

# UM MODELO EFICIENTE PARA O PROJETO COMPLETO DE REDES ÓPTICAS

Fábio de Oliveira Lima

Marcelo de Oliveira Lima

Marcelo Eduardo Vieira Segatto

Elias Silva de Oliveira

Renato Tannure Rotta de Almeida

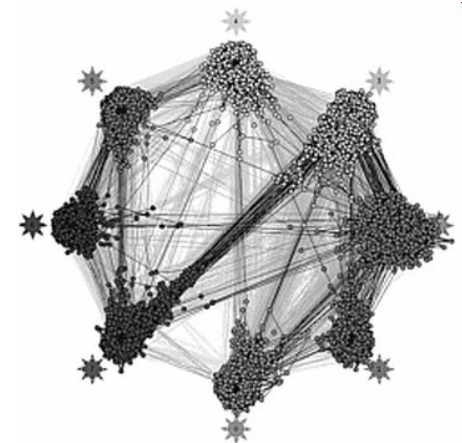
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE



# Sumário

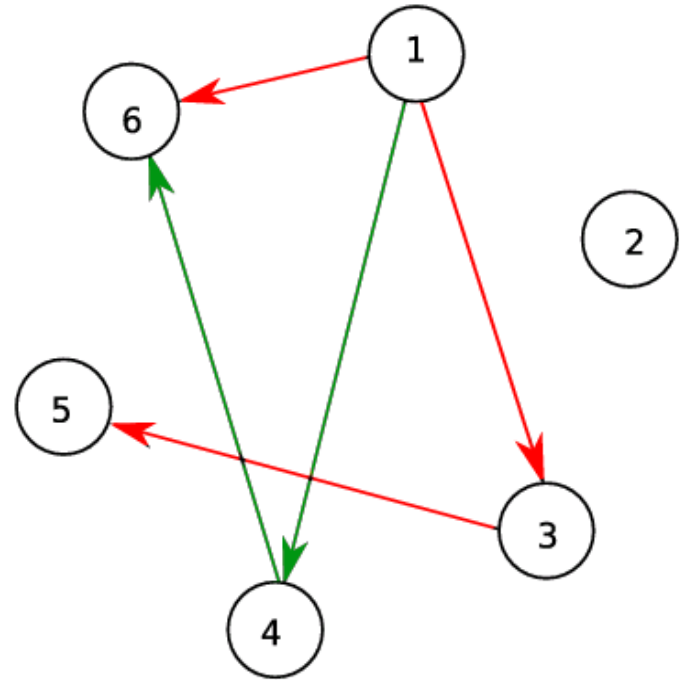
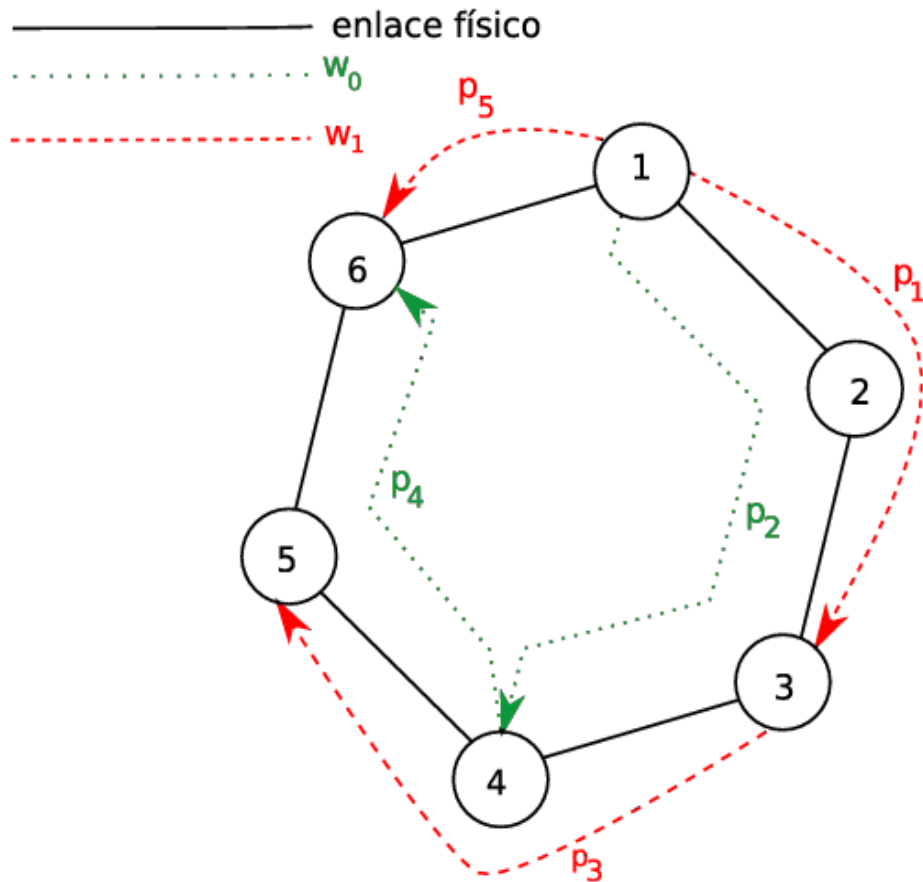
- Redes Ópticas
- Topologia da Rede
- Modelagem TWA
- Resultados Computacionais
- Conclusão



# Redes Ópticas

- Uma rede de comunicação é dita óptica quando o meio físico, usado para a transmissão das informações entre os nós da rede, é composto por cabos de fibra óptica.
- Para melhor utilizar dos canais ópticos, vários sinais, em diferentes comprimentos de onda, podem ser multiplexados e transmitidos simultaneamente em uma mesma fibra (WDM - Wavelength Division Multiplexing).
- Com a adição de roteadores ópticos (OXC – Optical Cross Connect), sem conversão eletro-óptica, possibilitou a criação de redes de roteamento de tráfego por comprimentos de onda (WRON - Wavelength Routed Optical Networks).

# Topologia da Rede

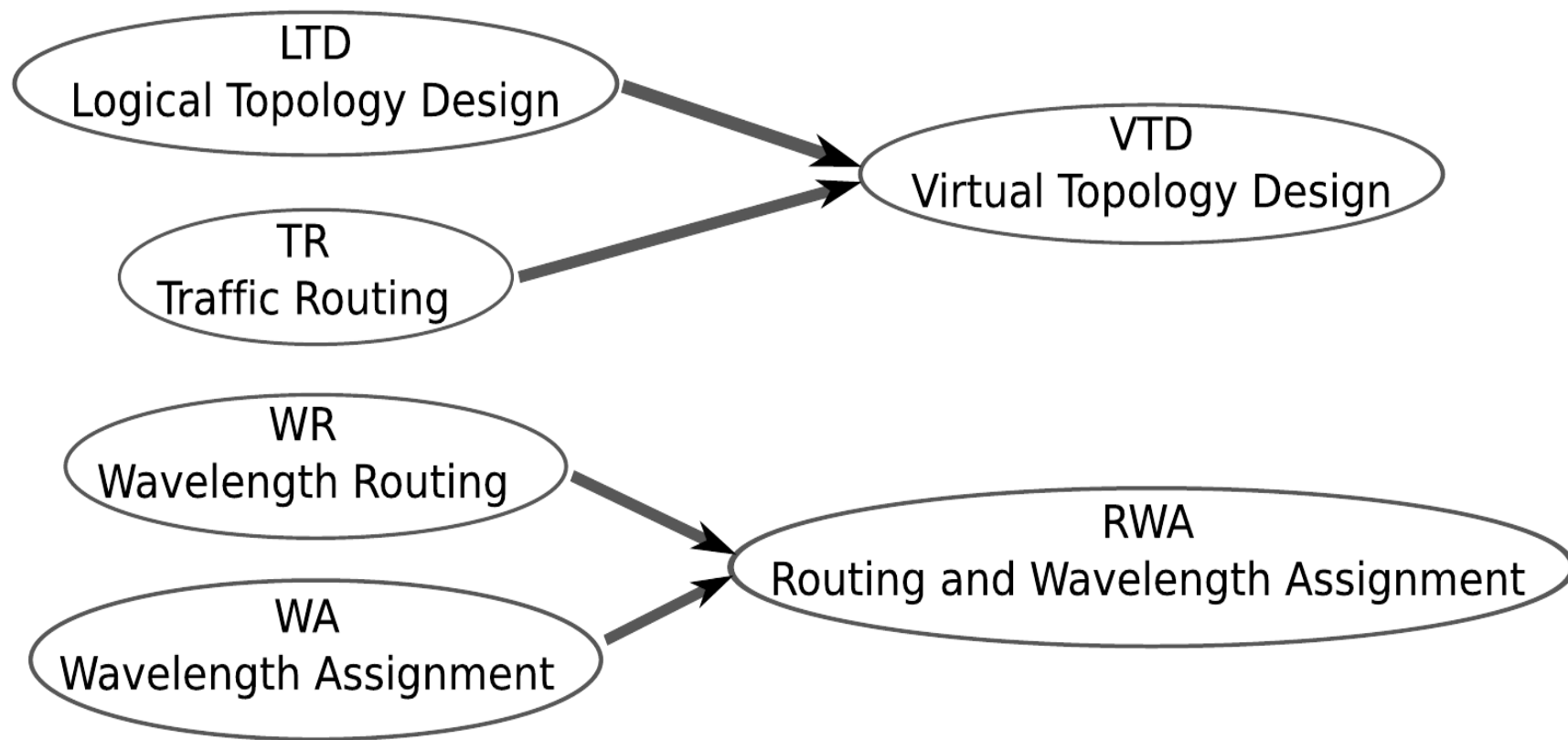


# Modelagem

- O roteamento de tráfego pode ser realizado de duas formas: na camada óptica da rede, que se denomina roteamento transparente, ou na camada eletrônica, após sua conversão de sinal óptico para elétrico, para processamento em roteadores de pacotes de dados.
- No roteamento transparente, os comprimentos de onda podem ser dinamicamente redirecionados por dispositivos de comutação óptica, com a vantagem da ausência do atraso em filas originado pelo congestionamento em roteadores eletrônicos.
- Caminhos ópticos são comprimentos de onda ininterruptos que podem percorrer diversos enlaces de fibra óptica em sequência e em paralelo até o destino. Ao conjunto de caminhos ópticos chamamos de **Topologia Lógica**.

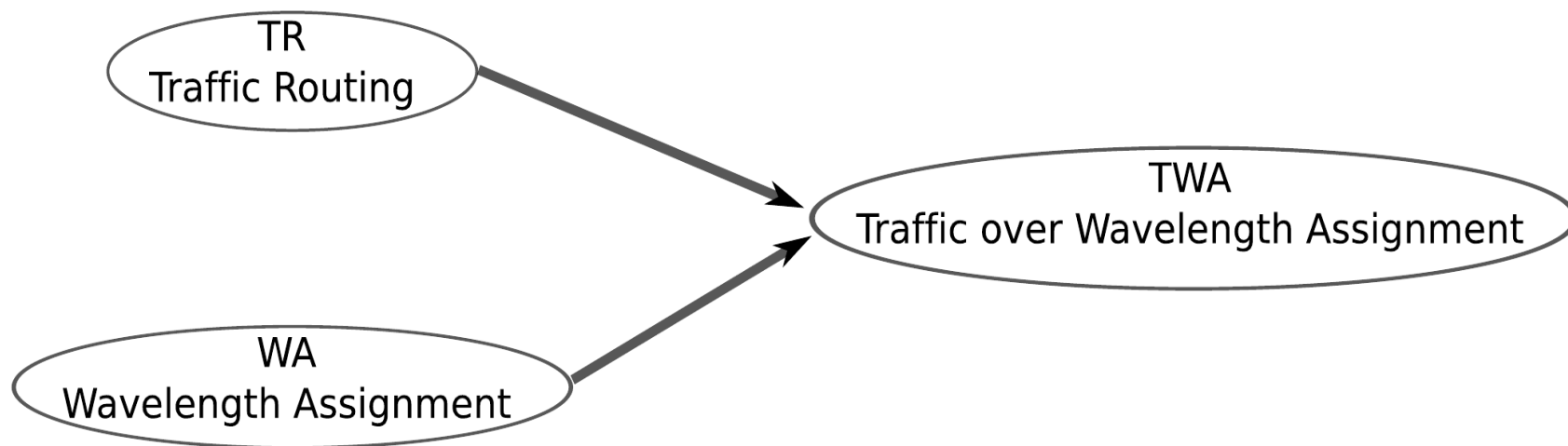
# Modelagem

- Na literatura, o projeto completo de WRON é dividido em dois ou quatro sub-problemas:

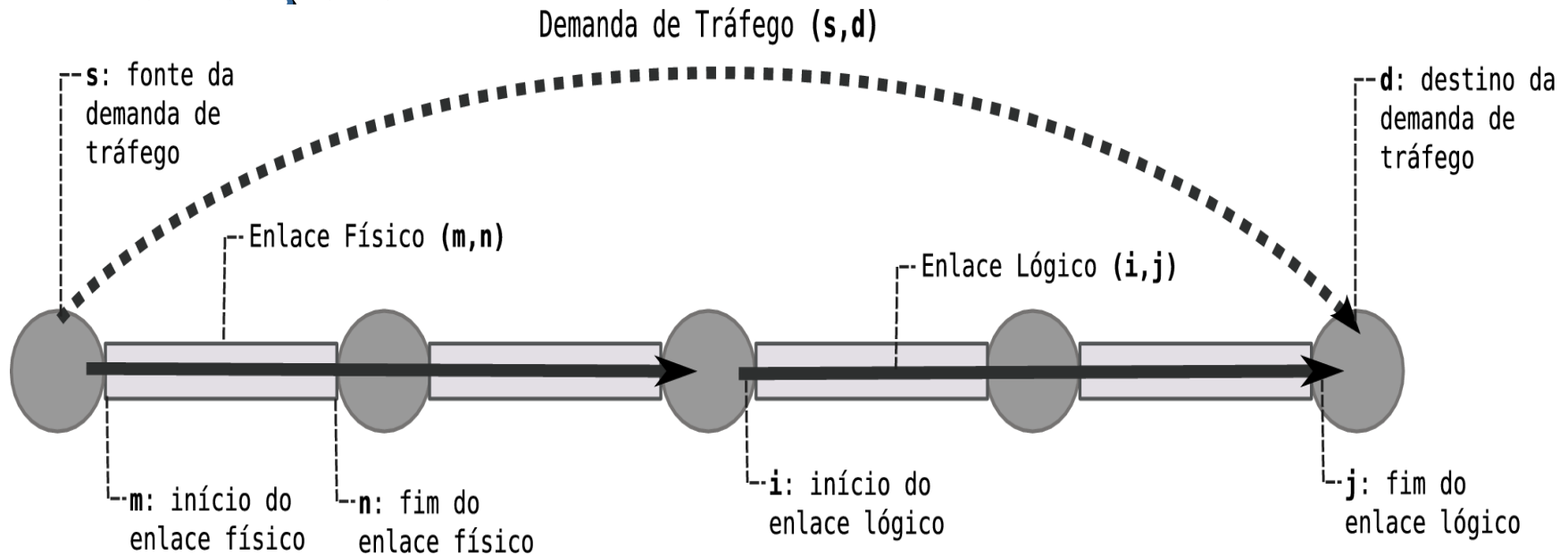


# Modelo TWA

- No modelo TWA, a distribuição do tráfego é feita diretamente sobre as variáveis de alocação de comprimentos de onda.



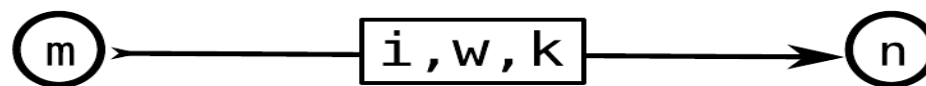
# Notação



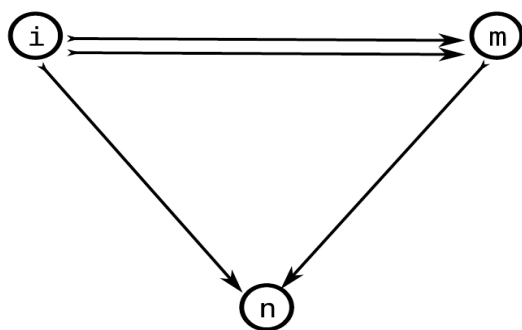
- $N$  = Número de nós da rede.
- $W$  = Número de comprimentos de onda por fibra.
- $P_{s,d}$  = Demanda de tráfego, com origem  $s$  e destino  $d$ .
- $K$  = Multiplicidade física entre os pares de nós.
- $Cap$  = Capacidade de tráfego de cada canal lógico



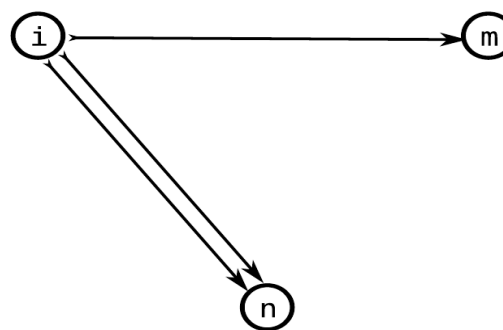
# Componentes Topológicas



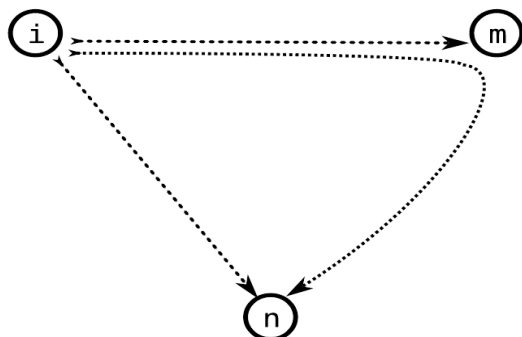
$$B_{i,m,n,w} = k$$



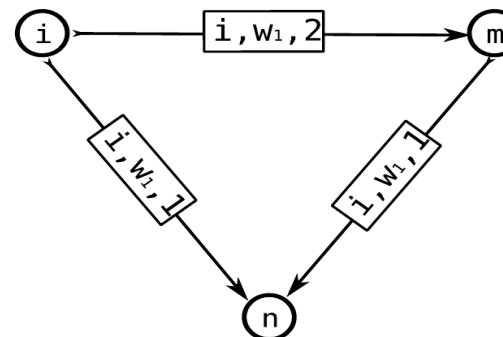
a) Topologia Física



b) Topologia Lógica



c) Rotas Físicas



d) Topologia Generalizada

# Formulação TWA

$$\sum_n B_{i,n,m,w} \geq \sum_n B_{i,m,n,w}, \quad \forall(i, m, w), \text{ com } i \neq m. \quad (1)$$

$$\sum_i B_{i,m,n,w} \leq D_{m,n}, \quad \forall(m, n, w). \quad (2)$$

$$\sum_s q_{s,i,j} \cdot A_s \leq Cap \cdot \left( \sum_{m,w} B_{i,m,j,w} - \sum_{n,w} B_{i,j,n,w} \right), \quad \forall(i, j). \quad (3)$$

$$\sum_j q_{s,s,j} = 1, \quad \forall s \quad \text{e} \quad \sum_i q_{s,i,d} - \sum_j q_{s,d,j} = \frac{P_{s,d}}{A_s}, \quad \forall(s, d). \quad (4)$$

$$\text{Minimize: } \sum_{i,m,n,w} B_{i,m,n,w}. \quad (5)$$

$D_{m,n} \in \{0, \dots, K\}$  o número de ligações físicas entre o par de nós  $(m, n)$ .

$q_{s,i,j} \in [0, 1]$  a fração de fluxo originado em  $s$ , passando pelas ligações lógicas entre o par  $(i, j)$ , com  $s \neq j$ .

# Número de Variáveis e Equações

- Para comparação com outra modelagem da literatura, ao modelo TWA original, foram adicionadas as seguintes restrições:

$$\sum_{w,n} B_{m,m,n,w} \leq Gl, \quad \text{e} \quad \sum_{i,n,w} B_{i,n,m,w} - \sum_{i,n,w} B_{i,m,n,w} \leq Gl, \quad \forall m, \text{ com } i \neq m. \quad (6)$$

$$\sum_{i,w} B_{i,m,n,w} \leq L, \quad \forall (m, n). \quad (7)$$

Onde  $Gl$  é o Grau Lógico e  $L$  é o Número máximo de ligações lógicas em cada fibra.

- Com isso, ficamos com  $(N^3 \cdot W + N^2)$  variáveis binárias,  $N^3$  variáveis reais e  $(2 \cdot N^2 \cdot W + 3 \cdot N^2 + 3 \cdot N)$  equações.
- No modelo que foi alvo de comparação, o número de variáveis binárias é  $(N^4 \cdot W + N^4 + N^2 \cdot W + N^2)$ , com  $N^4$  variáveis reais e número de equações:

$$(2 \cdot N^4 + 2 \cdot N^3 + 4 \cdot N^2 \cdot W + 8 \cdot N^2 + 2 \cdot N)$$

# Número de Variáveis e Equações

- Para comparação com outra modelagem da literatura, ao modelo TWA original, foram adicionadas as seguintes restrições:

$$\sum_{w,n} B_{m,m,n,w} \leq Gl, \quad \text{e} \quad \sum_{i,n,w} B_{i,n,m,w} - \sum_{i,n,w} B_{i,m,n,w} \leq Gl, \quad \forall m, \text{ com } i \neq m. \quad (6)$$

$$\sum_{i,w} B_{i,m,n,w} \leq L, \quad \forall (m, n). \quad (7)$$

Onde  $Gl$  é o Grau Lógico e  $L$  é o Número máximo de ligações lógicas em cada fibra.

- Ficamos os seguintes números de variáveis e equações:

	Binárias	Reais	Equações
<b>TWA</b>	$N^3 \cdot W + N^2$	$N^3$	$2 \cdot N^2 \cdot W + 3 \cdot N^2 + 3 \cdot N$
<b>VTD-RWA</b>	$N^4 \cdot W + N^4 + N^2 \cdot W + N^2$	$N^4$	$2 \cdot N^4 + 2 \cdot N^3 + 4 \cdot N^2 \cdot W + 8 \cdot N^2 + 2 \cdot N$

# Assis (SbrT 2004)

Minimize:  $\lambda_{max}$

$$\sum_j \lambda_{ij}^{sd} - \sum_j \lambda_{ji}^{sd} = \begin{cases} \lambda^{sd} \dots se \dots s = i \\ -\lambda^{sd} \dots se \dots d = i \\ 0 \dots c.c \end{cases}$$

$$\lambda_{ij} = \sum_{sd} \lambda_{ij}^{sd}$$

$$\lambda_{ij} \leq \lambda_{max}$$

$$\lambda_{ij}^{sd} \leq b_{ij} \lambda^{sd}$$

$$\sum_j b_{ij} \leq \Delta = T_i, \dots \forall_i$$

$$\sum_i b_{ij} \leq \Delta = R_j, \dots \forall_j$$

$$\sum_m p_{ml\varsigma}^{ij} = \sum_n p_{ln\varsigma}^{ij} \quad se \ l \neq i, j$$

$$\sum_n p_{in\varsigma}^{ij} = b_{ij\varsigma}$$

$$\sum_m p_{mj\varsigma}^{ij} = b_{ij\varsigma}$$

$$\sum_{\varsigma} b_{ij\varsigma} = b_{ij}$$

$$\sum_{ij} p_{mn\varsigma}^{ij} \leq P_{mn}$$

$$\sum_m p_{mk}^{ij} = \sum_n p_{kn}^{ij}, \dots se \dots k \neq i, j$$

$$\sum_n p_{in}^{ij} = b_{ij}$$

$$\sum_m p_{mj}^{ij} = b_{ij}$$

$$\sum_{ij} p_{mn}^{ij} \leq L.P_{mn}$$

$$\sum_{\varsigma} p_{mn\varsigma}^{ij} = p_{mn}^{ij}$$

# Testes Computacionais

- Para produzir resultados compatíveis com o modelo alvo da comparação, foram introduzidas algumas limitações ao modelo TWA:
  - GL = Grau lógico da rede
  - L = Número de ligações lógicas em cada fibra.
  - S = Número de saltos físicos na topologia.
- O congestionamento também é limitado, pelo resultado da heurística HLDA.
- Essa adaptação do TWA chamamos de TWA-a e o modelo com o qual comparamos os resultados chamamos de VTD-RWA.

# Estratégia Adotada

- Partindo de  $GL = 1$ , fixar  $W = 1$  e  $L = 1$ , minimizando  $S$ . O solver SCIP\* é instanciado com essa configuração.
- Enquanto o solver retornar que o problema é insolúvel,  $L$  será incrementado até o seu limite, que é o valor atual de  $W$ . Quando  $L$  não puder ser aumentado ( $L = W$ ), então  $W$  o será, e assim por diante.
- Se uma solução viável é encontrada, o solver é interrompido, a solução é registrada e o grau lógico é incrementado, dando continuidade ao processo.
- Todos os testes foram executados em um notebook PC (Linux Ubuntu 8.04, 32bits), equipado com processador Sempron Mobile 3500+ (1.8GHz, 512KB) e 2GB DDR2 (533MHz).

\*: SCIP (Solving Constraint Integer Programs - [scip.zib.de](http://scip.zib.de))

# Resultados para a rede de 6 nós

$GL$	=	Grau Lógico
$L$	=	Limitação de Ligações lógicas das Fibras
$W$	=	Número de comprimentos de onda disponíveis
$S$	=	Número de Saltos Físicos
$t$	=	Tempo em segundos para encontrar a primeira solução viável
$Cap$	=	Capacidade de Tráfego de Cada Canal Óptico
$I$	=	Instância Insolúvel

	VTD-RWA			TWA- $a$					
$Gl$	$L$	$W$	$S$	$L$	$W$	$S$	$t$	$Cap$	$I$
1	1	1	09	1	1	06*	00	08	0
2	2	2	18	1	1	11*	03	03	0
3	2	2	32	1	1	14*	00	02	0
4	3	3	41	2	2	25*	10	01	2
5	4	5	50	3	3	46*	00	01	2



# Resultados para a rede de 12 nós

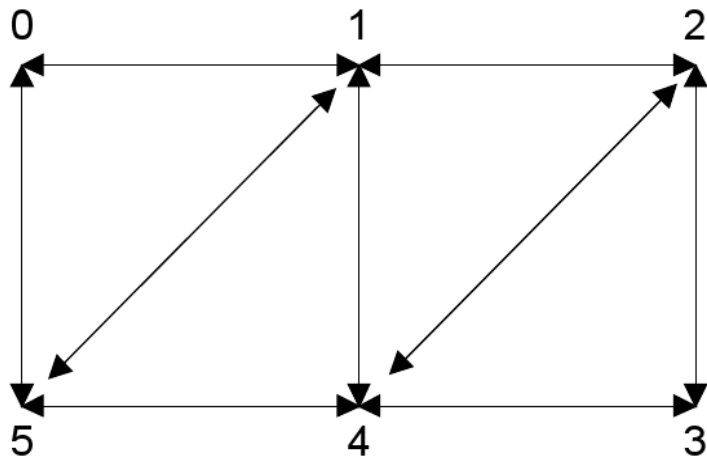
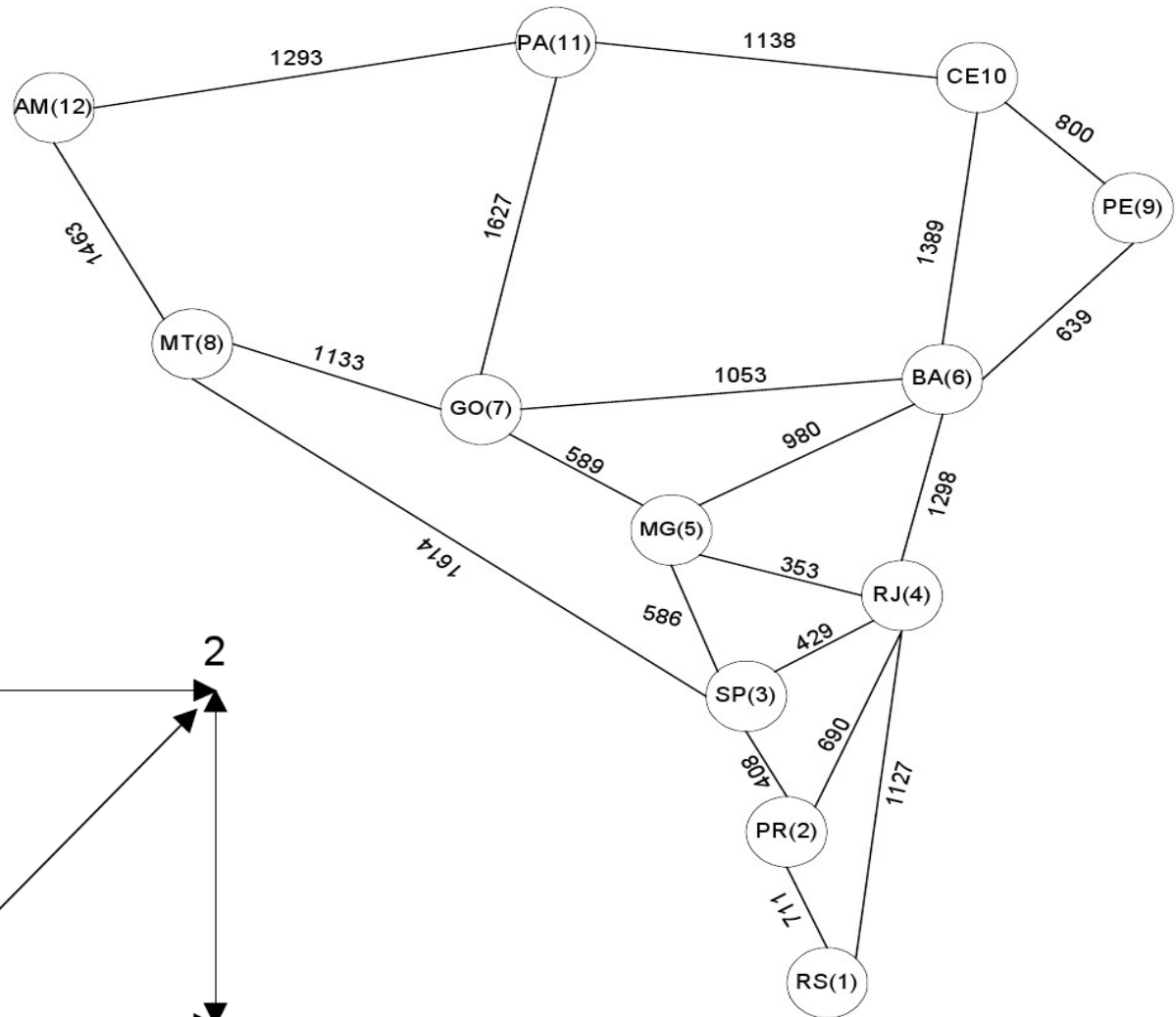
$GL$	=	Grau Lógico
$L$	=	Limitação de Ligações lógicas das Fibras
$W$	=	Número de comprimentos de onda disponíveis
$S$	=	Número de Saltos Físicos
$t$	=	Tempo em segundos para encontrar a primeira solução viável
$Cap$	=	Capacidade de Tráfego de Cada Canal Óptico
$I$	=	Instância Insolúvel

	VTD-RWA			TWA- $a$					
$Gl$	$L$	$W$	$S$	$L$	$W$	$S$	$t$	$Cap$	$I$
1	1	1	032	1	1	013*	016	35	0
2	2	2	052	1	1	027	031	10	0
3	3	3	078	2	2	066	176	04	2
4	4	4	104	2	2	074	070	03	0
5	4	4	130	3	3	108	133	02	2
6	5	5	147	3	3	091	003	02	0

# Conclusões

- Em todas as instâncias de ambas as redes foram obtidos melhores resultados para os parâmetros controlados, em relação aos resultados confrontados. Para a rede de 6 nós, em média, obtivemos uma redução de 43% no número de comprimentos de onda necessários e 34% no número de saltos físicos. Mesmo não provando a otimalidade para todas as instâncias da rede de 12 nós, alcançamos em média as mesmas porcentagens de melhoria.
- Resta destacar que os resultados para a rede de 12 nós foram produzidos em 7.2 minutos, uma demanda de tempo pequena, se comparada às 6 horas do experimento com o qual foram comparados.
- A abrangência da modelagem e o desempenho computacional obtido viabilizam, em trabalhos futuros, extensões à modelagem básica.

# Redes de 6 e 12 nós



Rede hipotética brasileira.