



Dimensionamento de Redes
com Qualidade de Serviço:

Uma Abordagem via
Metaheurística GRASP

Dárlinton B. Feres Carvalho

Orientador: Prof. Carlos Frederico

Co-orientador: Prof. Marccone

[Estrutura da Apresentação]

- Introdução
- Conceitos Iniciais
- Projeto Tequila
- Bloco de Dimensionamento de Rede
- Método Proposto
- Resultados Computacionais
- Conclusão e Trabalhos Futuros

[Introdução]

- Mudança no paradigma da Internet
- Novas aplicações:
 - Teleconferência, VoIP, VPNs...
 - Novos requisitos!
- Motivação
- Objetivo

[Conceitos Iniciais]

■ Engenharia de Tráfego

- Engenharia de tráfego da Internet é definida como a componente da engenharia da rede Internet que lida com questões de avaliação, desempenho e otimização de redes operacionais IP, através da aplicação de tecnologia e princípios científicos para a quantificação, caracterização, modelagem e controle do tráfego da Internet [Awduche et al., 1999].
- Objetivos orientados a usuários e a sistemas.

[Conceitos Iniciais]

■ Qualidade de Serviço

- A Qualidade de Serviço é definida como a capacidade da rede prover serviço de encaminhamento de dados de forma consistente e previsível. (**Stardust Technologies**)
- Qualidade de serviço é definida como a habilidade de um elemento da rede, seja uma aplicação, *host*, roteador, ou outro dispositivo, ter algum nível de garantia que seu tráfego e exigências de serviço podem ser satisfeitas. (**Ferguson, P. & Huston, G**)

Conceitos Iniciais

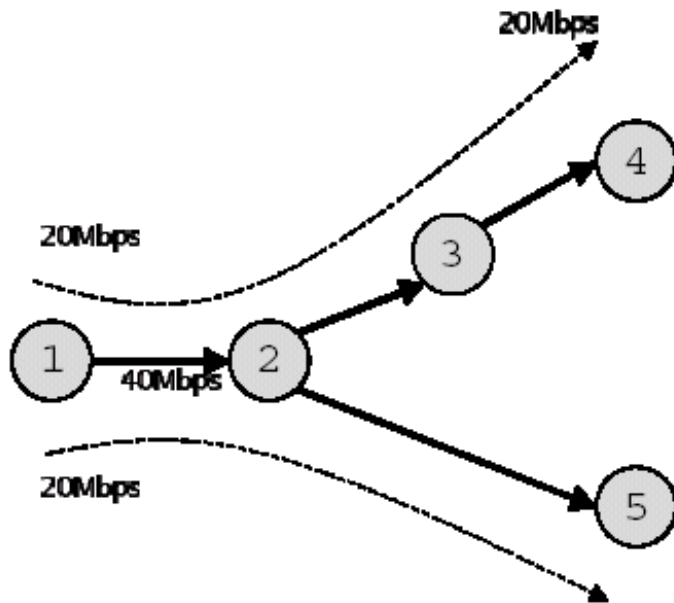
- DiffServ (Serviço Diferenciado)
 - PHB (Per Hop Behavior)
 - EF, AFx, BE
 - Agregado de Ordem
- MPLS (*Multiprotocol Label Switching*)
 - LSP (*Label Switched Paths*)
 - Micro-fluxo, Fluxo
 - Tronco de Tráfego

[Conceitos Iniciais]

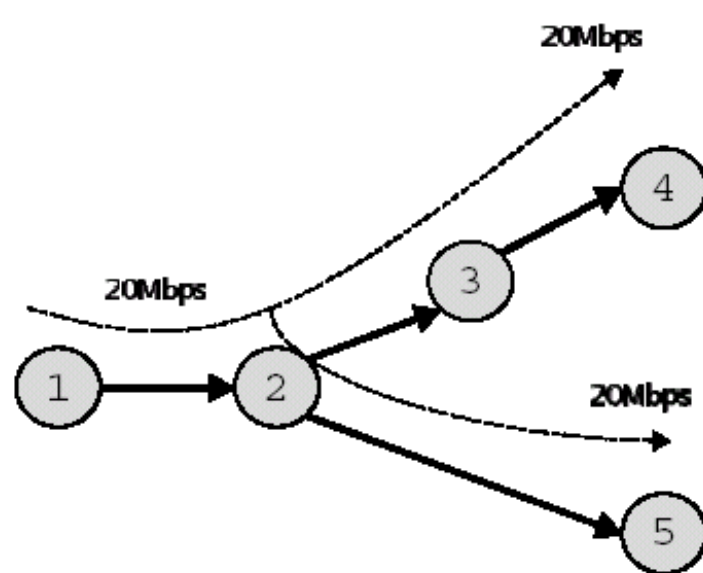
- Especificação em nível de serviço (*Service Level Agreements*)
 - SLA → SLS (*Service Level Specification*)
 - SLS → Contexto Arquitetura Tequila

Conceitos Iniciais

- Modelo Tubo X Modelo Funil
(*Pipe Model X Hose Model*)



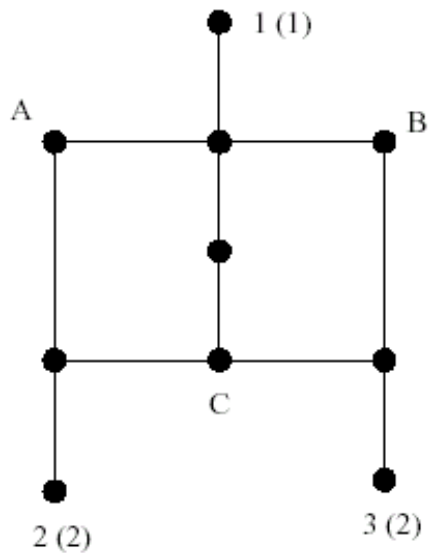
(A)



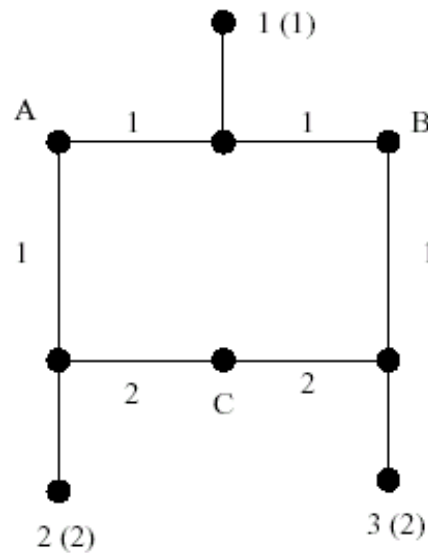
(B)

[Conceitos Iniciais]

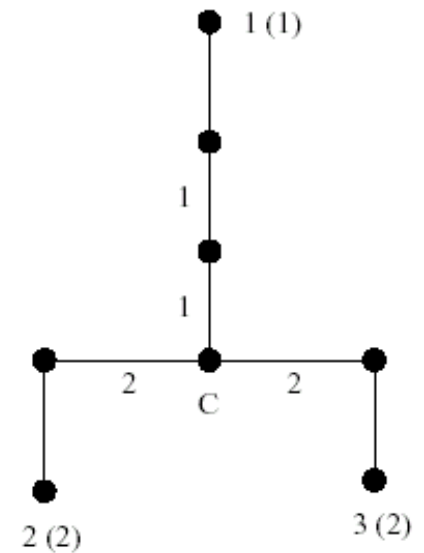
■ Compartilhamento de rotas



(a) Graph



(b) Independent Shortest Paths



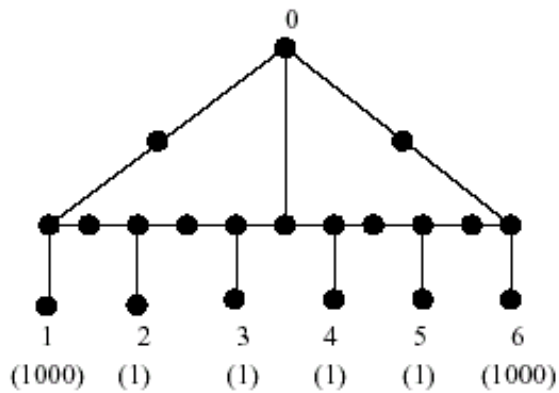
(c) Link Sharing Among Paths

[Conceitos Iniciais]

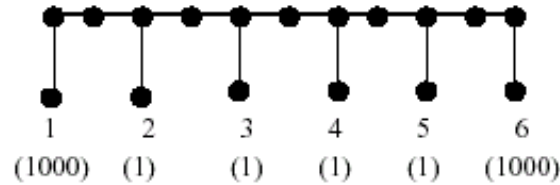
- Relacionado com o problema clássico de Steiner
- Redes virtuais privadas (VPNs)
 - Kumar A., Rastogi R., Silberschatz A., e Yener B., “*Algorithms for provisioning virtual private networks in the hose model*”, ACM Sigcomm, Cambridge, Massachusetts, USA, Agosto 2001.

[Conceitos Iniciais]

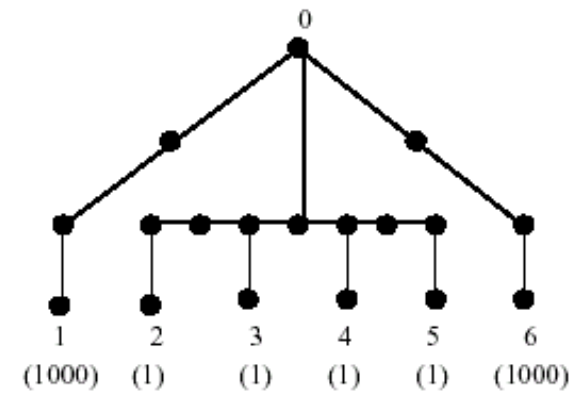
- Exemplo de uma árvore de Steiner sub-optimal



(a) Graph



(b) Steiner Tree



(c) Optimal VPN Tree

[Conceitos Iniciais]

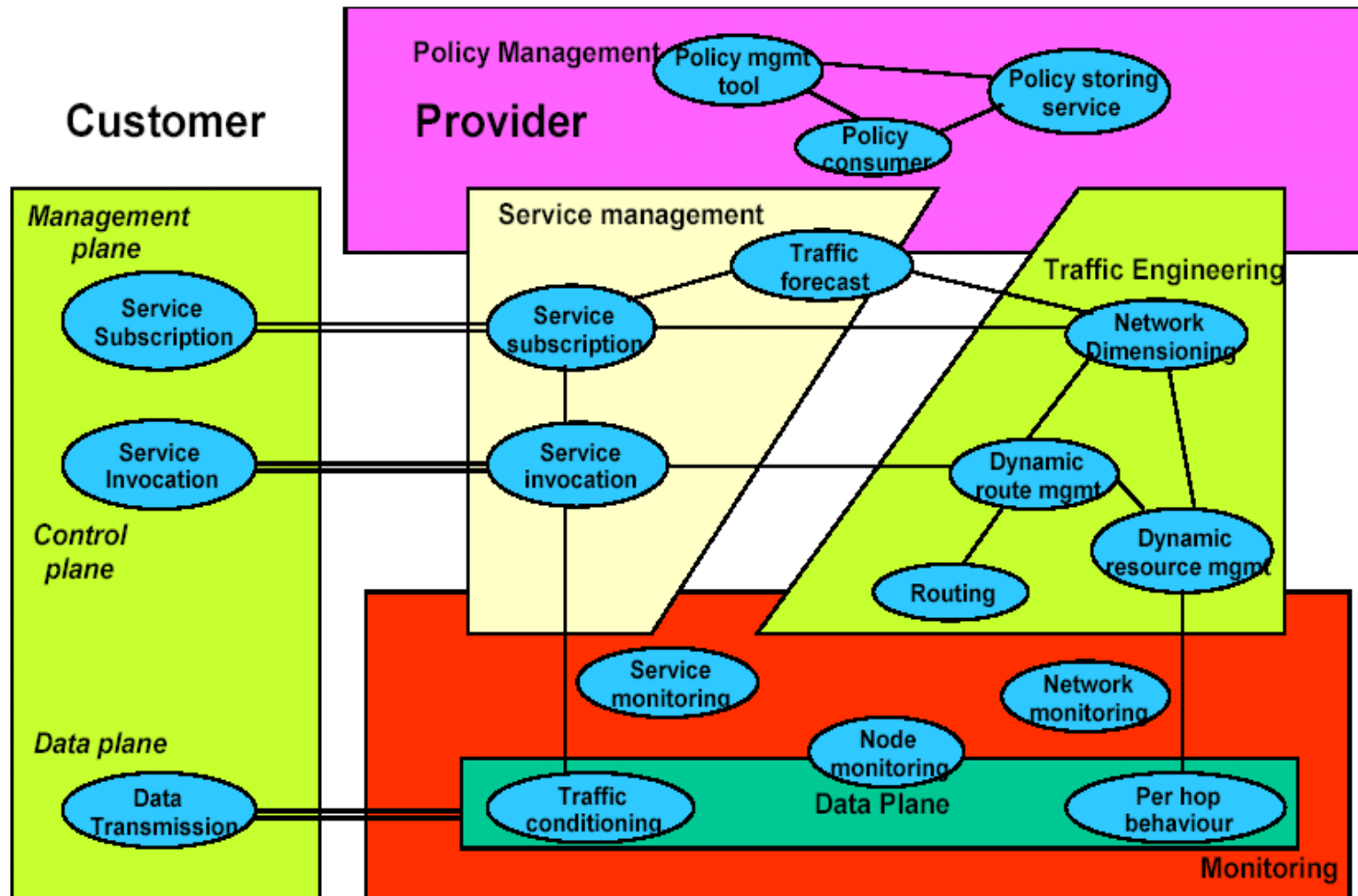
- VPN → Restrição de banda de passagem
- QoS → Roteamento com multirestrições
 - Atraso fim-a-fim
 - Jitter
 - Perda de pacotes
 - Largura de banda e vazão

[Projeto Tequila]

- O objetivo do projeto Tequila (*Traffic Engineering for Quality of service in the Internet at Large*) é estudar, especificar, implementar e validar um conjunto de definições de serviço e ferramentas de engenharia de tráfego para obter garantias quantitativas fim-para-fim de Qualidade de Serviço através de cuidadoso planejamento, dimensionamento e controle dinâmico de técnicas para gerenciamento de tráfego qualitativo simples e escalonável dentro da Internet (i.e., Diffserv). As áreas técnicas seguintes serão enunciadas: (a) Especificação de SLSs estático e dinâmico, intra e inter-domínio para sustentar usuários fixo e nômades. (b) Protocolos e mecanismos para transação, monitoramento e obrigações SLSs. (c) Esquemas de engenharia de tráfego para intra e interdomínio para assegurar que a rede pode contender com o SLSs contraído - dentro de domínios, e na Internet como um todo. Toda funcionalidade especificada será validada por simulação, desenvolvimento de protótipo e experimentos em rede [Goderis et al., 2001]

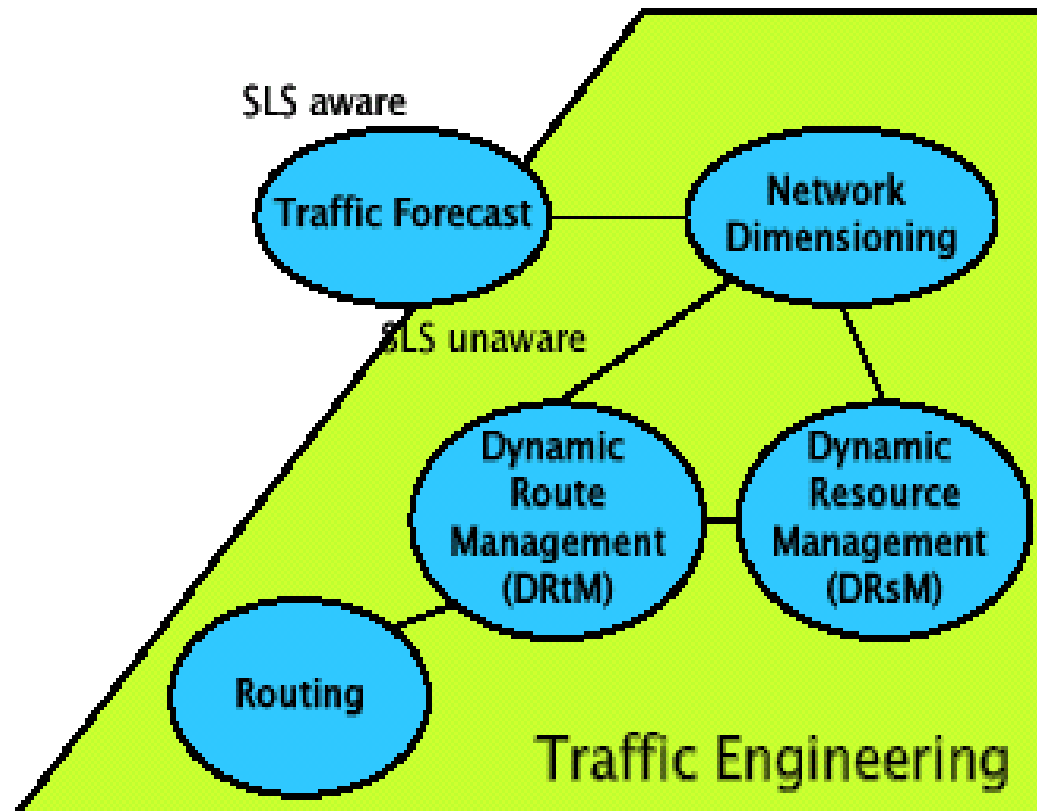
Projeto Tequila

■ Arquitetura funcional Tequila



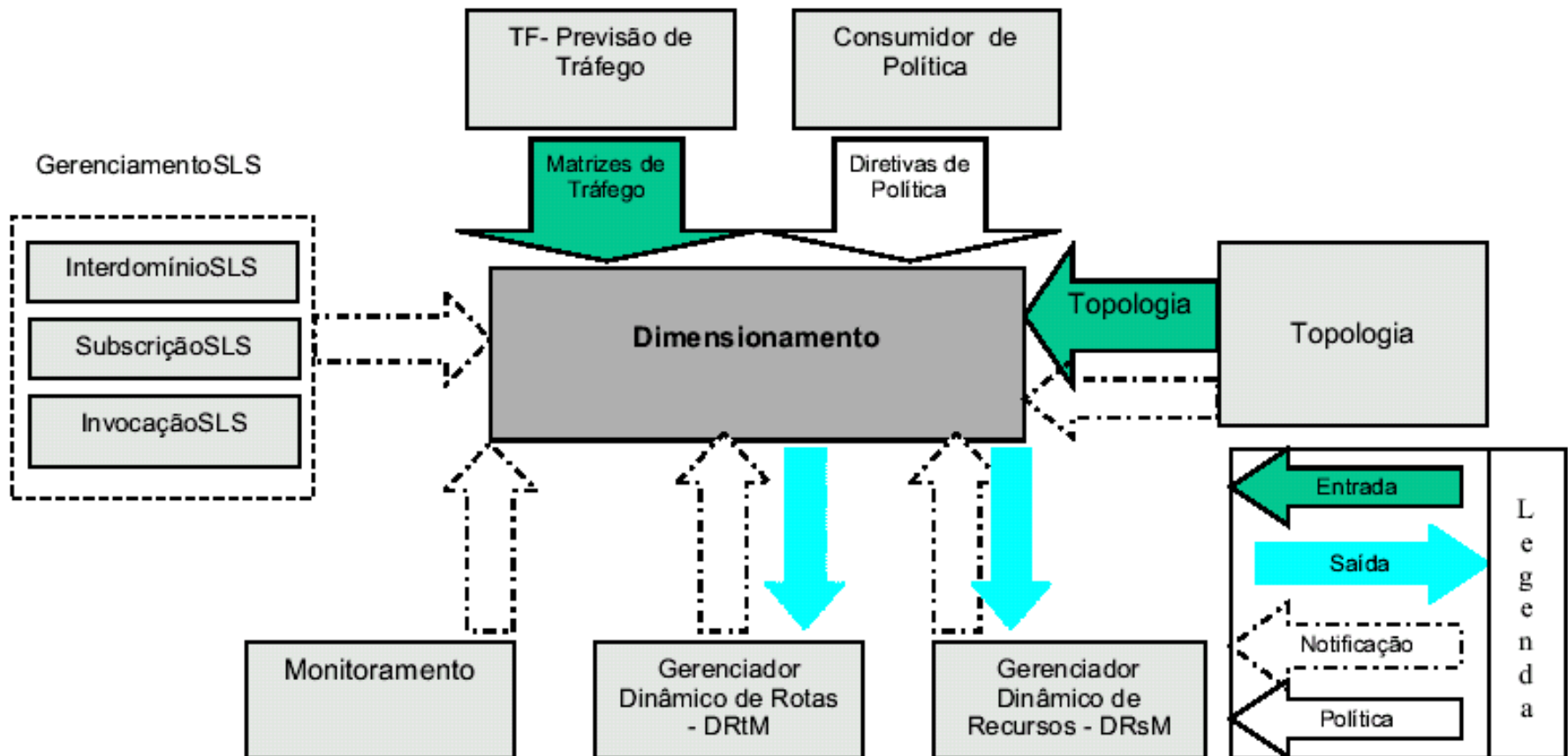
Dimensionamento de Redes

- Bloco de Engenharia de Tráfego



Dimensionamento de Redes

Interface do módulo



Formulação do Problema

Uma rede é modelada como um grafo direcionado $G(V,A)$, onde V é um conjunto de nós, representando os roteadores, e A é o conjunto das arestas, os enlaces da rede. Um elemento $a_{ij} \in A$ é especificado pelo par $l=(v_{i,ingress}, v_{j,egress})$, onde $v_{i,ingress}$ e $v_{j,egress}$ são os nós onde o tráfego entra e sai na rede respectivamente, também denominados nós de ingresso e egresso.

Sendo uma classe de qualidade de serviço h implementada pelo PHB do tipo h , temos que cada enlace l possui os seguintes recursos associados com o PHB do tipo h :

- A capacidade do enlace C_l^h ;
- O atraso do enlace d_l^h ;

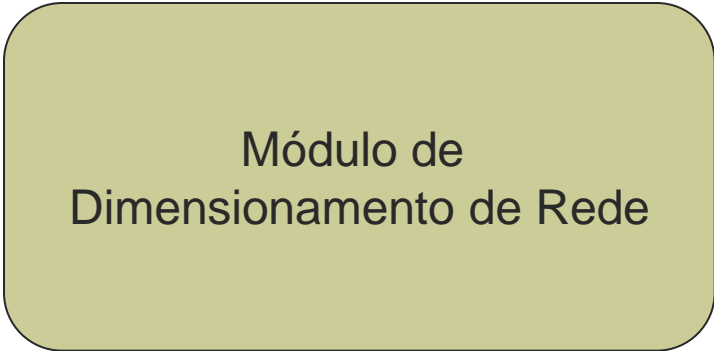
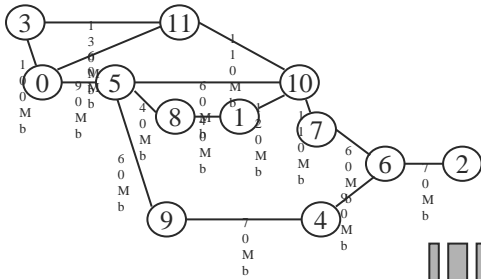
O atraso total do enlace pode ser decomposto em quatro componentes distintos: processamento, enfileiramento, transmissão e propagação [Bertsekas & Gallager, 1992].

[Formulação do Problema]

Um tronco de tráfego $TT^h_i \in OA^h$, com nó de ingresso $V_{TT,ingress}$ e o conjunto de nós de egresso $V_{TT,egress}$, sendo $V_{TT,egress} \subseteq (V \setminus V_{TT,ingress})$, é associado a requisitos de banda de passagem de ingresso mínima e máxima, denotadas respectivamente por $b_{TT,ingress}$, $b_{TT,ingress}$ e com um atraso fim-a-fim máximo $d_{TT,i}$. O atraso máximo pode ser determinístico ou probabilístico, dependendo do tipo do PHB h . Para cada nó de egresso $v_{TT,y} \in V_{TT,egress}$, a banda de passagem requisitada de egresso é definida como $b_{TT,y}$.

[Exemplo]

Topologia de rede



Demanda – Troncos de tráfego

#	#id	in	eg	Oa	in min	bv max	eg bw min	max	delay	loss	start	end
0	0	0	11	EF	20	20	20	20	10.0	0.1	0	0
1	0	0	11	EF	30	30	30	30	10.0	0.1	0	0
2	0	0	11	EF	40	40	40	40	10.0	0.1	0	0
3	0	0	11	EF	50	50	50	50	10.0	0.1	0	0
4	0	0	3	EF	20	20	20	20	10.0	0.1	0	0
5	3	0	11	EF	54	54	54	54	10.0	0.1	0	0
6	0	0	3	EF	53	53	33	33	10.0	0.1	0	0
6	0	0	11	EF	53	53	23	23	10.0	0.1	0	0
7	0	0	3	EF	52	52	52	52	10.0	0.1	0	0
7	0	0	11	EF	52	52	22	22	10.0	0.1	0	0
8	5	0	10	EF	55	55	35	35	10.0	0.1	0	0
8	5	0	11	EF	55	55	25	25	10.0	0.1	0	0
9	0	0	1	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	2	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	3	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	4	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	5	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	6	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	7	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	8	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	9	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	0	10	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0

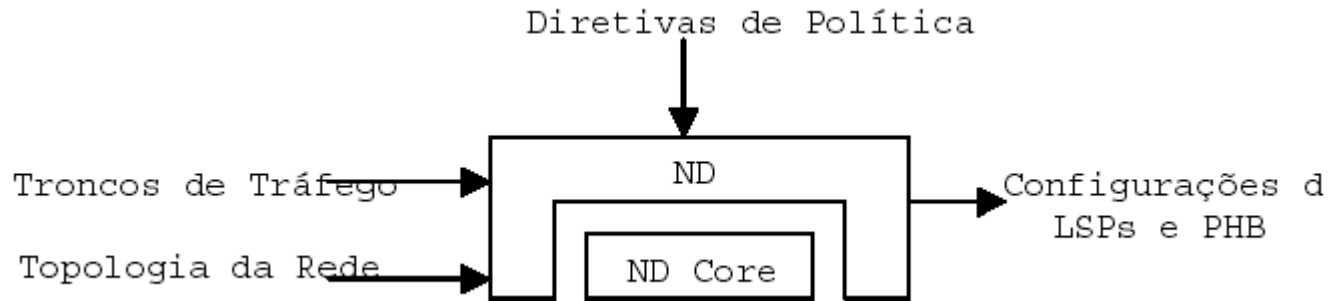
Rotas explícitas-LSPs

#0 {0-5-8-1-10-7-6-2}

#1 {0-11-10-7}

Implementação Atual

- Divisão em dois módulos

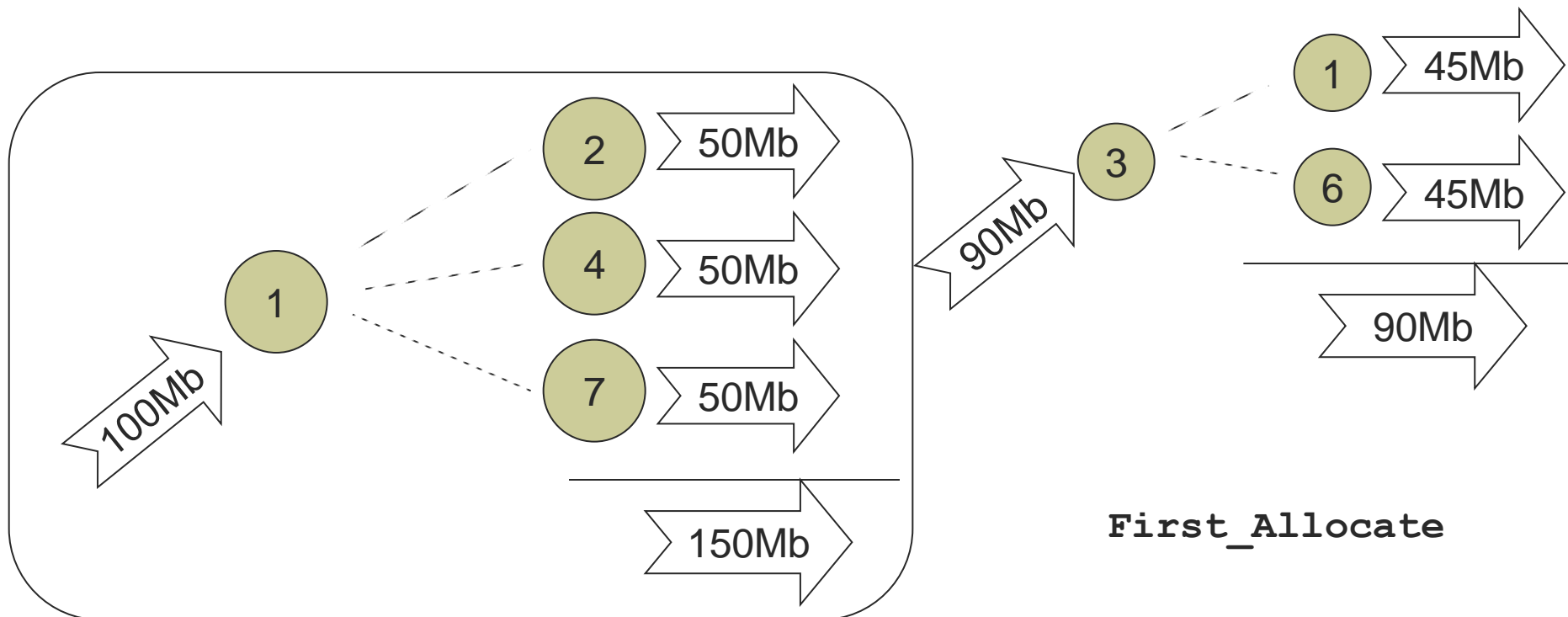


- Núcleos de duas fases:

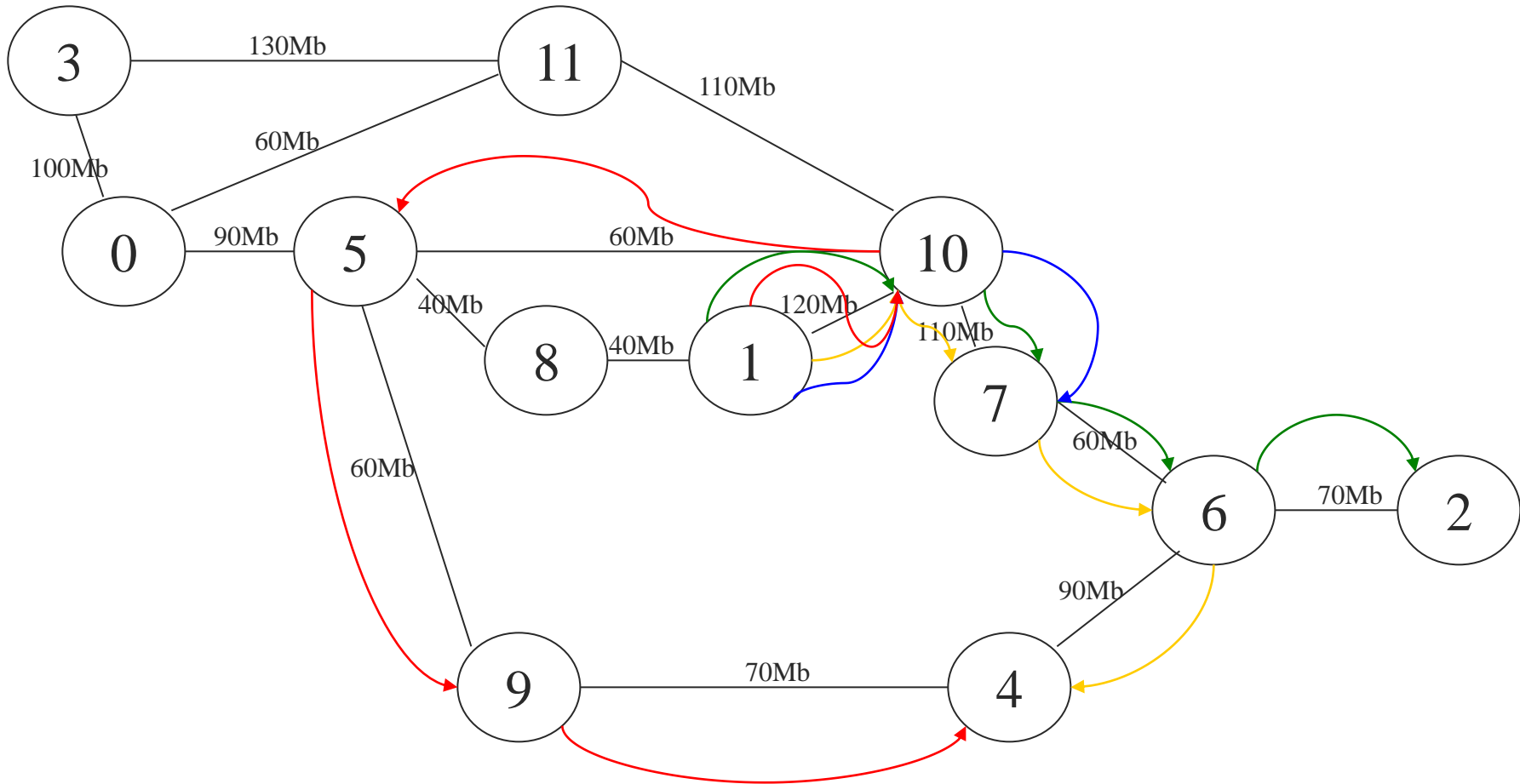
- Alocação
- Otimização

[Implementação Atual]

- Construção de uma solução inicial
 - Heurística



[Implementação Atual]



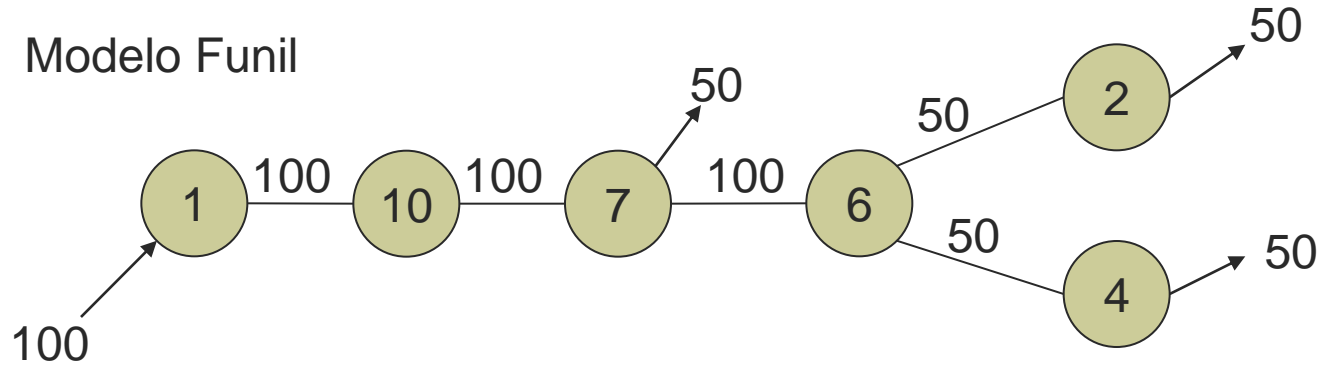
$tt_i = (\#1, 100\text{Mb}, \{(\#2, 50\text{Mb}), (\#4, 50\text{Mb}), (\#7, 50\text{Mb})\})$



Implementação Atual

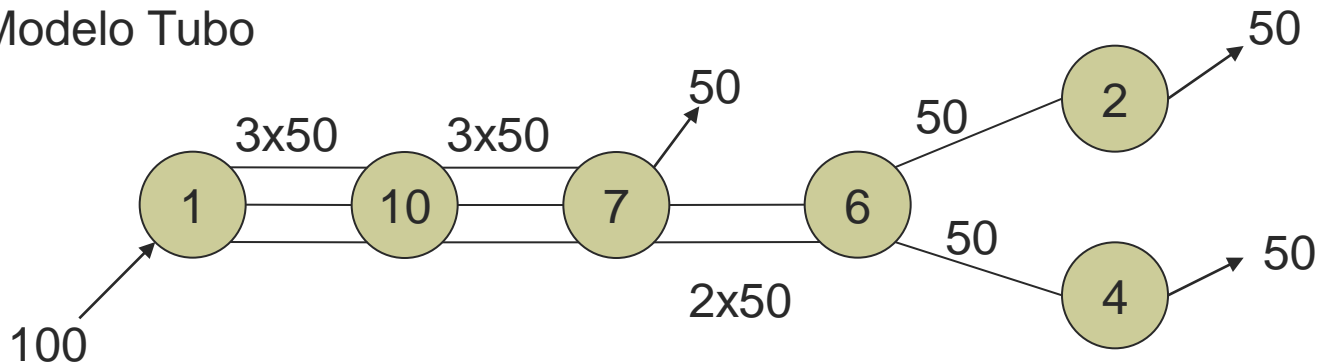
$tt_i = (\#1, 100\text{Mb}, \{(\#2, 50\text{Mb}), (\#4, 50\text{Mb}), (\#7, 50\text{Mb})\})$

Modelo Funil



Total consumido na rede = 400Mb

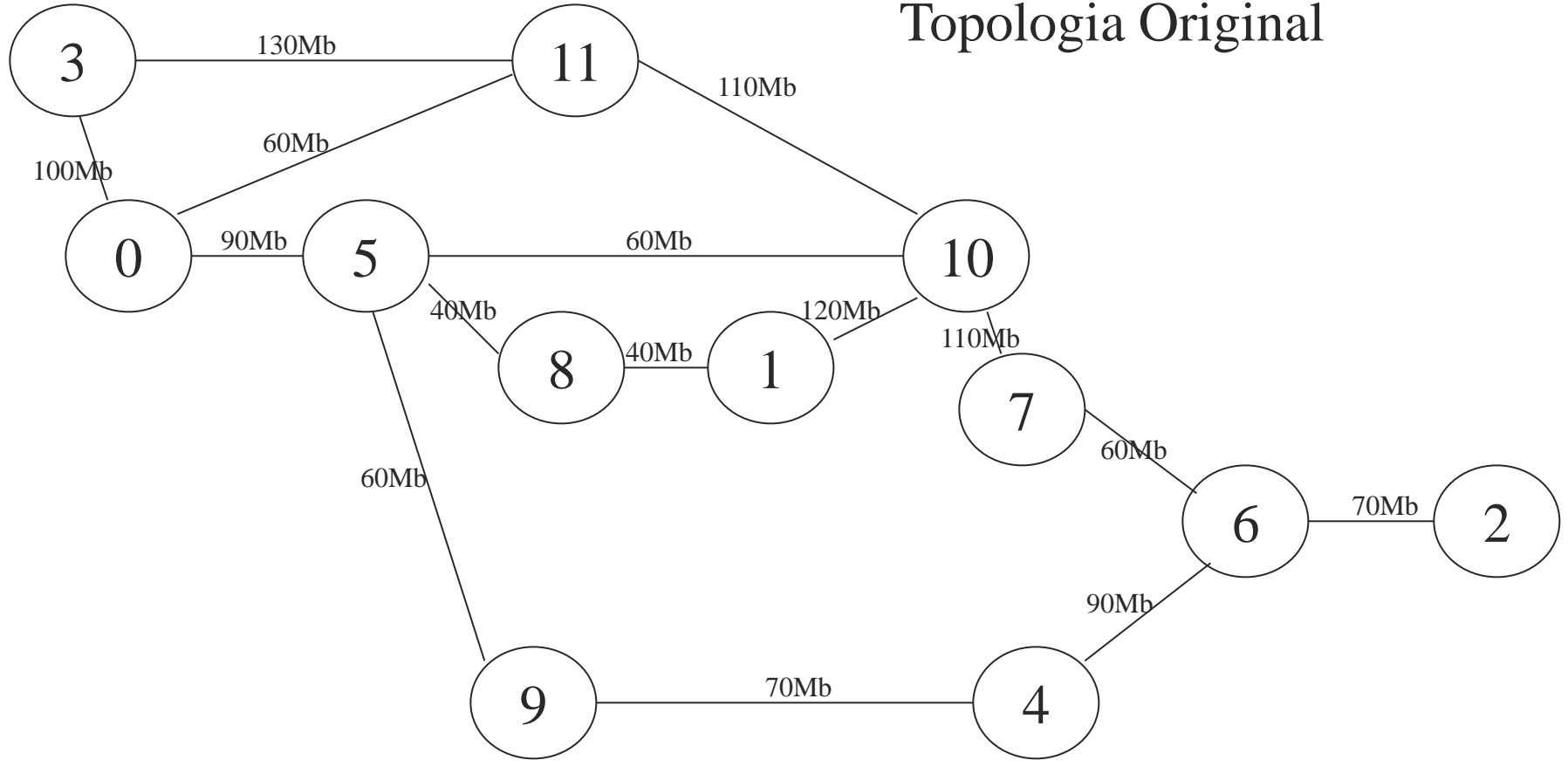
Modelo Tubo



Total consumido na rede = 500Mb

[Exemplo]

Topologia Original



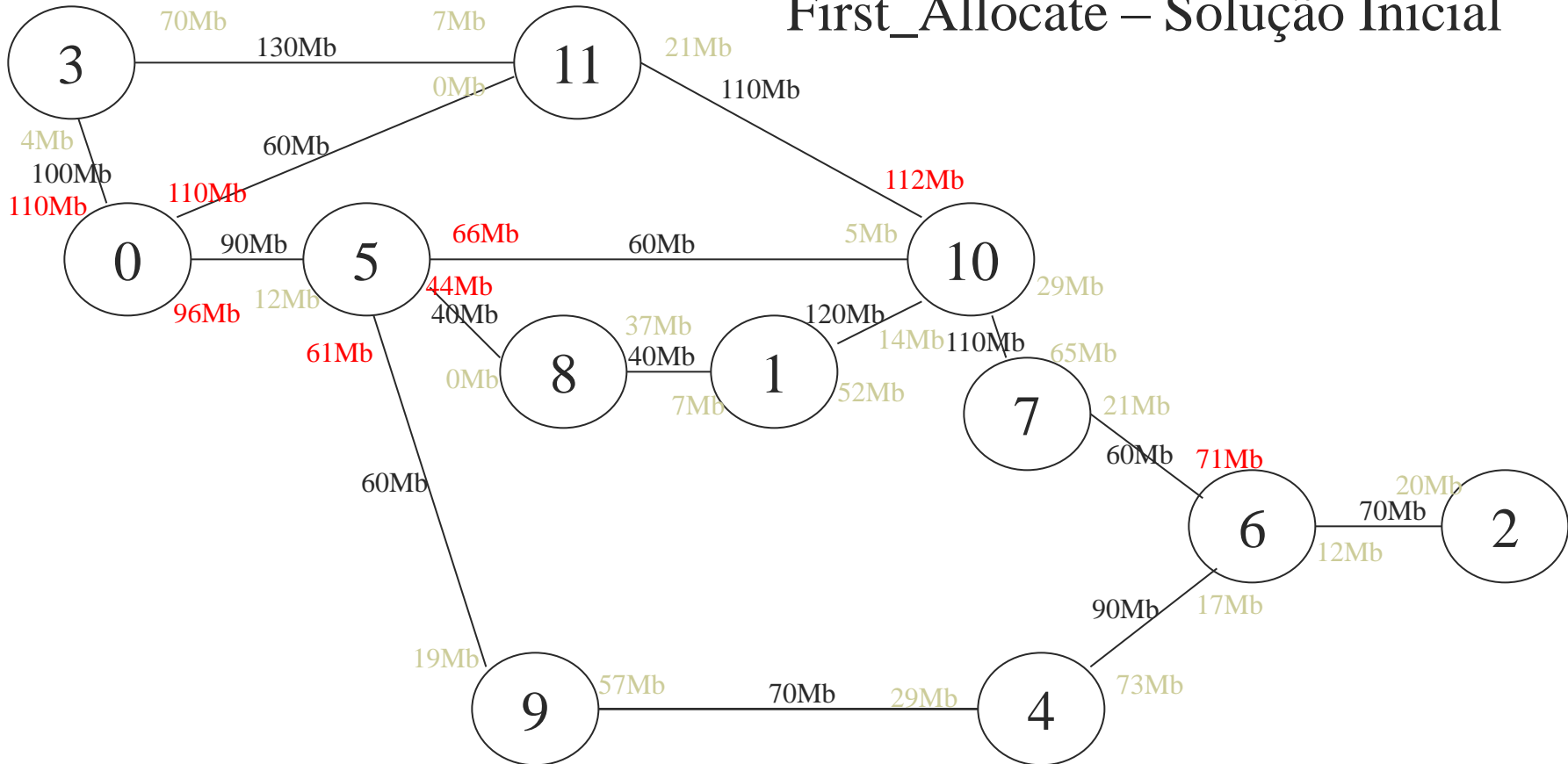
Exemplo

- # Created by Panos Trimintzios (c) University of Surrey

#	in	eg	OA	in min	bw max	eg min	bw max	delay	loss	start	end
0	0	11	EF	20	20	20	20	10.0	0.1	0	0
1	0	11	EF	30	30	30	30	10.0	0.1	0	0
2	0	11	EF	40	40	40	40	10.0	0.1	0	0
3	0	11	EF	50	50	50	50	10.0	0.1	0	0
4	0	3	EF	20	20	20	20	10.0	0.1	0	0
5	3	11	EF	54	54	54	54	10.0	0.1	0	0
6	0	3	EF	53	53	33	33	10.0	0.1	0	0
6	0	11	EF	53	53	23	23	10.0	0.1	0	0
7	0	3	EF	52	52	52	52	10.0	0.1	0	0
7	0	11	EF	52	52	22	22	10.0	0.1	0	0
8	5	10	EF	55	55	35	35	10.0	0.1	0	0
8	5	11	EF	55	55	25	25	10.0	0.1	0	0
9	0	1	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	2	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	3	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	4	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	5	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	6	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	7	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	8	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	9	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
9	0	10	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0
10	1	0	EF	20	20	1	1	10.0	0.1	0	0

Exemplo

First_Allocate – Solução Inicial



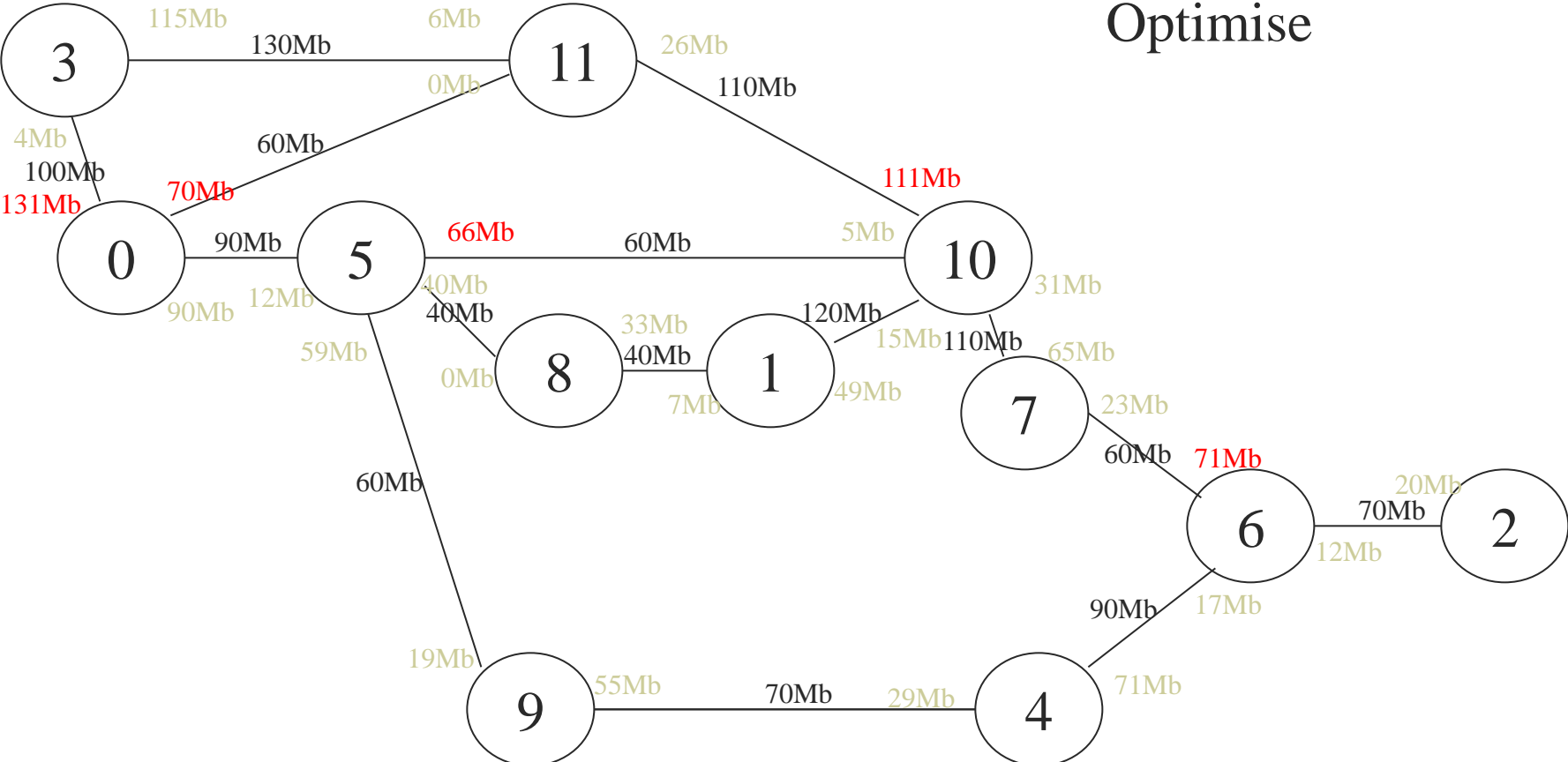
#tt	#arc	#inv	\bar{x}_{inv}	dev.p.	\bar{x}	dev.p.
23	30	8	117.72%	27.037	54.38%	47.164

[Implementação Atual]

- Restaurando inviabilidades
 - Caso exista arco sobrecarregado:
 - Arcos com maiores inviabilidades primeiro
 - Uma única análise por arco
 - Determinar o menor tronco de tráfego, que se realocado, elimina a inviabilidade do arco. Se a sobrecarga for maior do que o maior tt_i alocado ou a realocação não for possível → tenta realocar todos os troncos de tráfego que utilizem o arco
 - Uma realocação é aceita caso o tronco de tráfego consuma menos recursos da rede

[Exemplo]

Optimise



#tt	#arc	#inv	\bar{x}_{inv}	dev.p.	\bar{x}	dev.p.
23	30	5	115.38%	11.099	53.05%	42.434

[Método Proposto]

- GRASP (*Greedy Randomized Adaptative Search Procedure*)
- Duas fases:
 - Construção de uma solução inicial
 - Refinamento em uma vizinhança local

Método Proposto

■ Construção de uma solução inicial

```
1 Procedimento First_Allocate_Grasp (real alfa_grasp)
2 início
3   inteiro pos, tamLC, tamLRC;
4   tamLC = tamanho(lista_tt);
5   enquanto ( tamLC > 1 ) faça
6     tamLRC = tamLC * alfa_grasp;
7     pos = randomico(0,tamLRC);
8     Ordenar(lista_tt);
9     Alocar_tti(lista_tt[pos]);
10    tamLC = tamLC - 1;
11  fim_enquanto;
12  fim;
```

Método Proposto

■ GRASP com Filtro

```
1 Procedimento Grasp_Filter (real alfa_grasp, inteiro max_iter)
2 início
3   inteiro i;
4   para i de 1 até max_iter faça
      Inicializar();
5     First_Allocate_Grasp(alfa_grasp);
6     se melhorou_fa() então
7       Salvar_alocação();
8     senão
9       Descartar_alocação();
10  fim_para;
11  Restaurar_melhor_alocação();
12 fim;
```

[Método Proposto]

- Função de Avaliação Hierárquica
 - 2 níveis:
 1. Taxa média de utilização dos enlaces sobrecarregados.
 2. Taxa média de utilização em todos os enlaces da rede.

[Método Proposto]

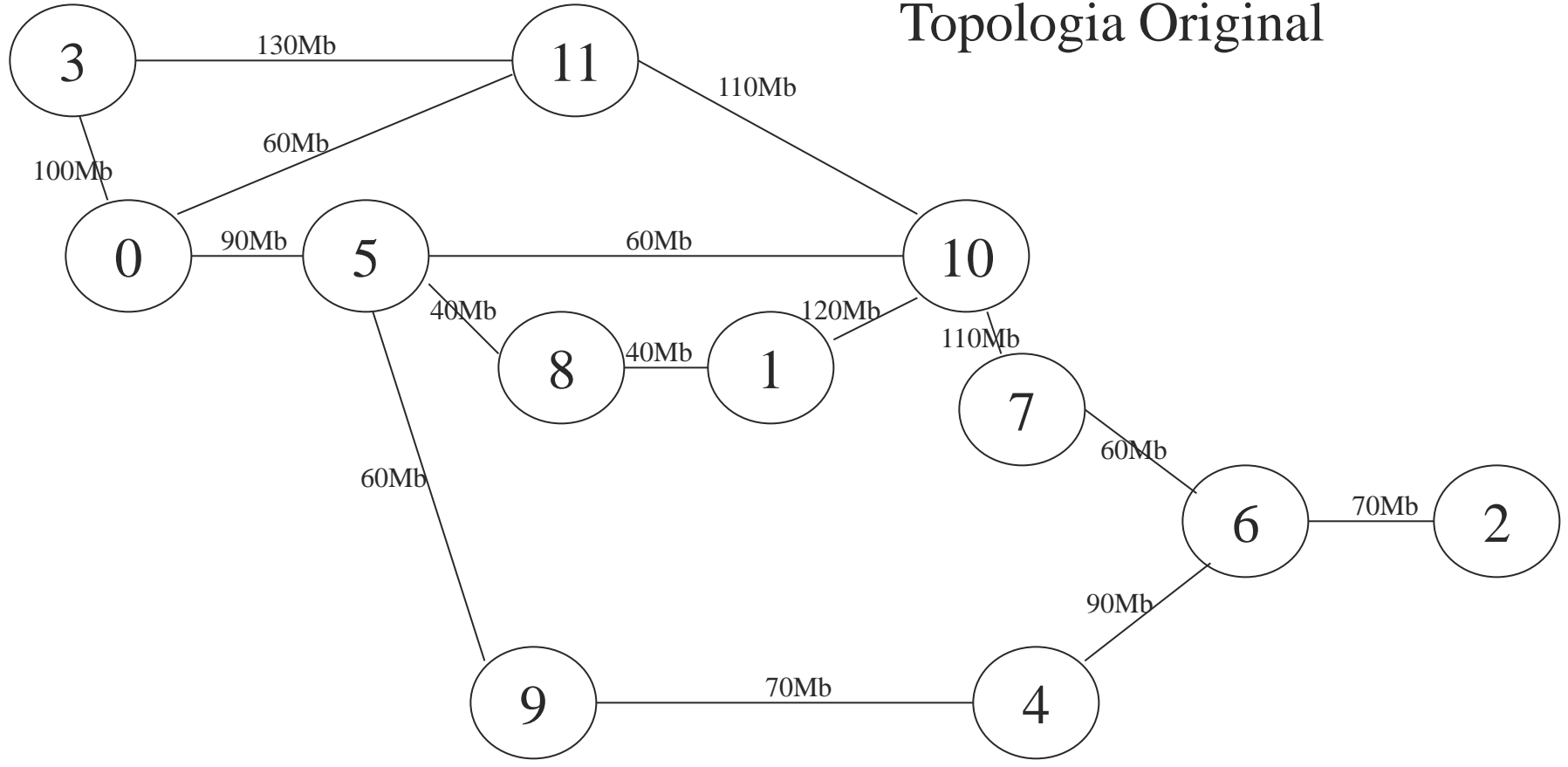
- Método de Descida
 - Estrutura de vizinhança
 - Movimento → realocar um tt_i
 - Em cada iteração:
 - Para cada t_i
 - Desalocar
 - Realocar
 - Analisar
 - Desfazer_desalocação
 - Aceitar a melhor realocação se houver.

[Método Proposto]

- Método de Descida
 - Paralelização do algoritmo
 - Divisão do conjunto de troncos de tráfego
- Simulated Annealing
 - Não foi possível afinar os parâmetros
 - Instável com a estrutura de vizinhança

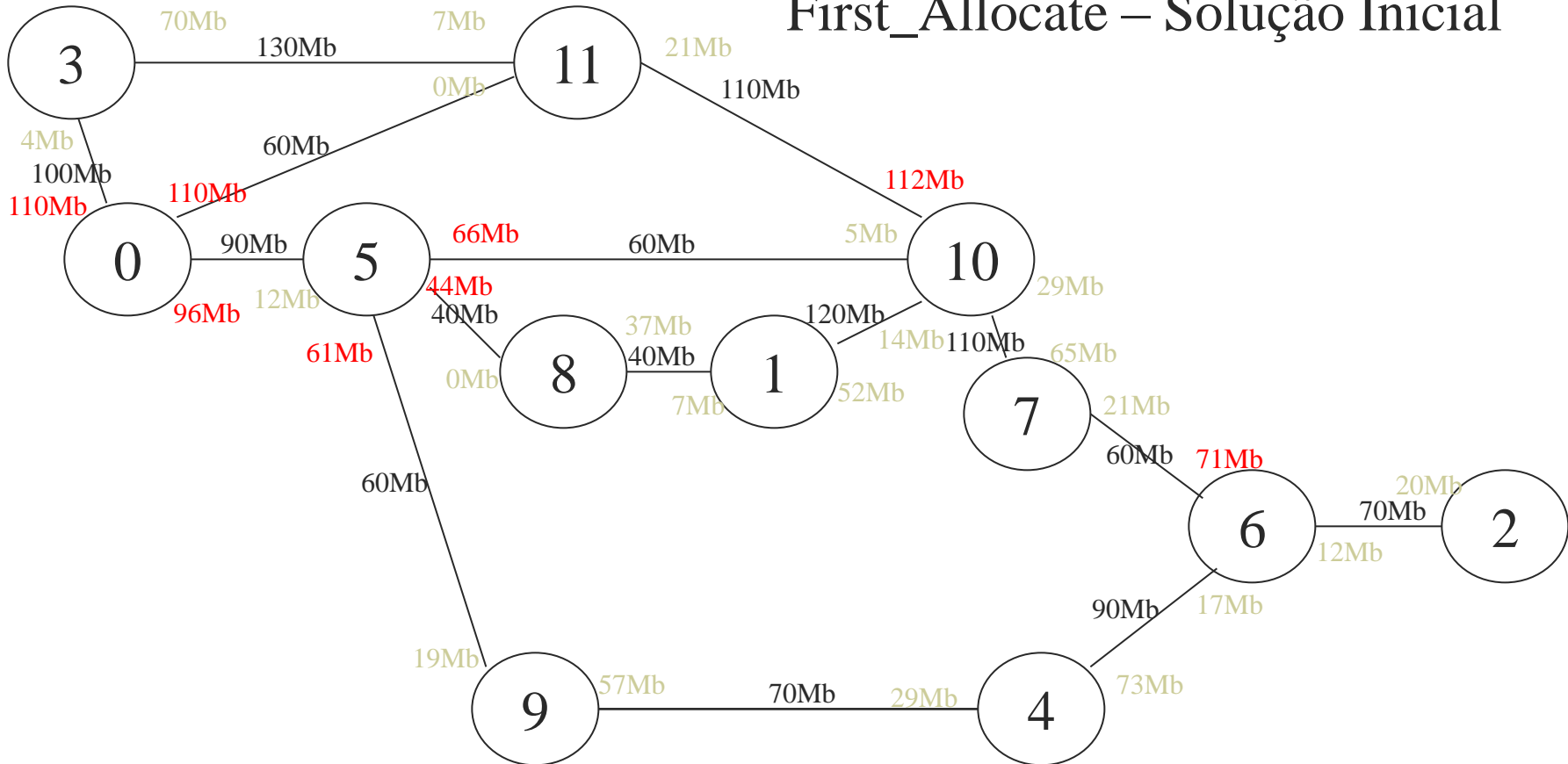
[Exemplo]

Topologia Original



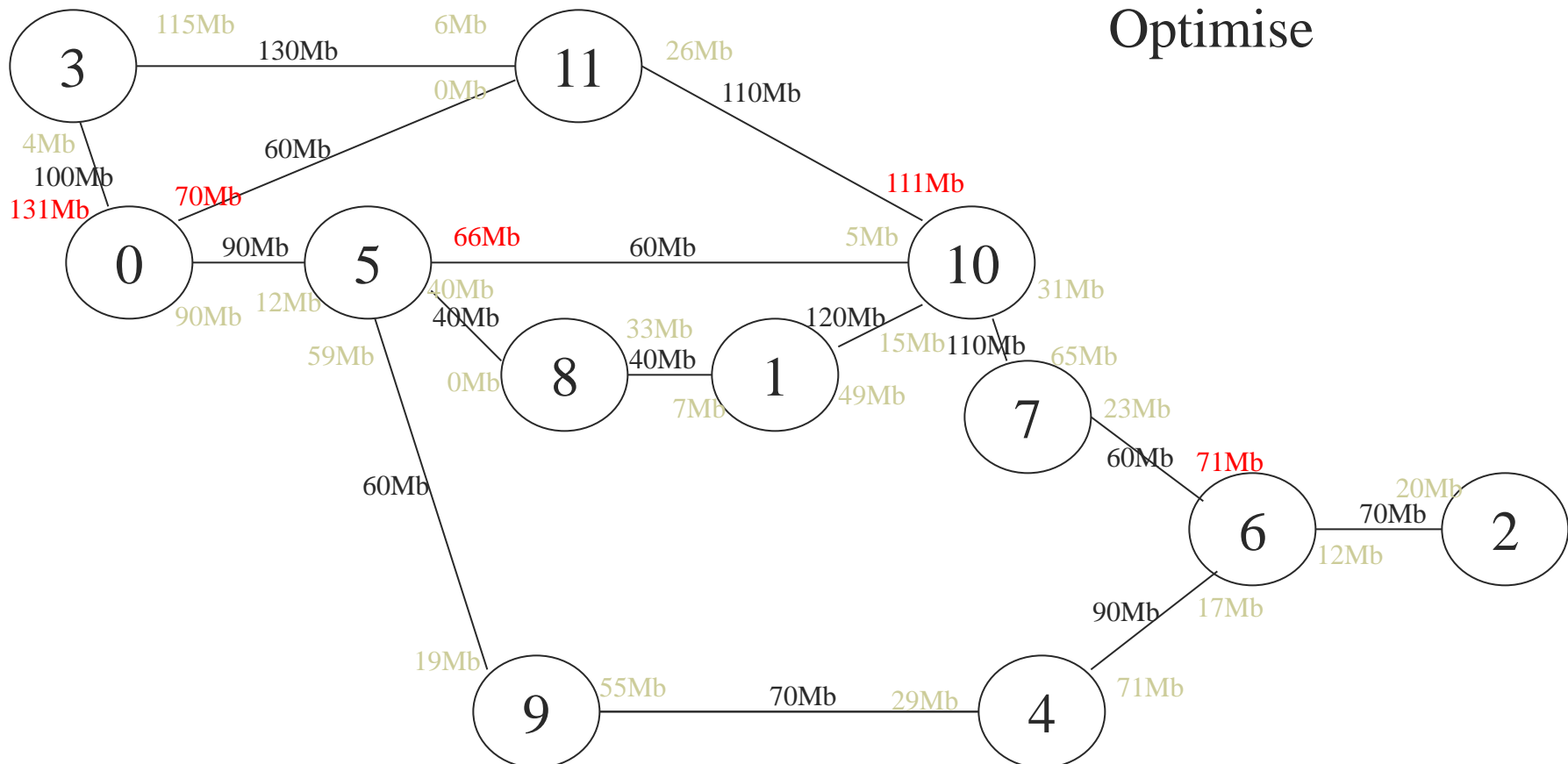
Exemplo

First_Allocate – Solução Inicial



#tt	#arc	#inv	\bar{x}_{inv}	dev.p.	\bar{x}	dev.p.
23	30	8	117.72%	27.037	54.38%	47.164

[Exemplo]

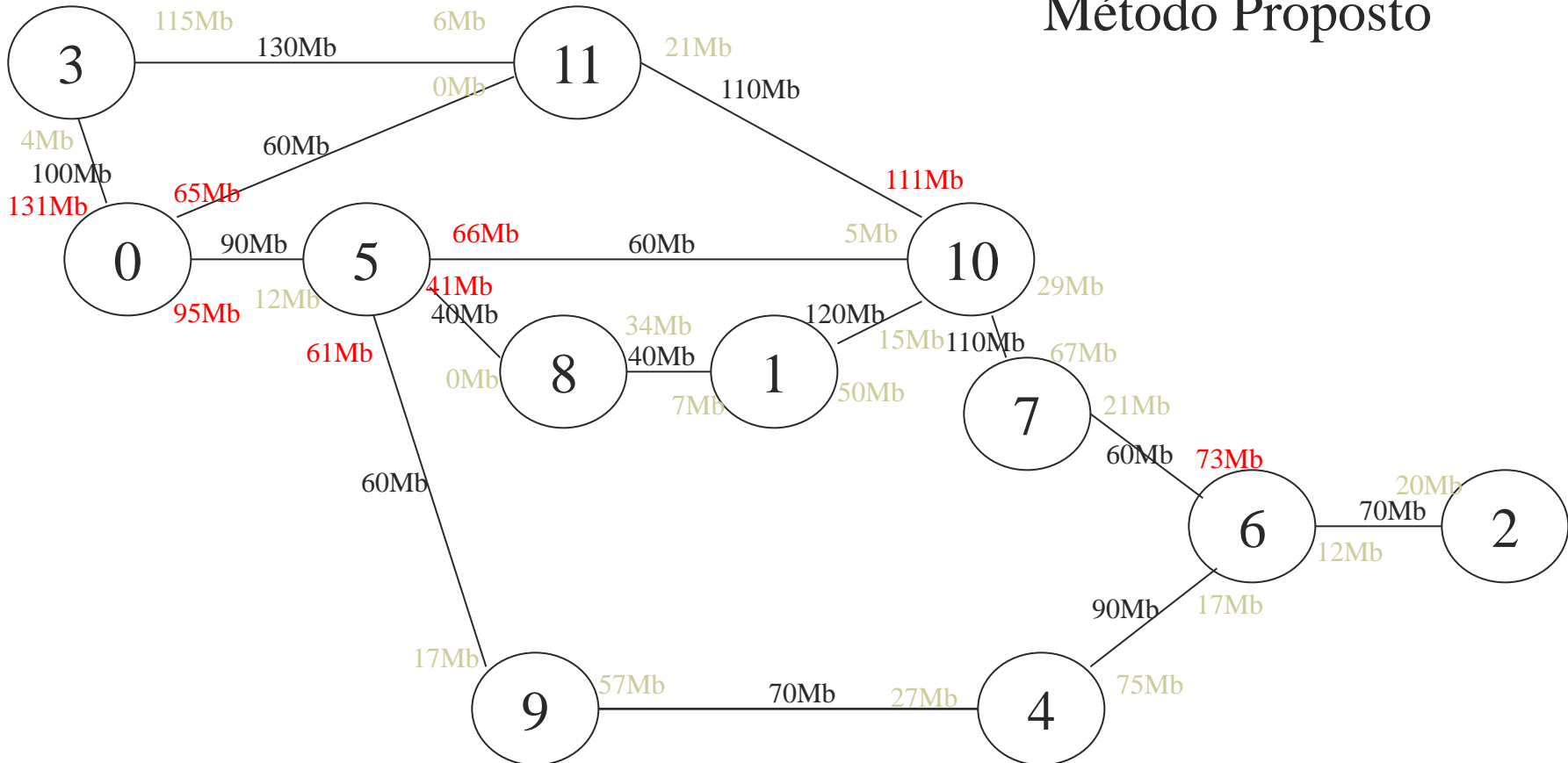


Optimise

#tt	#arc	#inv	\bar{x}_{inv}	dev.p.	\bar{x}	dev.p.
23	30	5	115.38%	11.099	53.05%	42.434

Exemplo

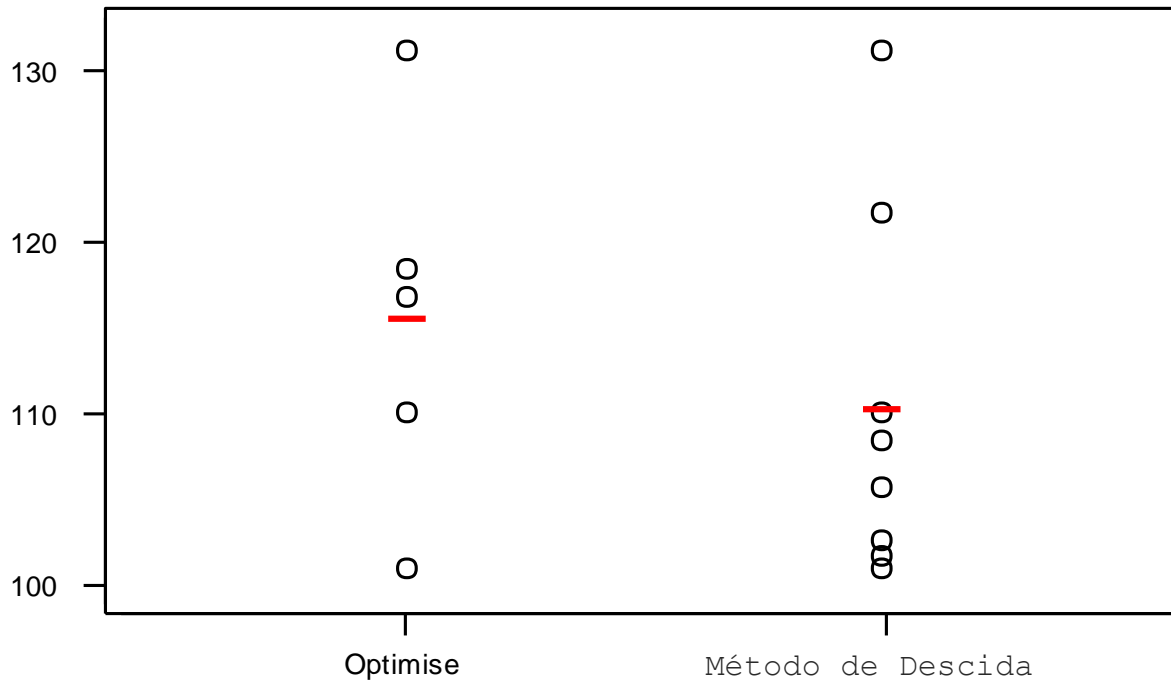
Método Proposto



#tt	#arc	#inv	\bar{x}_{inv}	dev.p.	\bar{x}	dev.p.
23	30	8	110.20%	10.741	53.15%	43.176

[Exemplo]

Dotplots of Optimise and Método de Descida
(means are indicated by lines)



[Resultados Computacionais]

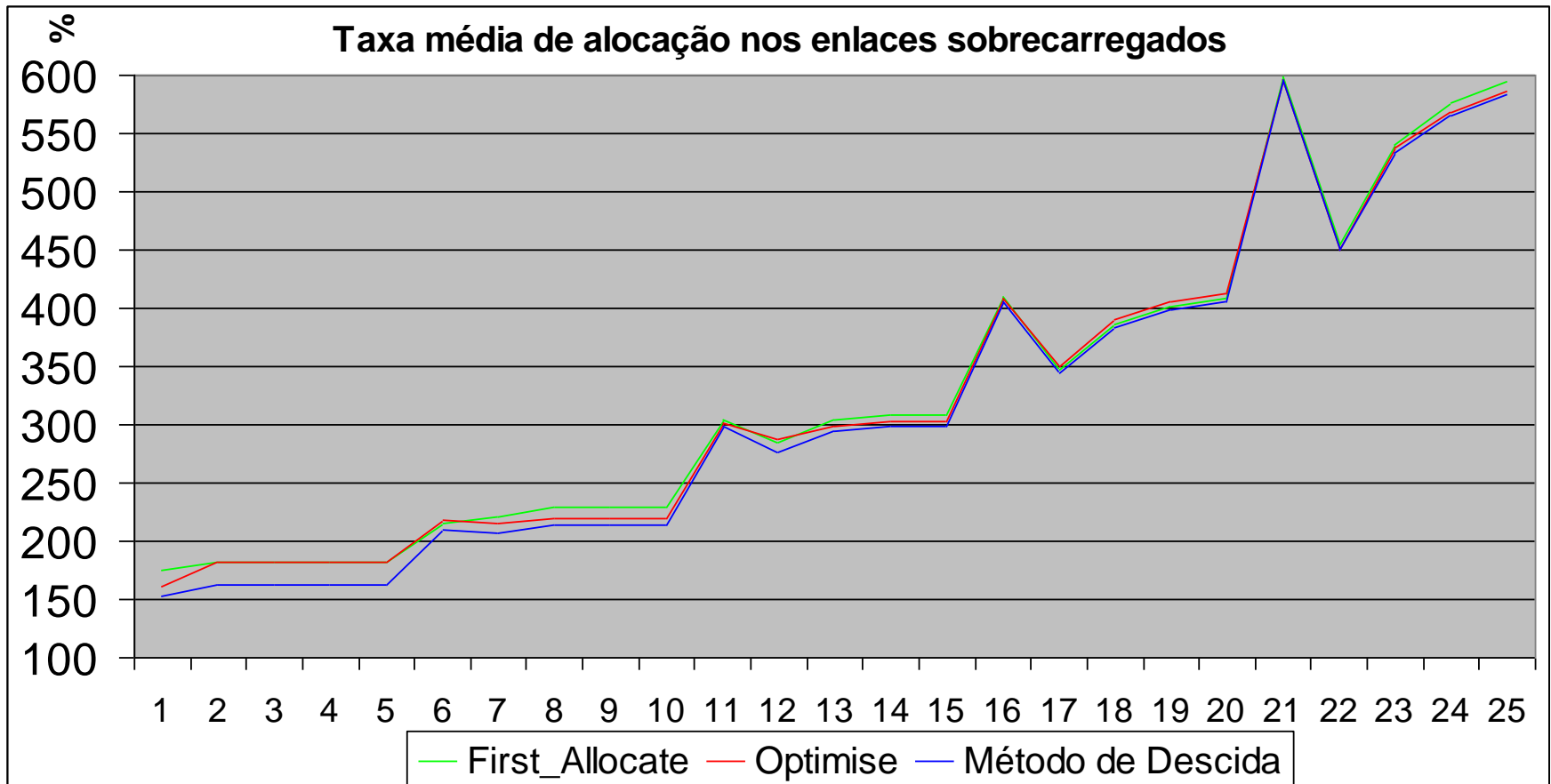
- Os dois métodos foram submetidos a um conjunto de testes construídos conforme a metodologia descrita em [Cavalcanti, 2000].
- Foram consideradas redes com 16, 32 e 64 nós e diferentes graus de conectividades.
- A geração de troncos de tráfego é realizada por um procedimento que considera uma série de valores e nos modelos tubo e funil.

[Resultados Computacionais]

- Implementação em C padrão
- Compilador GNU/C
- Linux Conectiva 8
- AMD/K6-2 450Mhz, 196MB RAM
- Biblioteca GraphBase (Knuth)

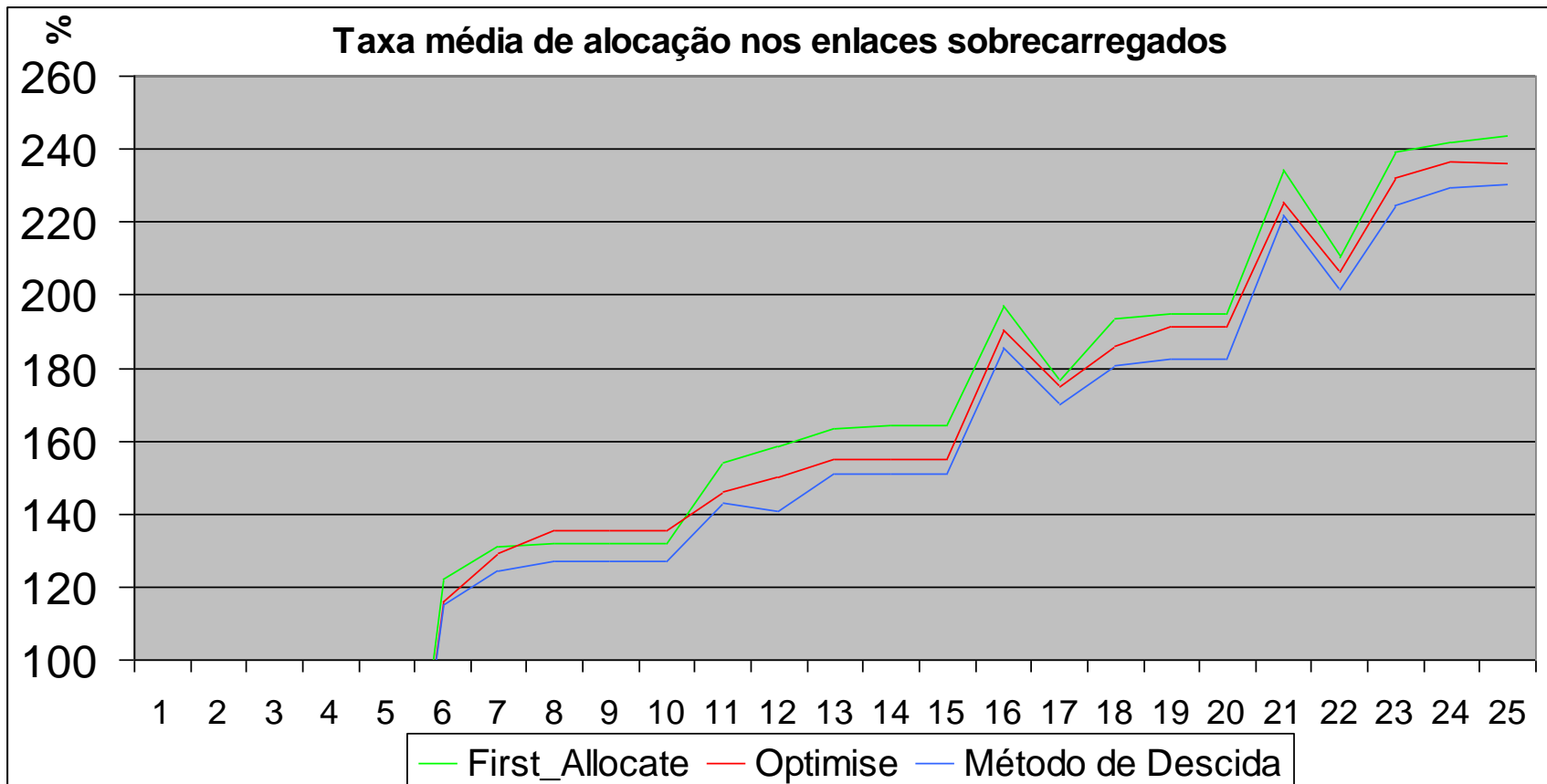
[Resultados Computacionais]

#Arcos = 70, Grau médio = 4, Capacidade total = 552 MB



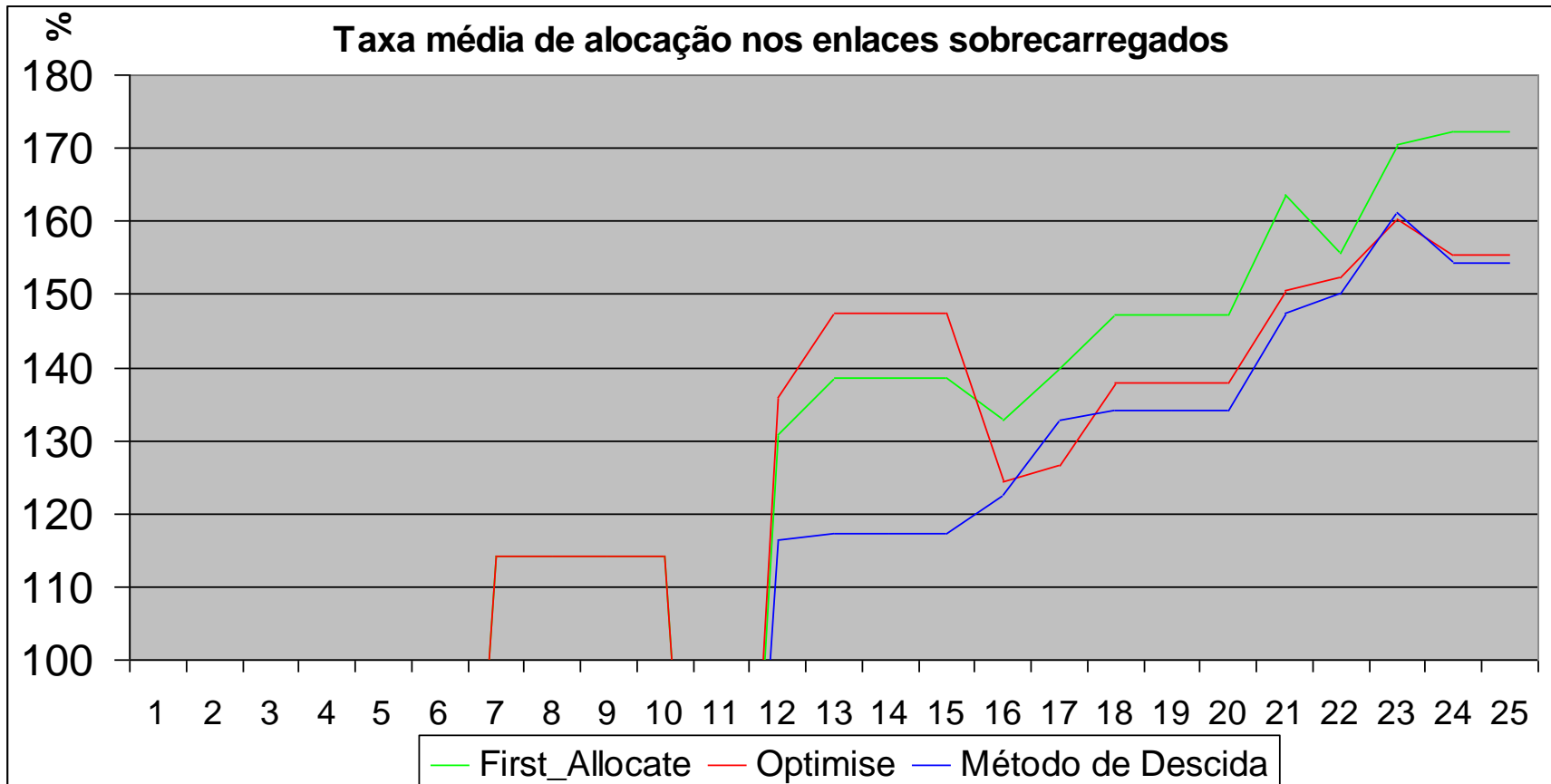
[Resultados Computacionais]

#Arcos = 98, Grau médio = 6, Capacidade total = 994 MB



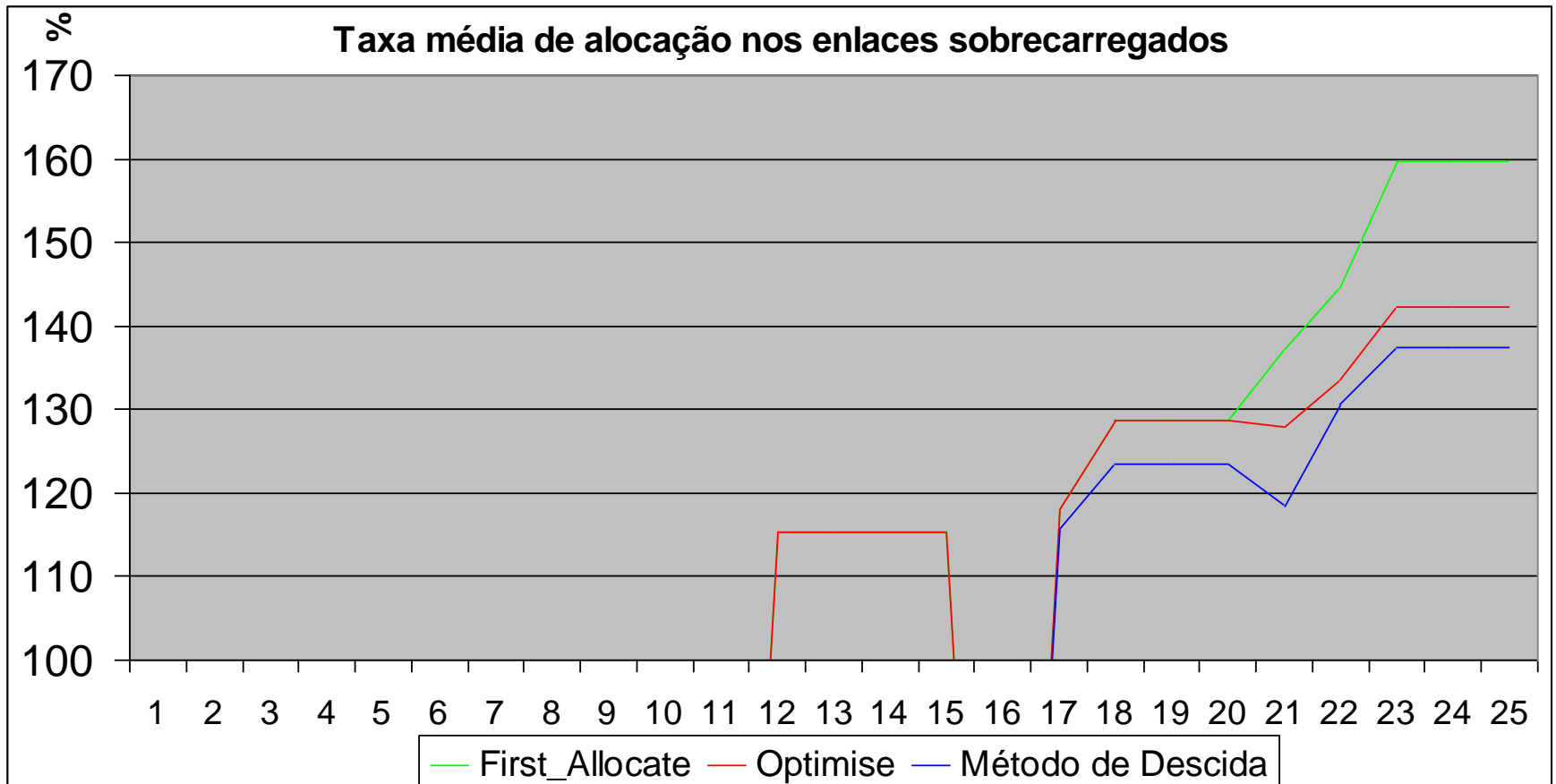
[Resultados Computacionais]

#Arcos = 172, Grau médio = 10, Capacidade total = 1488 MB

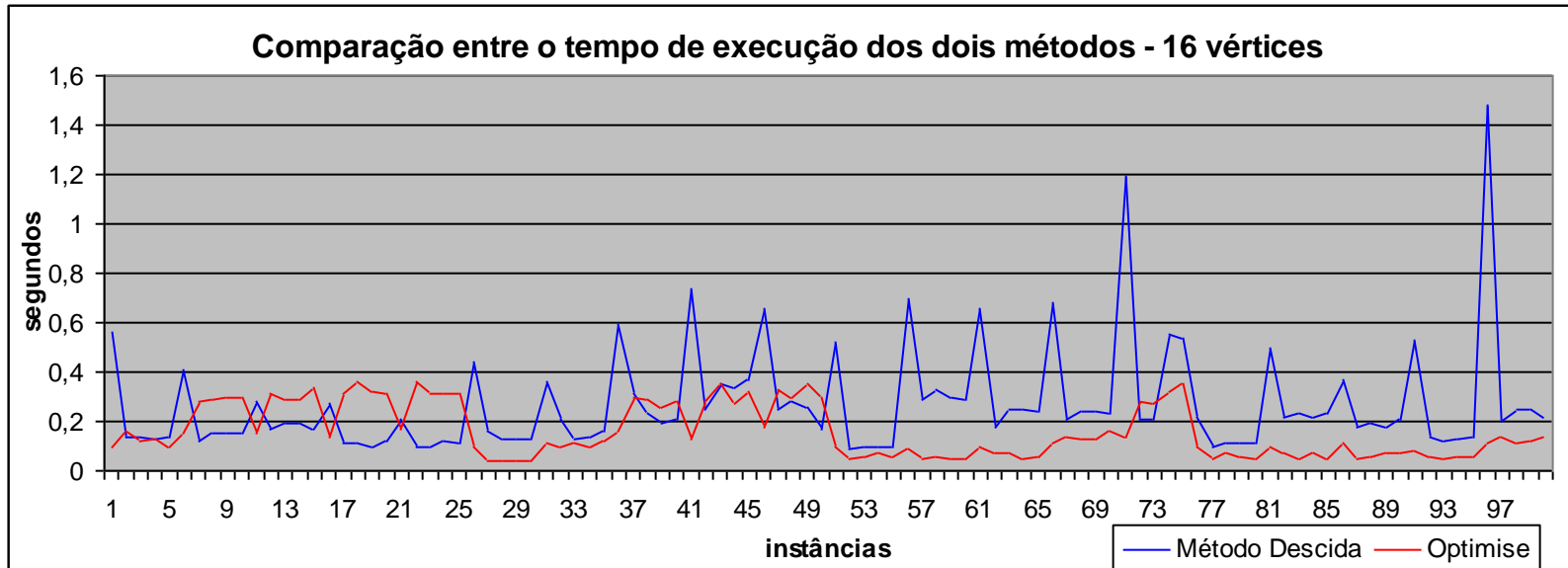


[Resultados Computacionais]

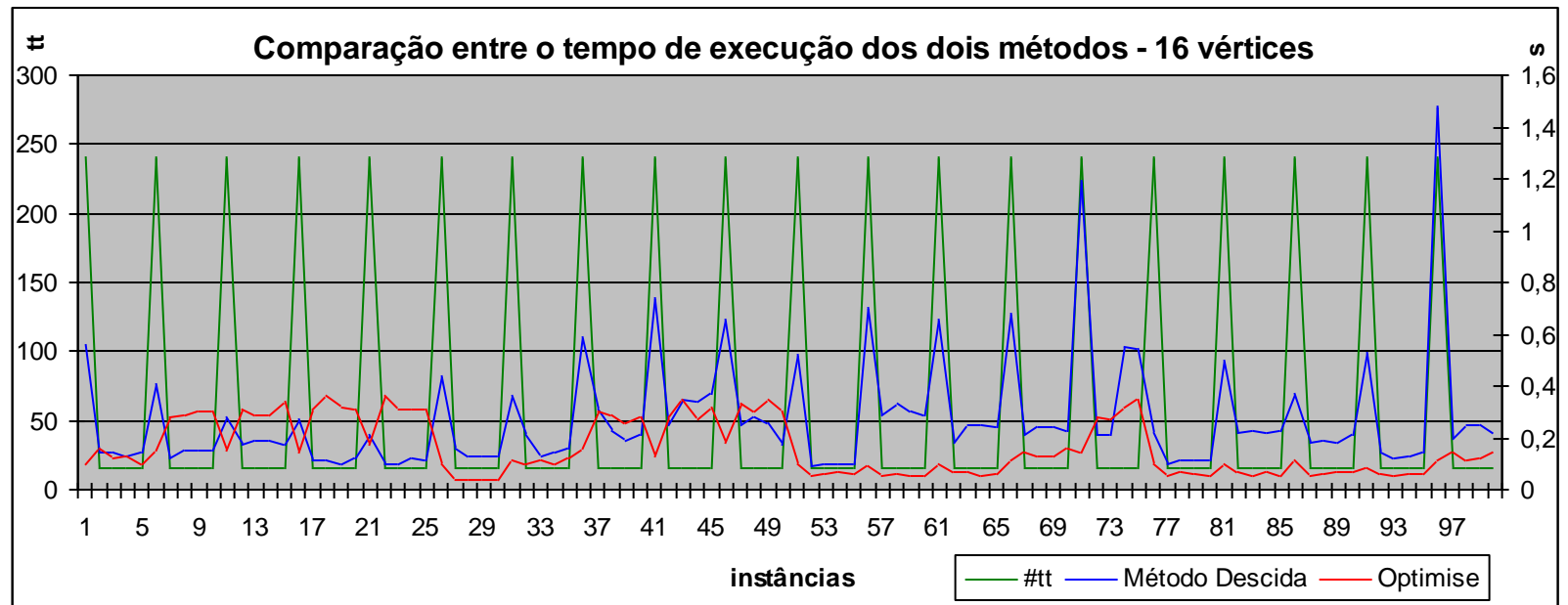
#Arcos = 218, Grau médio = 13, Capacidade total = 1916 MB



Resultados Computacionais



Resultados Computacionais



Modelo Tubo = 240 #tt

Modelo Funil = 16 #tt

Resultados Computacionais

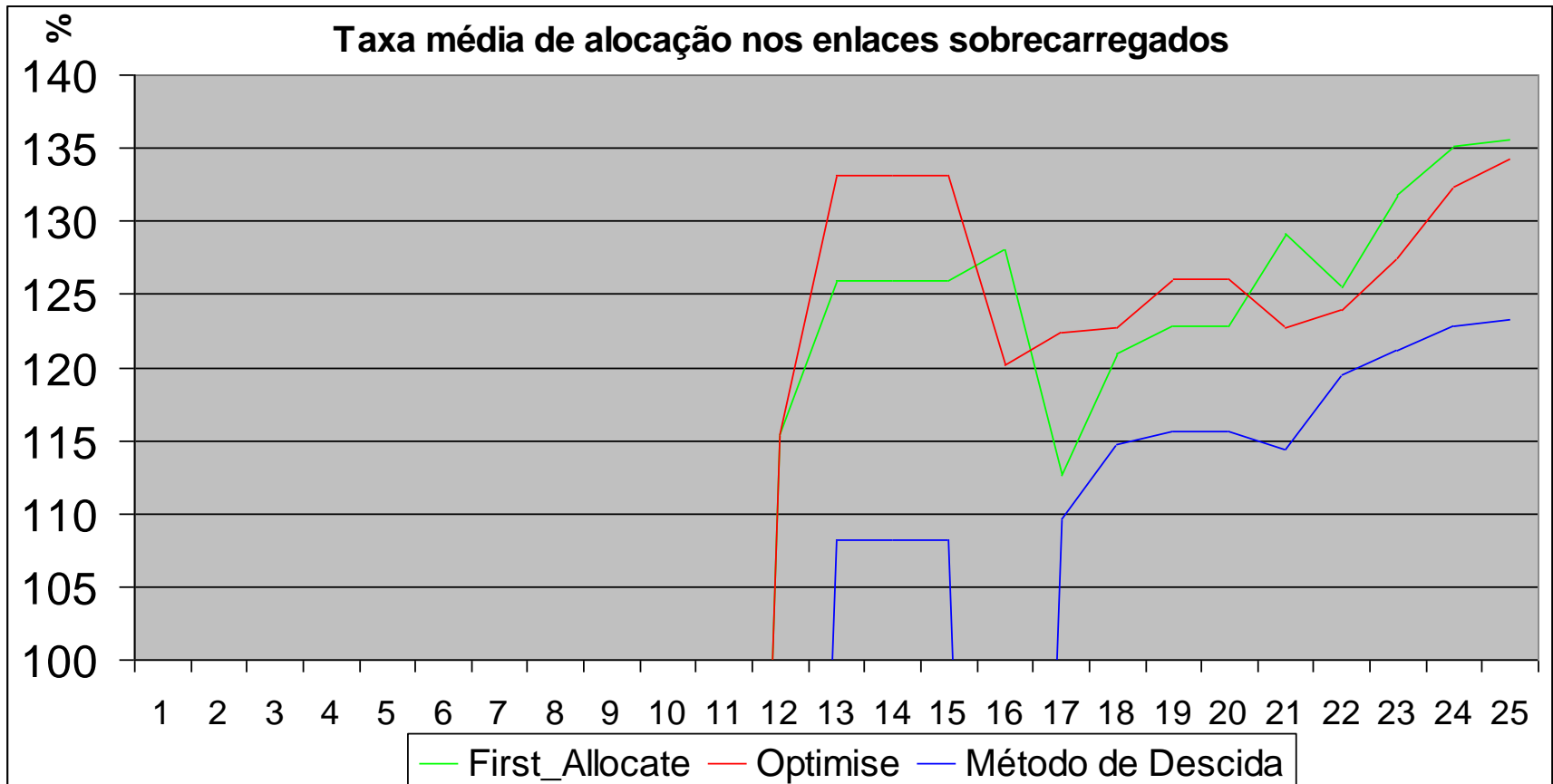
- No teste com 16 vértices, das 100 instâncias testadas, 75 apresentaram enlaces sobrecarregados.
- Método proposto foi melhor em 98%
- Nas instâncias com inviabilidade obteve-se uma melhora média da taxa de ocupação dos enlaces sobrecarregados de 7,88% com desvio padrão de 7,10 e moda 20,44%

[Resultados Computacionais]

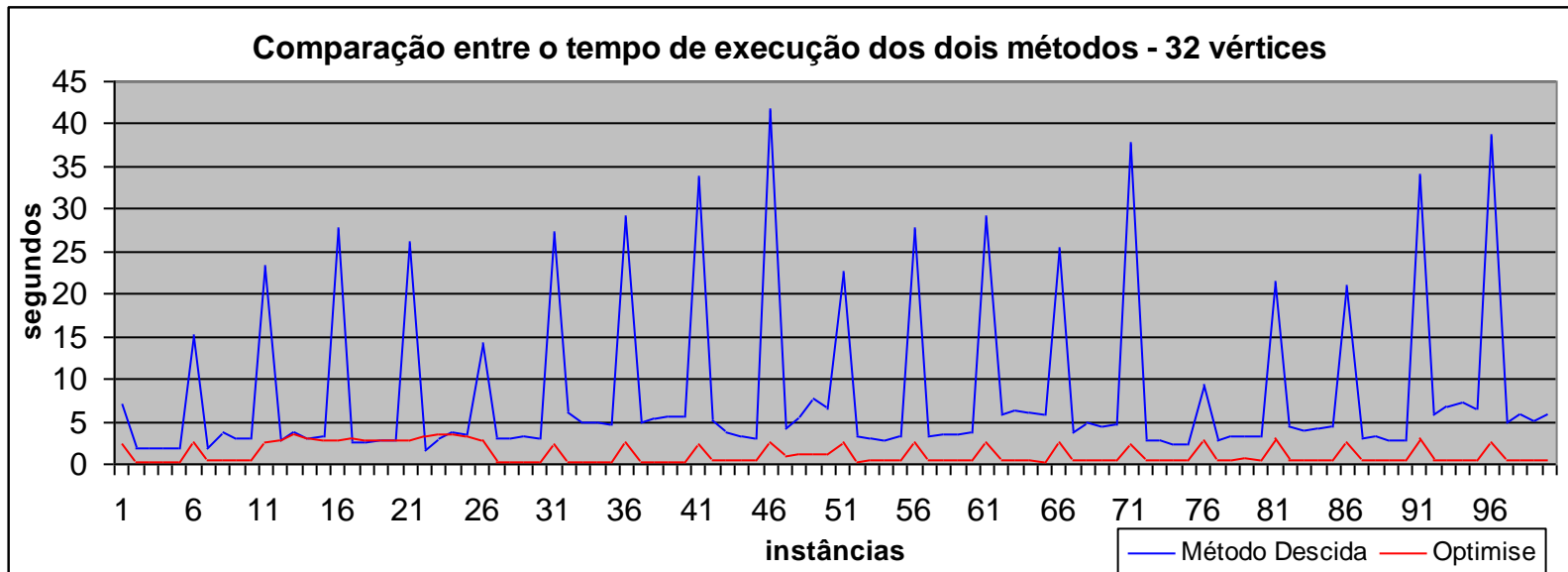
- No teste com 32 vértices, das 100 instâncias testadas, 43 apresentaram enlaces sobrecarregados.
- Método proposto foi melhor em 98%
- Nas instâncias com inviabilidade obteve-se uma melhora média da taxa de ocupação dos enlaces sobrecarregados de 7,99% com desvio padrão de 6,99 e moda 24,91%

[Resultados Computacionais]

#Arcos = 488, Grau médio = 15, Capacidade total = 9008 MB



Resultados Computacionais



Modelo Tubo = 992 #tt

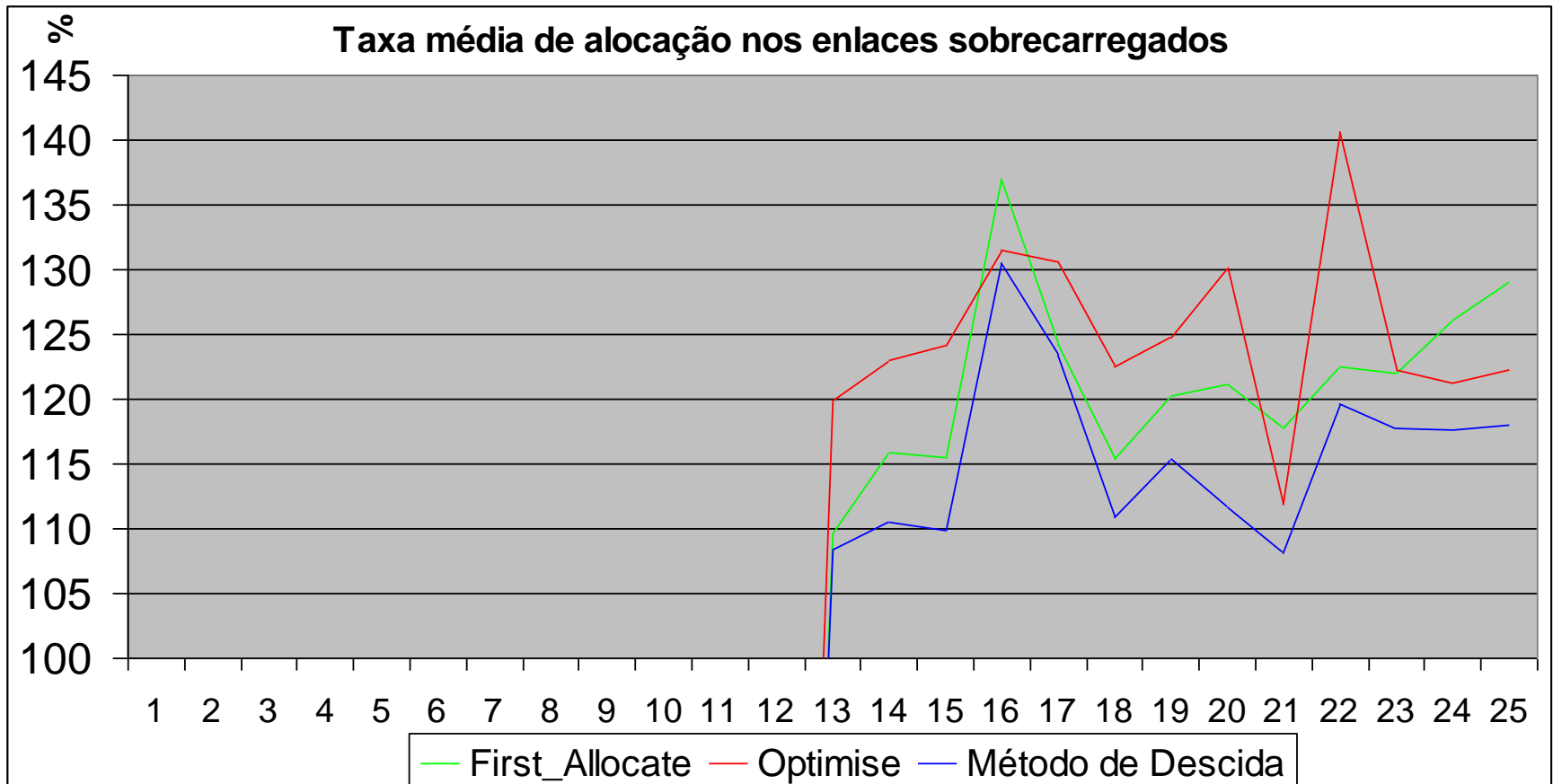
Modelo Funil = 32 #tt

[Resultados Computacionais]

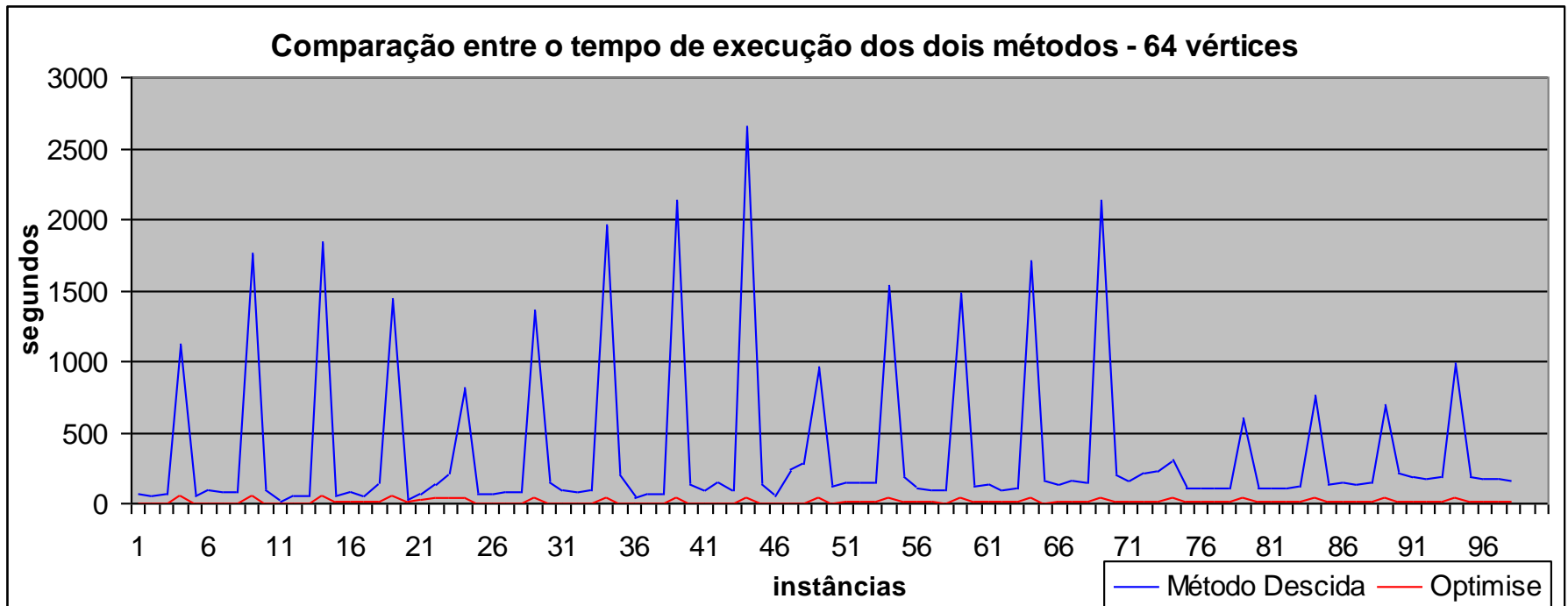
- No teste com 64 vértices, das 100 instâncias testadas, 19 apresentaram enlaces sobrecarregados.
- Método proposto também foi melhor em 98% dos casos.
- Nas instâncias com inviabilidade obteve-se uma melhora média da taxa de ocupação dos enlaces sobrecarregados de 9,17% com desvio padrão de 8,26

[Resultados Computacionais]

#Arcos = 1208, Grau médio = 18, Capacidade total = 37936 MB



Resultados Computacionais



Modelo Tubo = 4032 #tt

Modelo Funil = 64 #tt

[Conclusão]

- Este trabalho apresenta alguns conceitos necessários para compreender uma arquitetura para a nova geração da Internet com QoS, contextualizado no Projeto Tequila, e uma proposta para o dimensionamento de tráfego nesta rede.
- O método proposto é simples e se mostrou eficaz em otimizar as soluções frente ao algoritmo existente.
- O tempo de processamento necessita ser melhorado para aplicação em situações sensíveis ao tempo de resposta.
- Com o uso da função de avaliação hierárquica fica fácil alterar os critérios de qualidade na avaliação das soluções e possibilita aos administradores do sistema configurar seus interesses diretamente na busca

[Trabalhos Futuros]

- Utilizar outras Metaheurísticas
- Tentar outras metodologias na alocação de um tronco de tráfego
- Definir novos movimentos
- Adaptar função de avaliação
- Abordagens especiais para fins específicos (Path-relinking X dimensionamento a longo prazo).

[Agradecimentos]

- Aos professores Marccone e Carlos Frederico.
- Guilherme e colaboradores.