

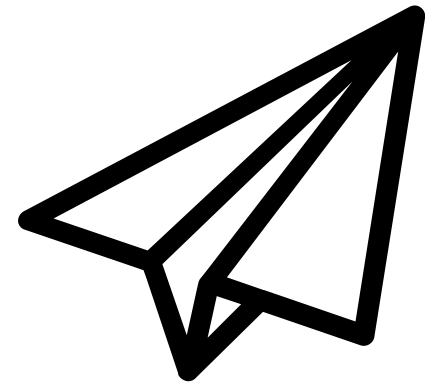
MATH-HEURISTIC PARA O PROBLEMA DE RECUPERAÇÃO DE MALHA AÉREA (RECOVERY PROBLEM)

Fábio Emanuel de Souza Morais

Mestrando, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica - Universidade de São Paulo

fabio.emanuel@gmail.com



Daniel Jorge Caetano

Pós-Doutorando, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

daniel@caetano.eng.br

Nicolau D. Fares Gualda

Professor Sênior, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

ngualda@usp.br

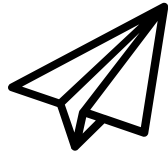


XVII SITRAER
AIR TRANSPORTATION SYMPOSIUM
SÃO PAULO, SP, BRAZIL
OCTOBER 22-24, 2018



Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

PROBLEMA DE RECUPERAÇÃO DA MALHA



Perturbações

- Atrasos
- Cancelamentos

2016

- US\$ 60 bilhões
- 8% Receita / 9% Custo

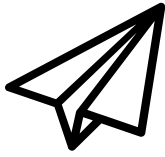
Longo Prazo

- Aumenta a propensão do PAX para trocar de empresa (COOK *et al.* 2009)



Departures							
				Time Now 08:39:07			
Time	Destination	Plat	Expt	Time	Destination	Plat	Expt
08:39	Chessington Sth		Cancelled	09:15	via Guildford		Cancelled
08:42	Basingstoke		Cancelled	09:15	Reading		Cancelled
08:42	Strawberry Hill		Cancelled	09:18	Teddington		Cancelled
08:45	Portsmouth Hbr via		Cancelled	09:20	Salisbury		Cancelled
08:45	Reading		Cancelled	09:20	Woking		Cancelled
08:48	Teddington		Cancelled	09:24	Dorking		Cancelled
08:50	Woking		Cancelled	09:27	Strawberry Hill		Cancelled
08:53	Alton		Cancelled	09:28	Windsor & Eton		Cancelled
08:54	Dorking		Cancelled	09:33	Teddington		Cancelled
08:57	Strawberry Hill		Cancelled	09:35	Bournemouth		Cancelled
08:58	Windsor & Eton		Cancelled	09:36	via Cobham		Cancelled
09:03	Teddington		Cancelled				
09:05	Bournemouth		Cancelled				
09:06	Guildford via		Cancelled				
09:09	Chessington Sth		Cancelled				
09:12	Basingstoke		Cancelled				
09:12	Strawberry Hill		Cancelled				

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - REFERÊNCIAS

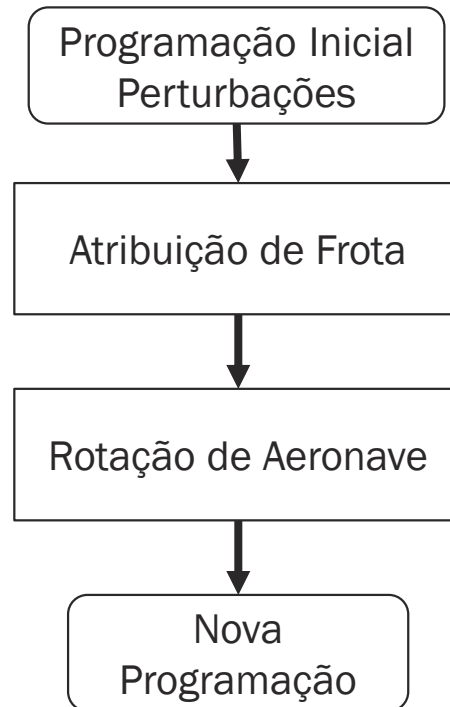
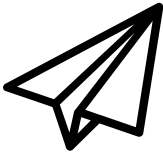


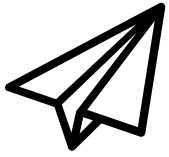
Thengvall(2001)

- Aircraft Recovery Problem (ARP)
- Fluxo de Rede Multi-Commodity por Tipo de Aeronave;
- Divide o Problema da programação de malha em dois: Atribuição de Frota e Rotação de Aeronaves;
- Fechamento de Hub
- Atrasos, Cancelamento, Traslados e Trocas de aeronave em nível de frota
- Instância Grandes
- Não Prevê Manutenção

Zhang et al(2016)

- Aircraft + Passenger
- O ARP segue a proposta de Thengvall(2001)
- Redução de capacidade aeroportuária
- Manutenção Programada e Não-Programada
- Problemas na Rotação:
 - Alocação Aleatória
 - Arco de Manutenção não é atribuído a aeronave específica
 - Solução não é válida para o ambiente operacional





Atribuição de Frota

$$\min \sum_{fc \in FC} x_{fc} * cost_delay_{fc} + \sum_{f \in F} y_f * cost_cancel_f \quad \longrightarrow \quad \text{Função Objetivo}$$

Restrições:

$$\sum_{fc \in FC} x_{fc} + y_f = 1 \quad \forall f \in F \quad \longrightarrow \quad \text{Cobertura de Voo}$$

$$n_{input}^e + \sum_{fc \in FC_{fc\ in}^n} x_{fc} + \sum_{ga \in GA_{g\ in}^n} z_{ga} = \sum_{fc \in FC_{fc\ out}^n} x_{fc} + \sum_{ga \in GA_{g\ out}^n} z_{ga} \quad \longrightarrow \quad \text{Balanceamento}$$

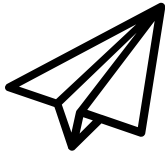
$\forall e \in E, \forall n \in \overline{Node_e}$

$$\sum_{fc \in FC_{aep,tm,fh}} x_{fc} \leq Cap_{aep,tm,fh} \quad \longrightarrow \quad \text{Capacidade Aeroportuária}$$

$$\sum_{fc \in FC_{M_f}} x_{fc} = 1 \quad \forall fc \in FC_m \quad \longrightarrow \quad \text{Manutenção Programada}$$

$$\sum_{ga \in GA_{OUT_n}} z_{ga} = p_n \quad \forall n \in N_{OUT} \quad \longrightarrow \quad \text{Posicionamento no Final do Período de Recuperação}$$

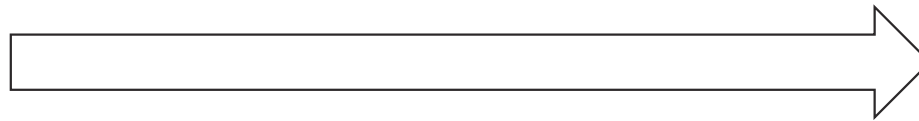
Atribuição de Frota



Restrições:

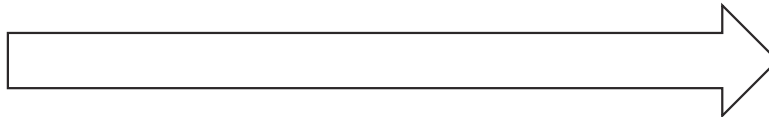
PERTURBAÇÕES

$$\sum_{fc \in FC_{delay}} x_{fc} = 0$$
$$\forall f \in FC_{delay}$$



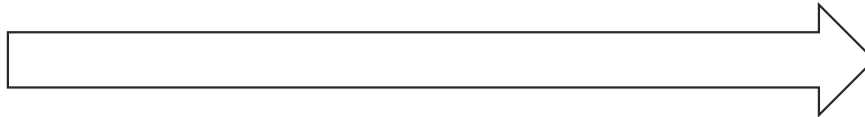
Atraso de Voo

$$y_f = 1$$
$$\forall f \in FC_{cancel}$$



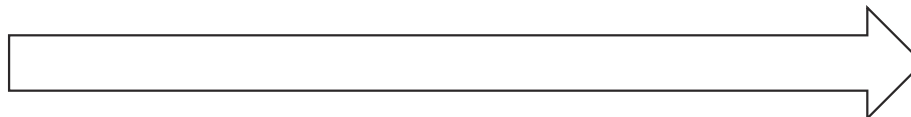
Cancelamento de Voo

$$\sum_{fc \in FC_{macft}} x_{fc} = 1$$
$$\forall fc \in FC_{macft}$$



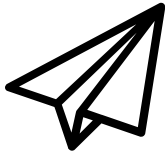
Manutenção
Não-Programada

$$\sum_{fc \in FC_s} x_{fc} \leq Cap_s$$
$$\forall s \in Slot$$



Redução
Capacidade
Aeroportuária

Rotação de Aeronaves



$$\min \sum_{fc \in FC_f} \sum_{k \in K_{fc}} x_{fc,k} * cost_swap_{fc,k} \quad \longrightarrow \quad \text{Função Objetivo}$$

Restrições:

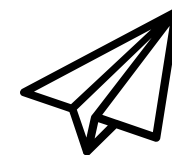
$$\sum_{k \in K_{fc}} x_{fc,k} = 1 \quad \forall f \in F \quad \longrightarrow \quad \text{Cobertura de Voo}$$

$$n_{input,k}^e + \sum_{fc \in FC_{fcin}^n} x_{fck} + \sum_{ga \in GA_{gin}^n} z_{gak} = \sum_{fc \in FC_{fcout}^n} x_{fck} + \sum_{ga \in GA_{gout}^n} z_{gak} \quad \longrightarrow \quad \text{Balanceamento}$$

$\forall e \in E, \forall n \in \overline{Node_e}, \forall k \in K_e$

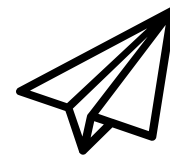
$$\sum_{fc \in FC_M_k} x_{fc,k} = 1 \quad \forall k \in K_m \quad \longrightarrow \quad \text{Manutenção Programada e Não-Programada}$$

INSTÂNCIAS

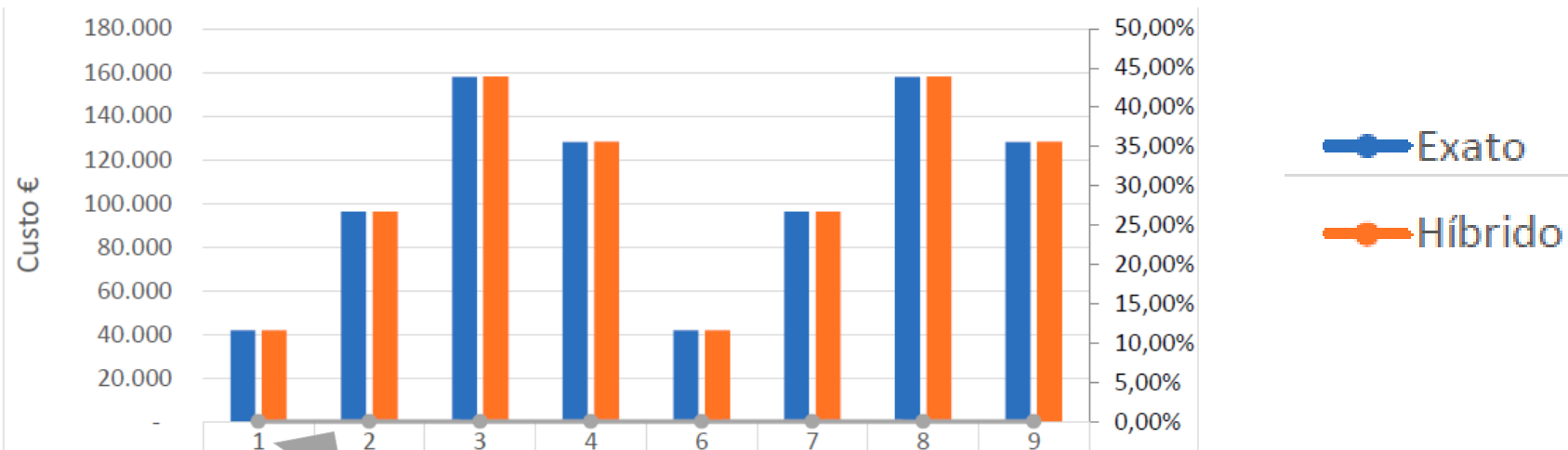


						Perturbação Voo			Perturbação Aerp		Perturbação Aeronave	
Grupo	ID	# Aerns	# Voos	# Aerps	# Cfg	# Voos	Atraso (min)	# CNL	# Aerps	#Aft (h)	# Aerns	#Aft (h)
A	1	81	464	35	15	63	2.670	-	-	-	-	-
	2	81	464	35	15	106	6.225	1	-	-	-	-
	3	81	464	35	15	79	5.550	4	-	-	1	15
	4	81	464	35	15	41	1.785	-	4	4	-	-
	6	81	464	35	15	63	2.670	-	-	-	-	-
	7	81	464	35	15	106	6.225	1	-	-	-	-
	8	81	464	35	15	79	5.550	4	-	-	1	15
	9	81	464	35	15	41	1.785	-	4	4	-	-

RESULTADOS

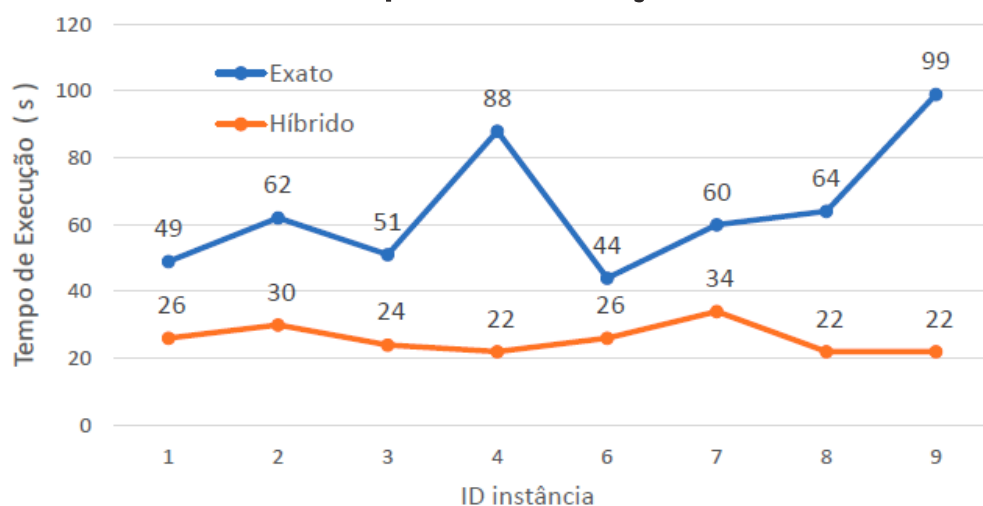


Função Objetivo

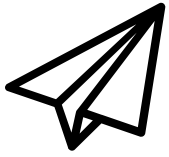


Diferença (%)

Tempo de Execução

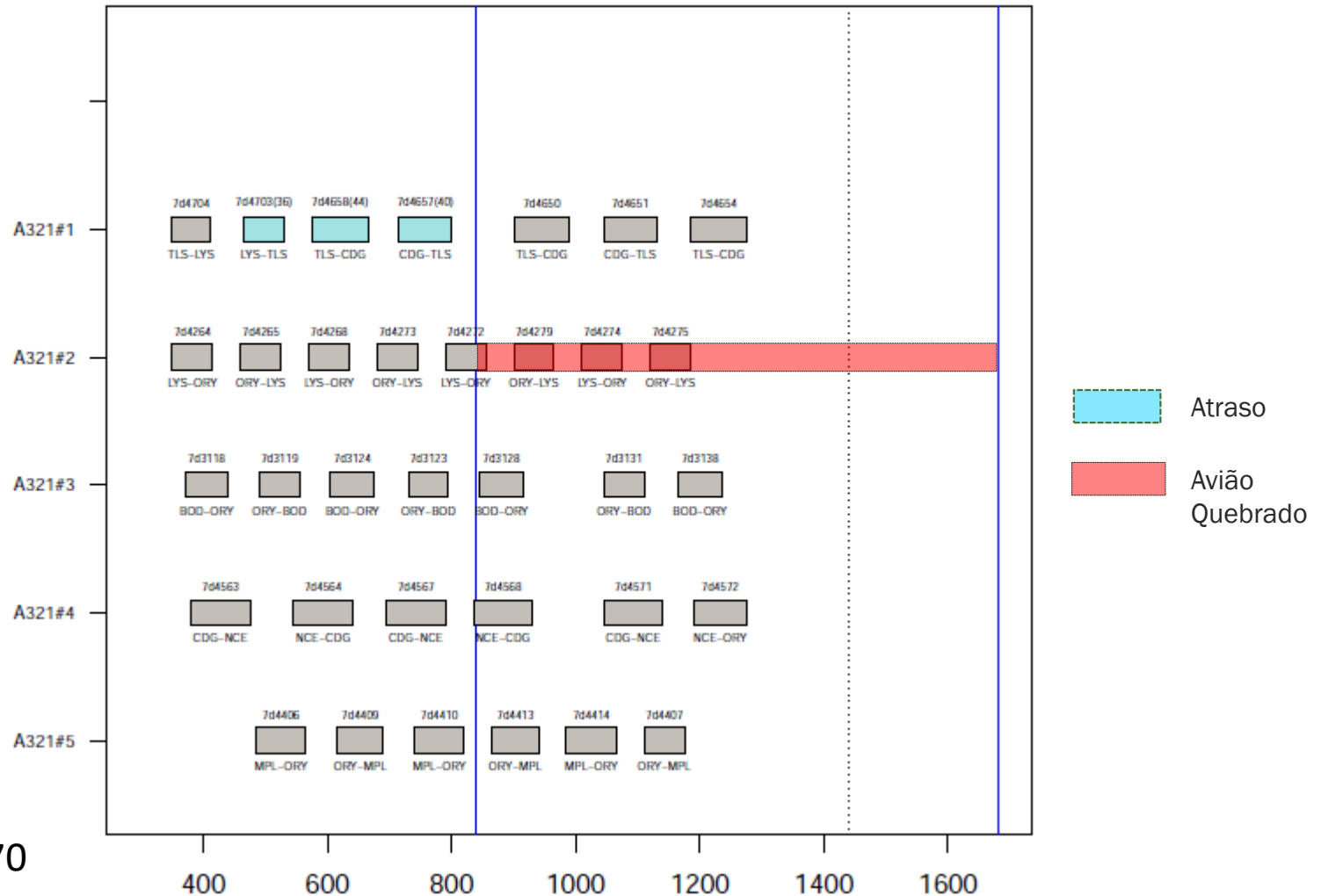


RESULTADOS – ATRASOS E MANUTENÇÃO



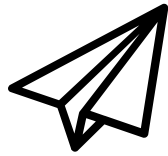
Malha Original

A321_206ASS



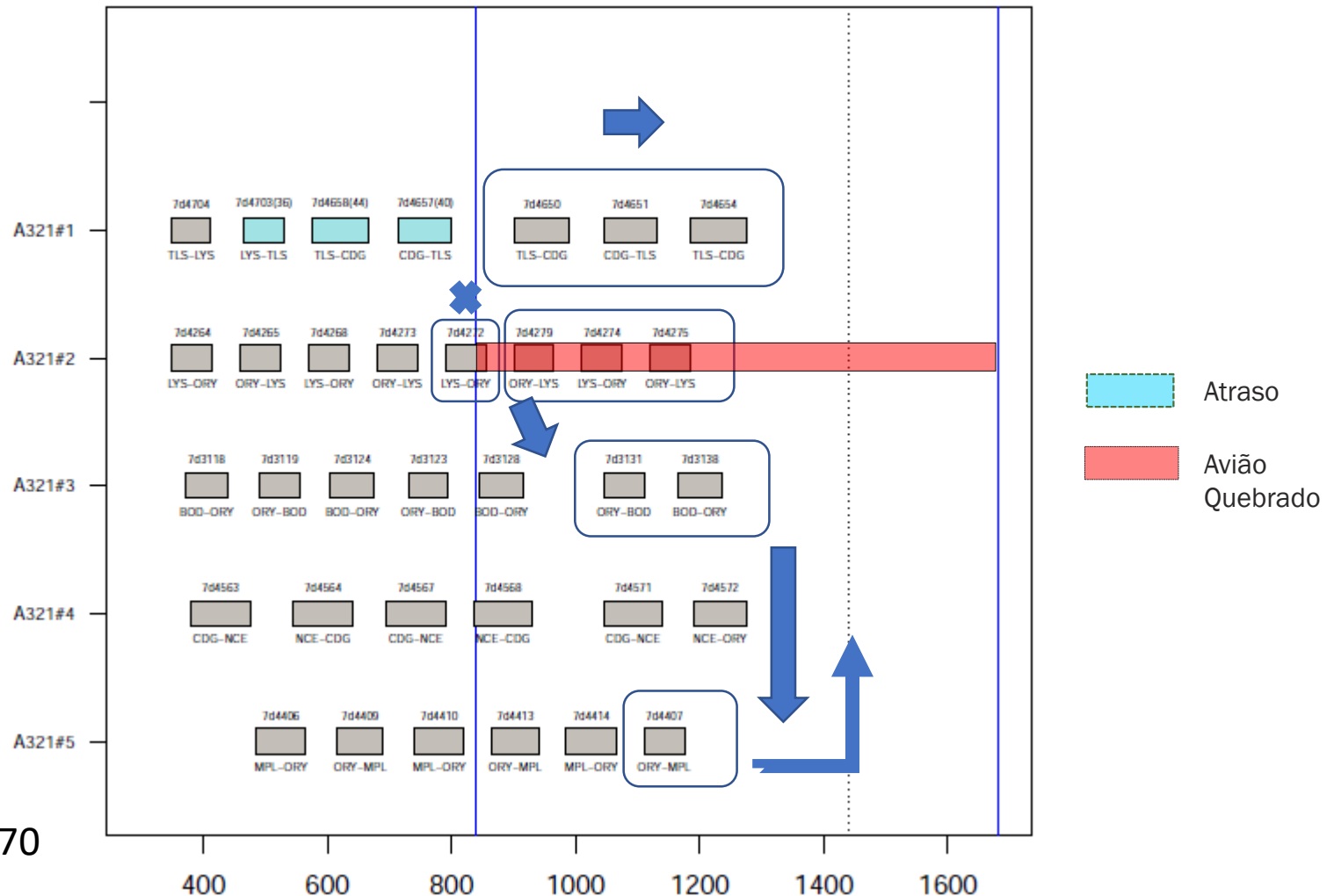
*A03_6088570

RESULTADOS – ATRASOS E MANUTENÇÃO



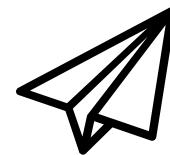
Malha Original

A321_206ASS



*A03_6088570

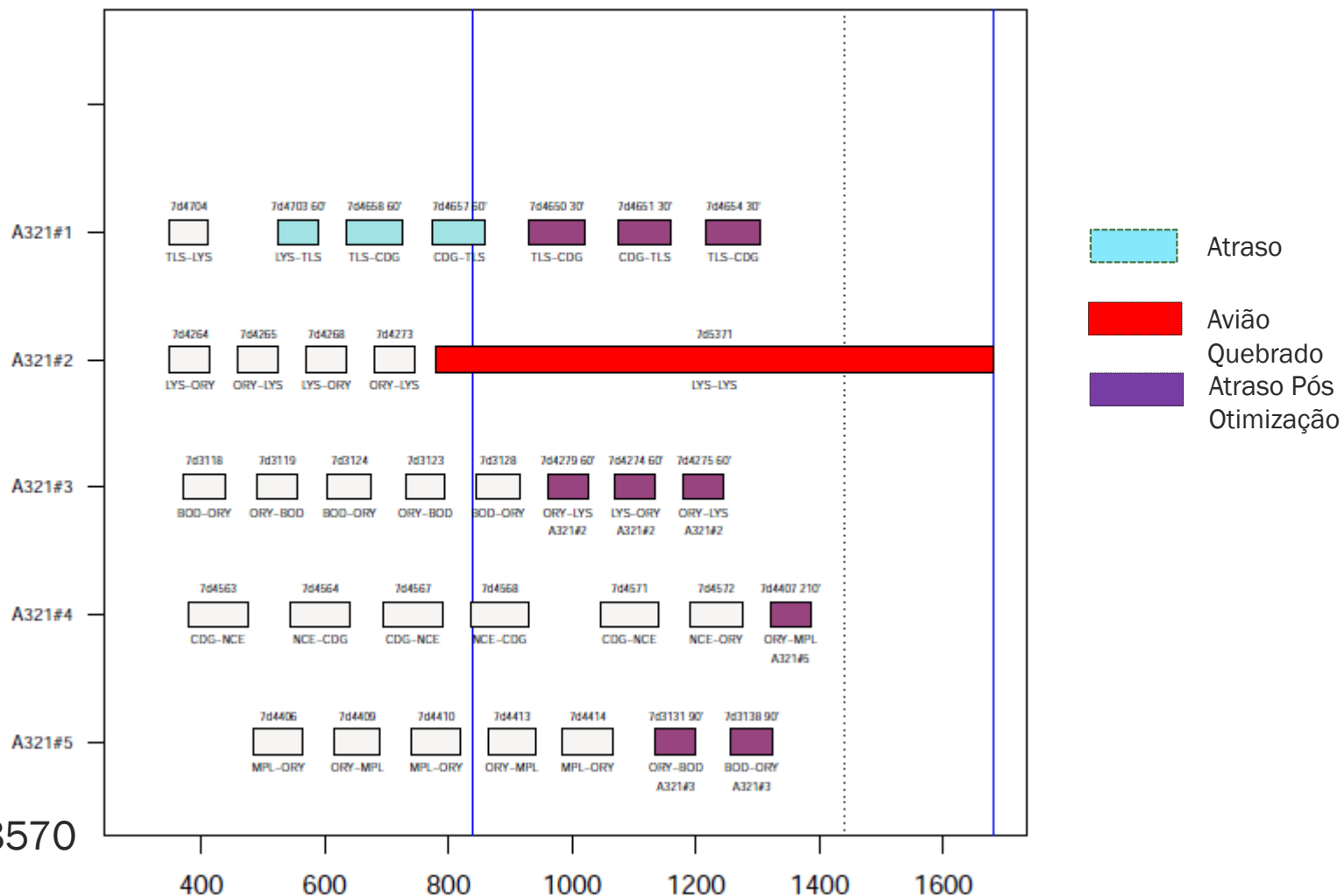
RESULTADOS – ATRASOS E MANUTENÇÃO



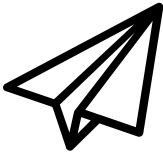
Malha Perturbada

Otimizada

A321_206ASS



*A03_6088570



- O tempo de processamento não chegou a um minuto;
- A validação da heurística com os resultados exatos sugere que o método alcance um GAP de até 5%;
- As manutenções foram modeladas e alocadas da forma correta, ou seja, às aeronaves específicas pertinentes;
- Os resultados são aplicáveis à realidade do centro de controle operacional.

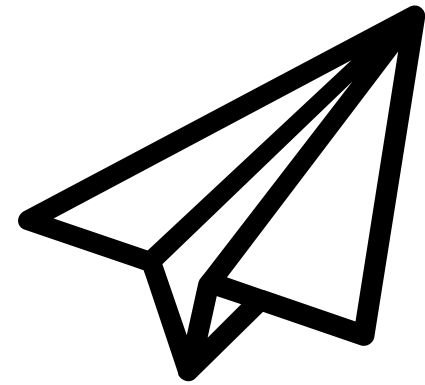
MATH-HEURISTIC PARA O PROBLEMA DE RECUPERAÇÃO DE MALHA AÉREA (RECOVERY PROBLEM)

Fábio Emanuel de Souza Morais

Mestrando, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica - Universidade de São Paulo

fabio.emanuel@gmail.com



Daniel Jorge Caetano

Pós-Doutorando, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

daniel@caetano.eng.br

Nicolau D. Fares Gualda

Professor Sênior, Engenharia de Transportes

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

ngualda@usp.br



XVII SITRAER
AIR TRANSPORTATION SYMPOSIUM
SÃO PAULO, SP, BRAZIL
OCTOBER 22-24, 2018



Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo