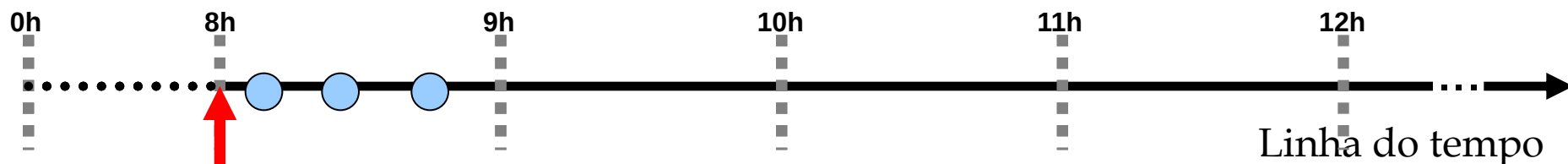
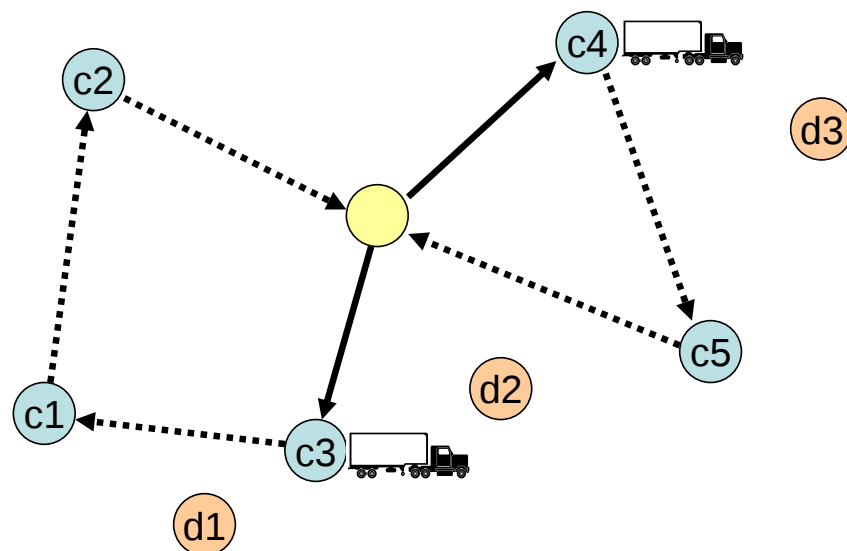
Status: aguardando

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5



Em um instante de tempo pré-programado, o despacho é informado das novas requisições, e então começa a processar um algoritmo que resolve o PRVD.

Status: resolvendo PRVD

Sistema de Despacho

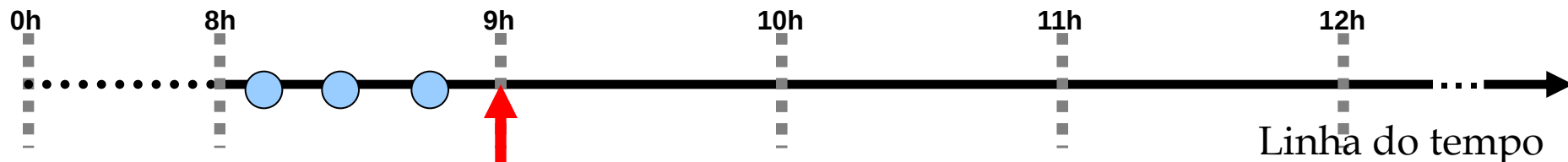
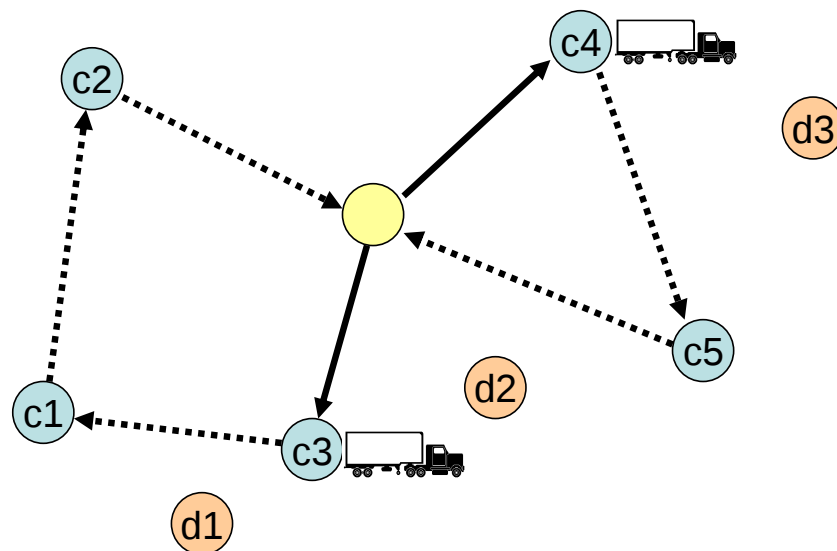


Sensor

d1 d2 d3

Clientes conhecidos pelo despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5
- D1, D2, D3

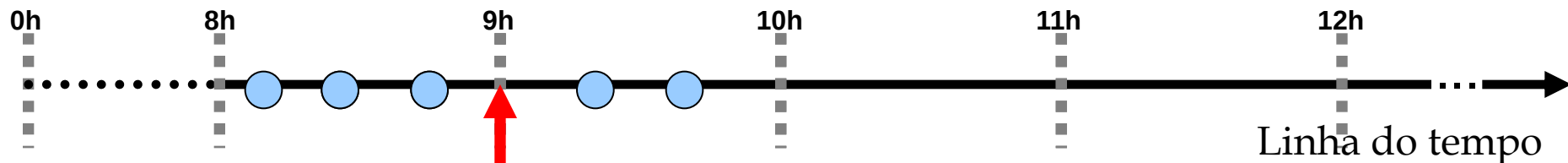
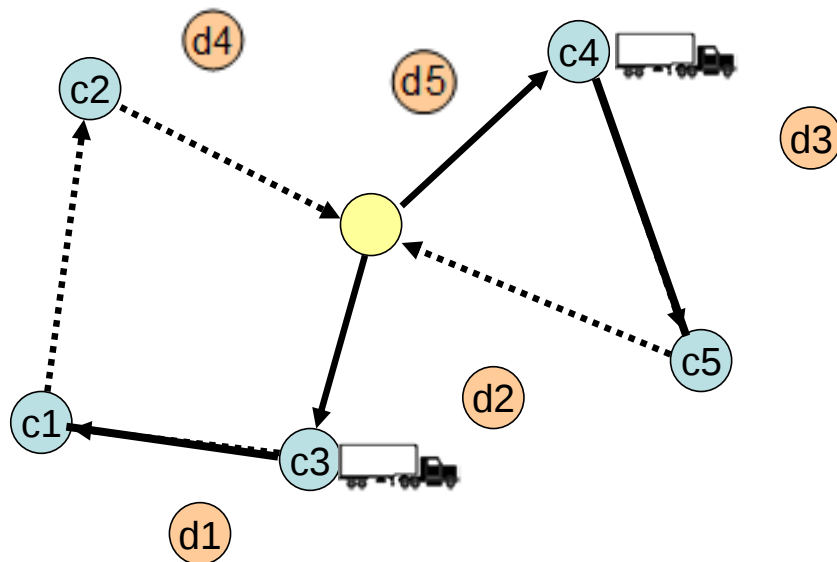


Mesmo enquanto o despacho processa o PRVD, novas requisições surgem ao longo do dia.



Clientes conhecidos pelo despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5
- D1, D2, D3



Em um instante de tempo pré-programado, o despacho informa a solução para a frota que contempla os 3 primeiros consumidores dinâmicos.

Status: aguardando

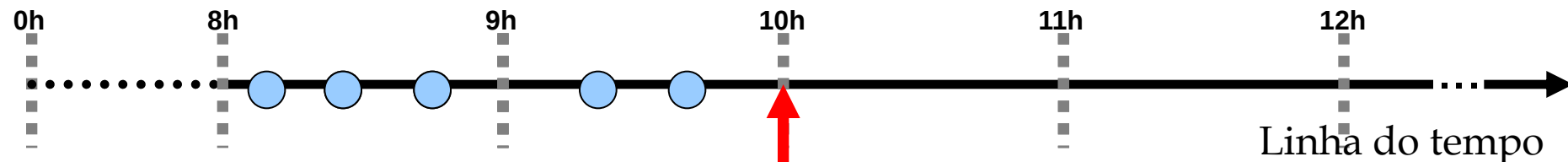
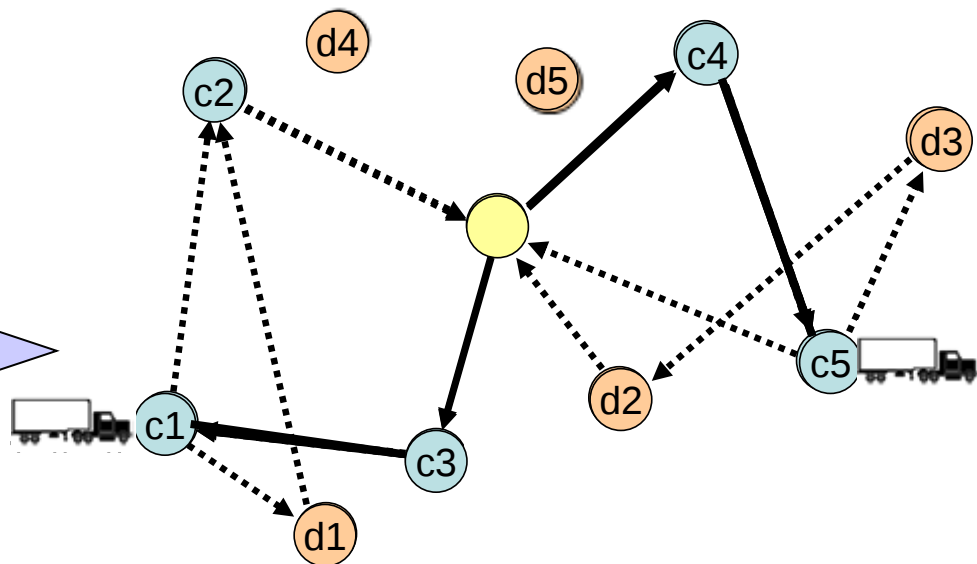
**Sistema de
Despacho**



Atuador

Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5
- D1, D2, D3



Em um instante de tempo pré-programado, o despacho é informado das novas requisições, e então começa a processar um algoritmo que resolve o PRVD.

Status: resolvendo PRVD

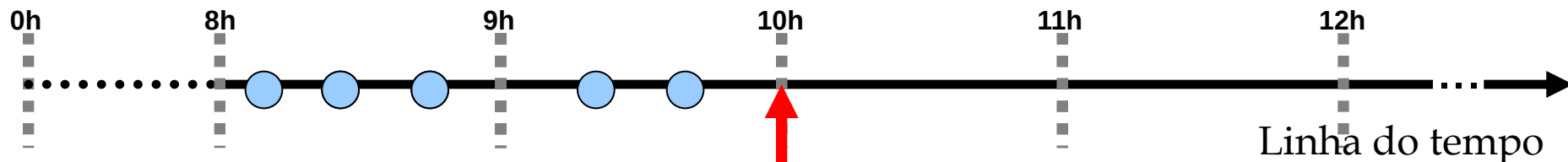
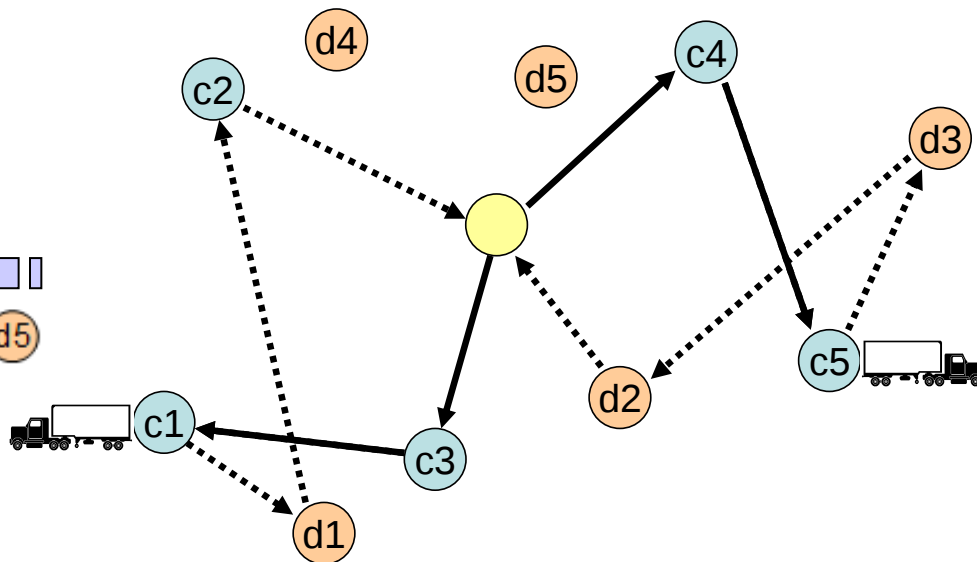
Sistema de Despacho



Sensor

Clientes conhecidos pelo despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5
- D1, D2, D3

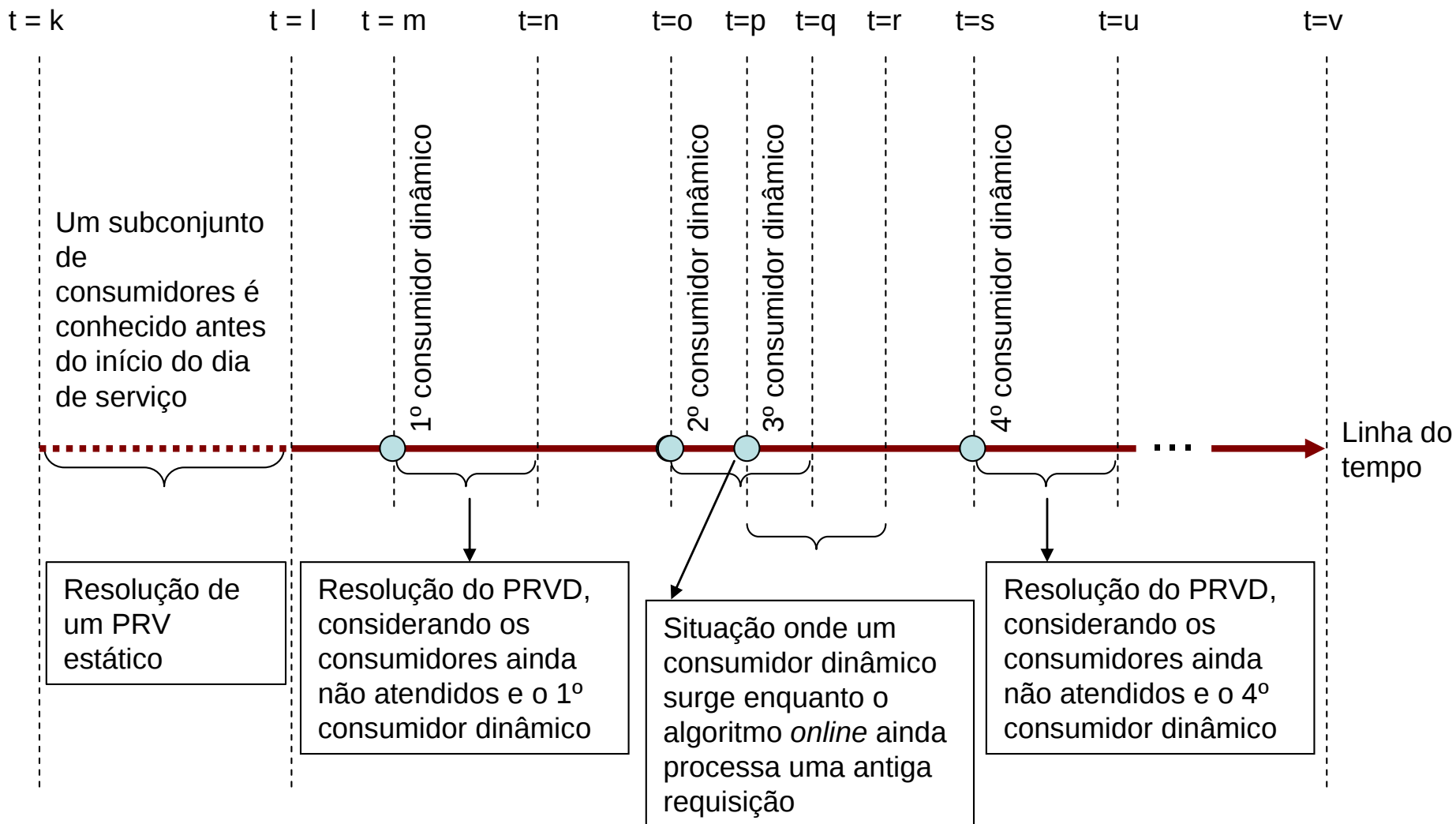


Alocação de Veículos *Online* para o PRVD

Segunda forma apresentada para o tratamento do PRVD

Início do dia de serviço

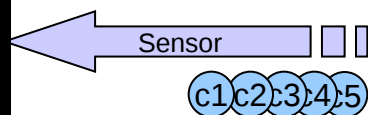
Fim do dia de serviço



Ainda na madrugada, o sistema de despacho recebe as requisições estáticas, e processo um algoritmo que resolve o PRV estático.

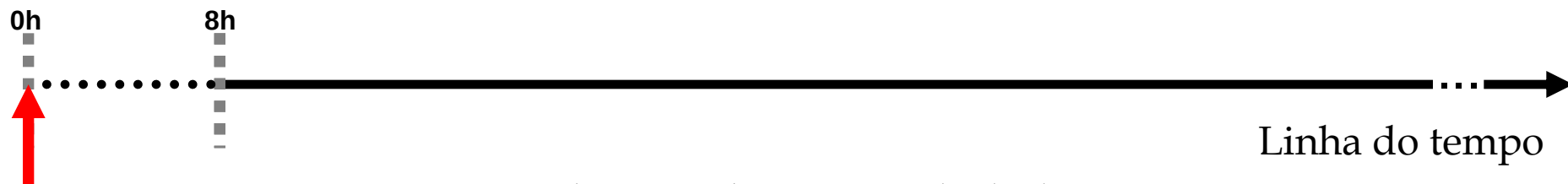
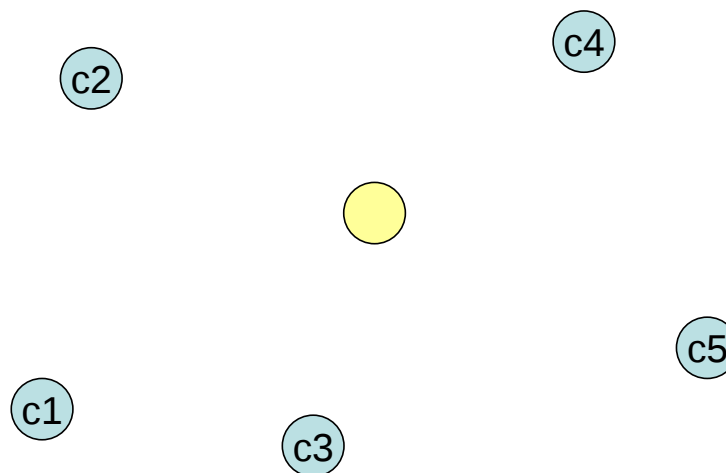
Status: comunicando
com o ambiente.

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

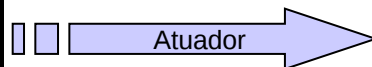
- C1, C2, C3, C4, C5



O sistema de despacho informa as rotas programadas para a frota veicular

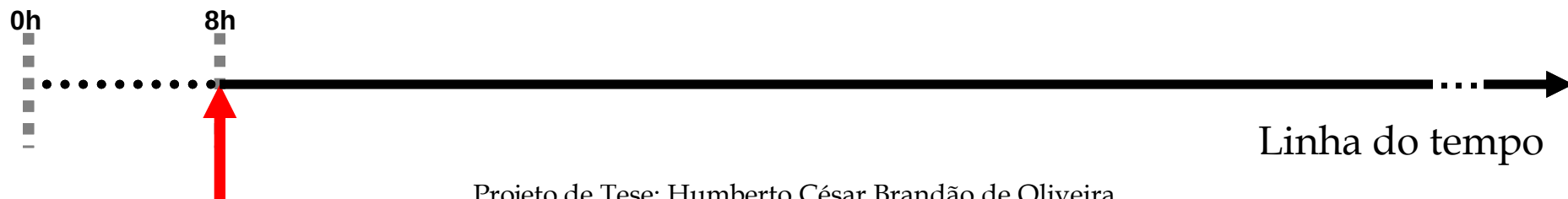
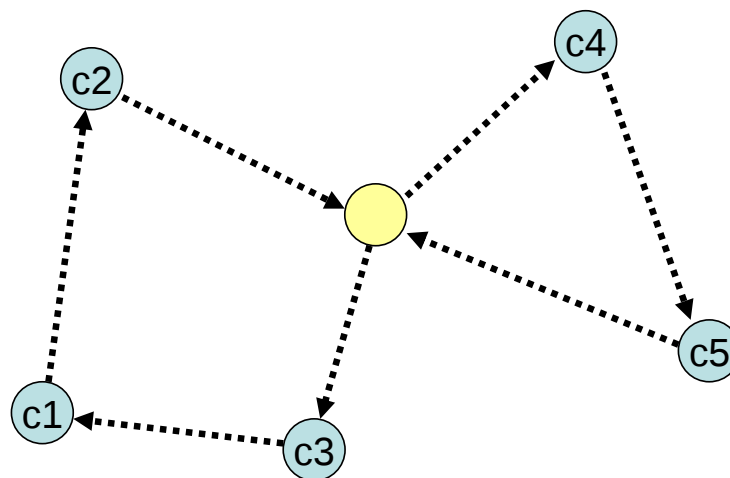
Status: aguardando

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5



Com os veículos já em movimento, requisições dinâmicas surgem no ambiente

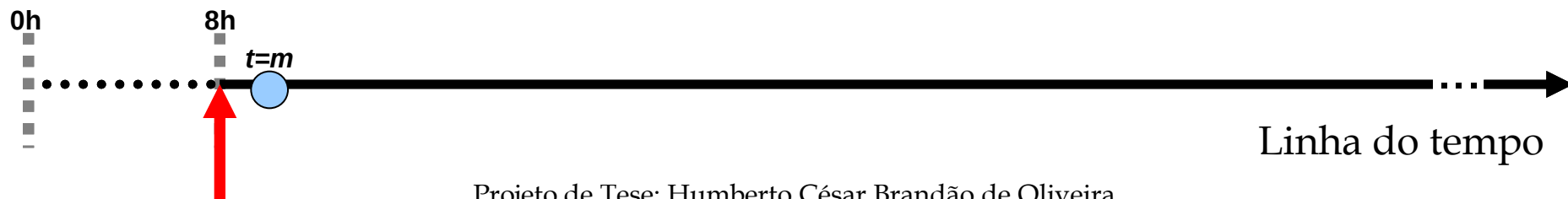
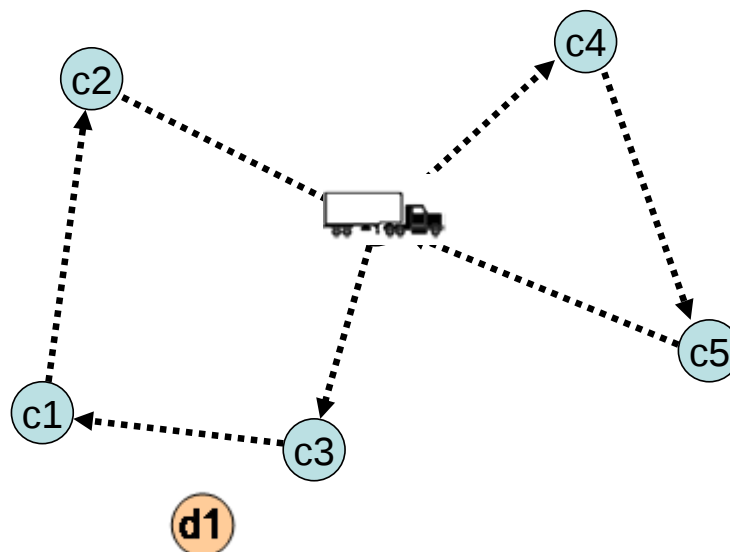
Status: aguardando

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5



Aqui começa a diferença entre os Despachos Periódico e *Online*.

Status: resolvendo
PRVD

**Sistema de
Despacho**

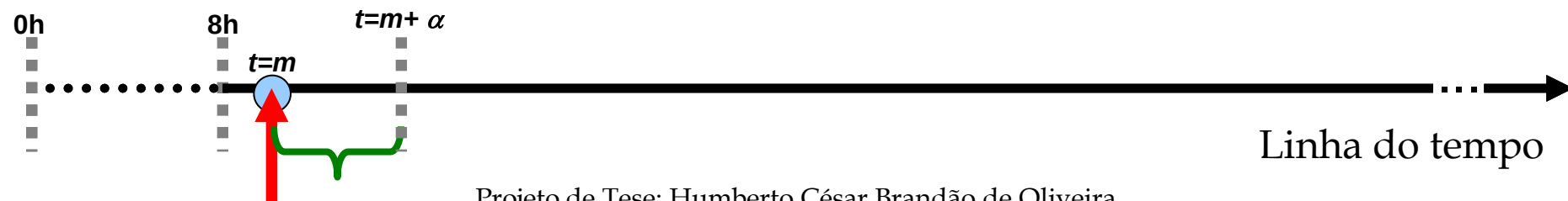
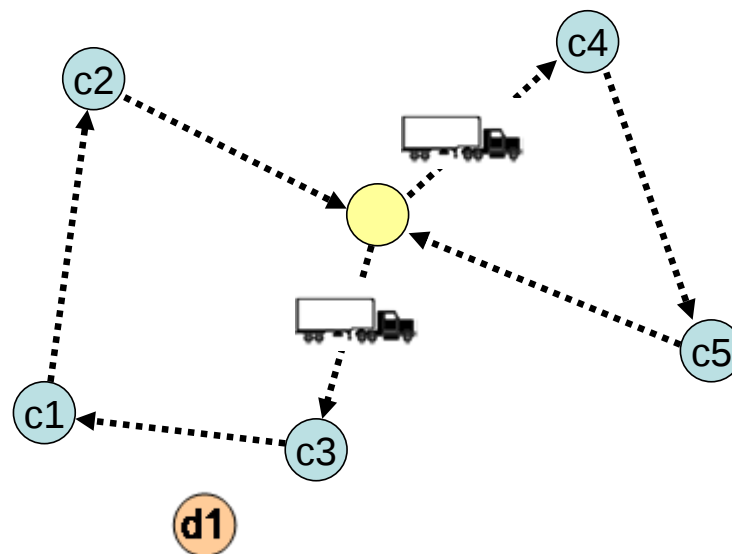


Sensor

d1

Clientes conhecidos pelo
despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5
- D1



O despacho possui um tempo α para responder a primeira requisição dinâmica

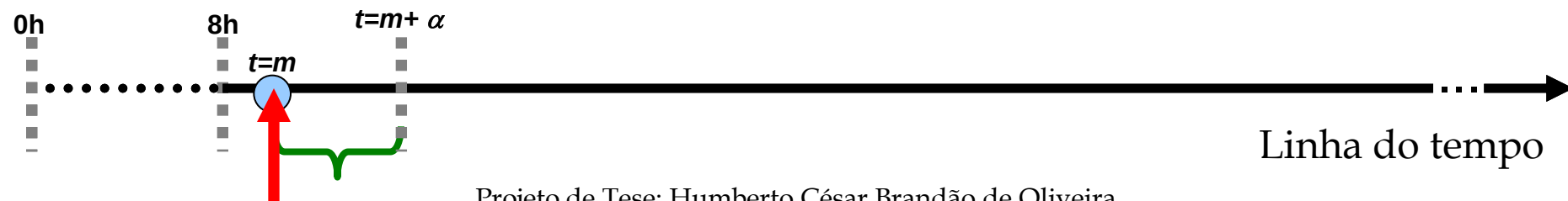
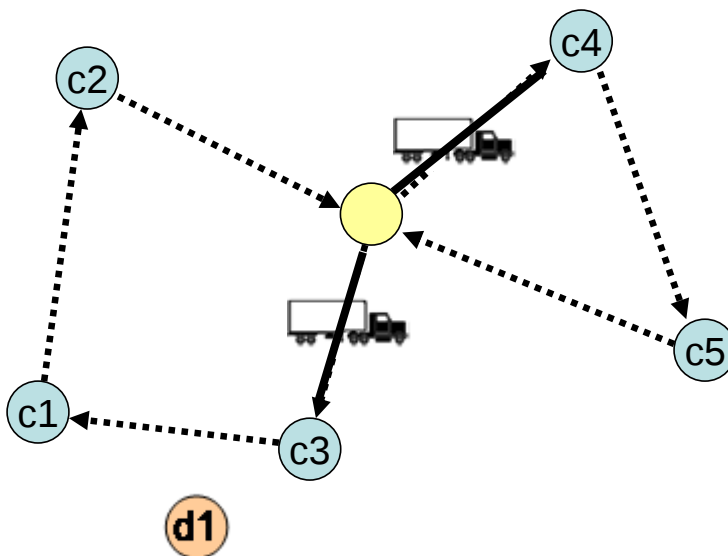
Status: resolvendo
PRVD

**Sistema de
Despacho**



Clientes conhecidos pelo
despacho:

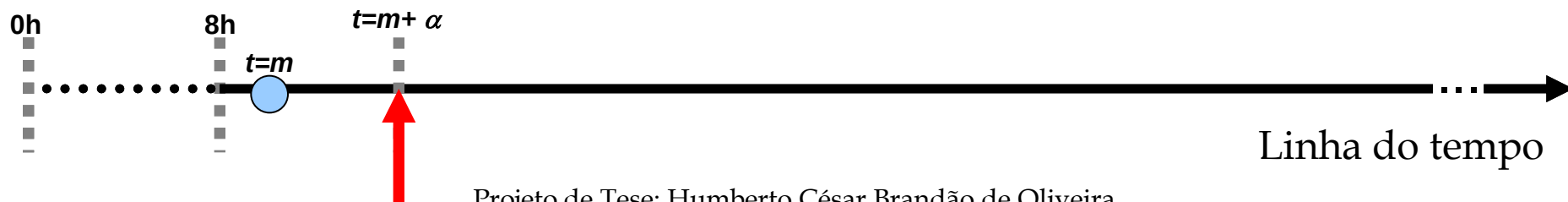
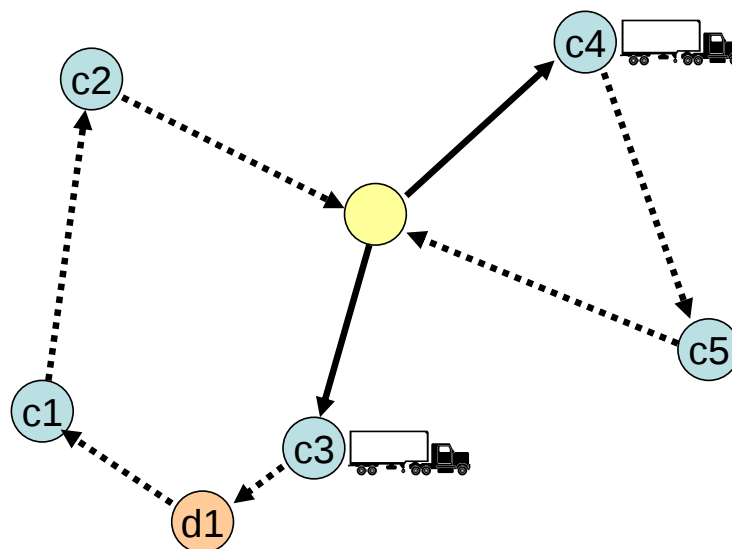
- C1, C2, C3, C4, C5
- D1





Clientes conhecidos pelo despacho:

- C1, C2, C3, C4, C5





- Vantagens do Periódico:

- Comunicação com o ambiente tem hora marcada;
- Alto tempo para processamento das requisições;

- Desvantagens do Periódico:

- Demora na resposta de uma requisição;
 - Pode significar perda com relação aos custos;
 - O cliente aguarda muito tempo para receber informação se será, ou não atendido.

- Vantagens do *Online*:

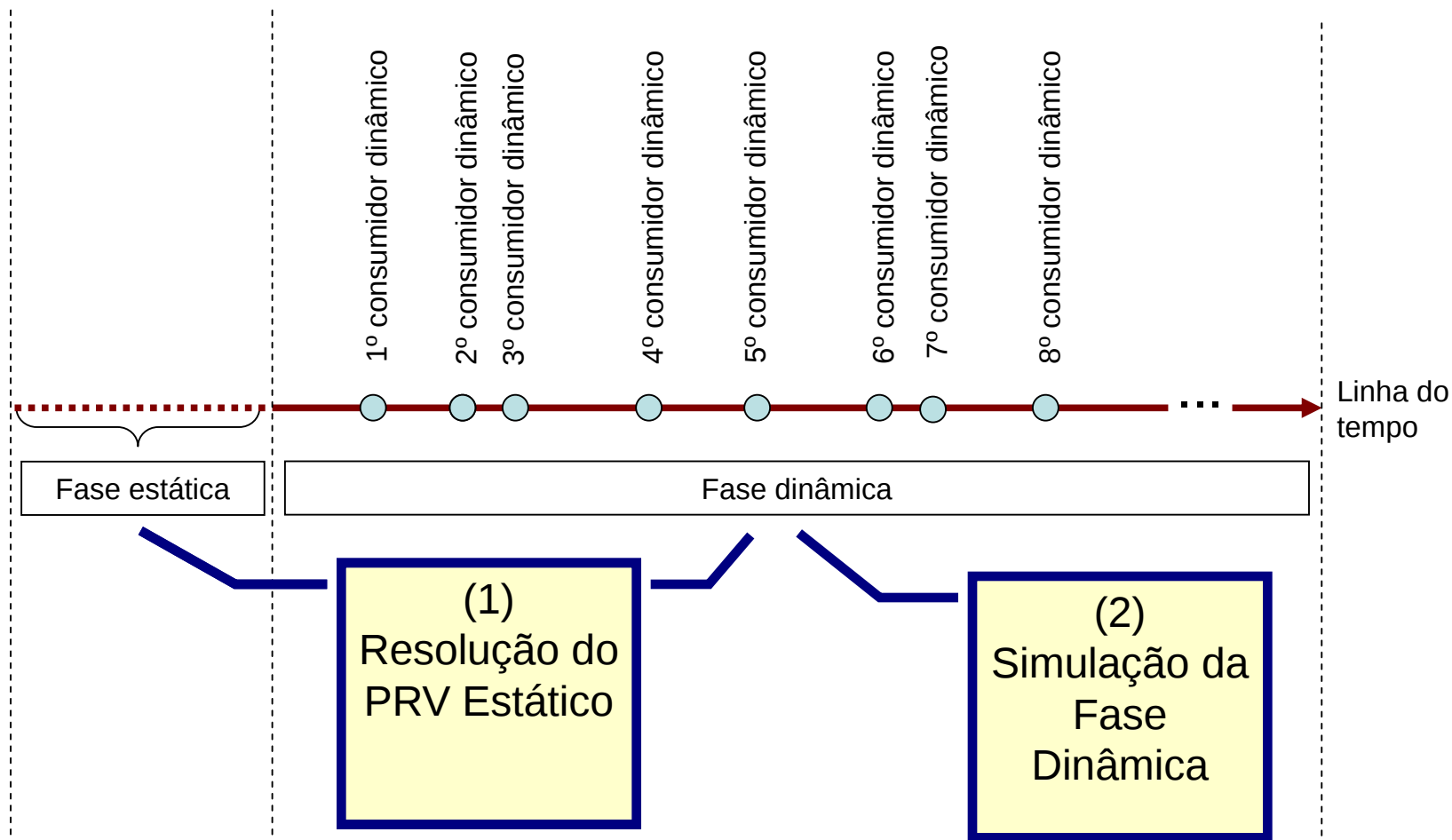
- Pode responder em um curto espaço de tempo, devido ao baixo tempo para processamento das requisições;
- O ganho de tempo pode significar um ganho com relação aos custos.

- Desvantagens do *Online*:

- Baixo tempo para processamento das requisições;
- Maior número de comunicações com o ambiente.

Início do dia de serviço

Fim do dia de serviço



Avanços sobre o PRVD

Algoritmo de despacho para o PRVJT
e adaptável ao PRVD



- PRV com Janela de Tempo (PRVJT)
 - Se resolvemos o problema estático de roteamento em um curto espaço de tempo, podemos adaptar o algoritmo para o problema dinâmico;
 - A reprogramação rápida é requisito básico para os algoritmos *online*;
 - Pode ser também utilizada na versão periódica.



- PRV com Janela de Tempo (PRVJT)
 - Os algoritmos competitivos publicados na literatura para a versão estática do problema gastam mais de 30min para resolvê-lo:
 - Fraga (2007)
 - Alvarenga (2005)
 - Jung e Moon (2002)
 - Riise e Stølevik (1999)
 - Kilby et al. (1998)
 - de Backer e Furmon (1997)

Modelo para PPC

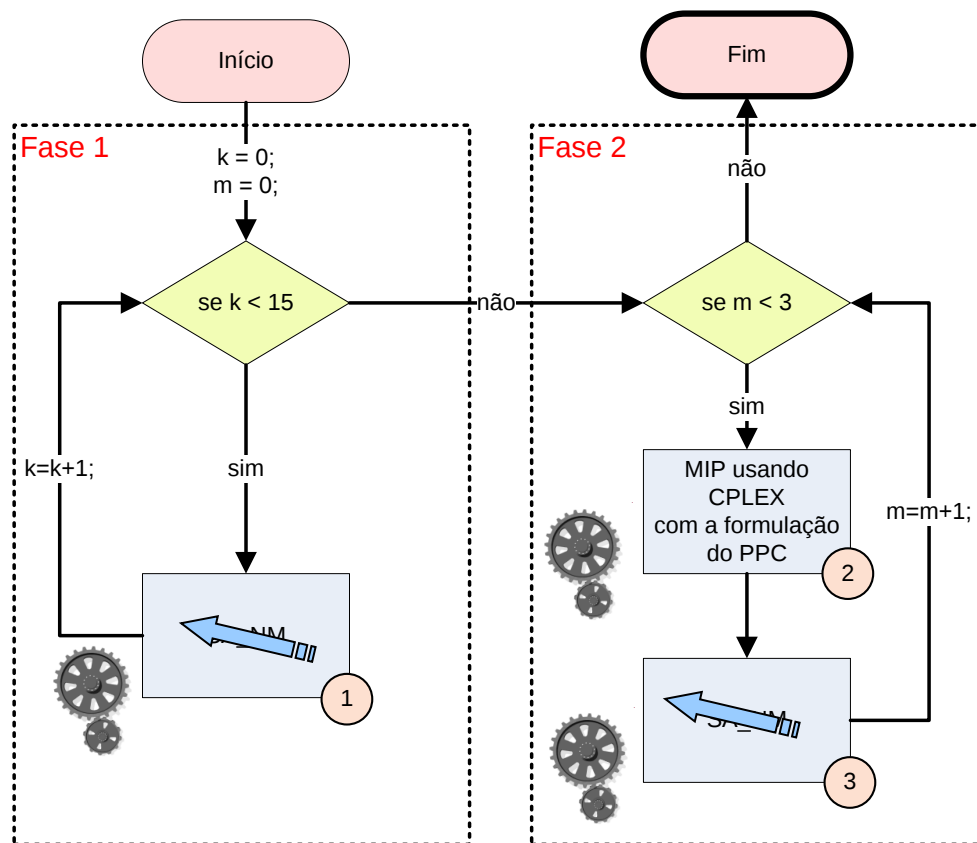
$$\min \sum_{r \in R} c_r x_r \quad \text{sujeito a}$$

$$\sum_{r \in R} \delta_{ir} x_r = 1 \quad \forall i \in C$$

$$x_r \in \{0,1\}$$

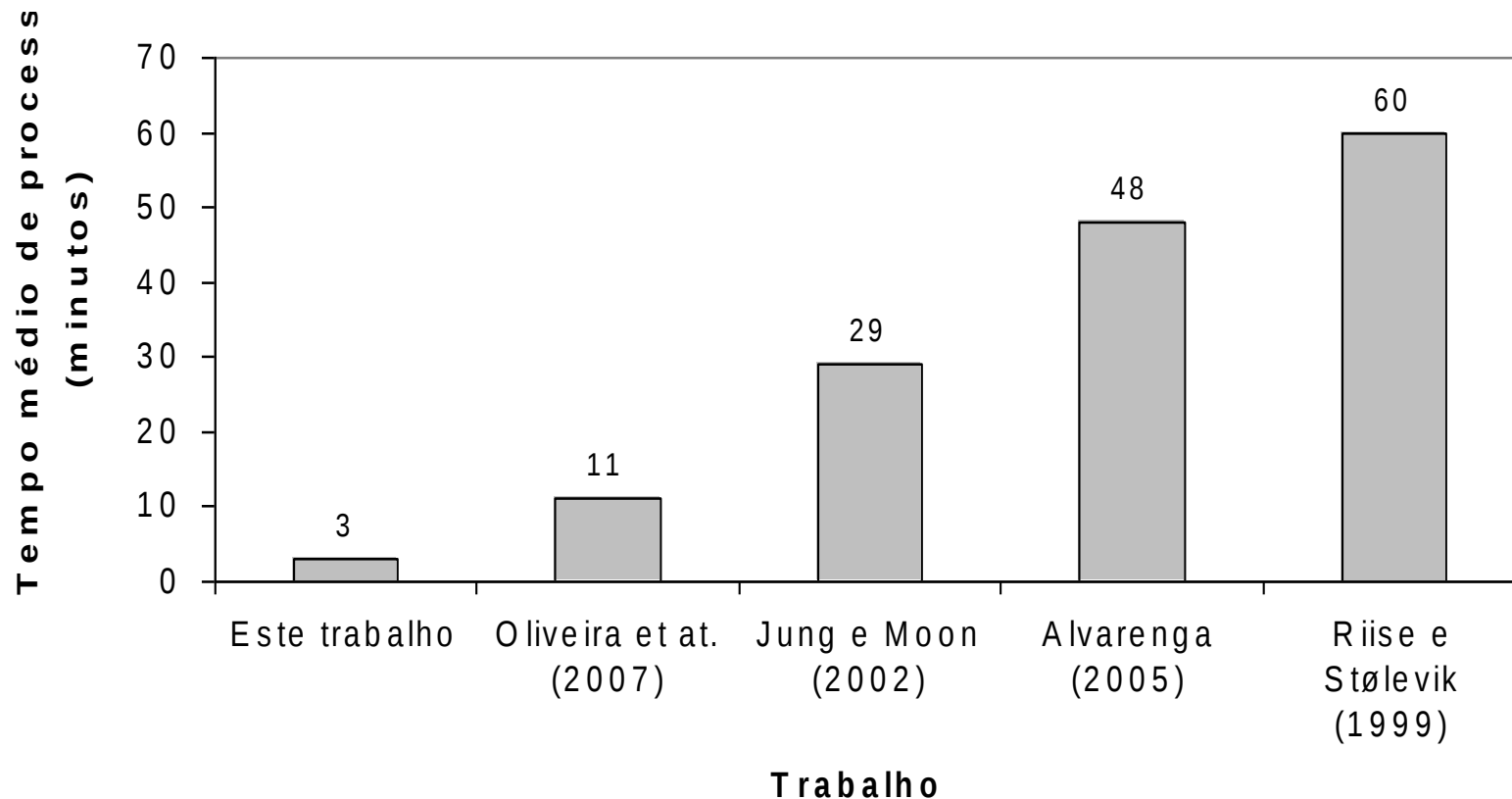


Banco de Colunas



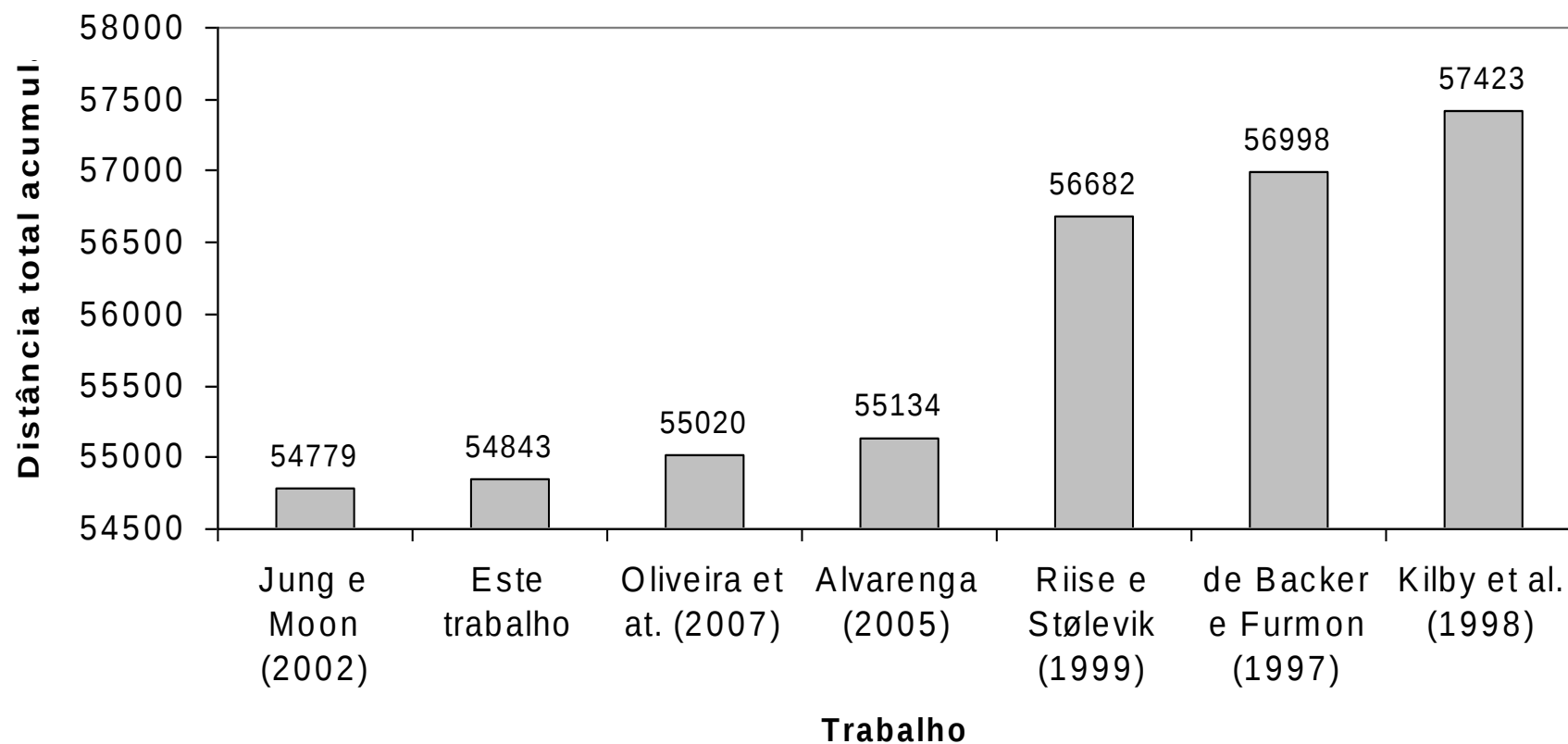
Resultados Preliminares

PRVJT: Minimização da distância total



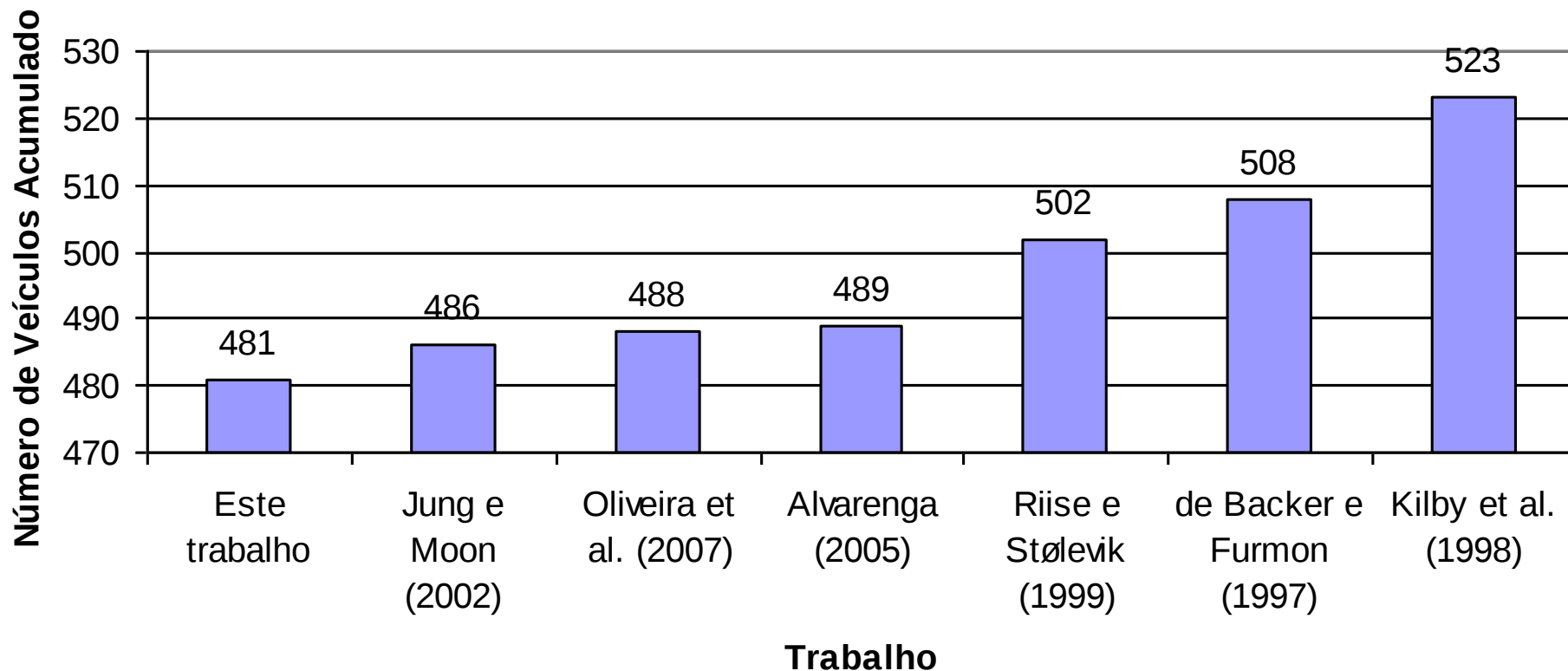
Resultados Preliminares

PRVJT: Minimização da distância total



Resultados Preliminares

PRVJT: Minimização da distância total



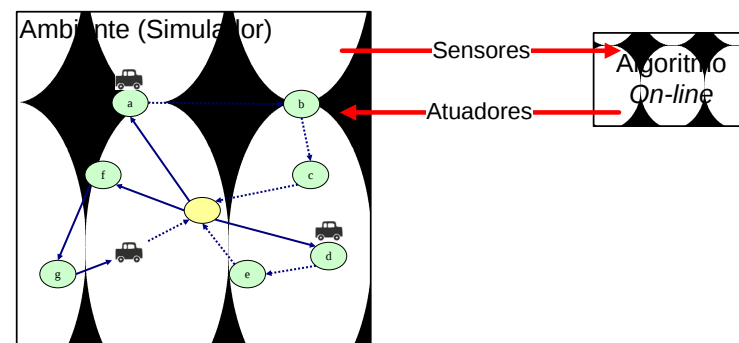


- Resultados sobre o PRVJT
 - Modelo Híbrido:
Simulated Annealing + Resolução do PPC
 - Mesmo considerando um rápido despacho para uma futura adaptação ao PRVD *Online* e Periódico:
 - 32 instâncias iguais para a melhor solução já encontrada (de um total de 56);
 - 2 novos limites primais.

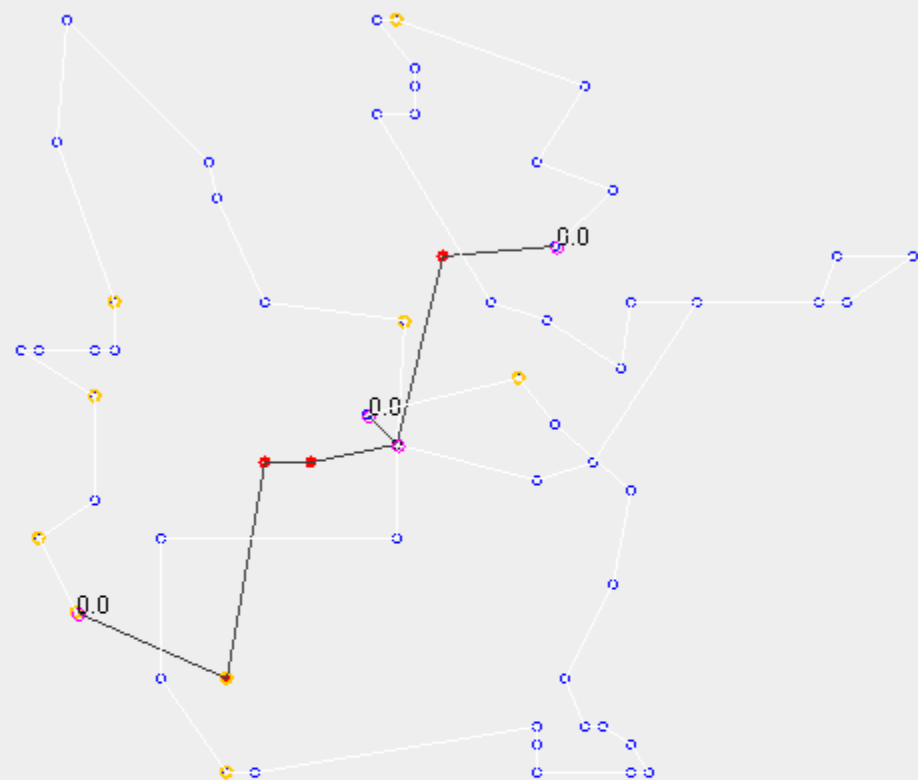
Avanços sobre o PRVD

Simulação da fase dinâmica

- No início desta pesquisa, identificamos a **necessidade de implementar um simulador** que fornecesse realidade para Problema Dinâmico.
- A **simulação** convencionalmente aplicada (**evento-discreta**), **ignora o principal fator** do PRVD (**o tempo**);
- Outra necessidade era a **total separação do Algoritmo com o ambiente simulado**, aumentando assim a confiança nos resultados da tese (**maior realidade ao processo de simulação**).



Simulated Environment



Sucess Visited Consumers

4

Failure Visited Consumers

0

Load Constraint Erros

0

Time Constraint Erros

0

Revisited Consumers

0

Total Distance

633.58

Available Consumers

59

Vehicles in Use

3

Finished Trips

0

Simulation

Experiment

Results

Graphics

Parameters

Instance

RC208

Initial Demand Seconds

5

Simulation Cycle Milliseconds

500

Algorithm

☒ Simulated Annealing☐ Memetic Algorithm☐ GRASP☐ Hill Climbing

Algorithm Details

Start Simulation

Travel Time

☐ Stochastic☒ Deterministic

Standard deviation

20

Vehicular Waiting Time Heuristic

☒ Without Vehicular Waiting Time☐ With Vehicular Waiting Time

Graphics

☐ Create Evolution Graphic

-zoom

+ zoom

Progress Bar

Phase 1: Static PRV (seconds)

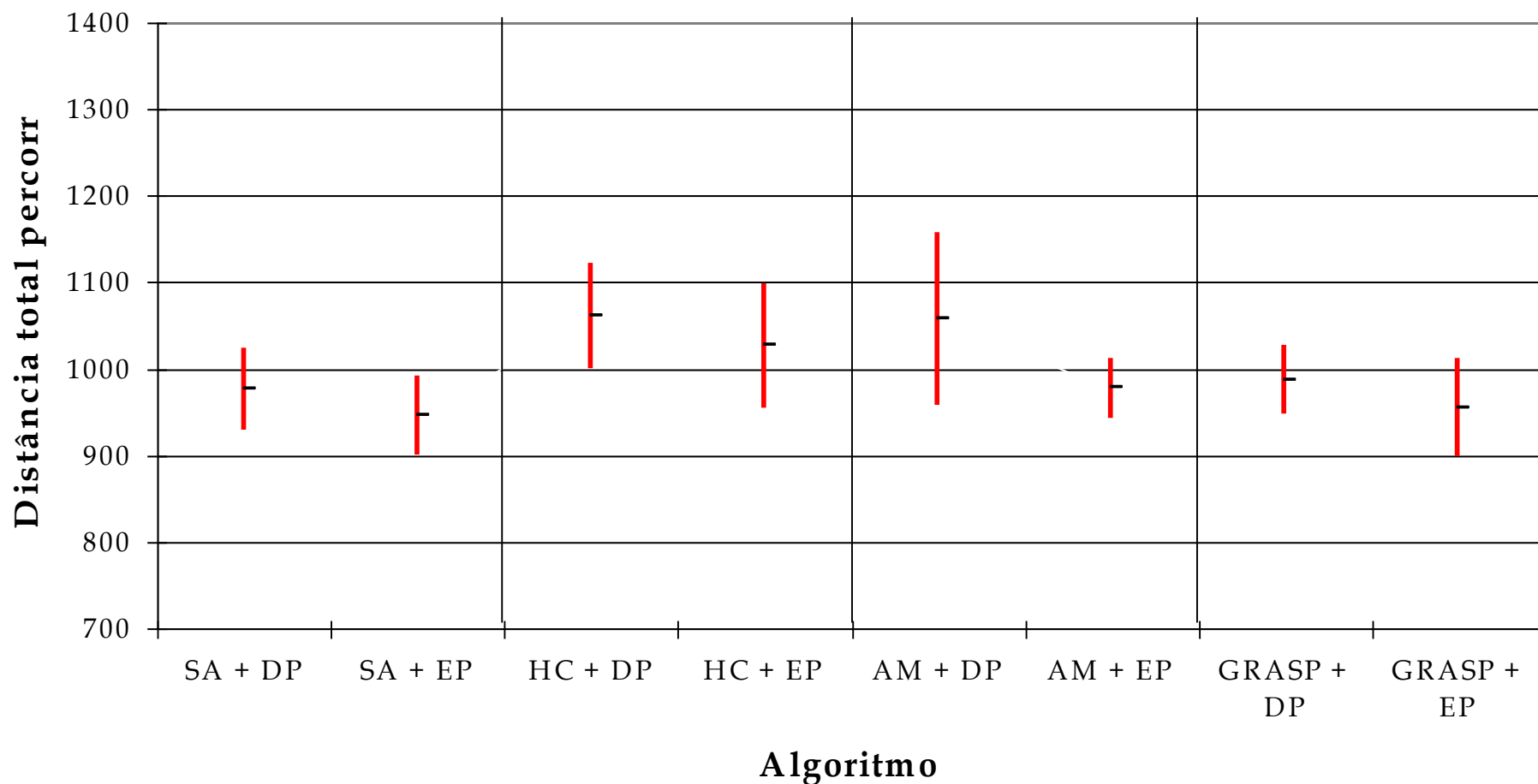
5 de 5

Phase 2: Dynamic PRV (cycles)

93 de 960

- Artigo publicado no ACM-SAC'08 na *track* de simulação:
 - *A Vehicular Waiting Time Heuristic for Dynamic Vehicle Routing Problem;*
- Para testar o Simulador implementado, foram testadas 4 heurísticas *online* para despacho:
 - *Simulated Annealing;*
 - *Hill Climbing;*
 - Algoritmo Memético;
 - GRASP;
- Todas utilizando, e não utilizando espera veicular.

- Intervalo de Confiança da distância total percorrida pela frota das meta-heurísticas avaliadas sobre o simulador





- O Simulador ainda não passou por uma validação formal;
- Um dos objetivos desta tese é validar formalmente o simulador através da Lei de Little;

O Projeto de Tese

Entendendo o projeto de tese apresentado ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência da Computação
(DCC-UFMG)



- **H1:** A Geração de Colunas *Online* é estatisticamente mais eficaz e eficiente com relação à distância total percorrida e com relação à quantidade de veículos utilizados no atendimento de consumidores se comparado à Geração de Colunas Periódica para o Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico.

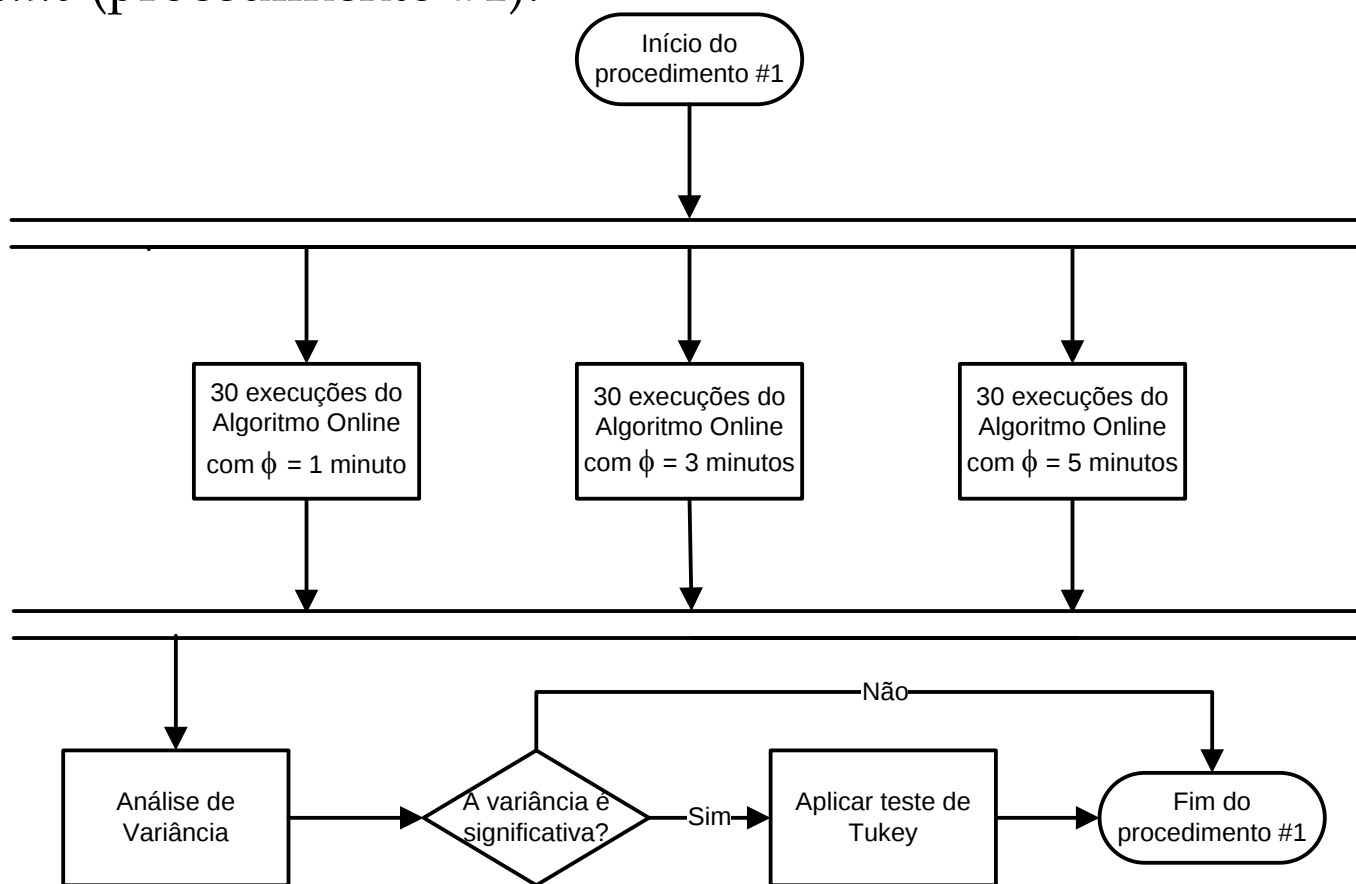


- Base de testes (instâncias):
 - Estendidas a partir das instâncias clássicas de Solomon (1987);
 - Novas características:
 - Tempo de surgimento dos consumidores dinâmicos;
 - Níveis de dinamismo:
 - 25% dos consumidores dinâmicos;
 - 50% dos consumidores dinâmicos;
 - 75% dos consumidores dinâmicos;

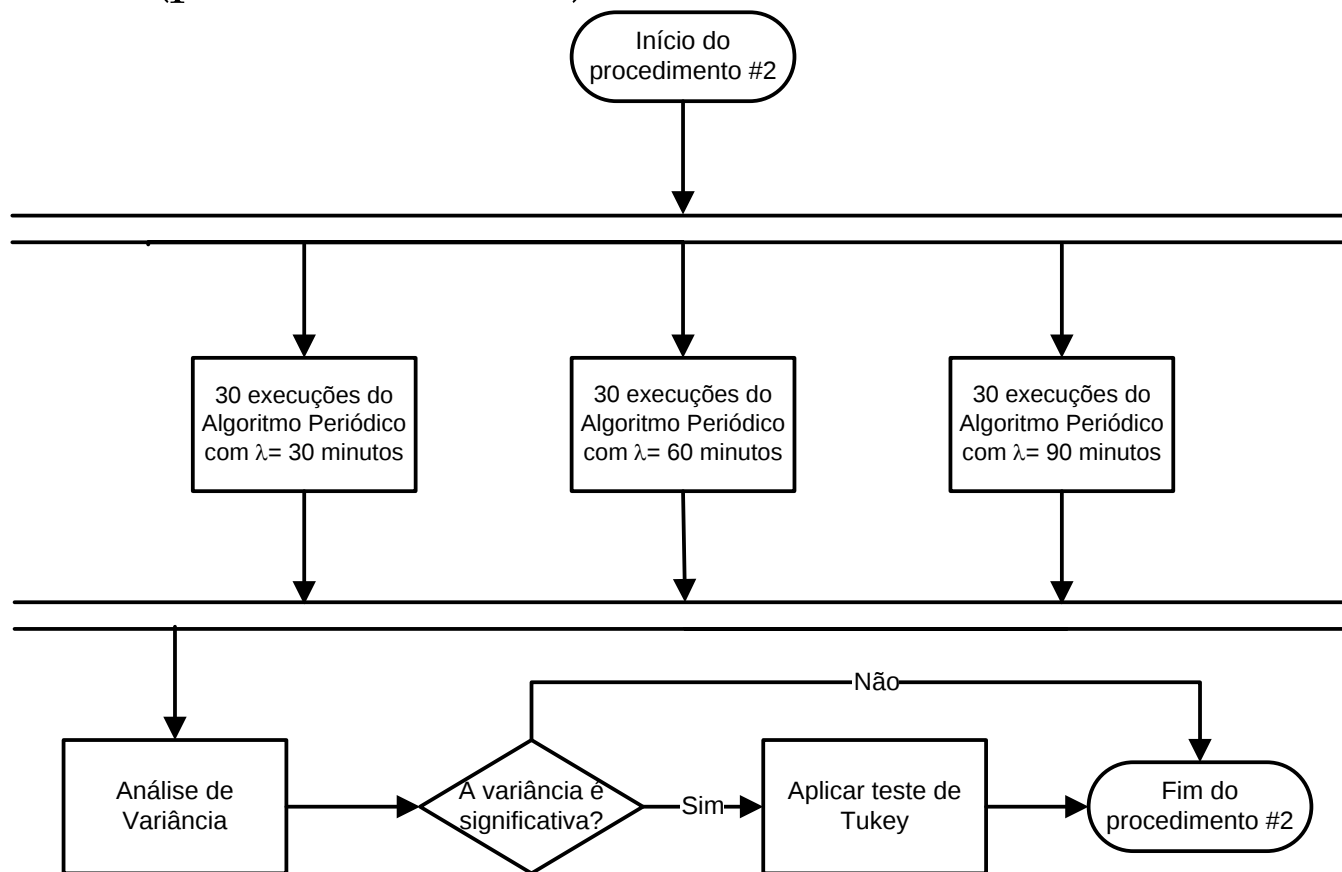


- Base para o experimento:
 - Simulador
- Tratamentos:
 - Despacho Periódico com Geração de Colunas
 - Despacho *Online* com Geração de Colunas
- Variáveis resposta:
 - Distância percorrida pela frota veicular;
 - Quantidade de veículos utilizados para atender a demanda.

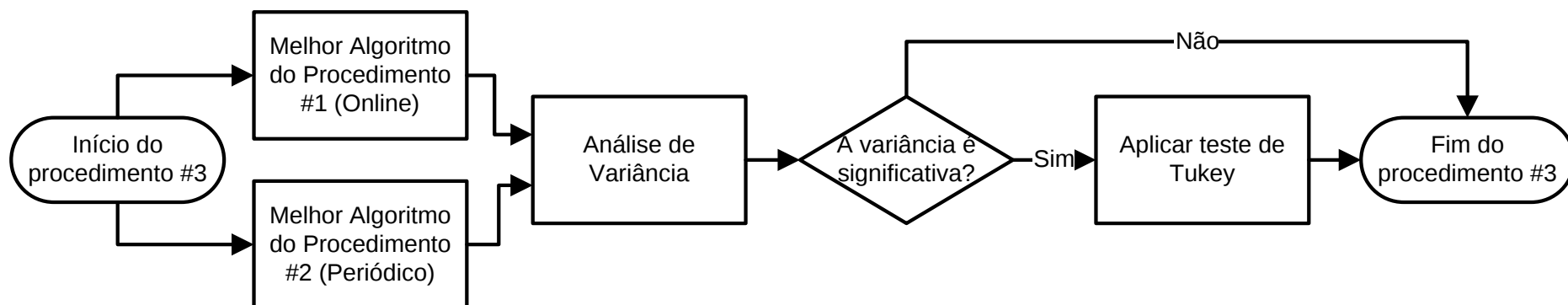
- Selecione uma boa regulagem paramétrica para o algoritmo *online* (procedimento #1):



- Selecione uma boa regulagem paramétrica para o algoritmo periódico (procedimento #2):



- Procedimento Experimental para o **Comparar o Algoritmo Online e o Algoritmo Periódico**:



- Aplicando este procedimento para todas as instâncias, podemos avaliar estatisticamente a veracidade da hipótese H1.

Contribuições da Tese

- PRV estático:
 - Algoritmo rápido e adaptável ao PRVD;
 - Novos limites primais para o *benchmark* de Solomon (1987);
- Simulação para o PRV Dinâmico:
 - Simulação Contínua para o PRVD;
 - Espera-se a validação formal do simulador;
- Avaliação da hipótese H1 (*online vs periódico*):
 - Sistema Híbrido que mescla estruturas exatas com heurísticas;
 - Espera-se mostrar que o despacho *online* é estatisticamente mais eficaz e eficiente, se comparado ao despacho periódico.

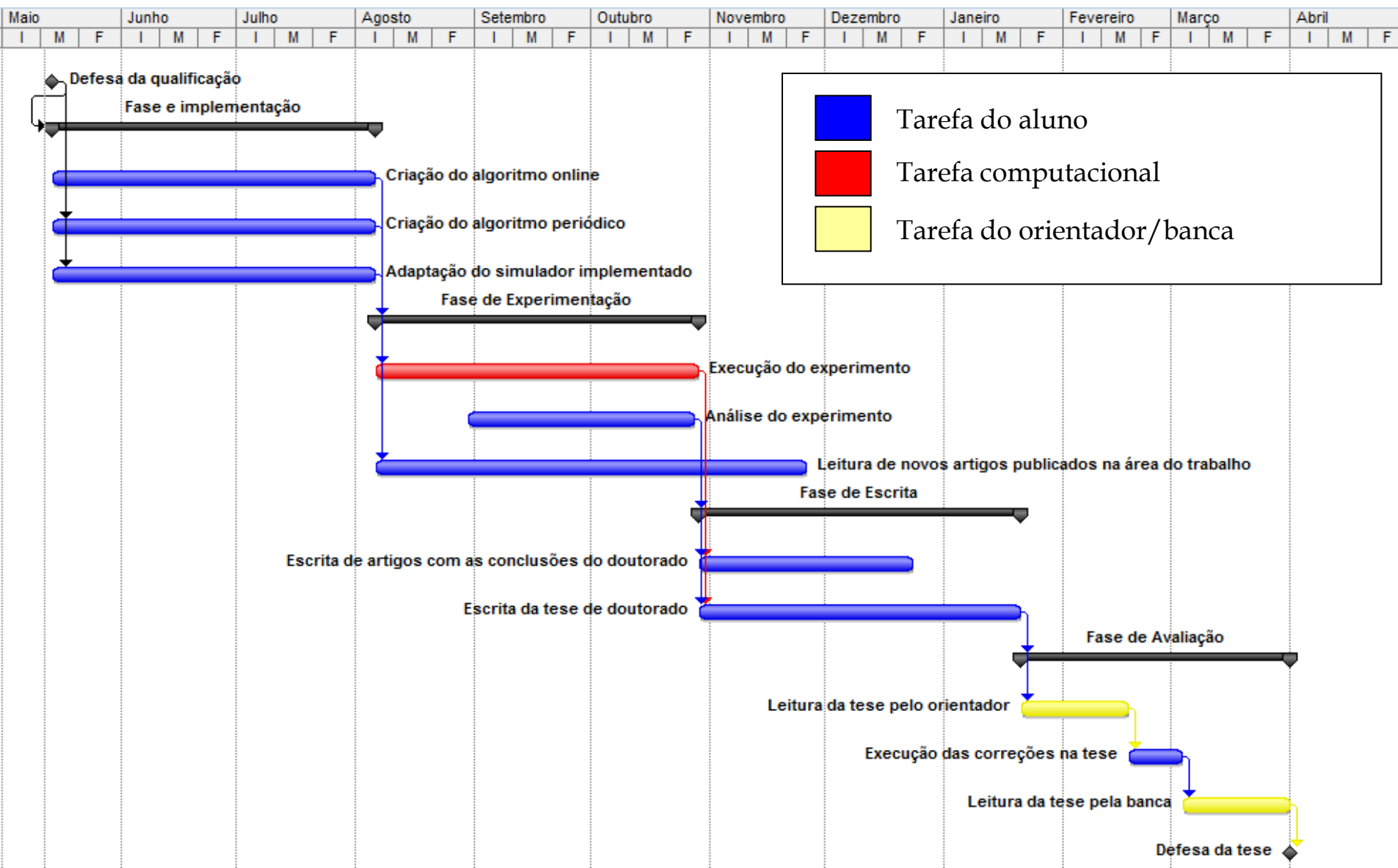
- **Produção Bibliográfica:**

- ACM Symposium on Applied Computing 2008 - Special Track on Advances in Computer Simulation:
 - *A Vehicular Waiting Time Heuristic for Dynamic Vehicle Routing Problem.*
- XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2008
 - Um Algoritmo Híbrido Baseado na Geração de Colunas para o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo.
 - Avaliação da Heurística de Espera Veicular Aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico: Uma Análise Estatística.

- Produção Bibliográfica esperada:
 - Publicação dos resultados da meta-heurística GRASP para o PRVJT;
 - Novos limites primais já encontrados ainda não publicados;
 - Publicação dos resultados da avaliação da hipótese H1;
 - Publicação da validação formal do simulador;

Cronograma

Cronograma do Projeto



- Considerações Finais:

- Este projeto chama atenção para a forma como o problema dinâmico deve ser tratado, separando em duas classes principais e algoritmos:
 - Periódicos (divide o dia em épocas/ períodos);
 - *Online* (tratamento das requisições em tempo real);
- Esperamos mostrar que o tratamento *online* é estatisticamente mais eficaz e eficiente que o tratamento periódico;
- Esperamos com isso, direcionar as futuras pesquisas sobre o PRVD.

- Solomon, M.M. *Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints*. Oper. Res., INFORMS, 1987, Vol. 35(2), pp. 254-265
- Pureza, V.M.M. & Laport, G. *Estratégias de Programação de Veículos e Pedidos para Problemas Dinâmicos de Coleta e Entrega com Janelas de Tempo*. XL SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2008
- Bent, R.W. & Hentenryck, P.V. *Scenario-Based Planning for Partially Dynamic Vehicle Routing with Stochastic Customers*. Oper. Res., INFORMS, 2004, Vol. 52(6), pp. 977-987
- Chen, Z.-L. & Xu, H. *Dynamic Column Generation for Dynamic Vehicle Routing with Time Windows*. Transportation Science, INFORMS, 2006, Vol. 40(1), pp. 74-88
- Hvattum, L. M.; Løkketangen, A. & Laporte, G. A branch-and-regret heuristic for stochastic and dynamic vehicle routing problems. *Networks*, 2007, 49, 330-340



Fraga, M.C.P. *Uma Metodologia Híbrida: Colônia de Formigas – Busca Tabu – Reconexão por Caminhos para Resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo*. Dissertação de Mestrado. CEFET-MG, 2007

Geração de Colunas *Online* para o Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico

Qualificação de Doutorado

Aluno: Humberto César Brandão de Oliveira

Orientador: Geraldo Robson Mateus

