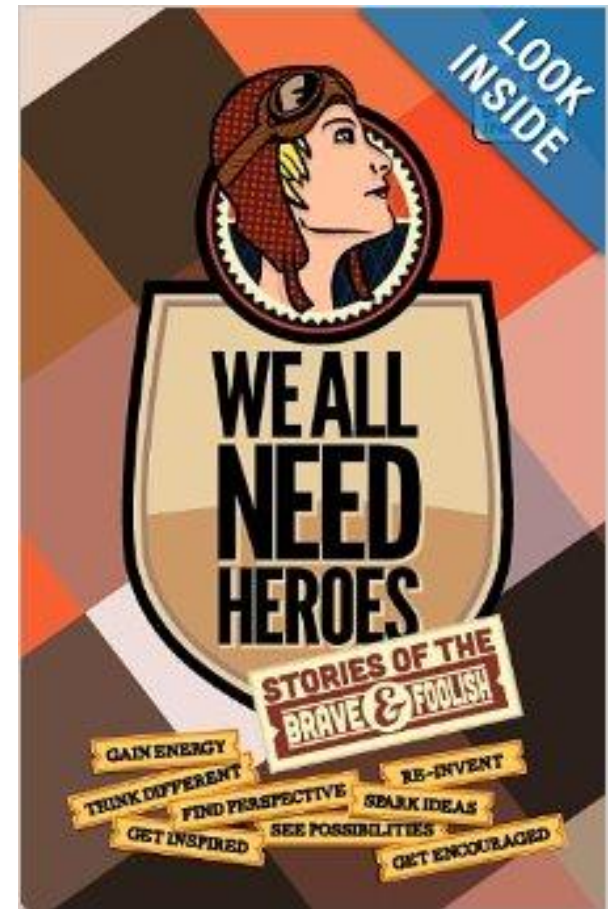


Heróis ou Estúpidos?

Geraldo Robson Mateus

Depto. C. Computação UFMG



Entender – Solucionar – Aplicar É Desafio ou Missão?

Terra, Flores, Espinhos
Paths, Trees and Flowers (J.Edmonds)

Brave & Foolish

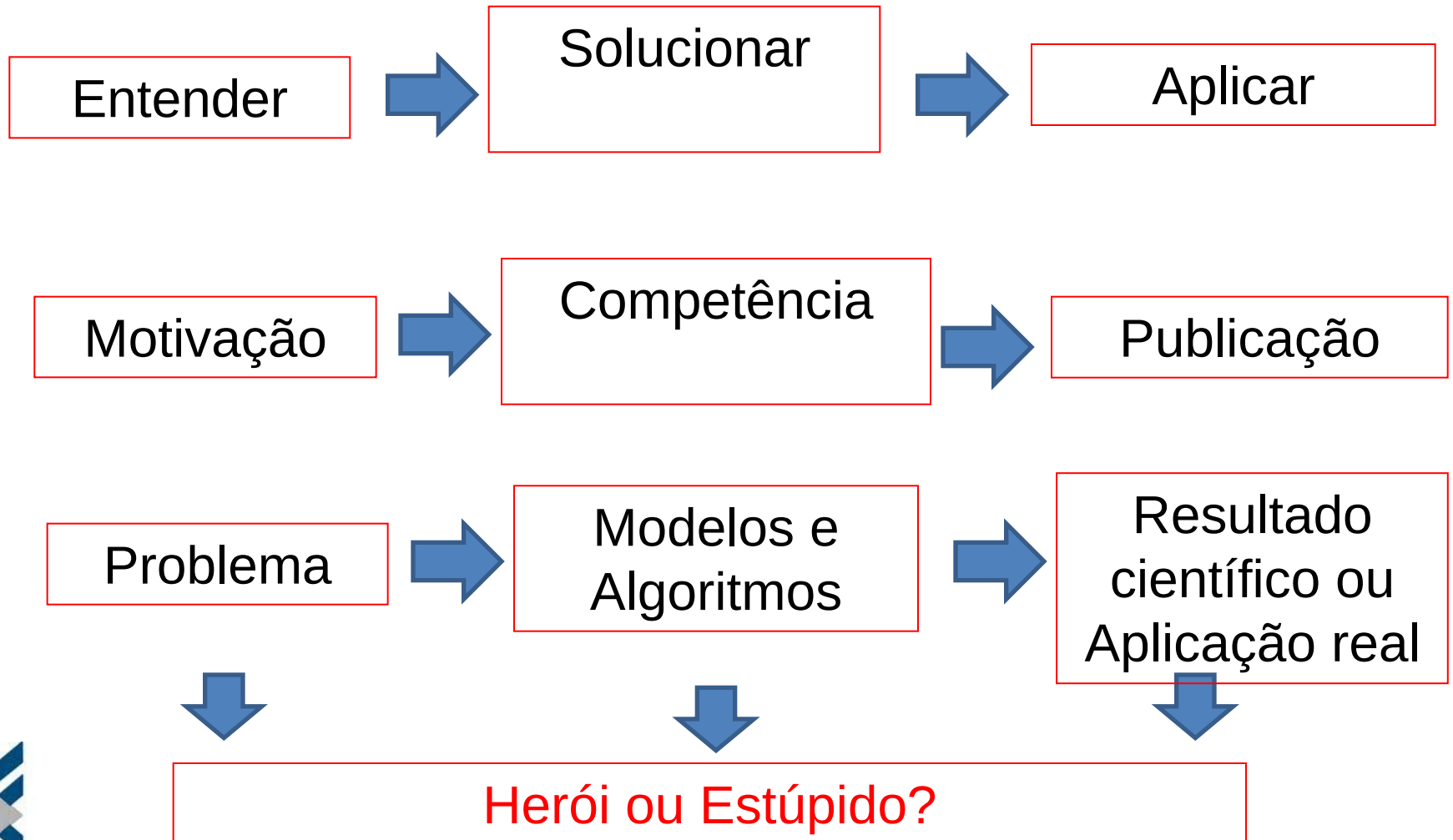
“Every man is a damn fool for at least five minutes every day;
wisdom consists in not exceeding the limit.” (Elbert Hubbard)

Sumário

- Atuação em Pesquisa Operacional
- Supply Chain
- Contexto Ideal
- PRV: capacidade, janela de tempo, coleta e entrega, crossdocking, multi-elos, seletivo,...
- PRV dinâmicos
- Integrados: sequenciamento, carregamento
- Modelos, algoritmos, aplicações
- Conclusões



Pesquisa Operacional



Supply Chain

- O que é? O que é novo? O que mudou?
- Production management (PM): Production and Operations management
- Supply Chain Management (SCM)
 - Oliver and Webber (1982)
 - PM + Logistics
 - Qual é a definição?

SC – Contexto Atual

- Fornecimento – Produção – Distribuição – Recuperação/Reverso
- Supply Network ou SN Management
- = Logística – Materiais+ depósitos + veículos? Ou
- SN = Logística + Mercado + Promoções + Novos produtos + Análise de valores, Definição de preços
- Agregar serviços, ou Fornecedores e Consumidores



Processo Lean + Agile (Leagile)

Eficiência + Capacidade de Resposta



Competitividade + Serviços +
Sustentabilidade



Inovação + Diferencial + Big Data

Inteligência na Tomada de Decisão?

Contexto Ideal

Problema



Modelos e
Algoritmos



Aplicação Real

Demanda
Pl. Produção
Lot sizing
Sequenciamento
Corte
Empacotamento
Distribuição
Roteamento
.....

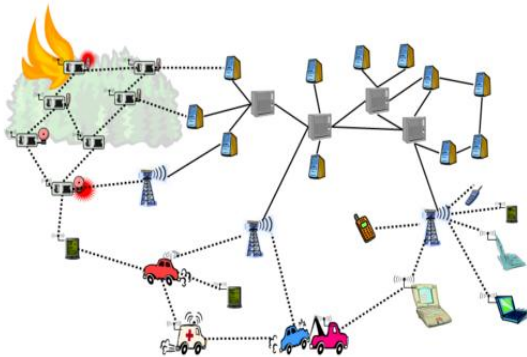
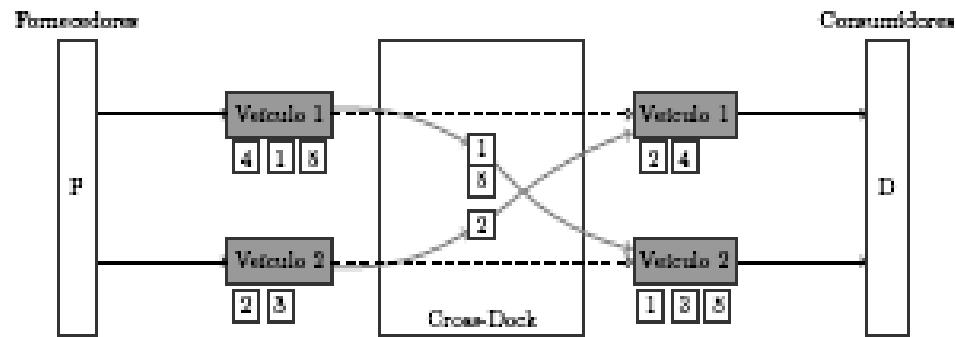
Lineares, Inteiros,
Não Lineares,
Combinatória
Estático, Dinâmico,
Estocástico
Contínuo, Discreto
Alg. Polinomiais, NP
Exato, Aproximativo,
Heurística, Híbrido
.....

Como? Onde?
Petrobrás,
Vale,
Embraer,
Votorantim,
Usiminas,
CST, Alimentos,
Bebidas,
Montadoras
.....



Problema de Roteamento

Definir um conjunto de rotas de mínimo custo para atender um conjunto de nós (clientes) espalhados geograficamente.

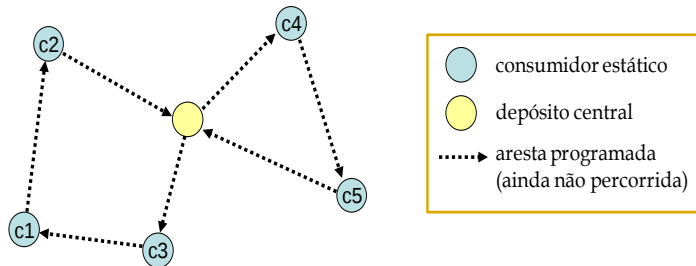
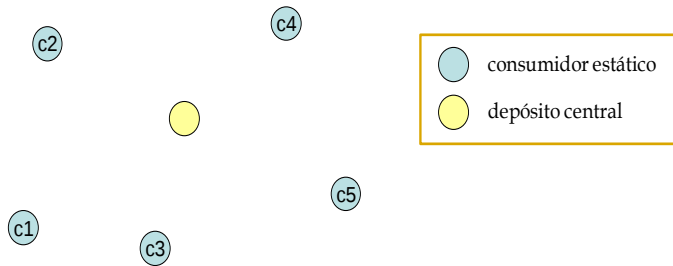


Roteamento

- Custo: financeiro, distância, tempo, número de veículos, salto, qualidade, perda, ...
- Conjunto de um ou mais nós de oferta, demanda, intermediários, ...
- Conjunto de um ou mais produtos
- Multi-atributos: capacidade, janela de tempo,, coleta, entrega, crossdocking, sequenciamento, elos, estático, dinâmico, um ou mais ciclos, sem ciclos, hierarquia, ...



PRVC – Problema de Roteamento de Veículos Capacitado



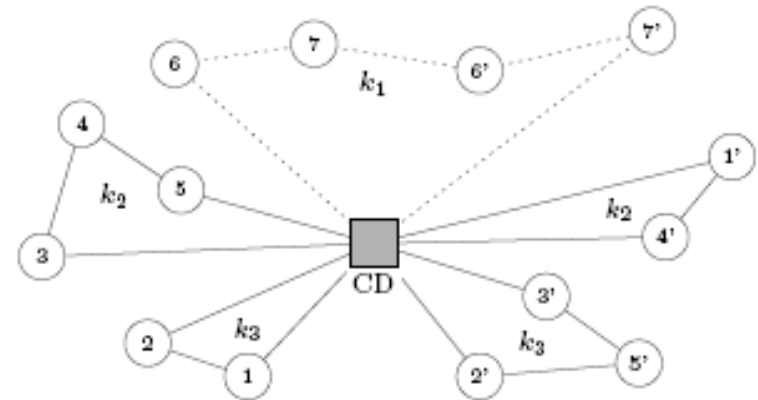
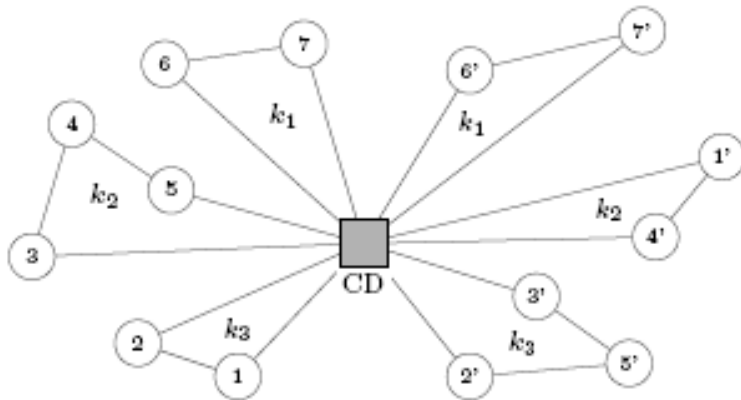
- Caixeiro Viajante - Dado um grafo $G = (N, A)$ com um conjunto $N = \{0, 1, \dots, n\}$ de nós, onde o nó $\{0\}$ é um nó depósito, e um conjunto A de arcos, encontrar uma rota de mínima distância, que parta do nó $\{0\}$, visite todos os nós uma única vez e retorne ao nó depósito.
- PRVC – Dado um conjunto de veículos K com capacidade Q , encontrar um conjunto de rotas mínimas.
- Bin Packing + TSP

PRVJT – PRV com Janelas de Tempo

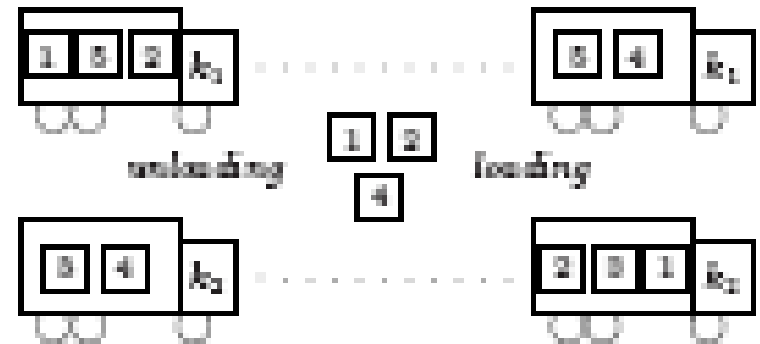
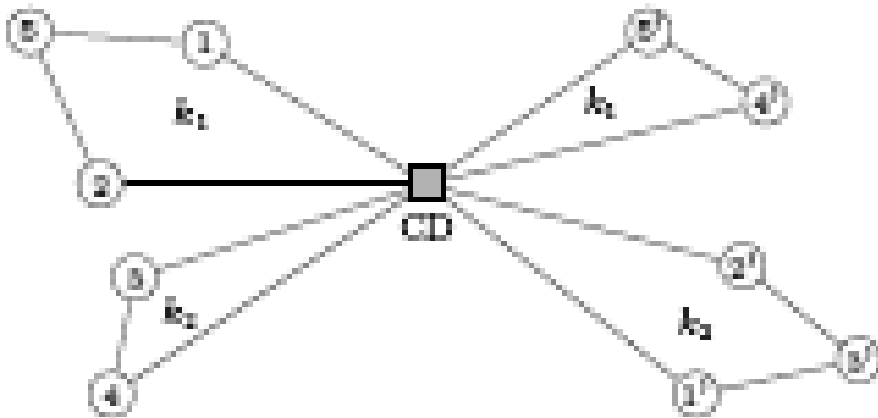
- Cada nó somente poderá ser visitado entre um tempo mínimo e um máximo.
- Tempo de operação em cada nó
- Capacidade ou não nos veículos
- Limite máximo de tempo para rota

PRVC Coleta e Entrega

Dado um conjunto de veículos K com capacidade Q , encontrar um conjunto de rotas mínimas de coleta, retorna ao depósito e um conjunto de rotas mínimas de entrega



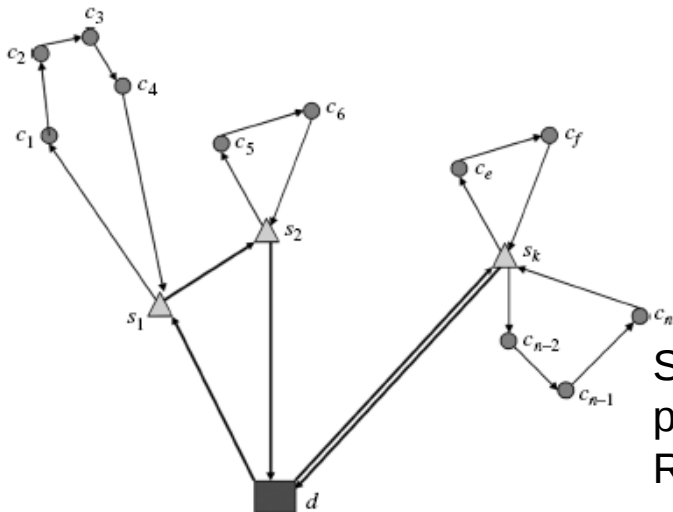
PRVC com Cross Docking



PRV – Multi-Elos

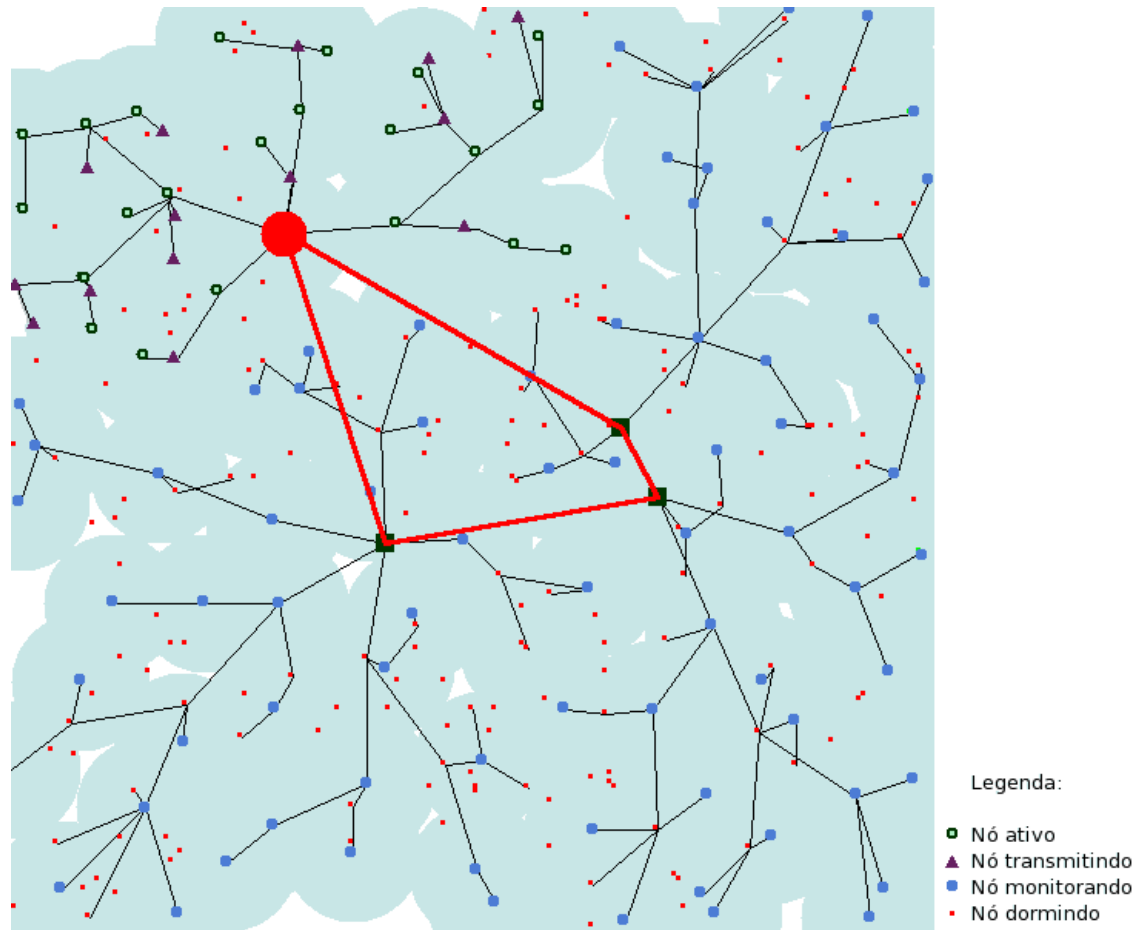
Seja um grafo direcionado $G = (V, A)$, com $V = \{0, S, C\}$ de vértices, onde 0 é o depósito, S conjunto de satélites, e C de clientes. Seja A conjunto de arcos tal que $A = A_1 \cup A_2$ ($A_1 \cap A_2 = \emptyset$). No subconjunto A_1 estão os arcos do nível 1, satélites-depósito, e A_2 , arcos do nível 2, consumidores-satélites.

Seja K_1 uma frota com $|K_1|$ veículos homogêneos, todos com capacidade Q_1 , disponíveis para o nível 1. Para implementar as rotas do nível 2, seja K_2 com $|K_2|$ veículos homogêneos, todos com capacidade Q_2 . Cada arco $(i, j) \in A_1$ tem um custo unitário c_1 e para todo $(i, j) \in A_2$ um custo c_2 . Determinar as rotas de custo mínimo.



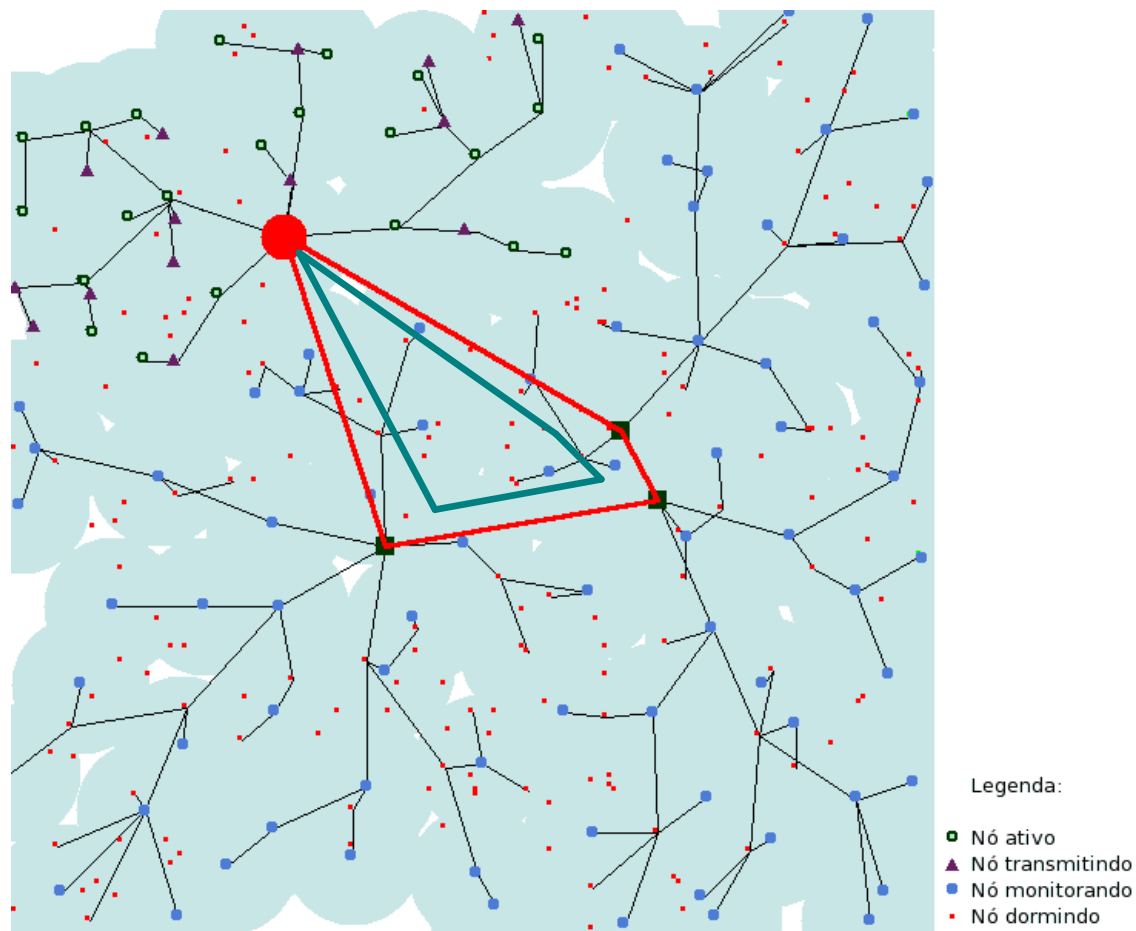
Santos, F.A, Mateus, G.R., Cunha, A.S., A Branch-and-cut-and-price algorithm for the Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. Transportation Science, 2013.

PRV - Seletivo

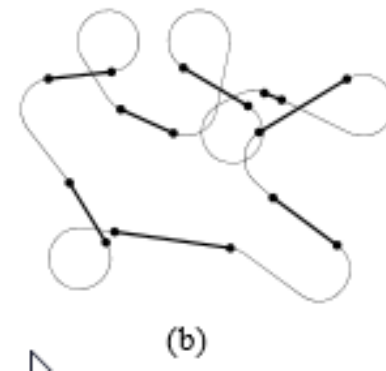
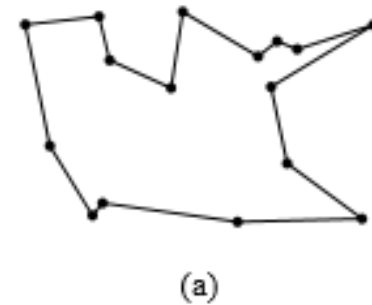
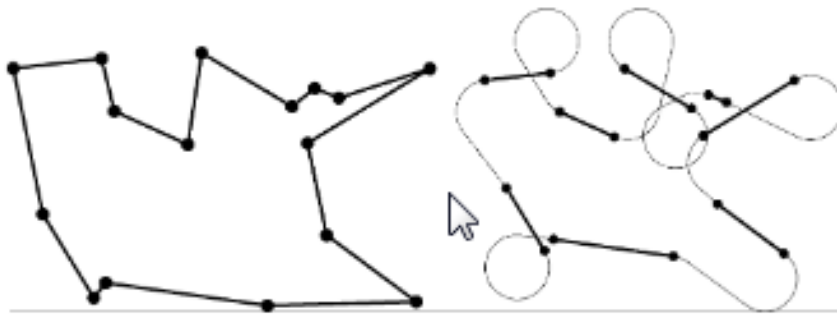


Valle, C. A., Martinez, L.C., Cunha, A.S., Mateus, G.R., Heuristic and exact algorithms for a min-max selective vehicle routing problem. Computers & Operations Research , v.38, 2011.

PRV Por Vizinhaça



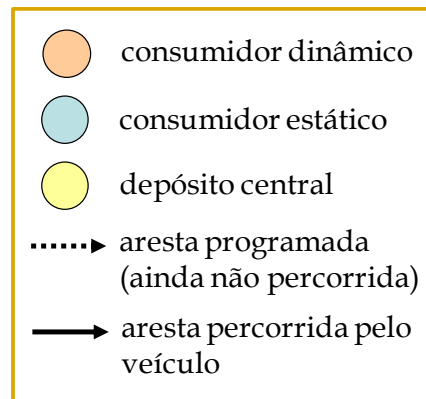
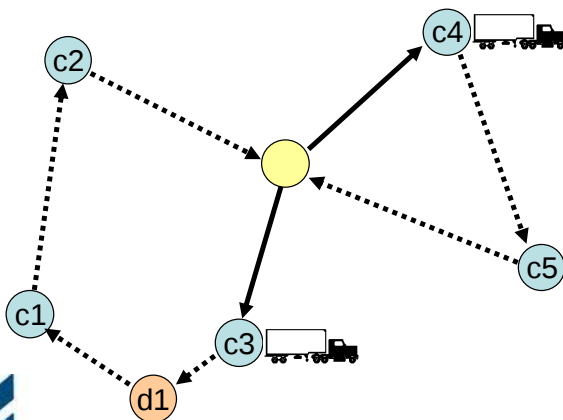
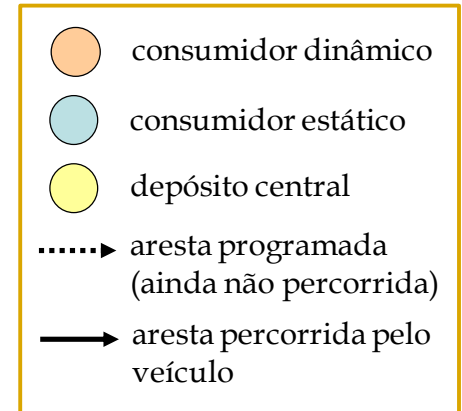
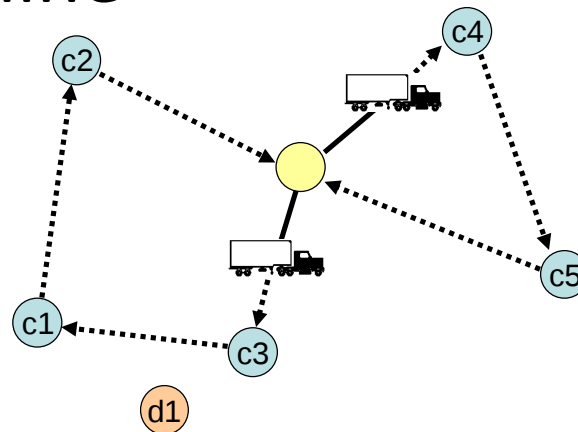
PRV com Caminhos Dubins



Dubins, L.E. (July 1957). "On Curves of Minimal Length with a Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangents". *American Journal of Mathematics* **79** (3): 497–516

PRV Dinâmicos

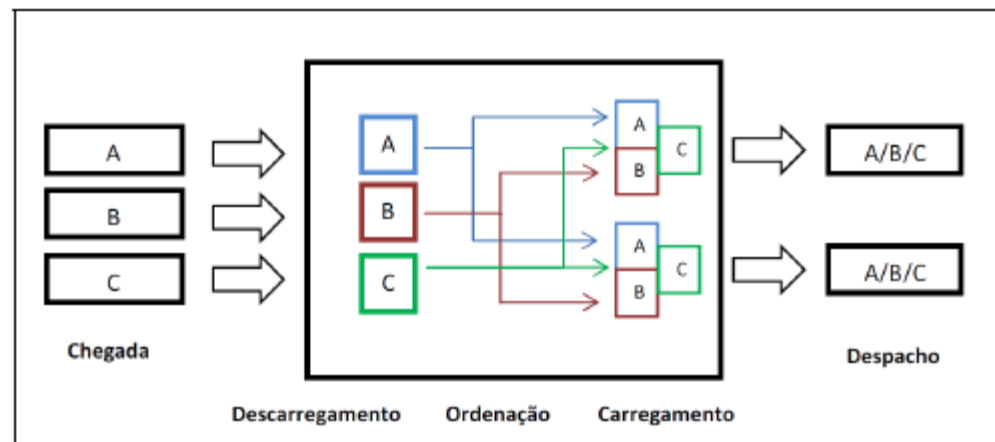
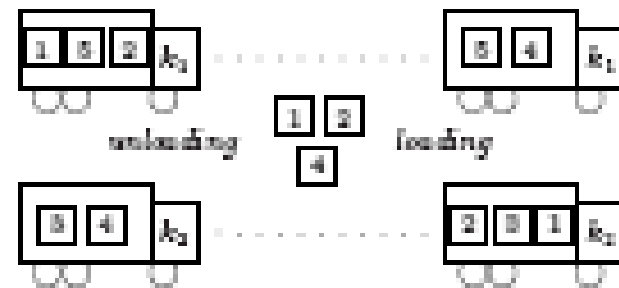
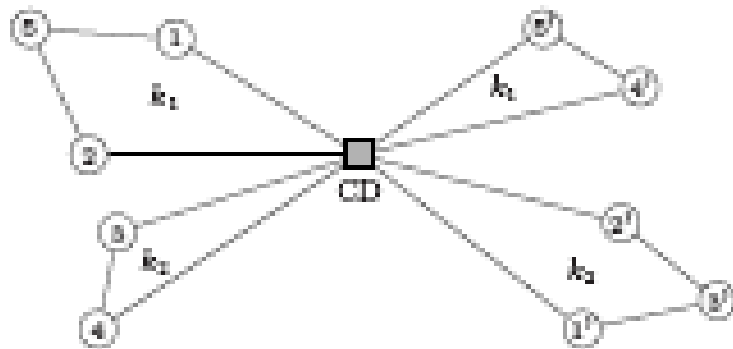
- Periódico x Online



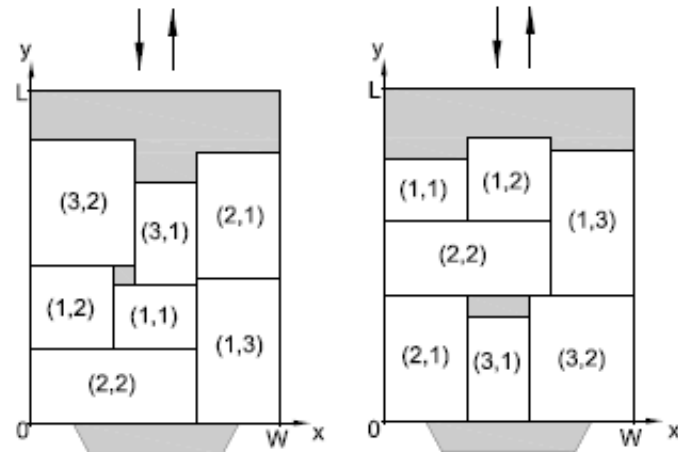
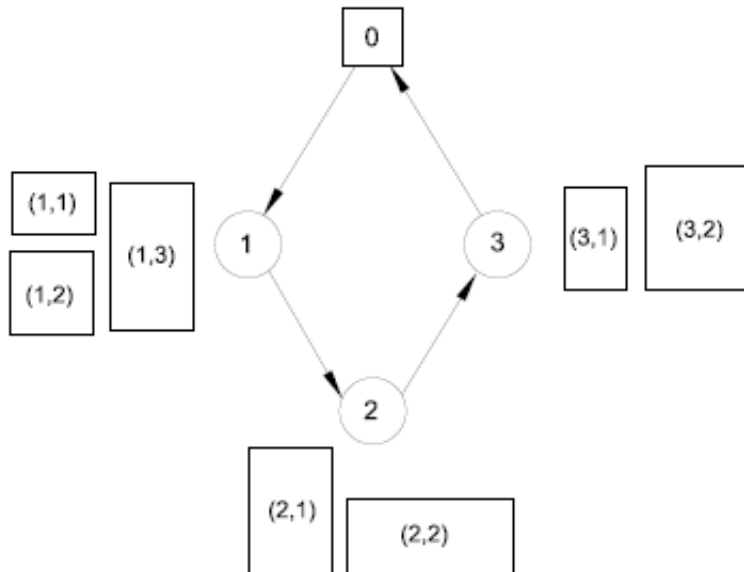
Problemas Integrados

- Sequenciamento com PRVC na distribuição
- PRCE com sequenciamento no depósito ou na plataforma
- PRVC com restrições de carregamento

PRCE + Cross Docking + Sequenciamento na Plataforma



PRVC com Carregamento



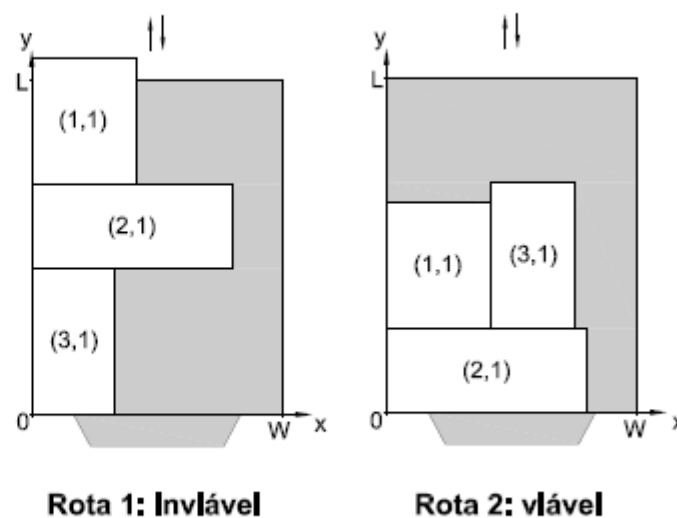
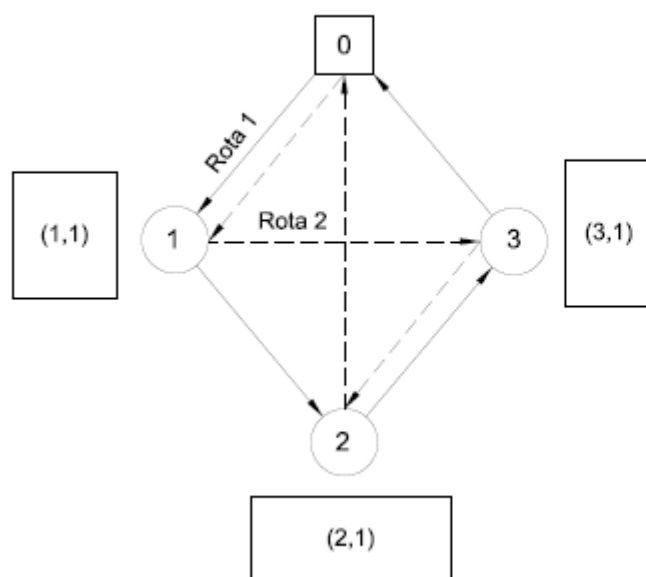
Carregamento (a)

Viável para o caso irrestrito
Inválvel para o caso sequencial

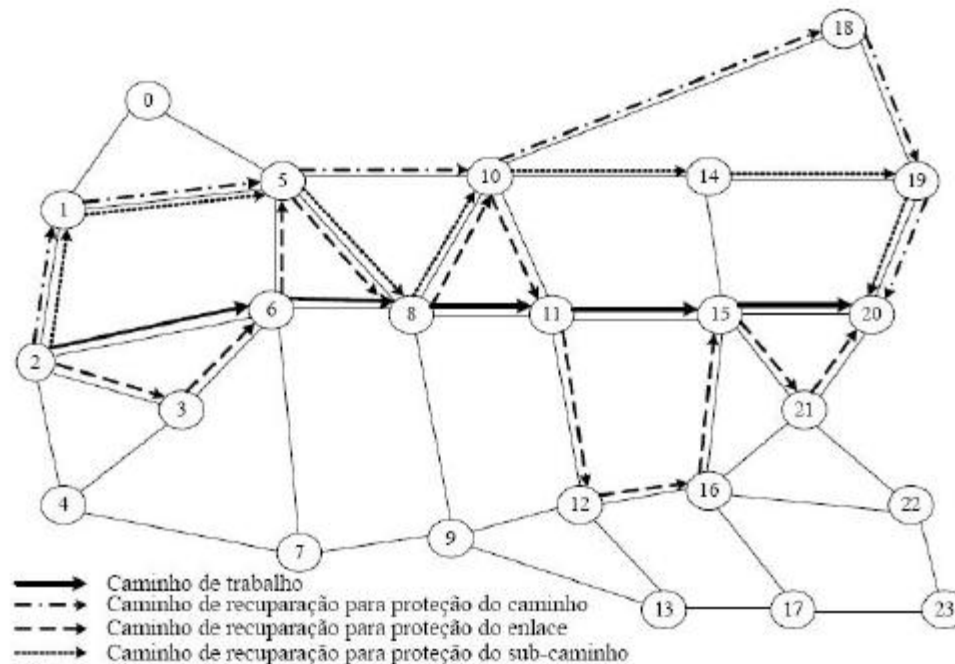
Carregamento (b)

Viável para o caso irrestrito
Viável para o caso sequencial

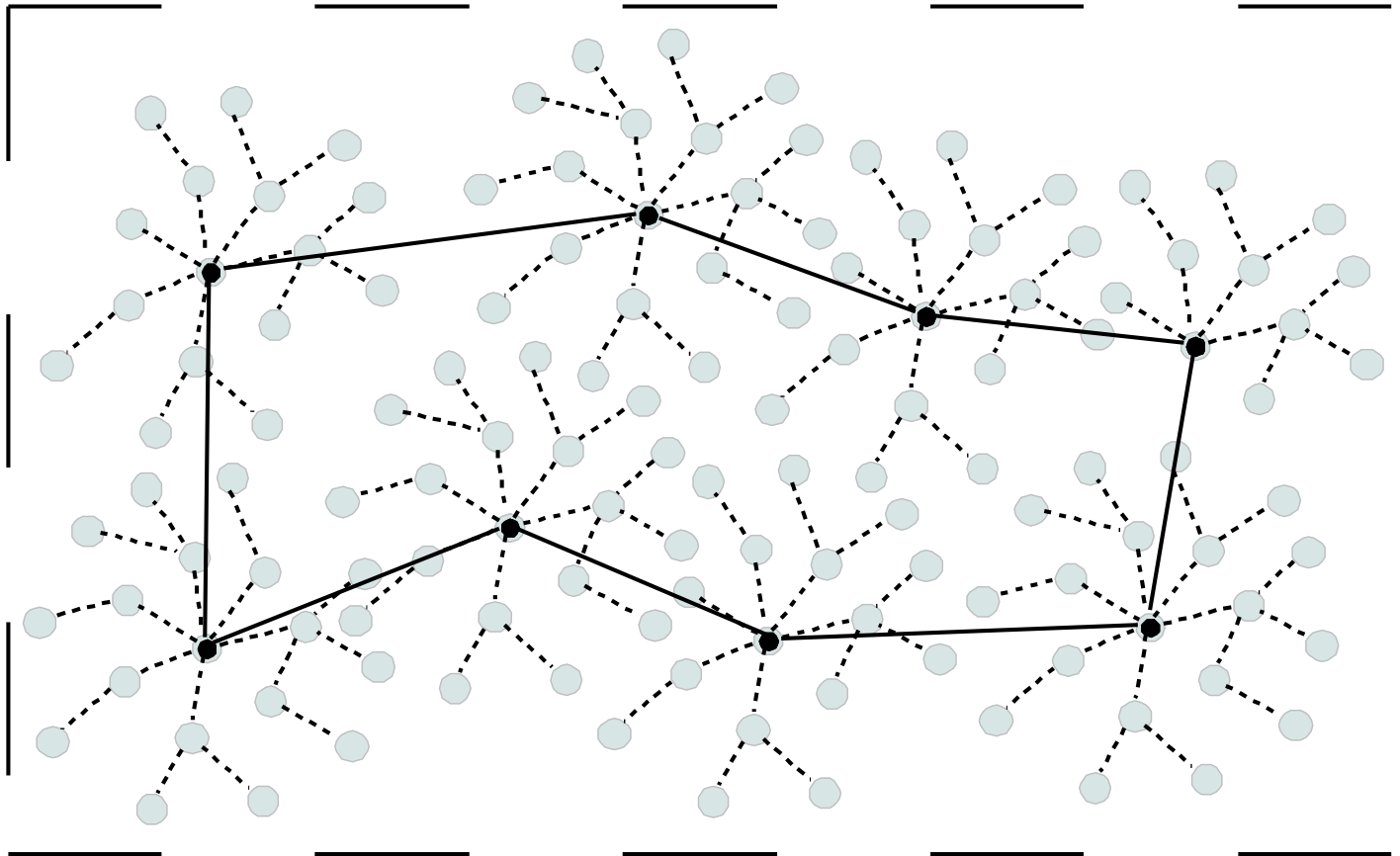
PRVC com Carregamento



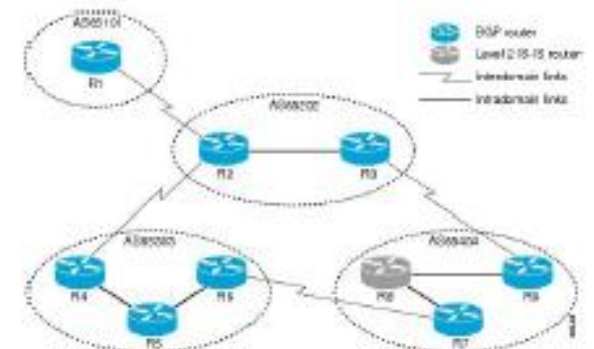
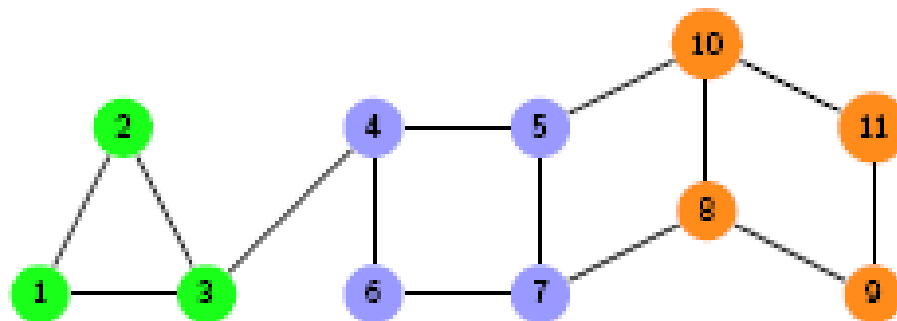
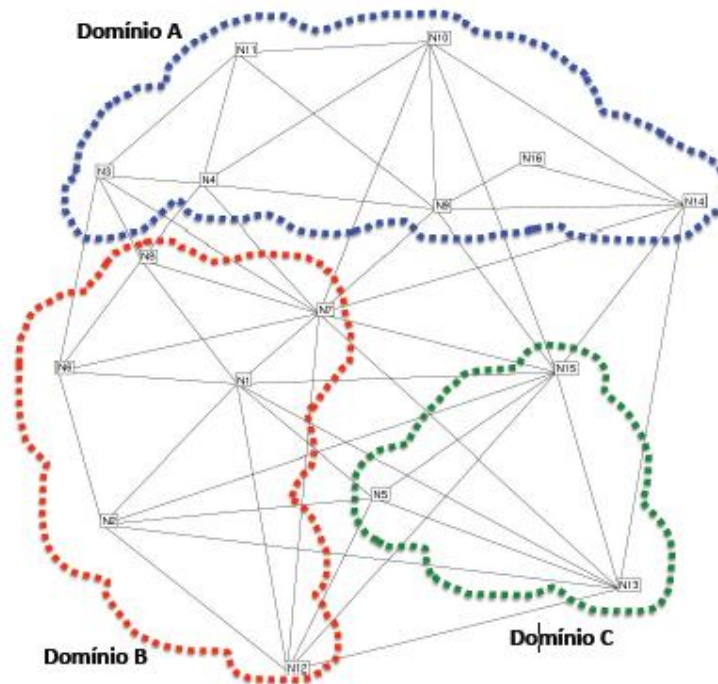
PR + Resiliência(Rotas Alternativas)



PR com Hierarquia



PR – Multi-domínios



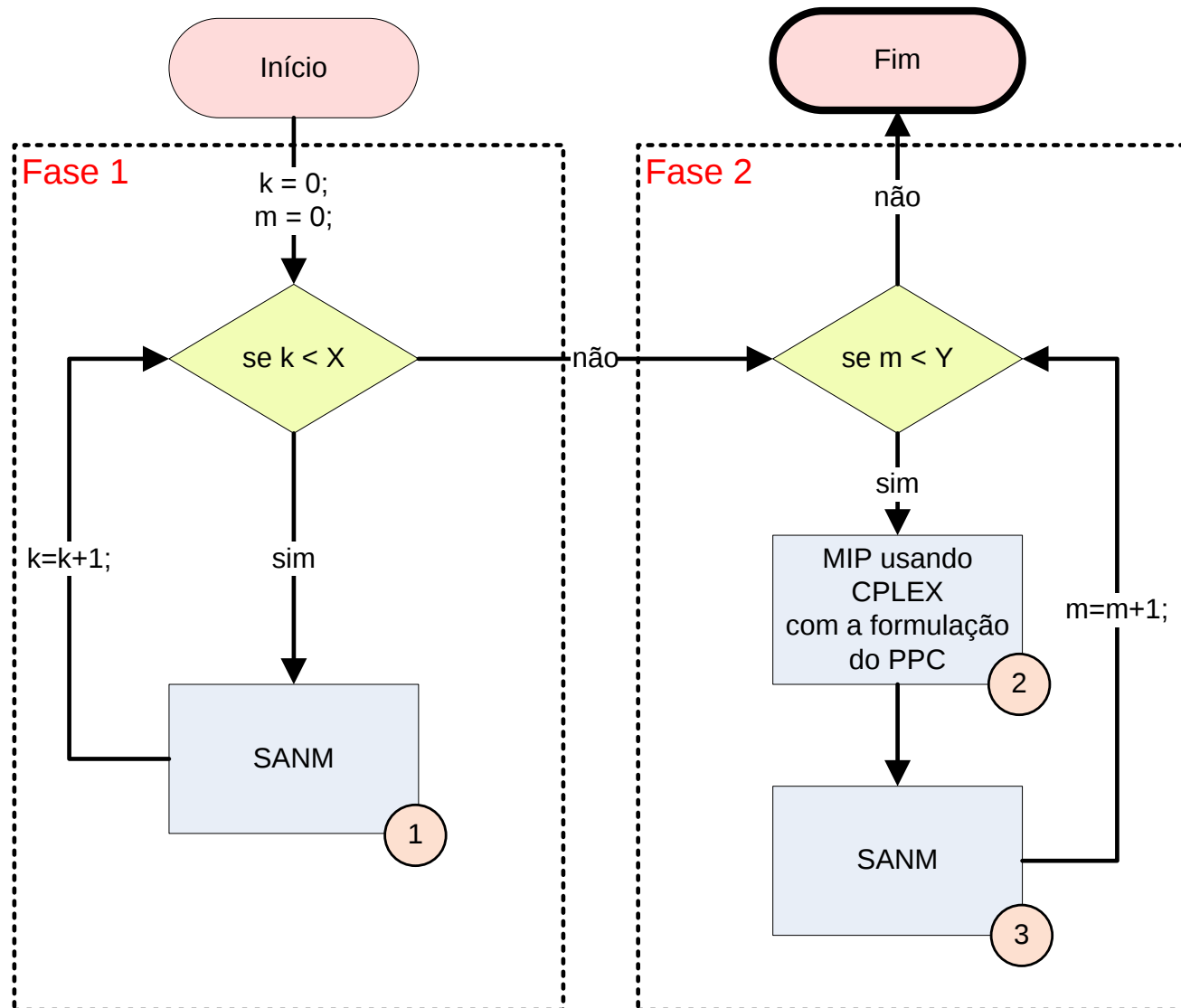
Modelos

- Fluxo, Multi-Fluxo, Indexado no tempo, por saltos, Mono e multiobjetivo
- Geração de Colunas
 - Problema Mestre – Problema de Recobrimento
 - Subproblema – Caminho Mínimo Restrito
- Geração de cortes
- Implícitos e explícitos (compactos)
- Híbridos

Algoritmos

- Solver
- Heurísticas
 - O número de veículos é o primeiro objetivo e distância percorrida o segundo critério a ser minimizado
 - Geralmente, aritmética real é usada
- Exatos
 - A distância percorrida é o único objetivo a ser minimizado
 - Em geral, distâncias e tempos são truncados
 - Branch and Bound (BB), Branch and Price (BP), Branch and Cut (BC) e BPC, Benders
- Híbridos

Algoritmo Híbrido para o PRVJT



Aplicações - Softwares para VRP

- 17 produtos – 15 Empresas: ArcGIS (Esri), Descartes, eRoute (VM Logistics), Optrak, Paragon, Roadnet
- Brasileiros?
- Integração com dispositivos móveis, sensores, GPS, CRM, ...
- Parcerias/integração com empresas de software e hardware
- Relatórios → Dados disponíveis e visíveis

Conclusões

- Muita motivação, publicações e aplicação (Real?)
- Grandes desafios para pesquisa e desenvolvimento
- Riqueza em modelos, formulações, técnicas e aplicações
- Otimização e simulação
- Dimensões viáveis, Escalabilidade, Decomposição, Integração, Paralelismo
- Software, navegação, rastreamento, gerenciamento – management
- Adaptação (customization) e tropicalização



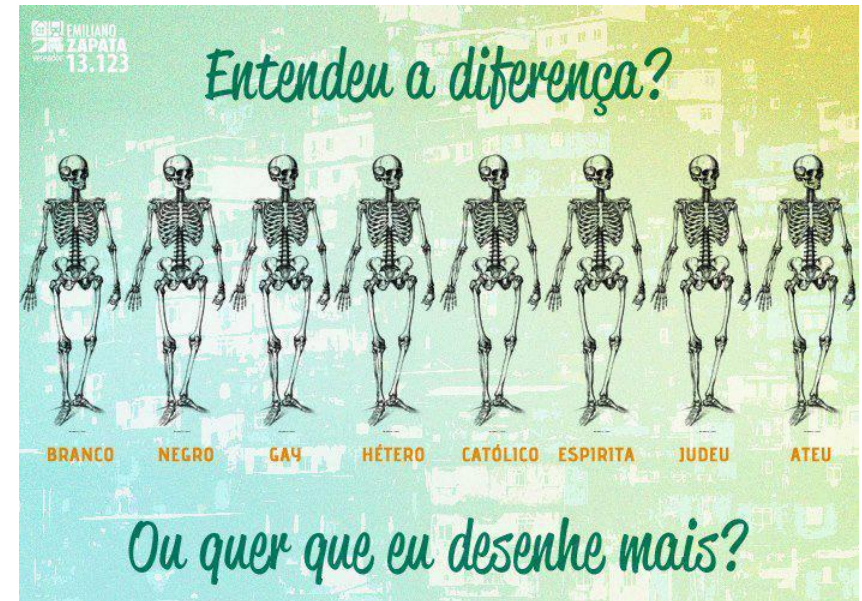
Não Somos Heróis!



Somos grandes e temos
um país continental
grandes empresas mas muitas médias e
pequenas
demandas específicas
uma malha viária imensa
um setor agrícola em expansão

.....

Não Somos Estúpidos!



Somos competentes e criativos
.....
com alguns quase graves deslizes

Já somos Campeões
mas muitos esperam que
sejamos cada vez mais!



mateus@dcc.ufmg.br
www.dcc.ufmg.br

Modelo Fluxo

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{(i,j)} t_k^{sij}$$

$$\sum_{(i,j)} x_{ij}^k - \sum_{(l,i)} x_{li}^k = \begin{cases} 1, & \text{se } i = u, \quad \forall k \\ -1, & \text{se } i = v, \quad \forall k \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$\sum_{(i,j)} x_{ij}^{kp} - \sum_{(l,i)} x_{li}^{kp} = \begin{cases} 1, & \text{se } i = u, \quad \forall k \\ -1, & \text{se } i = v, \quad \forall k \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$\sum_{s \in S} Q_s t_k^{sij} \geq d_k(x_{(i,j)}^k + x_{(i,j)}^{kp}), \quad \forall k, \forall (i,j) \in A$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in S} t_k^{sij} \leq W_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A$$

$$\sum_{k \in K} t_k^{sij} \leq 1 \quad \forall (i,j) \in A, \forall s$$

$$t_k^{sij} \leq t_k^{s-1,ij}, \quad \forall k, \forall s, \forall (i,j)$$

$$x_{ij}^{kp} + x_{ij}^k \leq 1, \quad \forall (i,j), \forall k$$

$$x_{ij}^k, x_{ij}^{kp}, t_k^{sij} \in \{0, 1\}$$



Modelo Fluxo Multiobjetivo

$$\begin{aligned}
 \min = & \begin{cases} f_1 = \sum_k (x_{ij}^k + x_{ij}^{kp}) \\ f_2 = \sum_k (1 - a^k) \\ f_3 = \alpha \\ f_4 = \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{(i,j)} t_k^{sij} \end{cases} \\
 \sum_{(i,j)} x_{ij}^k - \sum_{(l,i)} x_{li}^k = & \begin{cases} a^k, & \text{se } i = u, \quad \forall k \\ -a^k, & \text{se } i = v, \quad \forall k \\ 0 & , \text{caso contrário} \end{cases} \\
 \sum_{(i,j)} x_{ij}^{kp} - \sum_{(l,i)} x_{li}^{kp} = & \begin{cases} a^k, & \text{se } i = u, \quad \forall k \\ -a^k, & \text{se } i = v, \quad \forall k \\ 0 & , \text{caso contrário} \end{cases} \\
 \sum_k a^k \geq & C \\
 \sum_{s \in S} Q_s t_k^{sij} \geq & d_k(x_{(i,j)}^k + x_{(i,j)}^{kp}), \quad \forall k, \forall (i,j) \in A \\
 \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} Q_s t_k^{sij} \leq & \alpha B_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A \\
 \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} t_k^{sij} \leq & W_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A \\
 \sum_{k \in K} t_k^{sij} \leq & 1 \quad \forall (i,j) \in A, \forall s \\
 t_k^{sij} \leq & t_k^{s-1,ij}, \quad \forall k, \forall s, \forall (i,j) \\
 x_{ij}^k + x_{ij}^{kp} \leq & 1, \quad \forall (i,j), \forall k \\
 x_{ij}^k, x_{ij}^{kp}, t_k^{sij} \in & \{0, 1\}
 \end{aligned}$$



Modelo Fluxo com Resiliência

$$\min \sum_{w \in W} \sum_{(i,j) \in A} y_{ij}^w$$

s.t.

$$\sum_{p \in \{1,2\}} \sum_{j \in A_s^+} x_{sj}^{stp} \geq 2, \quad \forall (s,t) \in N,$$

$$\sum_{p \in \{1,2\}} \sum_{i \in A_t^-} x_{it}^{stp} \geq 2, \quad \forall (s,t) \in N,$$

$$\sum_{i \in A_j^-} x_{ij}^{stp} - \sum_{k \in A_j^+} x_{jk}^{stp} = 0, \quad \forall (s,t) \in N, j \neq s, j \neq t, \forall p \in \{1,2\},$$

$$\sum_{p \in \{1,2\}} x_{ij}^{stp} \leq 1 \quad \forall (s,t) \in N, \forall (i,j) = (j,i) \in A,$$

$$\sum_{s,t \in N} \sum_{p \in \{1,2\}} d^{st} x_{ij}^{stp} - \sum_{w \in W} C^w y_{ij}^w \leq 0 \quad \forall (i,j) = (j,i) \in A,$$

$$y_{ij}^w = y_{ji}^w \quad \forall (i,j) \in A, \forall w \in W,$$

$$y_{ij}^w - y_{ij}^{w+1} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, \forall w < |W| - 1,$$

$$0 \leq x_{ij}^{stp} \leq 1, \quad \forall (s,t) \in N, \forall (i,j) \in A, p \in \{1,2\},$$

$$y_{ij}^w \in \{0,1\} \quad \forall w \in W, \forall (i,j) \in A.$$



Modelo Indexado por Caminhos

$$\min \sum_{w \in W} \sum_{(i,j) \in A} y_{ij}^w$$

s.t.

$$\sum_{p \in P^{st}} \lambda_p^{st} \geq 2, \quad \forall (s,t) \in N,$$

$$\sum_{p \in P^{st}} a_p^{ij} \lambda_p^{st} \leq 1, \quad \forall (s,t) \in N, \forall (i,j) \in A$$

$$\sum_{s,t \in N} \sum_{p \in P^{st}} d^{st} a_p^{ij} \lambda_p^{st} - \sum_{w \in W} C^w y_{ij}^w \leq 0 \quad \forall (i,j) = (j,i) \in A,$$

$$y_{ij}^w - y_{ij}^{w+1} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, \forall w < |W| - 1,$$

$$\lambda_p^{st} \in \{0, 1\} \quad \forall (s,t) \in N, p \in P^{st},$$

$$y_{ij}^w \in \{0, 1\} \quad \forall w \in W, \forall (i,j) \in A.$$

