

# Proposta de um algoritmo híbrido para a solução do Problema de Escalonamento de Tripulação

Renan S. Silva

`uber.renan@gmail.com`

Departamento de Ciência da Computação  
Centro de Ciências e Tecnologias  
Universidade do Estado de Santa Catarina

28 de Novembro de 2016

# Overview

Introdução

Formulação

Geração de colunas

Proposta

Conclusões parciais

# Introdução

# Introdução

- O planejamento operacional de uma empresa de transporte de urbano pode ser dividido conforme a figura 1;
- Este trabalho tem como objetivo propor um algoritmo para resolver problema do Escalonamento de Tripulação (CSP);

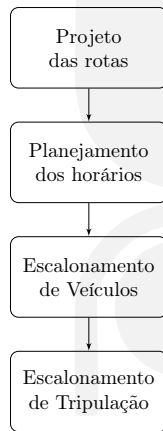


Figura 1: Etapas do planejamento

# Relevância

**Teória** O CSP é um problema  $\mathcal{NP}$ -Hard, que pode ser reduzido para o problema de cobertura ou particionamento de conjuntos;

**Prática** (Zeren, 2012) afirma que os gastos com a tripulação são a segunda maior fonte de gastos das empresas, atrás apenas dos gastos com combustíveis;

## Definição

O CSP consiste determinar jornadas para um conjunto de tripulantes, onde

- Tarefa** É uma atividade que deve ser realizada, que possui um tempo de inicio e fim predefinidos;
- Jornada** É um conjunto de tarefas que devem ser executadas por uma mesma tripulação;
  - ▶ Jornadas possuem restrições, carga horaria máxima, etc;
  - ▶ Existe um custo para deslocar-se entre duas tarefas;
  - ▶ Deseja-se minimizar o custo total de cobrir todas as jornadas;

# Formulação

## Problema de cobertura e particionamento

Dentre as possíveis modelagens possíveis para o CSP, utilizou-se uma com base no problema de particionamento de conjuntos(SPP);

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\min \sum_{j \in J} c_j x_j \quad (1a)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j = 1, \forall i \in I \quad (1b)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (1c)$$



## Modelando o CSP com o SPP

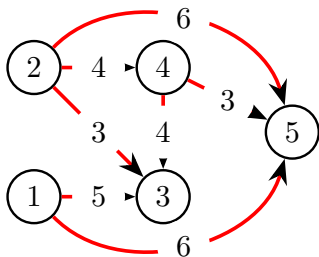


Figura 2: Possíveis jornadas representadas em um grafo

- Deve-se enumerar todas as possíveis jornadas viáveis;
- O número de jornadas cresce exponencialmente em função do número de tarefas;
- Se não forem enumeradas todas as jornadas, perde-se a solução ótima;
- Enumerar todas as jornadas é inviável;

## Geração de colunas

## Geração de colunas

O método de geração de colunas é capaz de:

- Lidar com um grande número de variáveis;
- Considerar implicitamente todas as jornadas;
- Iniciar com um conjunto reduzido de jornadas;
- Encontrar iterativamente todas as jornadas necessárias para encontrar a solução ótima;

## Estrutura

A geração de colunas é dividida em dois problemas menores:

**Problema mestre e subproblema;**

- O problema mestre é o problema original com um conjunto reduzido de jornadas(colunas);
- O subproblema é um problema de programação linear inteira que determina qual jornada deve ser inserida no problema mestre;

## Funcionamento

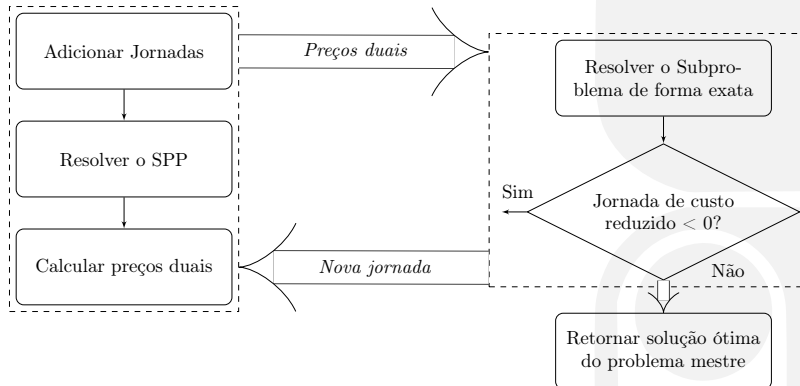


Figura 3: Processo de geração de colunas

## Problema mestre

O problema mestre para resolver o CSP:

- É um problema de SPP;
- Necessita de um conjunto inicial de colunas;
- Resolve-se a relaxação linear;
- Fornece preços duais para guiar o subproblema;

## Formulação do problema mestre

$$\min \sum_{j \in \tilde{J}} c_j x_j \quad (2a)$$

$$\sum_{j \in \tilde{J}} a_{tj} x_j = 1, \forall t \in T \quad (2b)$$

$$\sum_{j \in \tilde{J}} x_j = NJ \quad (2c)$$

$$x_j \geq 0, \forall j \in \tilde{J} \quad (2d)$$

## Subproblema

- O subproblema é um problema de PLI, cujo objetivo é encontrar uma nova coluna para o problema mestre;
- Utiliza os preços duais fornecidos pelo problema mestre;
- É um caminho mínimo com restrições ( $\mathcal{NP}$ -hard);



## Subproblema

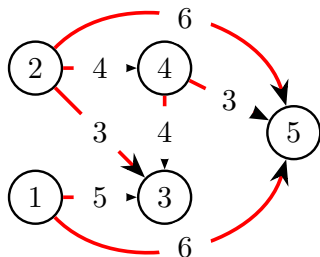


Figura 4: Grafo do subproblema

Jornada	Custo	Duração
1 → 3	5	13
1 → 5	6	14
2 → 3	3	13
2 → 4	4	9
2 → 4 → 5	7	14
2 → 4 → 3	8	13
2 → 5	6	14

Tabela 1: Enumeração de todas as jornadas viáveis

## Formulação do Subproblema

$$\min \sum_{a \in A} c_a y_a - \sum_{t \in T} \tilde{\pi}_t v_t - \tilde{\mu} \quad (3a)$$

$$\sum_{a \in \delta^+(v_0)} y_a = \sum_{a \in \delta^-(v_f)} y_a = 1 \quad (3b)$$

$$\sum_{a \in \delta^+(v_t)} y_a = \sum_{a \in \delta^-(v_t)} y_a = v_t, \forall t \in T \quad (3c)$$

$$\sum_{a \in A} d_a y_a \leq \text{Max}W \quad (3d)$$

$$v_t, y_a \in \{0, 1\}, \forall v_j \in V, \forall a \in A \quad (3e)$$

## Adição de tarefas fictícias

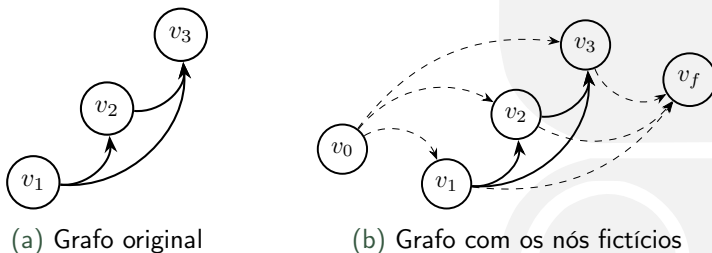


Figura 5: Grafo com e sem nós fictícios

# Proposta

# Proposta

- Encorporar o uso de (meta) heurísticas na solução do subproblema;
- Segundo (Santos, 2008) a utilização de meta heurísticas pode acelerar o processo de solução;
- Utilizar as heurísticas do subproblema para gerar um conjunto inicial de colunas;

# Proposta

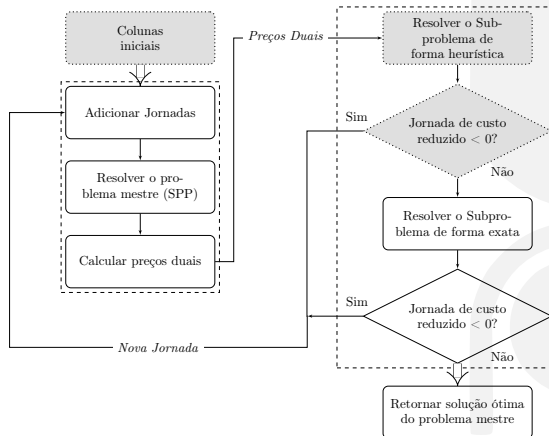


Figura 6: Proposta de geração de colunas, adaptado de (Santos, 2008)

## (Meta) heurísticas estudadas

- Busca gulosa baseada em relaxação linear;
- Subida de encosta;
- *Simulated annealing* (SA);
- *Ant colony optimization* (ACO);
- Busca Tabu;

## Conclusões parciais



## Conclusões parciais

- Pode-se identificar um problema teórico e com interesse prático;
- Realizou-se uma revisão bibliográfica onde:
  - Identificou-se um método de solução para o problema;
  - Identificou-se possíveis métodos para melhorar o desempenho do algoritmo;
- Identificou-se um solver (**CPLEX**, GLKP, SCIP, Cbc, ...) para utilizar na solução do problema mestre e subproblema;
- Implementou-se um protótipo de geração de colunas capaz de resolver o CSP de forma exata;

## Próximas etapas

- Seleção, implementação e avaliação das (meta) heurísticas para aplicar no subproblema;
- Utilização do banco de dados da *OR-Library* para avaliar a implementação final;
- Escrita do TCC-II;

## Publicações

- Artigo publicado na SBPO XLVIII;
- Escrita de um artigo contemplando os resultados deste trabalho;

# Cronograma

Etapas	2016					2017					
	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
1	✓	✓	✓								
2		✓	✓	✓							
3		✓	✓	✓	✓						
4		✓	✓	✓	✓						
5			✓	✓	✓						
6						✓	✓	✓	✓		
7							✓	✓	✓	✓	✓
8								✓	✓	✓	✓
9				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabela 2: Cronograma proposto com atividades completas em destaque



André Gustavo dos Santos. “Método de Geração de Colunas e Meta-heurísticas para Alocação de Tripulação”. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.



Bahadir Zeren et al. “An improved genetic algorithm for crew pairing optimization”. Em: (2012).

Obrigado!

