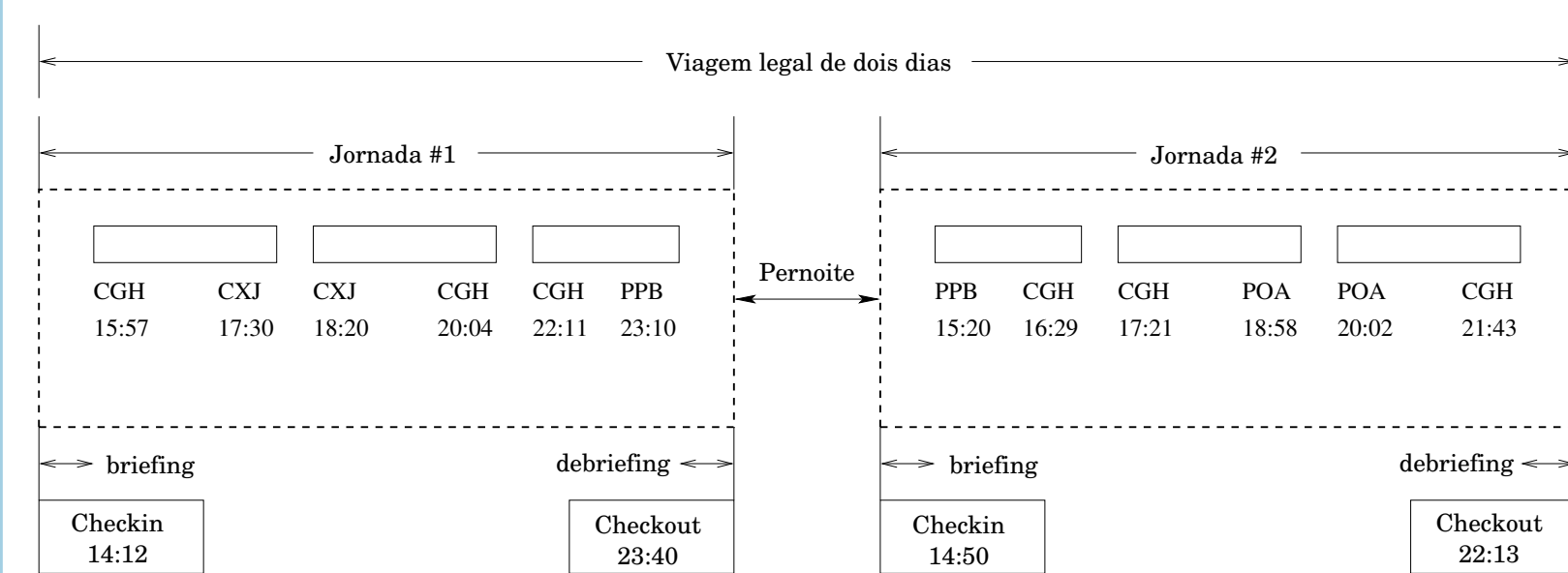


INTRODUÇÃO

As tripulações de uma companhia aérea representam o segundo maior custo operacional, perdendo apenas para o combustível. Um processo otimizado de escalonamento pode resultar em ganhos econômicos da ordem de milhões de dólares.

O problema é resolvido em duas etapas. Na primeira delas, determina-se uma partição dos voos da empresa em um conjunto de viagens legais de custo mínimo (PDV). Na segunda, as viagens obtidas devem ser atribuídas aos tripulantes de forma a minimizar os custos (PDE). Estudamos aqui o PDV. Uma viagem é definida como uma sequência de voos encadeados no espaço e no tempo, obedecendo uma série de restrições legais impostas pela legislação do aeronauta **brasileira**, originando e terminando na base residencial do tripulante.



Implementamos e comparamos três métodos de solução do PDV: um algoritmo baseado em uma busca local, um algoritmo genético híbrido e um procedimento de geração de colunas.

FORMULAÇÃO

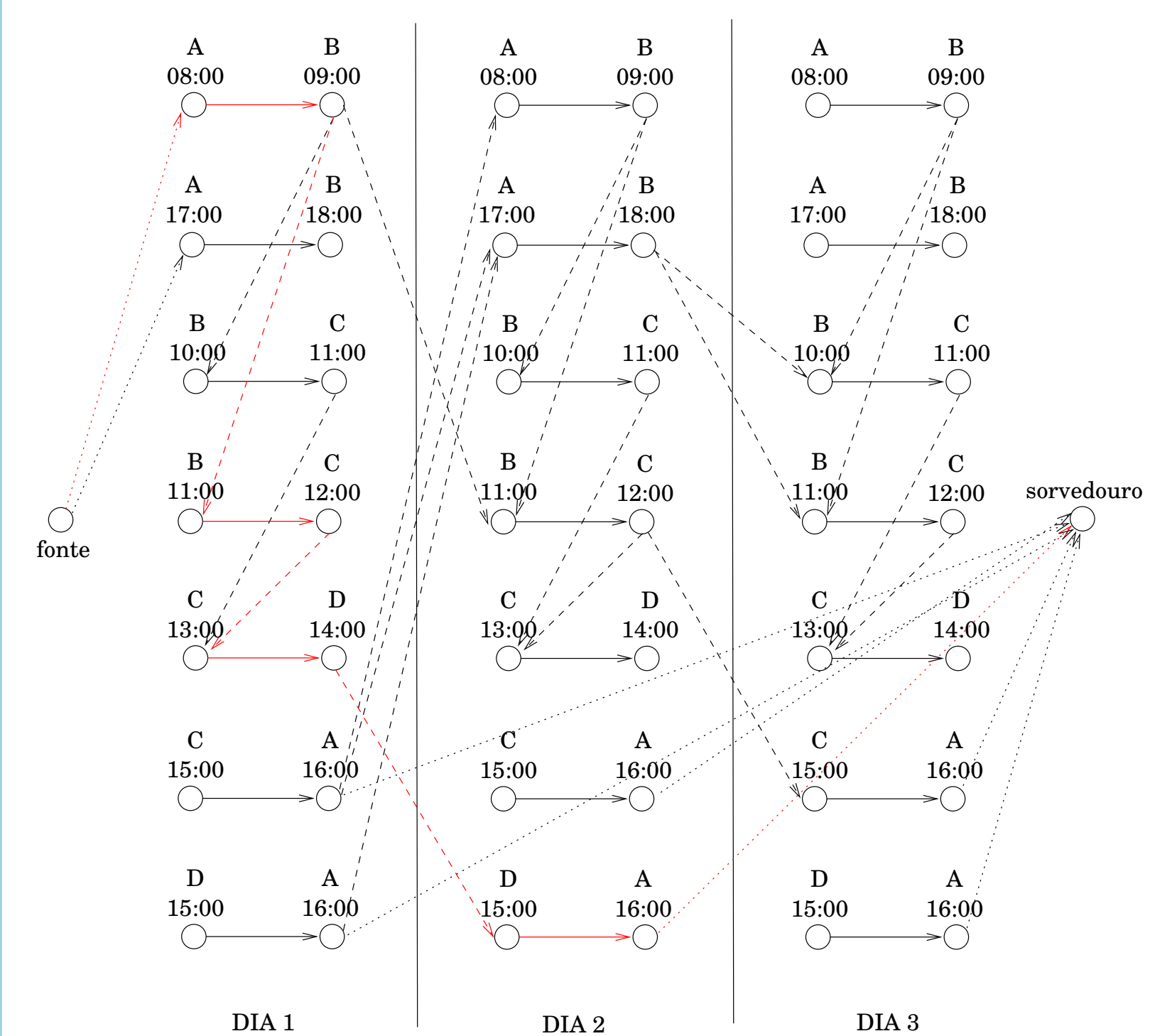
O PDV pode ser formulado como um problema de programação linear inteiro conhecido por **Set Cover**: Seja $x_j = 1$ se a viagem j for escolhida, com custo c_j . Seja $y_i \geq 0$ o número de vezes que o voo i é coberto e d_i o custo associado. Então, queremos resolver:

$$\begin{aligned} &\text{minimizar} && \sum_{j=1}^n c_j x_j + \sum_{i=1}^m d_i y_i \\ &\text{sujeito à} && \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - y_i = 1, \quad i = 1, \dots, m \\ &&& x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n \\ &&& y_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m. \end{aligned}$$

Dado que o problema é NP-difícil e que existe um número enorme de variáveis (viagens possíveis), métodos heurísticos devem ser aplicados.

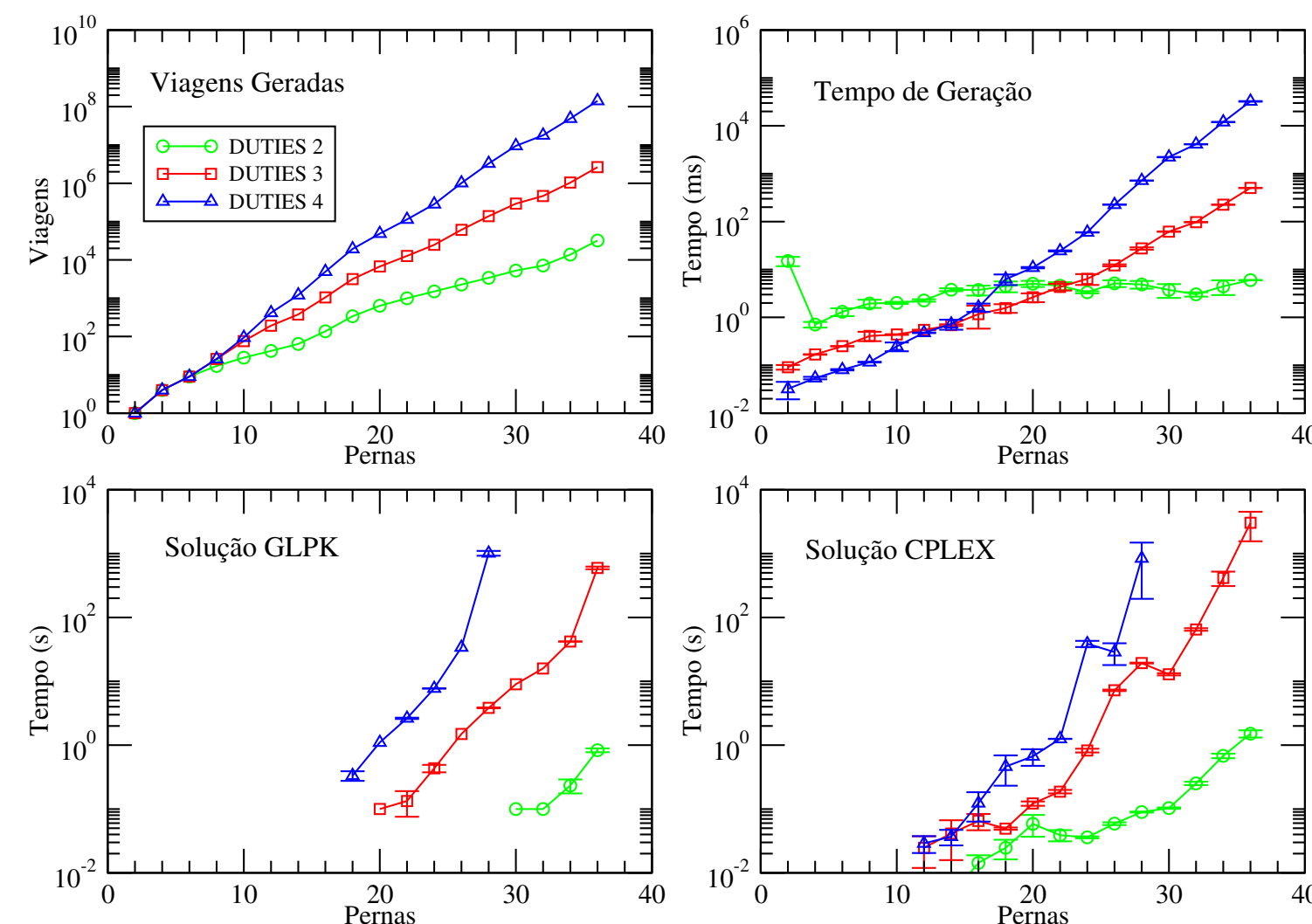
GERAÇÃO DE VIAGENS

As viagens para otimização são geradas a partir de uma **busca em profundidade** na rede de voos do problema. Cada nó representa um voo e arcos são adicionados toda vez que for possível estabelecer uma conexão legal entre os voos. Uma fonte s e um sorvedouro t são adicionados e os voos que se iniciam na base da tripulação são ligados à s . Os voos que chegam na base são ligados à t . Toda viagem viável representa um caminho $s - t$ no grafo.



ANÁLISE PRELIMINAR

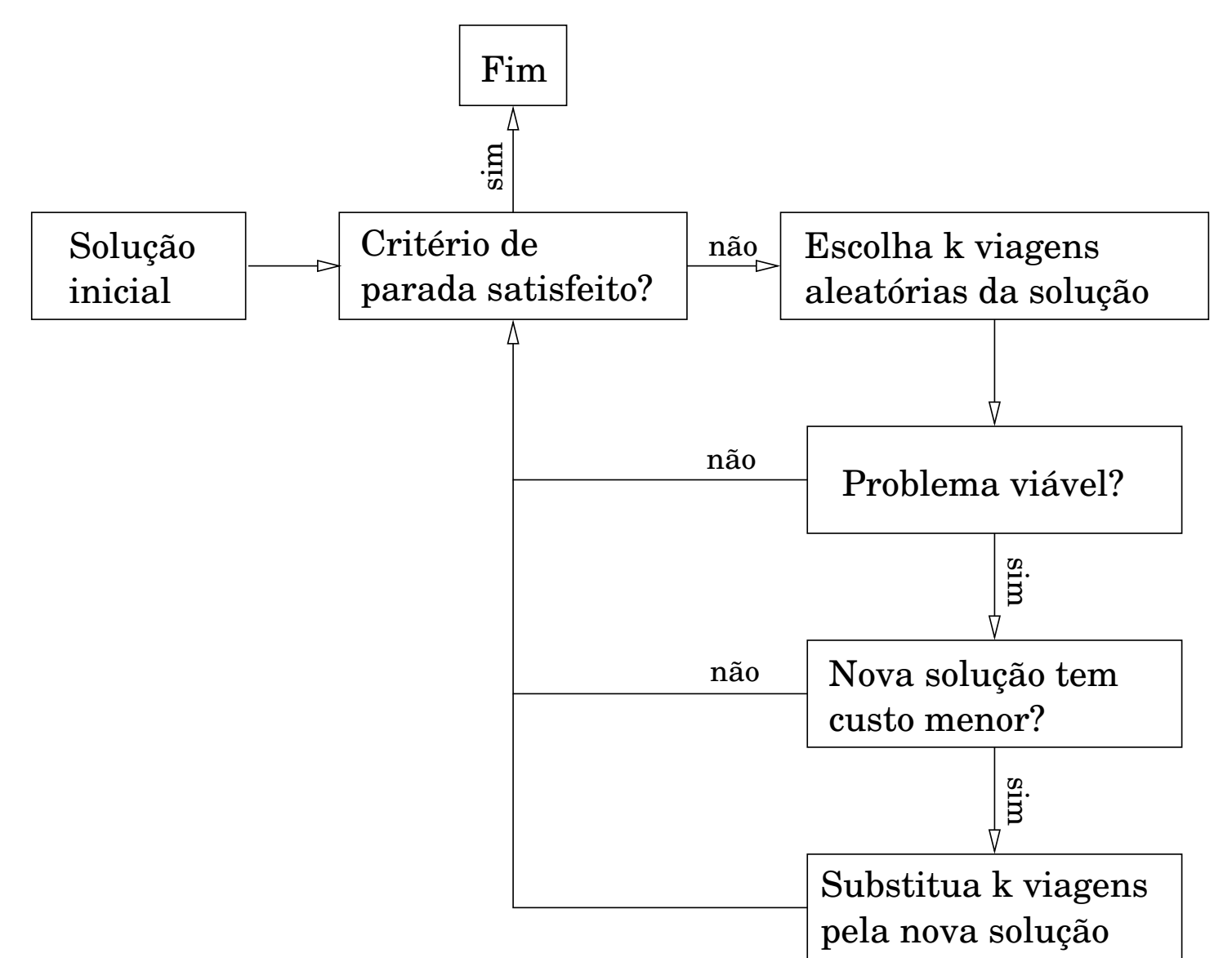
Resolvemos exatamente o PLI para um conjunto de voos utilizando os otimizadores GLPK e CPLEX. Dado o número enorme de variáveis geradas, os problemas não puderam ser resolvidos em tempo hábil mesmo para um número pequeno de pernas (voos).



ALGORITMO GENÉTICO

```
for Blur and regularisation values do
  Initialize  $q, q_{\text{best}}$  and  $\kappa$ 
  repeat
    Calculate  $\Delta p \tilde{F}(q, 0), F(q)$ 
    if  $F(q) < F(q_{\text{best}})$  then
       $q_{\text{best}} \leftarrow q$ 
      Increase  $\kappa$ 
    else
      if  $\kappa$  smaller than threshold then
        return
      decrease  $\kappa$ 
    Calculate  $p$  from  $\Delta p \tilde{F}(q_{\text{best}}, p)$  and  $\kappa$ 
     $q \leftarrow C \circ q, p$ 
  until converged
```

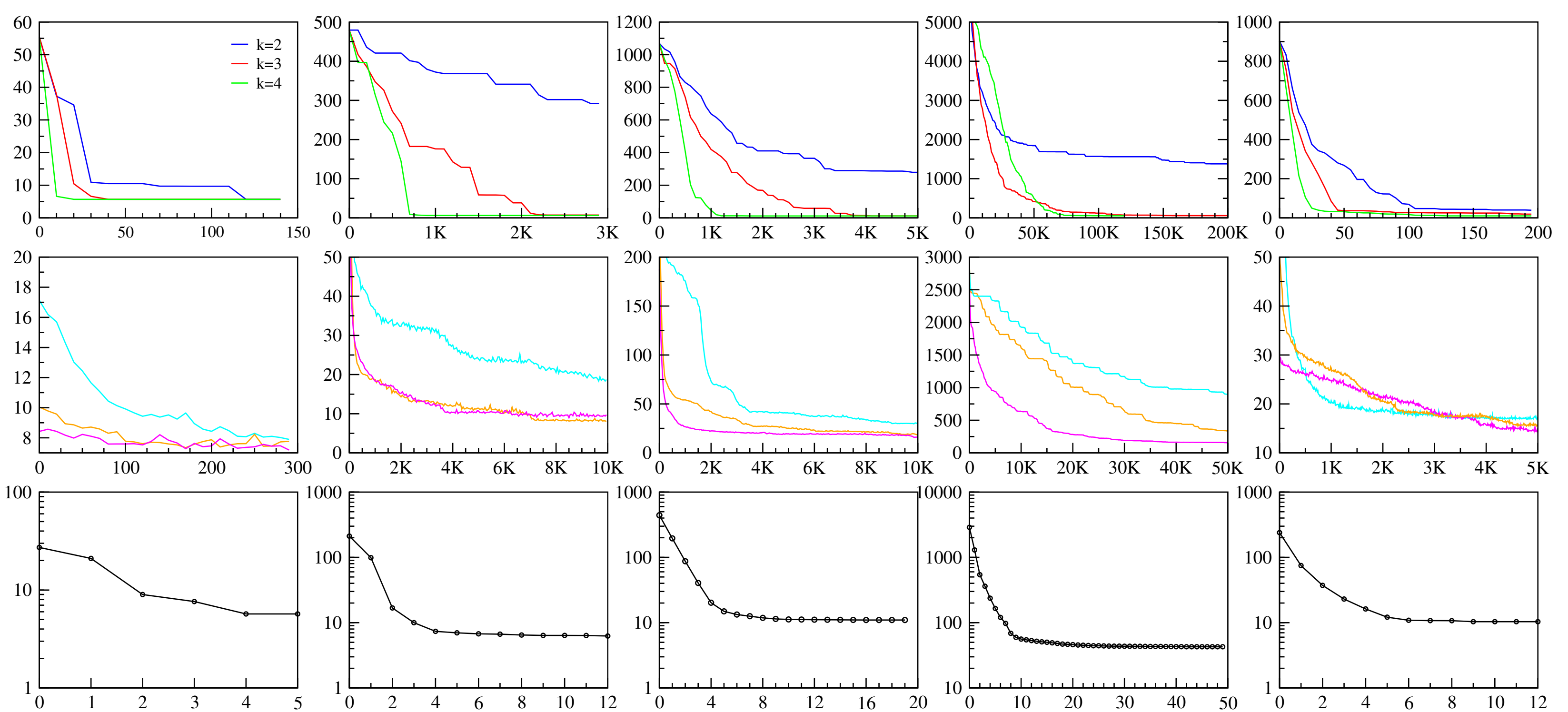
BUSCA LOCAL



GERAÇÃO DE COLUNAS

```
 $x \leftarrow$  solução viável
 $\pi \leftarrow$  duais da relaxação com  $x$ 
repeat
  until  $w^* > 0$ 
  for Blur and regularisation values do
    Initialize  $q, q_{\text{best}}$  and  $\kappa$ 
    repeat
      Calculate  $\Delta p \tilde{F}(q, 0), F(q)$ 
      if  $F(q) < F(q_{\text{best}})$  then
         $q_{\text{best}} \leftarrow q$ 
        Increase  $\kappa$ 
      else
        if  $\kappa$  smaller than threshold then
          return
        decrease  $\kappa$ 
      Calculate  $p$  from  $\Delta p \tilde{F}(q_{\text{best}}, p)$  and  $\kappa$ 
       $q \leftarrow C \circ q, p$ 
    until converged
```

RESULTADOS



		73H_26		738_48		733_92		73G_340		cgh_sdu_62	
		Obj	CPU	Obj	CPU	Obj	CPU	Obj	CPU	Obj	CPU
LS	$k = 2$	0%	1,10	>100%	1,22	>100%	3,16	>100%	208,44	>100%	0,79
	$k = 3$	0%	1,48	14,1%	7,91	8,1%	18,68	32,5%	1303,53	87,9%	1,31
	$k = 4$	0%	1,81	0%	11,46	8,0%	99,09	25,7%	2182,31	0%	17,83
AG	$f = 1$	0%	1,39	78,1%	4,35	>100%	8,30	>100%	1074,97	56,2%	4,31
	$f = 5$	0%	4,17	13,8%	13,19	46,4%	10,79	>100%	763,19	36,2%	13,99
	$f = 10$	0%	11,01	0%	33,99	72,2%	17,85	>100%	482,10	30,5%	27,50

CONCLUSÕES