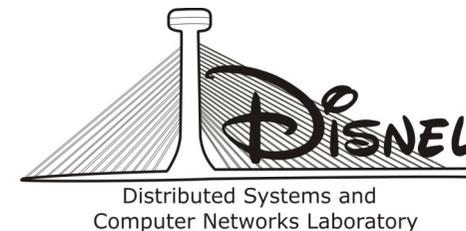


Desafios das próximas gerações de Redes Ópticas de Transporte

André Soares

Dept. Computação - UFPI



Agenda

- ▶ Introdução
- ▶ Redes ópticas opacas
- ▶ Redes ópticas transparentes
- ▶ Redes ópticas translúcidas

- ▶ **Mestrado em Ciência da Computação da UFPI**

Introdução

- ▶ **A demanda de tráfego vem crescendo de forma significativa**

- ▶ Aumento do nº de usuários
- ▶ Aplicações sofisticadas
 - ▶ e.g. E-science

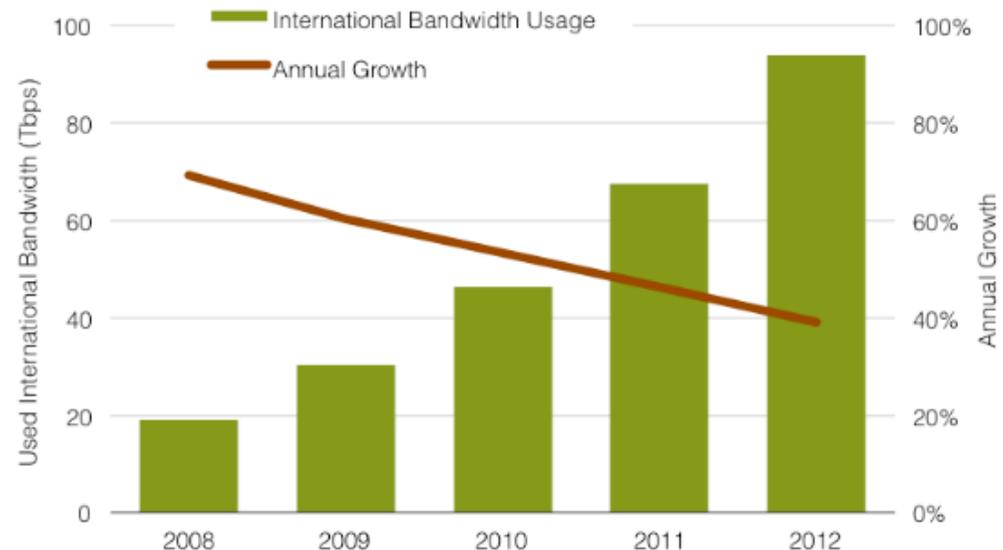
- **Fibra óptica**

- Grande largura de banda, baixa perda, imunidade a interferências eletromagnéticas, entre outras.

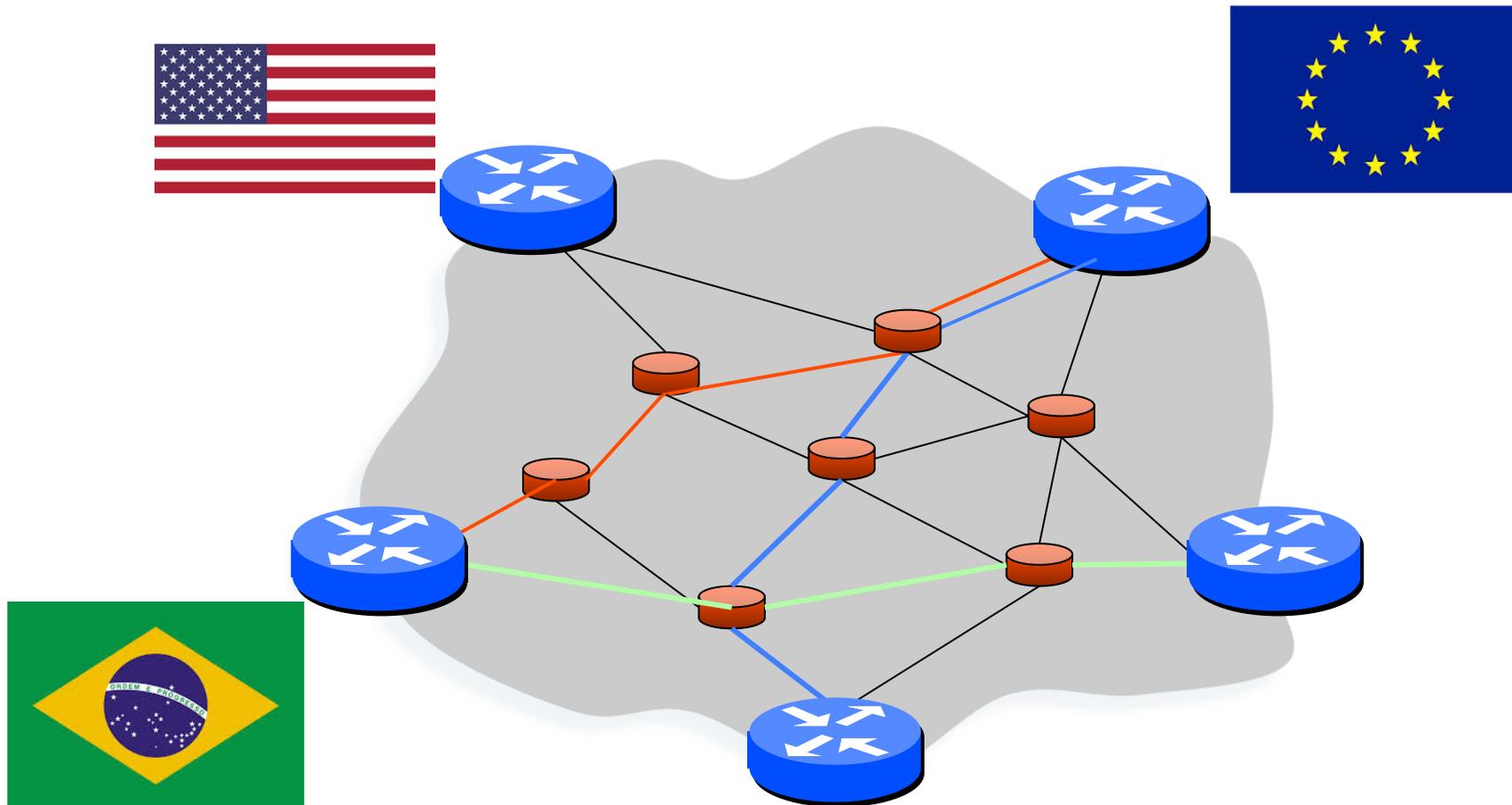
- **Tecnologia WDM** (*Wavelength Division Multiplexing*)

- Vários comprimentos de onda em uma única fibra (com até 80 Gbps)
- Múltiplos circuitos de grande capacidade em uma única fibra óptica.

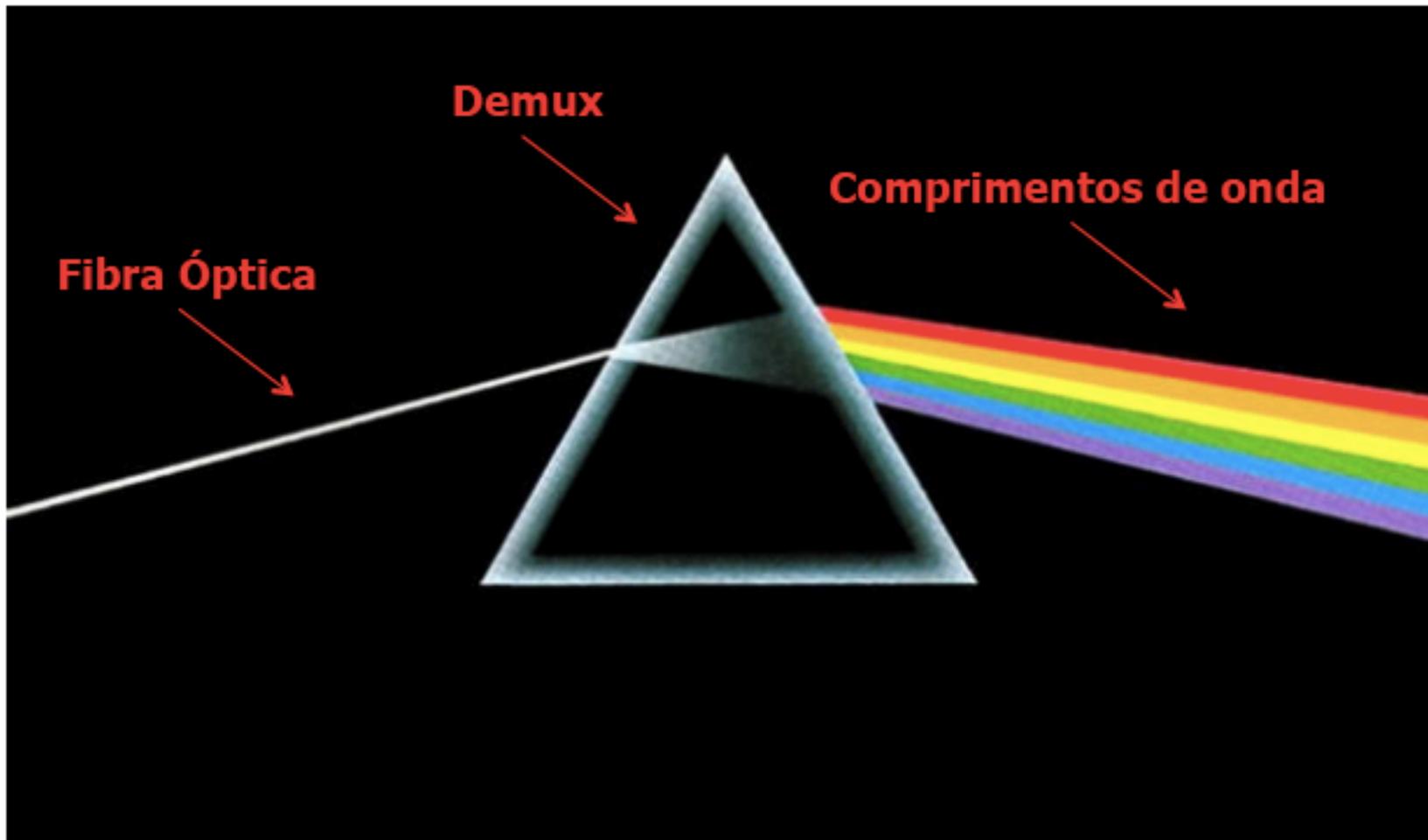
WORLDWIDE INTERNATIONAL BANDWIDTH GROWTH, 2008-2012



Rede óptica de transporte



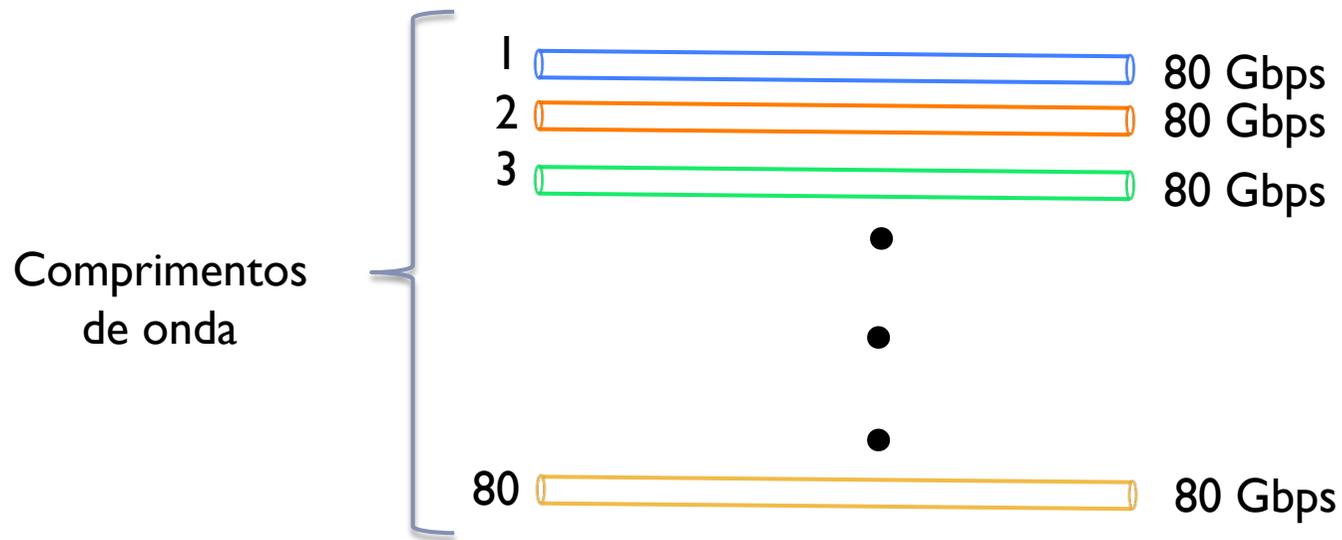
Rede ópticas WDM



WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

Rede ópticas WDM

Fibra óptica + WDM =

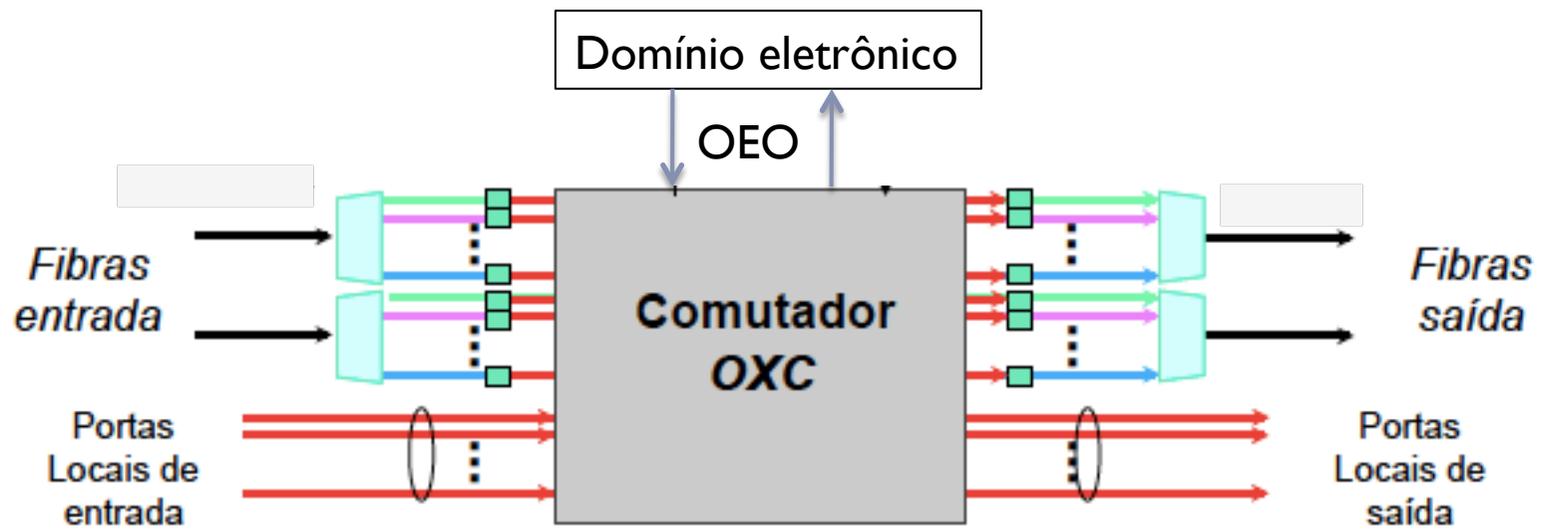
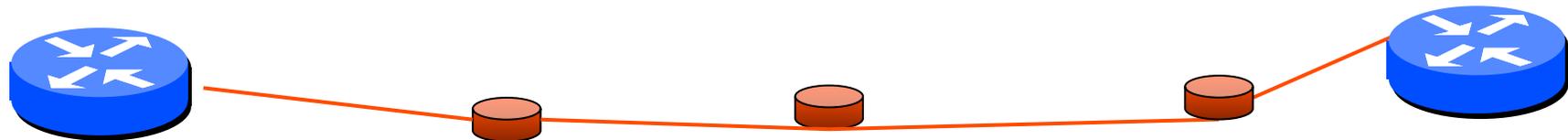


Classificação das redes ópticas de Transporte

Considerando processamento eletrônico no plano de dados:

- ▶ Redes ópticas opacas
- ▶ Redes ópticas transparentes
- ▶ Redes ópticas translúcidas

Redes Ópticas Opacas



Rede óptica

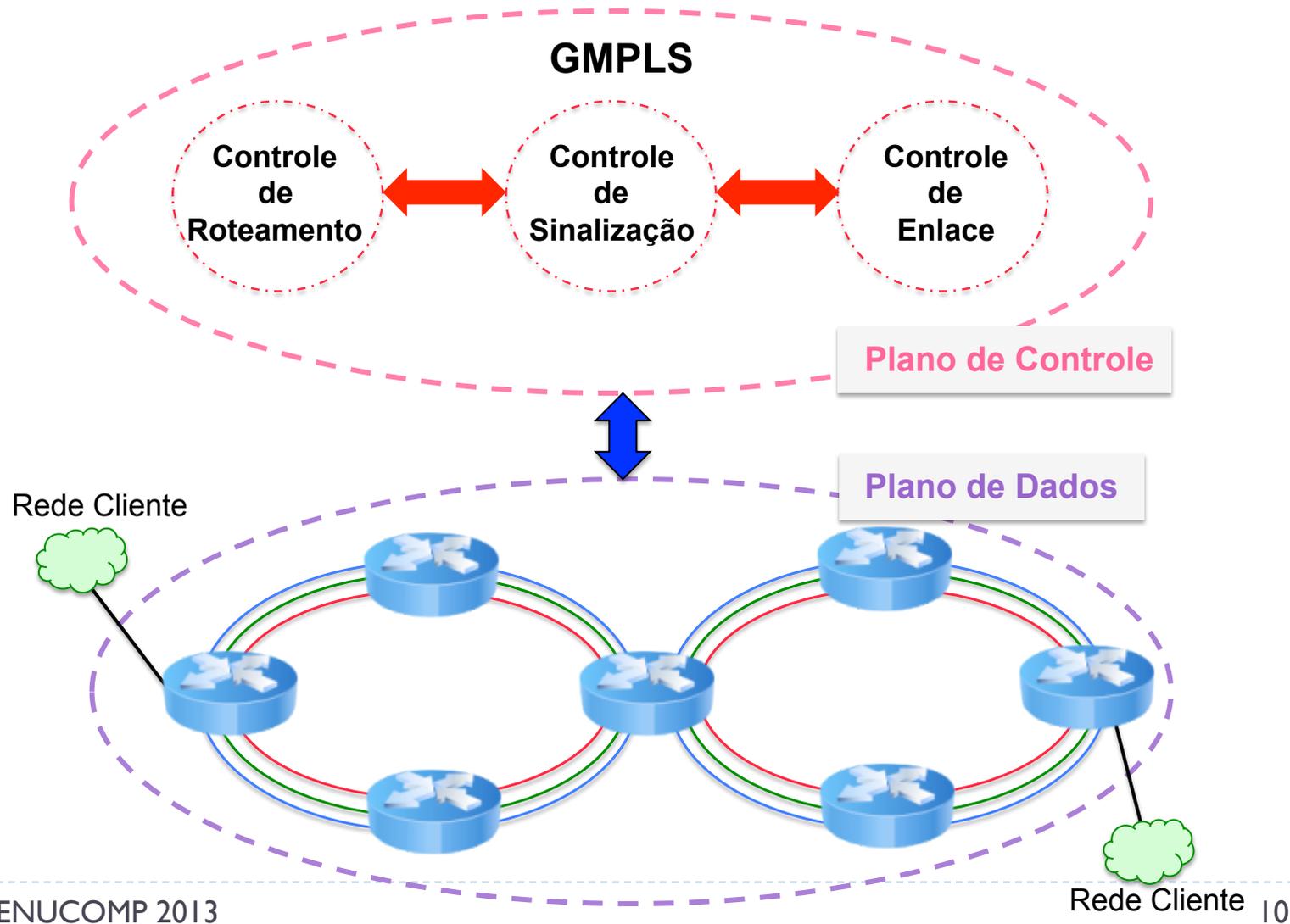
▶ Opacas

- ▶ Roteamento no domínio eletrônico
- ▶ Utilização de conversores OEO – Óptico-Eletro-Óptico
 - ▶ Inserção de atrasos de processamento
 - ▶ Aumento do custo dos equipamentos

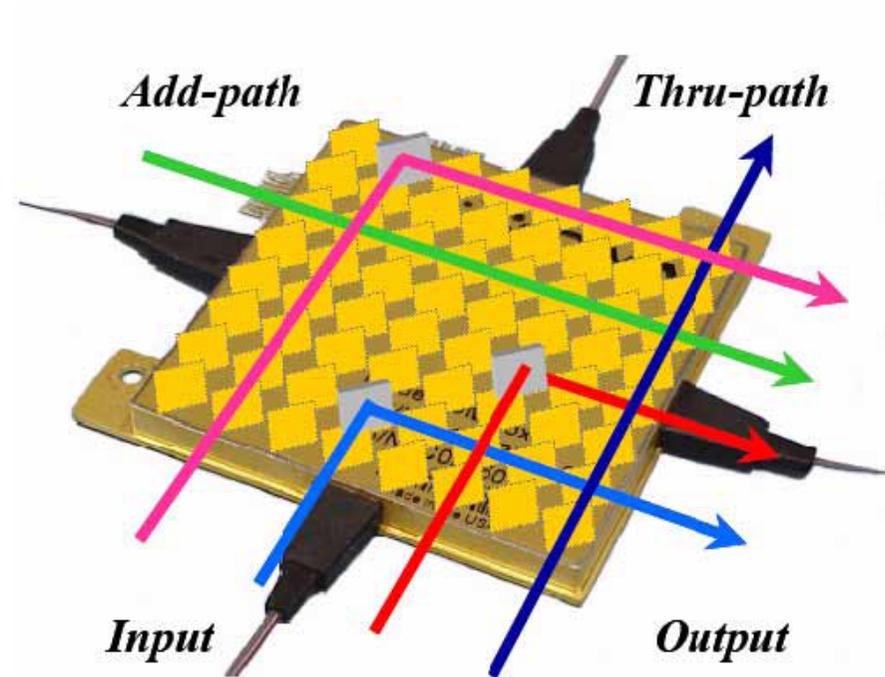
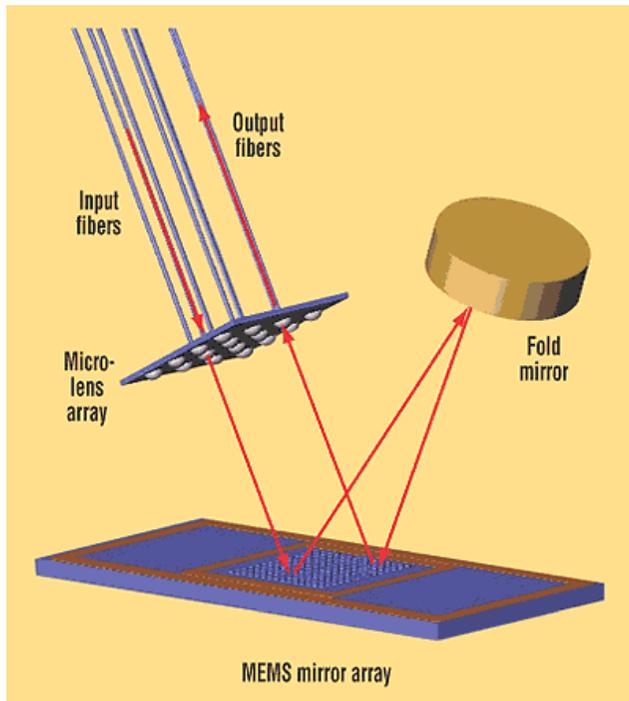
▶ Transparentes

- ▶ Roteamento no domínio óptico
- ▶ Evita conversores OEO e suas limitações

Plano de dados X Plano de controle



Comutação Óptica

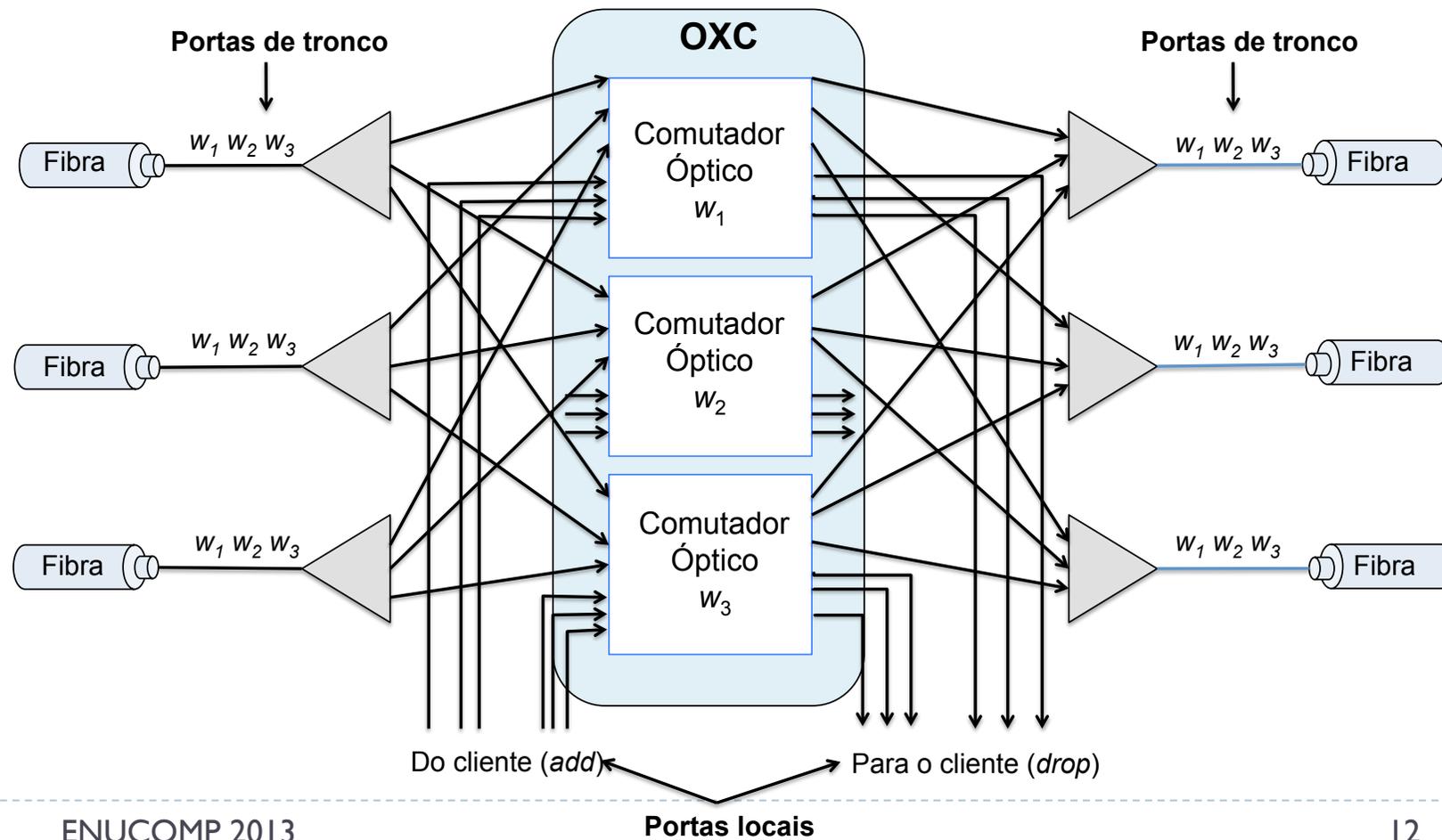


2. The 3D concept for a MEMS mirror array is employed in the optical switch.

(Simplificando) Um mero espelhinho de ângulo ajustável



Comutador óptico

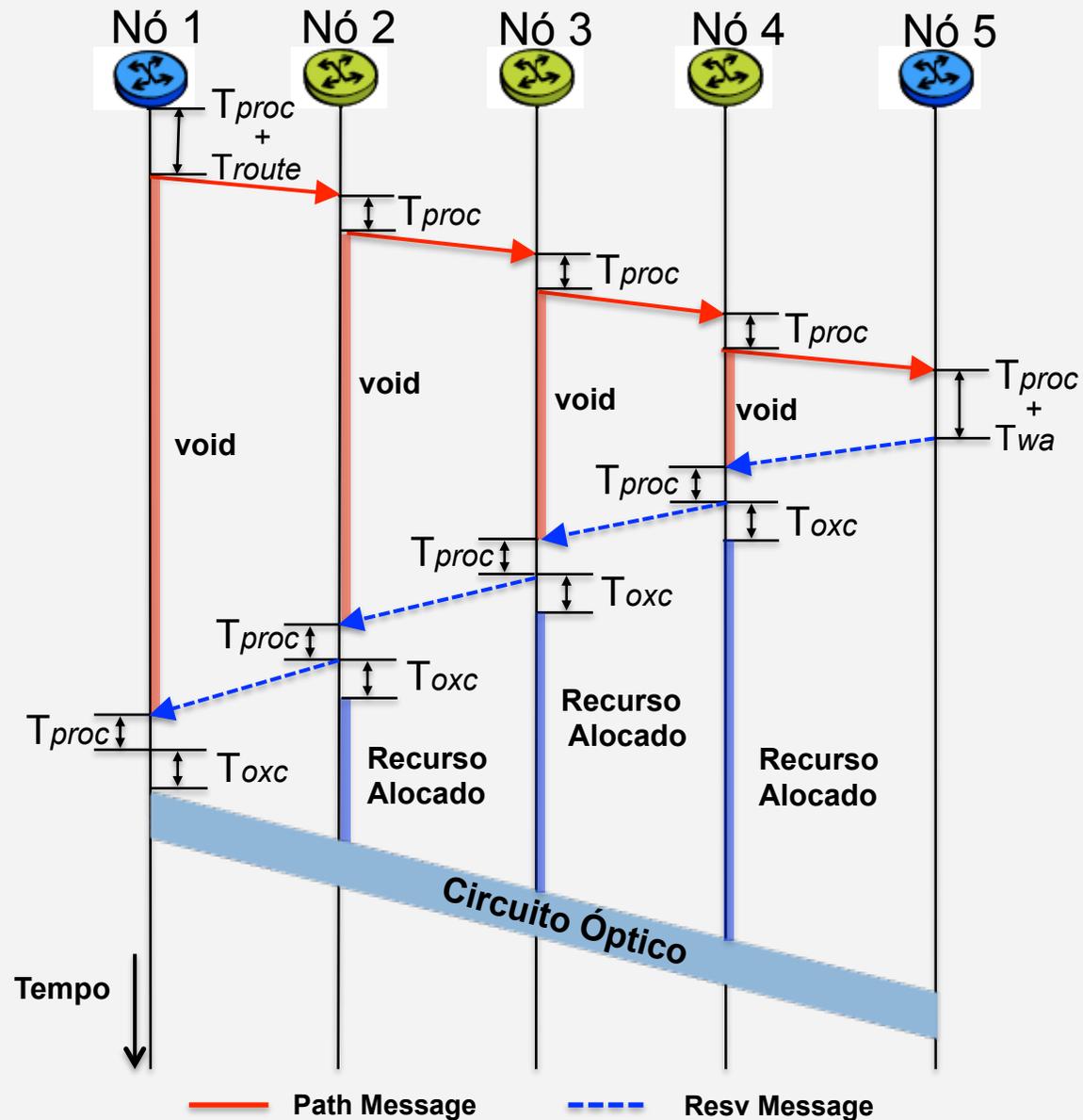


Paradigmas de comutação óptico

Optical Circuit Switching – OCS

- ▶ Reserva dos recursos antes do envio dos dados
 - Estabelecimento do circuito óptico
- ▶ Facilidade em garantir *Quality of Service (QoS)*
- ▶ Processo de sinalização de duas vias
 - Ineficiente para comunicações de curta duração

Paradigmas de Comutação: OCS



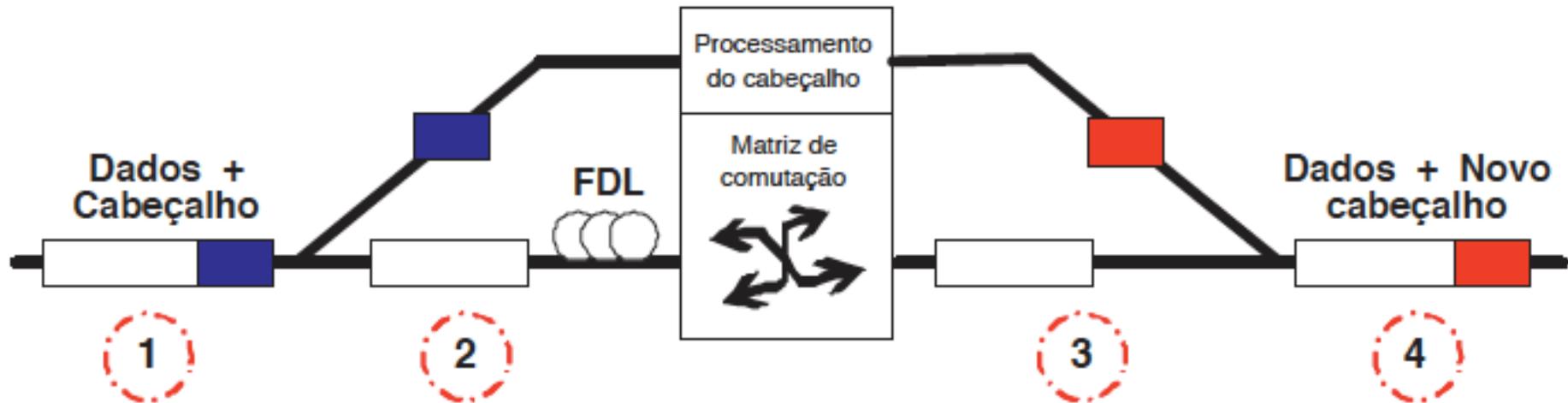
Paradigmas de comutação óptico

2. *Optical Packet Switching* – OPS

- ▶ Eficiente quando o tráfego possui alto dinamismo
- ▶ Não há a reserva prévia de recursos
 - Dificuldade em garantir QoS
- ▶ Cabeçalhos e dados são enviados na mesma banda
 - É necessário armazenar os dados e processar o cabeçalho

Paradigmas de Comutação: OPS

2. *Optical Packet Switching* – OPS



- **Tecnologia ainda pouco madura**
 - **Necessita de avanços nas áreas de processamento e armazenamento óptico**

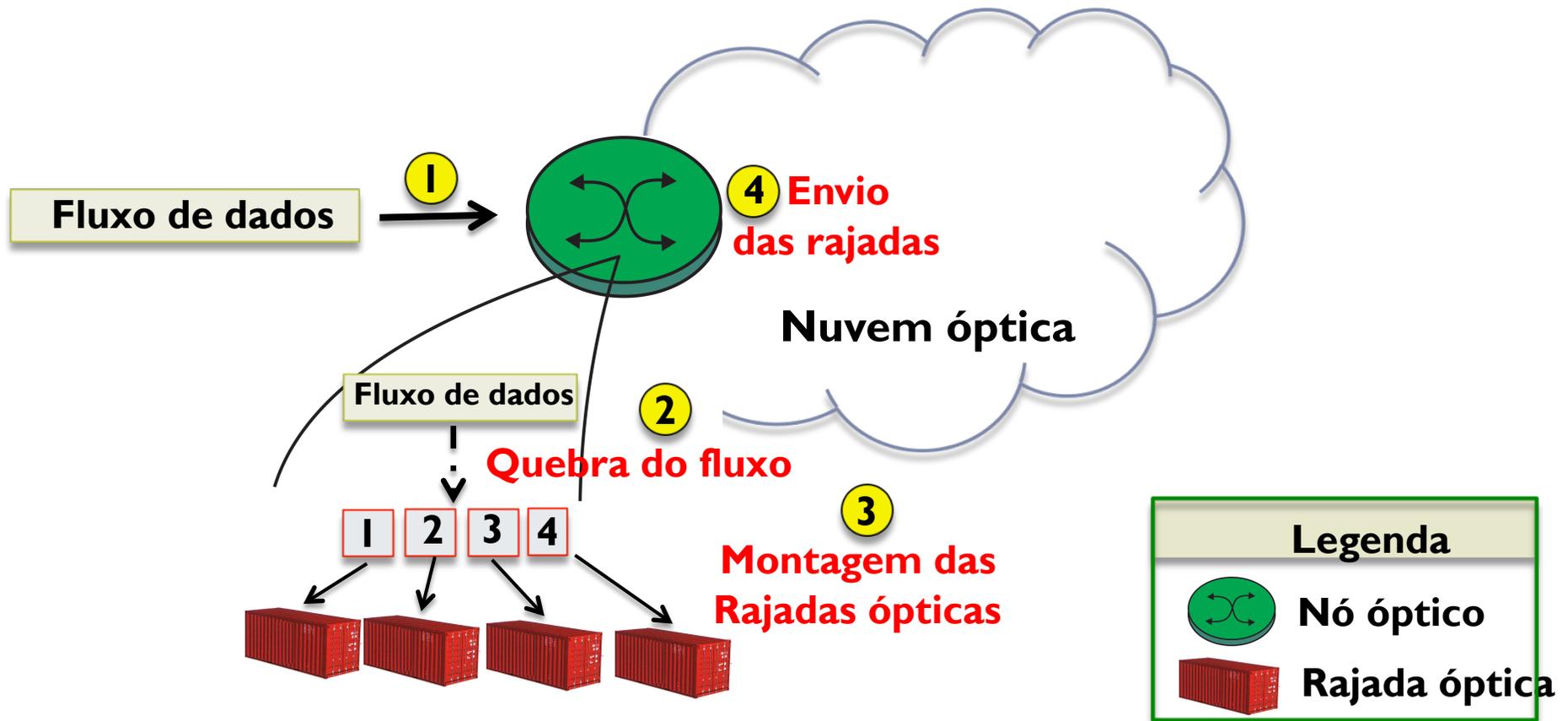
Paradigmas de comutação óptica

3. *Optical Burst Switching* – OBS

- ▶ É uma alternativa que provê uma infraestrutura de transporte flexível para o encaminhamento de pequenos volumes de dados
- ▶ Envio de rajadas ópticas
- ▶ Envio de uma mensagem de controle antes do envio da rajada
- ▶ A rajada óptica possui um tamanho máximo

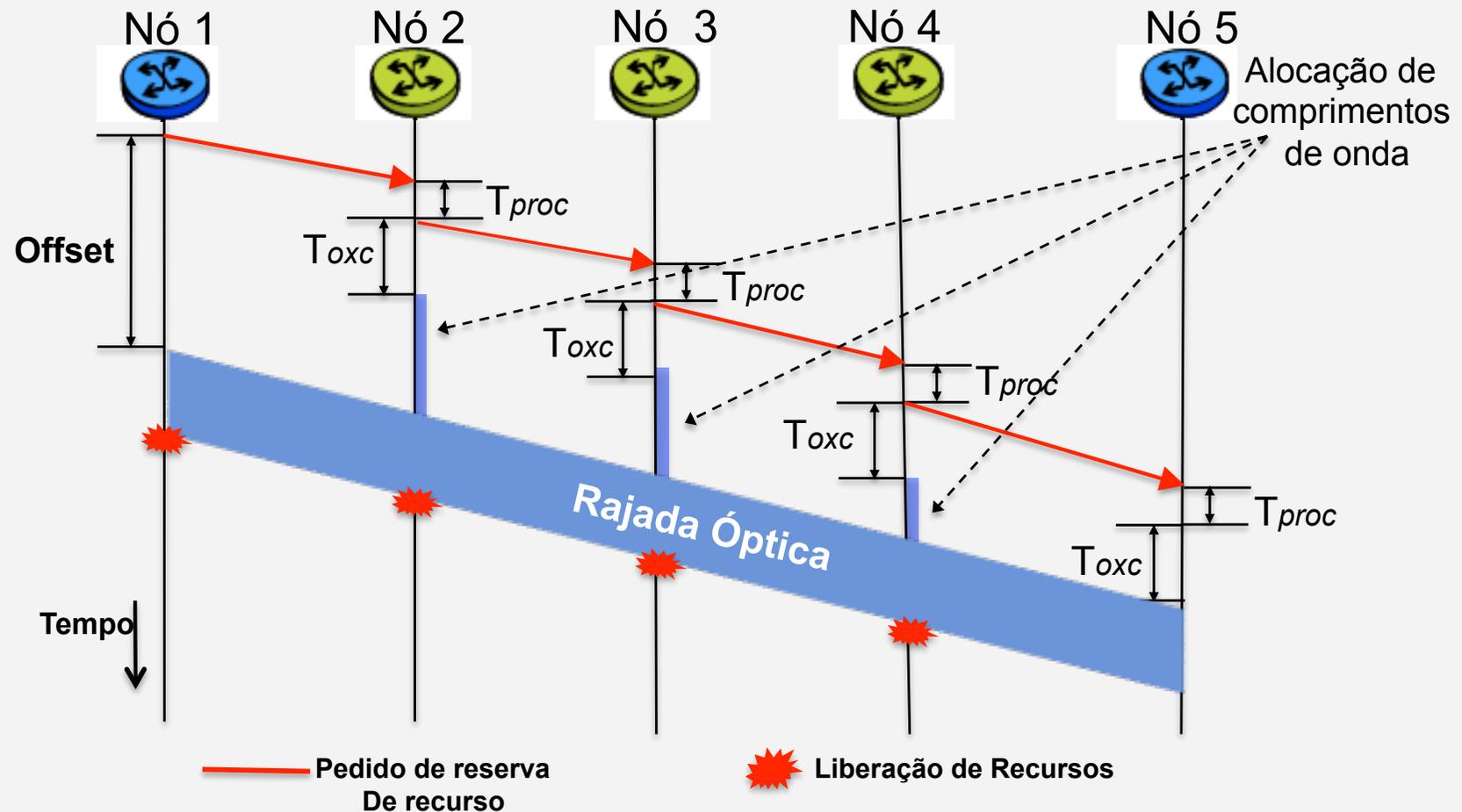
Paradigmas de Comutação: OBS

3. Optical Burst Switching – OBS



Paradigmas de Comutação OBS

Envio de uma rajada óptica por meio do protocolo



Paradigmas de Comutação Óptica

4. Comutação Híbrida OCS/OBS

1 Chegada de fluxo

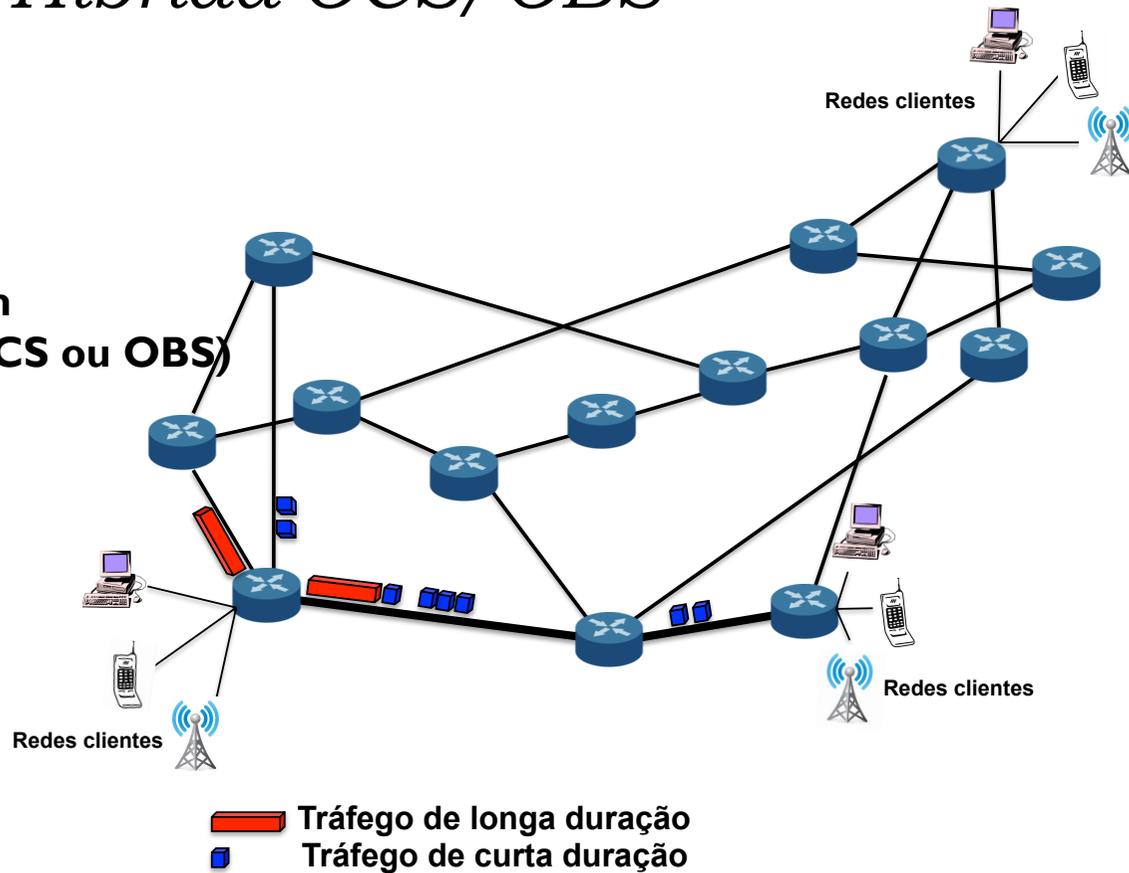
Fluxo Longo



Fluxo curto

2

Escolha de um Paradigma (OCS ou OBS)



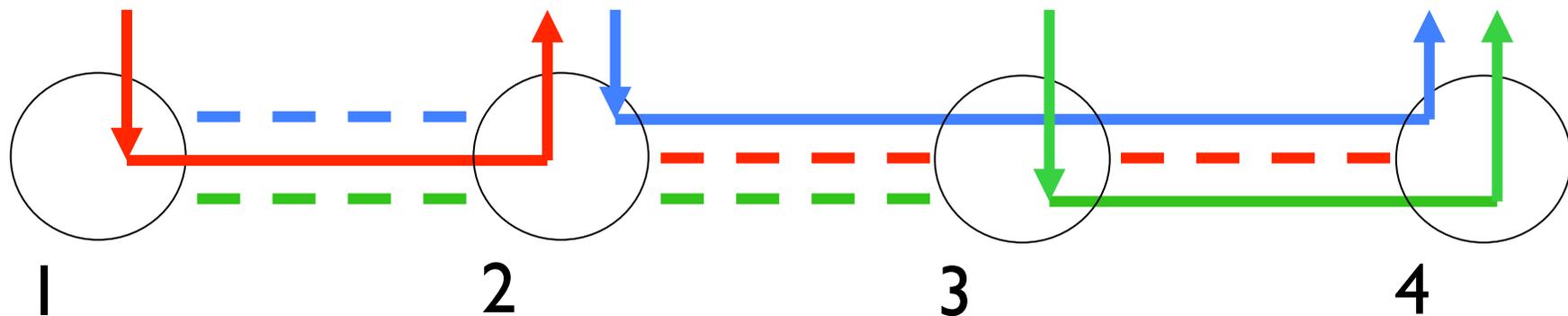
Problema RWA

Routing and Wavelength Assignment (RWA)

- ▶ Roteamento
 - ▶ Definir uma rota entre um nó origem e um nó destino
- ▶ Alocação de comprimento de onda
 - ▶ Definir um comprimento de onda a ser utilizado para o envio dos dados
- ▶ Objetivo da solução RWA: Minimizar a probabilidade de bloqueio de futuros circuitos e rajadas ópticas

Redes Ópticas Transparentes

- Envio de dados do nó 1 para o nó 4
- *Wavelength continuity constraint*

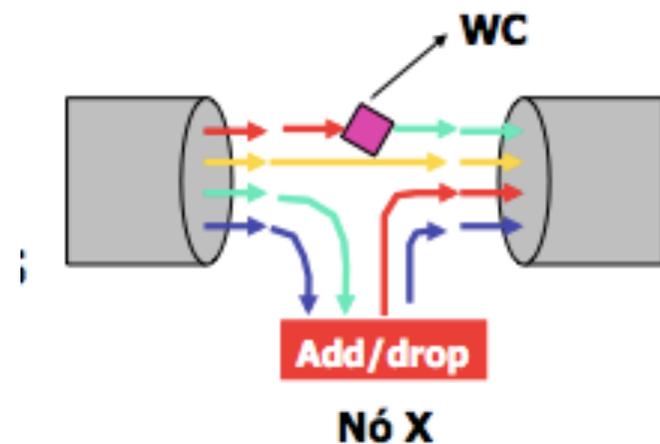


Não existe comprimento de onda livre com continuidade !!!

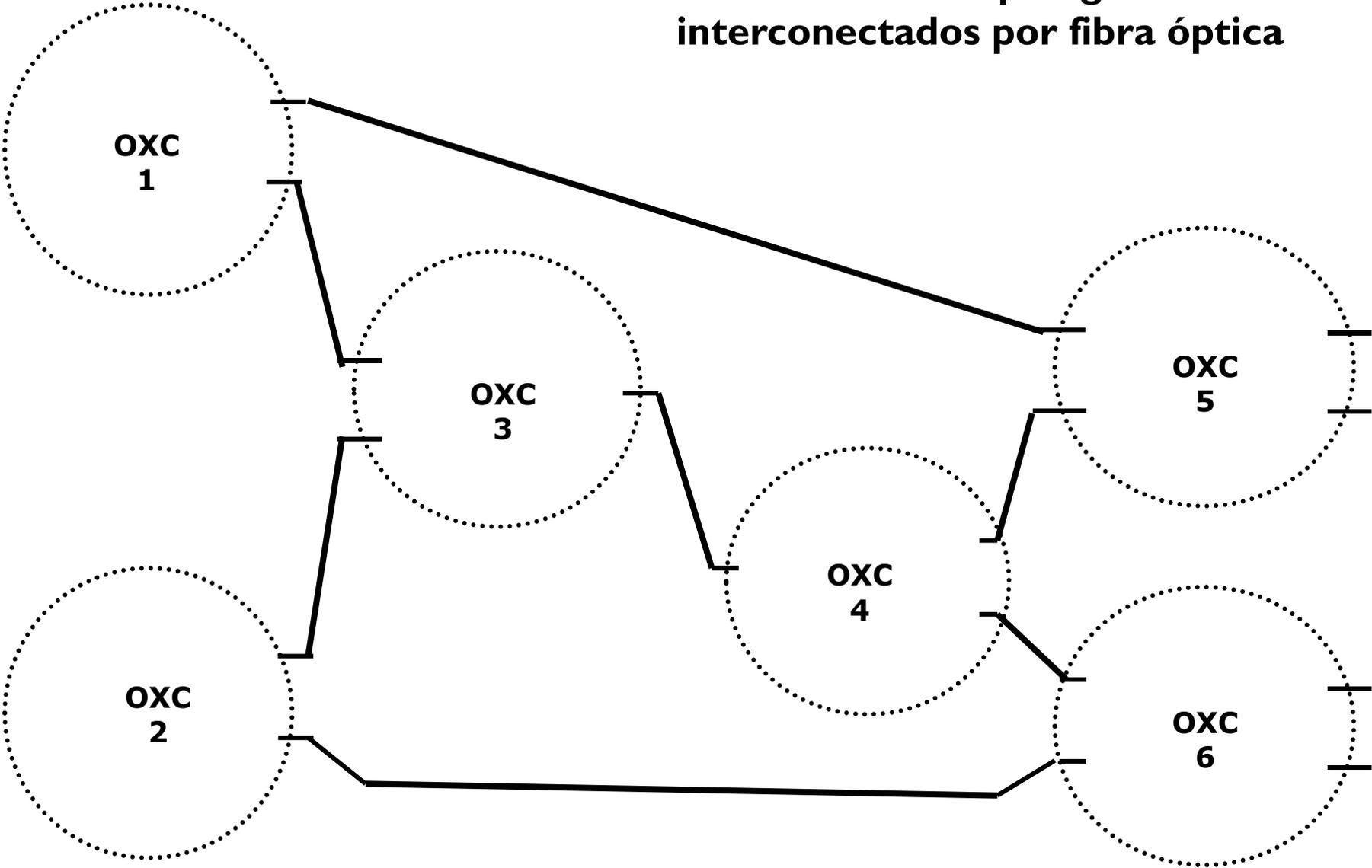
O envio dos dados do par (1,4) será bloqueado.

Conversão de comprimento de onda

- *Wavelength continuity constraint* pode ser superada com o uso de **Wavelength Converters – WCs**
 - Converte um comprimento de onda de entrada para um outro comprimento de onda de saída
- Apesar dos avanços da tecnologia de **WCs**, seus custos ainda são altos.
- Uso dos WCs deve ser feitos de forma limitada
 - Posicionamento de WCs

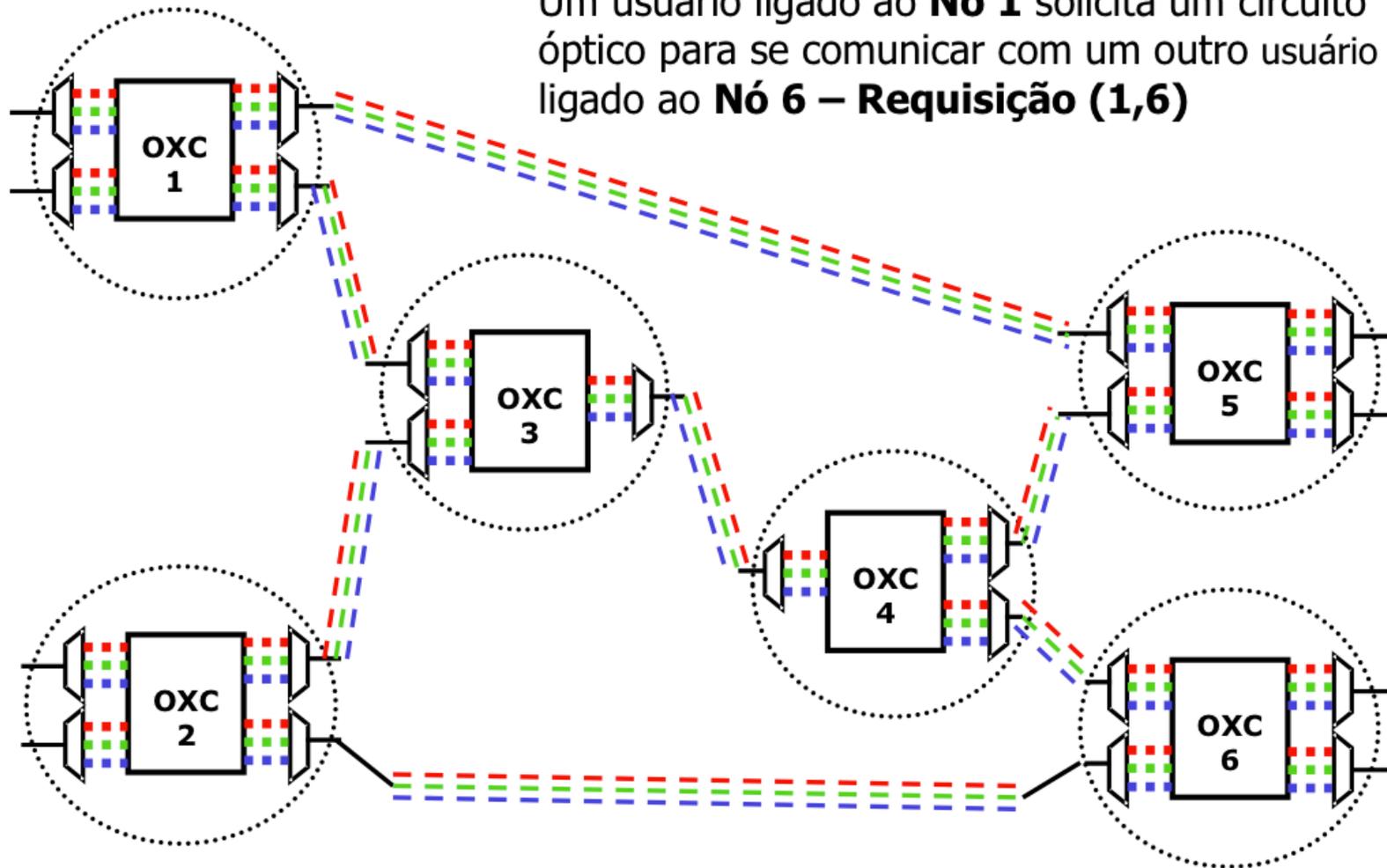


Considere uma topologia de 6 nós interconectados por fibra óptica

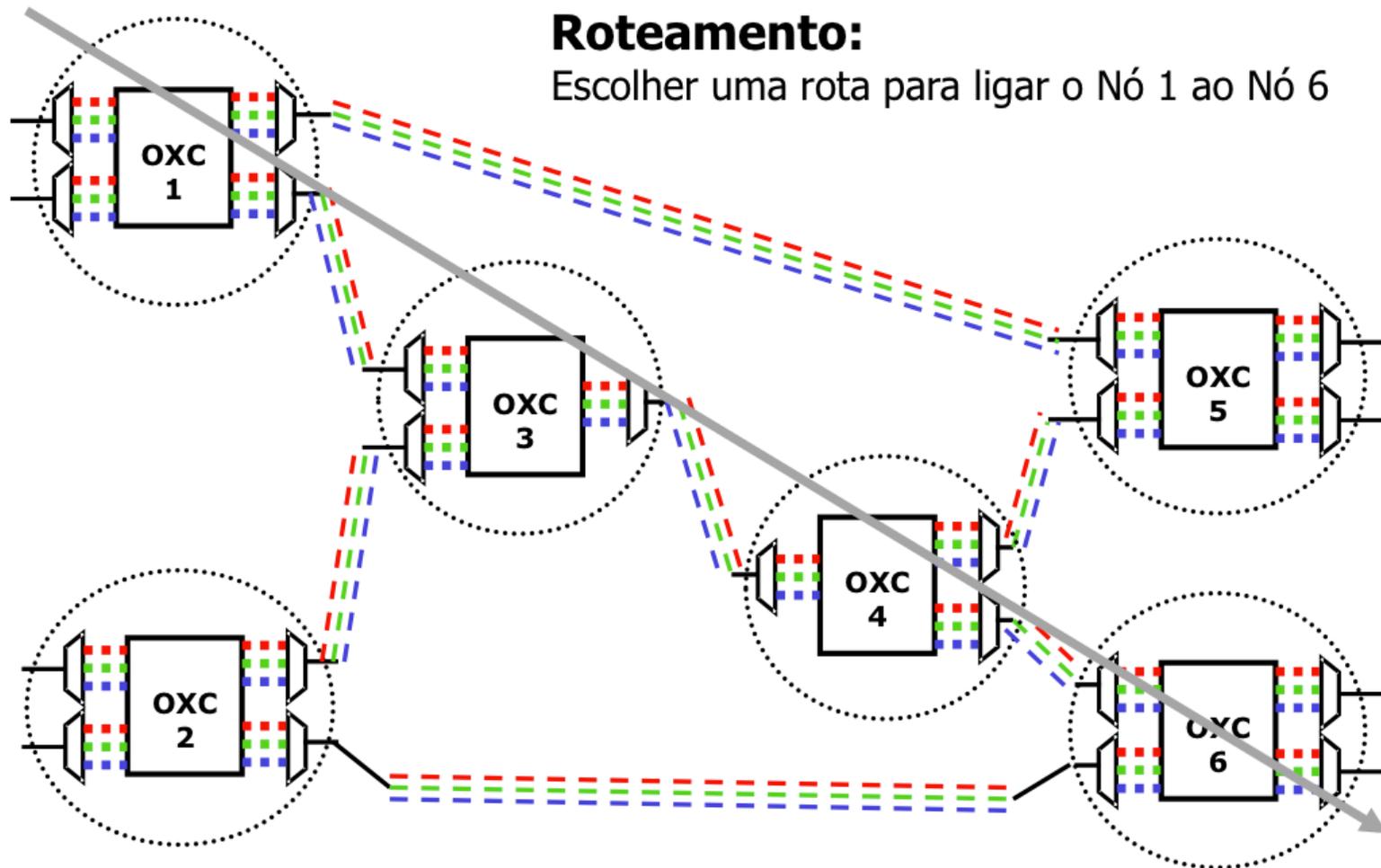


Problema RWA – Paradigma OCS

Um usuário ligado ao **Nó 1** solicita um circuito óptico para se comunicar com um outro usuário ligado ao **Nó 6** – **Requisição (1,6)**



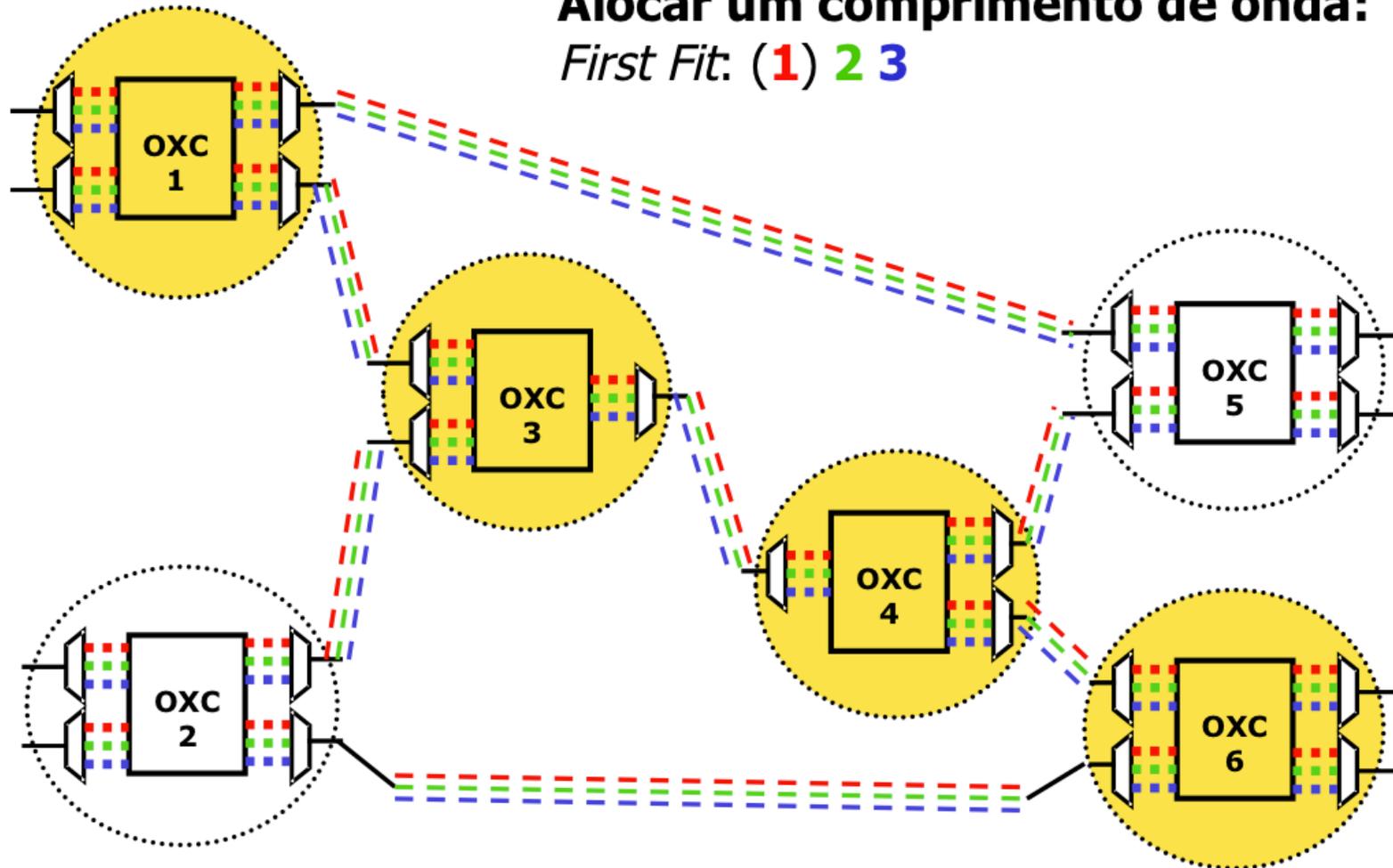
Problema RWA – Paradigma OCS



Problema RWA – Paradigma OCS

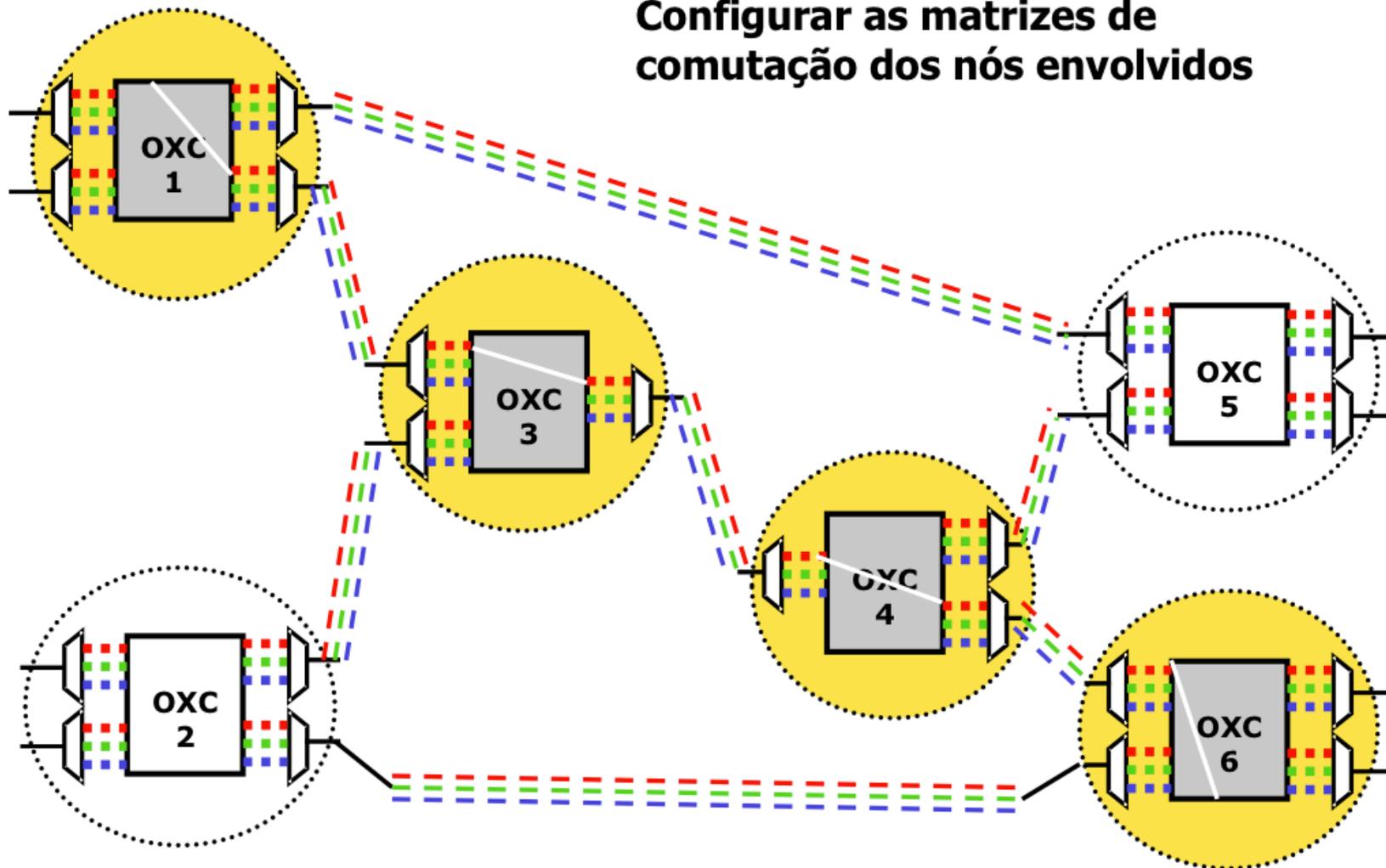
Alocar um comprimento de onda:

First Fit: (1) 2 3

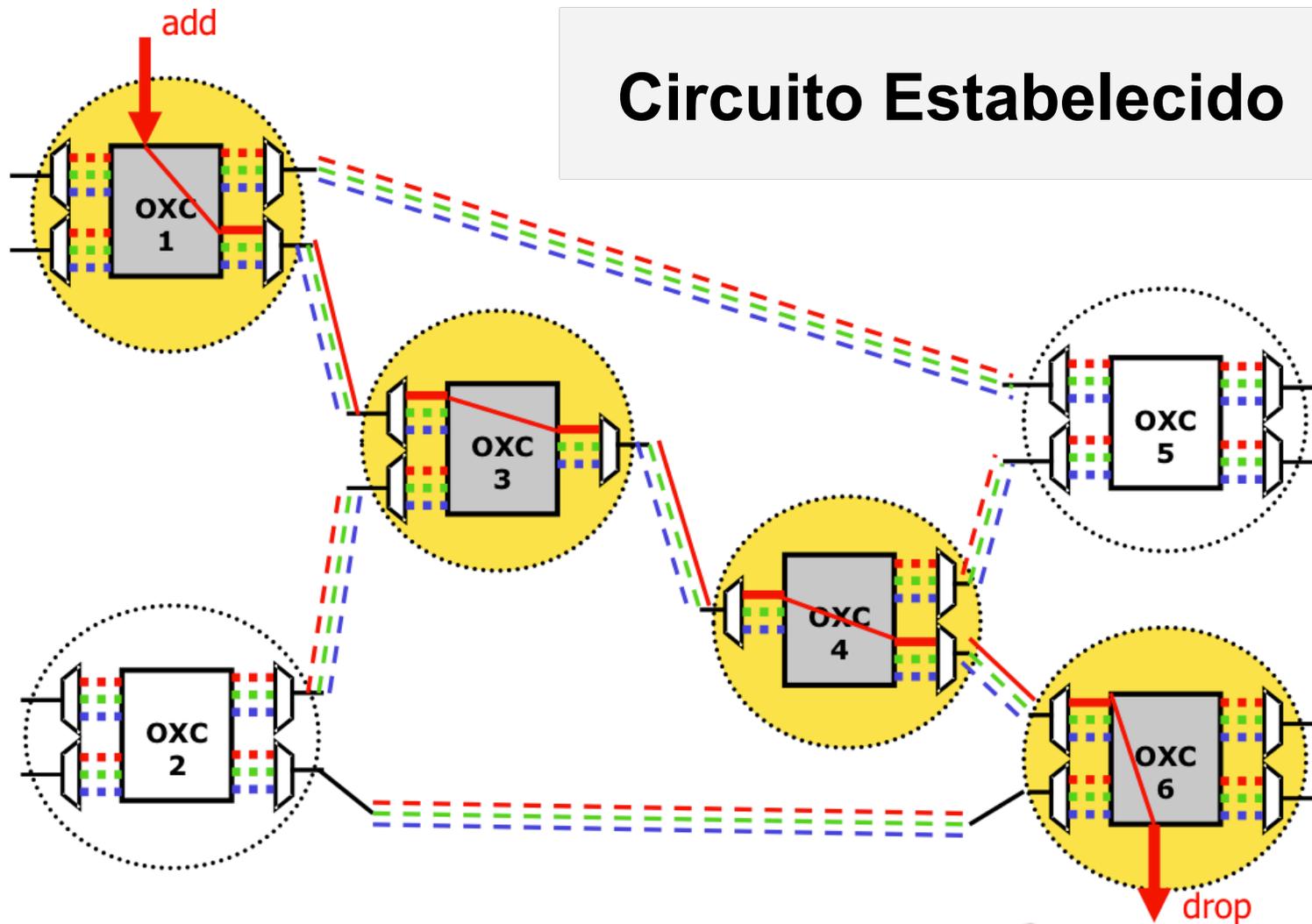


Problema RWA– Paradigma OCS

Configurar as matrizes de comutação dos nós envolvidos



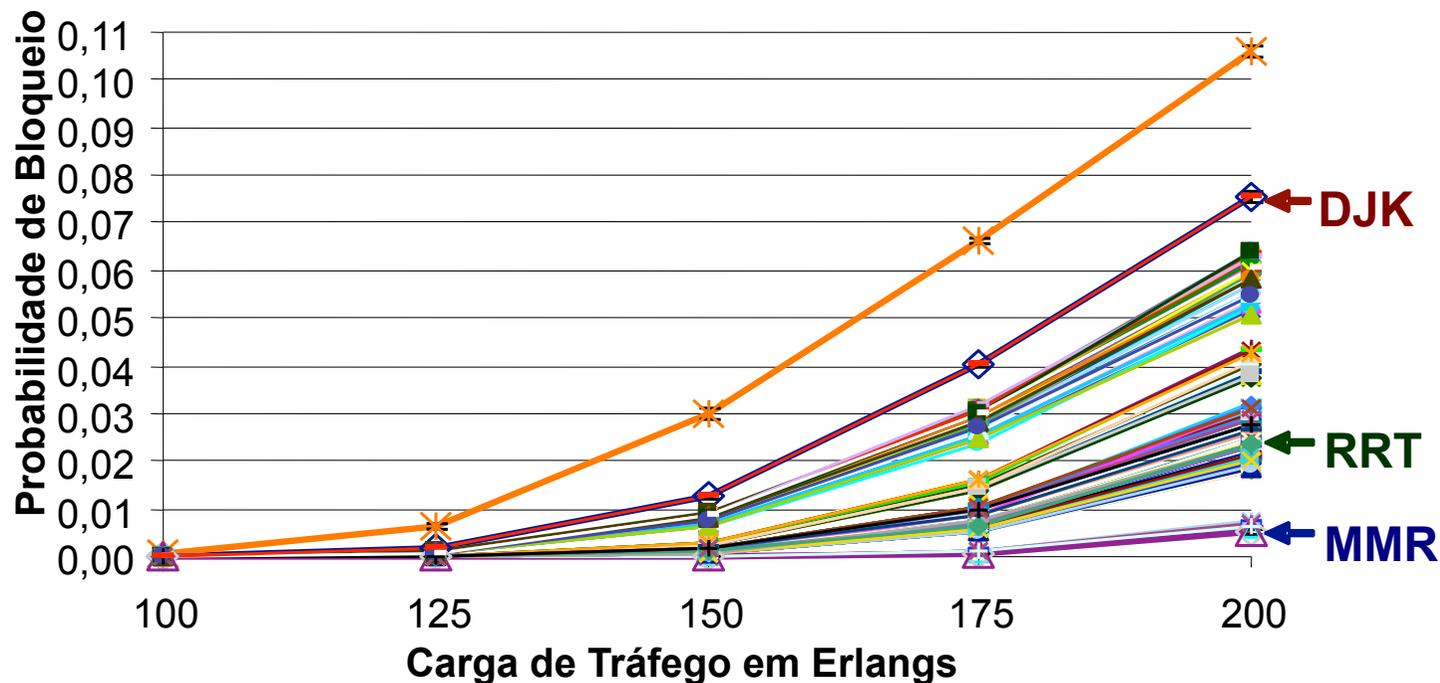
Problema RWA– Paradigma OCS



Resultados do Disnel/PPGCC/UFPI

Algoritmo de roteamento: MMR - Melhor entre as Menores Rotas

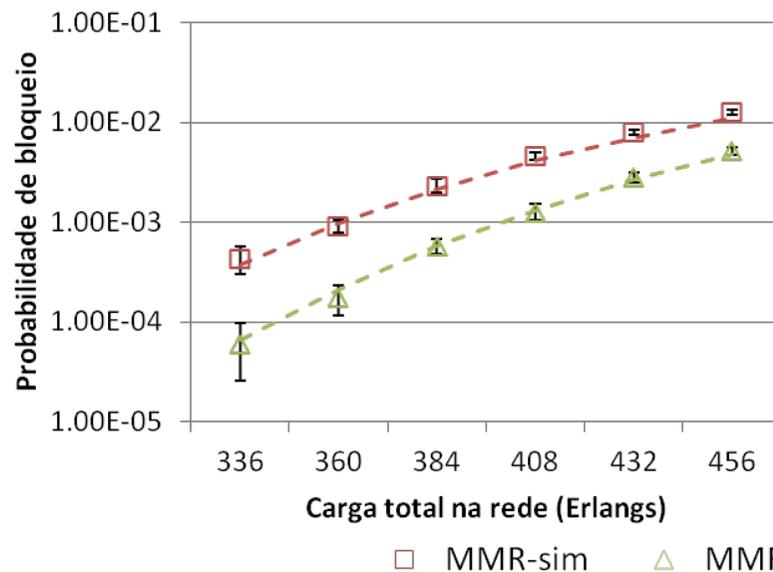
- Desempenho de todas as 144 combinações de menores caminhos para a topologia A6NET
- Estão destacados o desempenho das combinações encontradas pelos algoritmos de *Dijkstra* (DJK), RRT e MMR.



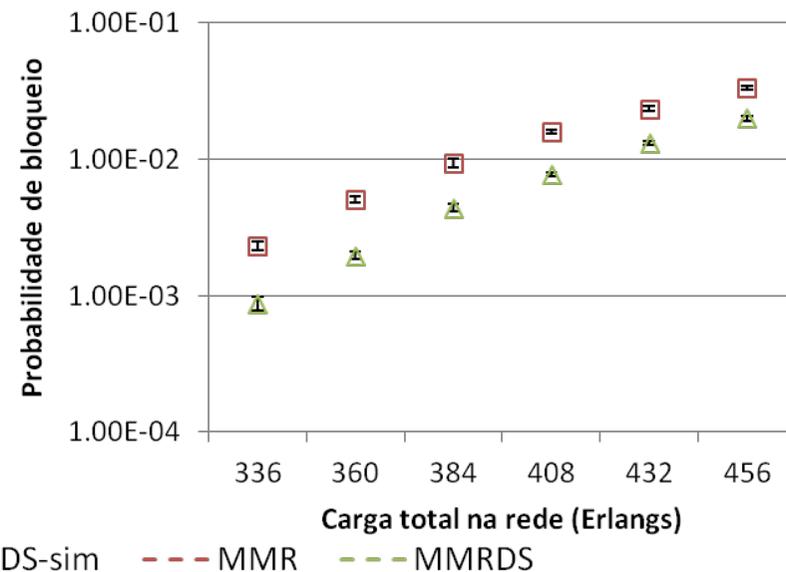
Resultados do Disnel/PPGCC/UFPI

▶ Algoritmo de roteamento: MMRDS

a) Com conversão total de comprimento de onda

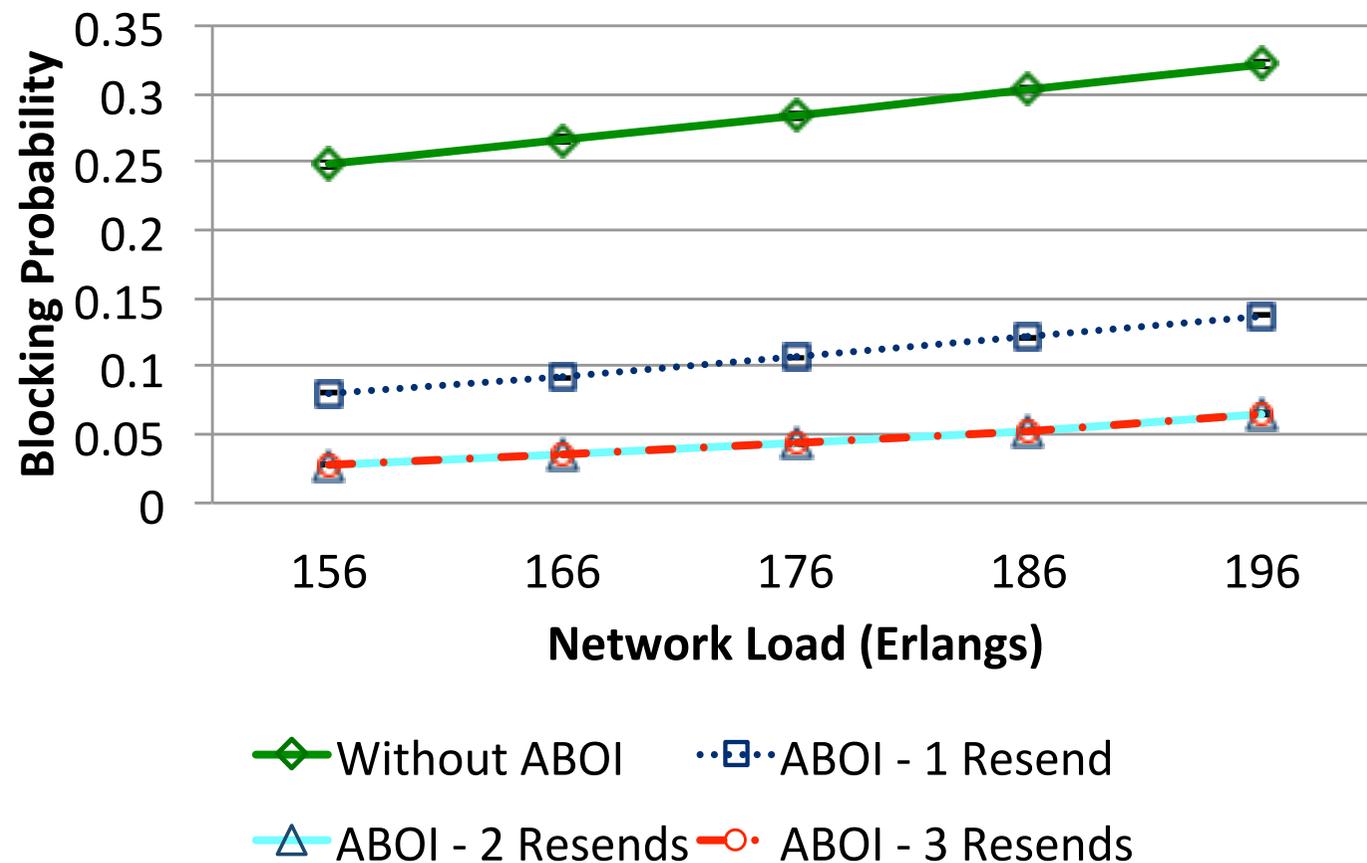


b) Sem conversão de comprimento de onda



Resultados do Disnel/PPGCC/UFPI

AVOIDANCE OF BLOCKING PER OUTDATED INFORMATION (ABOI)



Limitação de Camada Física

- ▶ O aumento das taxas de transmissões e o tamanho dos enlaces tende a agravar a degradação ao sinal devido os efeitos de camada física.
- ▶ A Qualidade da Transmissão (QoT) pode ser avaliada no nó destino de um circuito através de:
 - ▶ Taxa de Erro de Bit (**BER** – *Bit Error Rate*);
 - ▶ Relação Sinal Ruído Óptica (**OSNR** – *Optical Signal to Noise Ratio*).

Desafios para rede ópticas transparentes

BER – Bit Error Rate

OSNR – Optical Signal Noise Ratio

$$\text{BER} = \frac{\text{Número de bits errados}}{\text{Número de bits transmitidos}}$$

Exemplo: BER = 3×10^{-9} significa que ocorrem 3 erros de bit para cada 1 bilhão de bits transmitidos

$$\text{OSNR} = \frac{\text{Potência do sinal}}{\text{Potência do ruído}}$$

Exemplo: Potência de sinal igual 2,16 dBm e potência de ruído igual -13,4 dBm, então o OSNR = 15,56.

OSNR = 15,56 dB corresponde ao BER = 10^{-9} .



Efeitos de Camada Física

- ▶ Os efeitos de camada física podem ser classificados em:
 - ▶ **Efeitos lineares:** são independentes da potência do sinal e afetam cada canal óptico individualmente;
 - ▶ **Efeitos não lineares:** são dependentes da potência do sinal, afetam individualmente cada canal óptico e também causam distúrbios e interferências entre eles.

Efeitos de Camada Física

➤ **Importantes efeitos lineares:**

- *Attenuation* (α);
- *Insertion Loss* (**IL**);
- *Polarization Mode Dispersion* (**PMD**);
- *Amplified Spontaneous Emission* (**ASE**);
- *Crosstalk* (**XT**);
- *Chromatic Dispersion* (**CD**).

Efeitos de Camada Física

➤ **Importantes efeitos não lineares:**

- *Self-Phase Modulation* (**SPM**);
- *Cross-Phase Modulation* (**XPM**);
- *Four-Wave Mixing* (**FWM**);
- *Stimulated Raman Scattering* (**SRS**);
- *Stimulated Brillouin Scattering* (**SBS**).

Efeitos de Camada Física

➤ **Atenuação**

- É a perda da intensidade luminosa ao longo da fibra
- Causada pelo próprio material da fibra, por eventuais emendas, físicas ou mecânicas, existentes e curvatura da fibra;
- A atenuação α das fibras **SMF** (*Single-Mode Fiber*) é cerca de 0,2 dB/km;

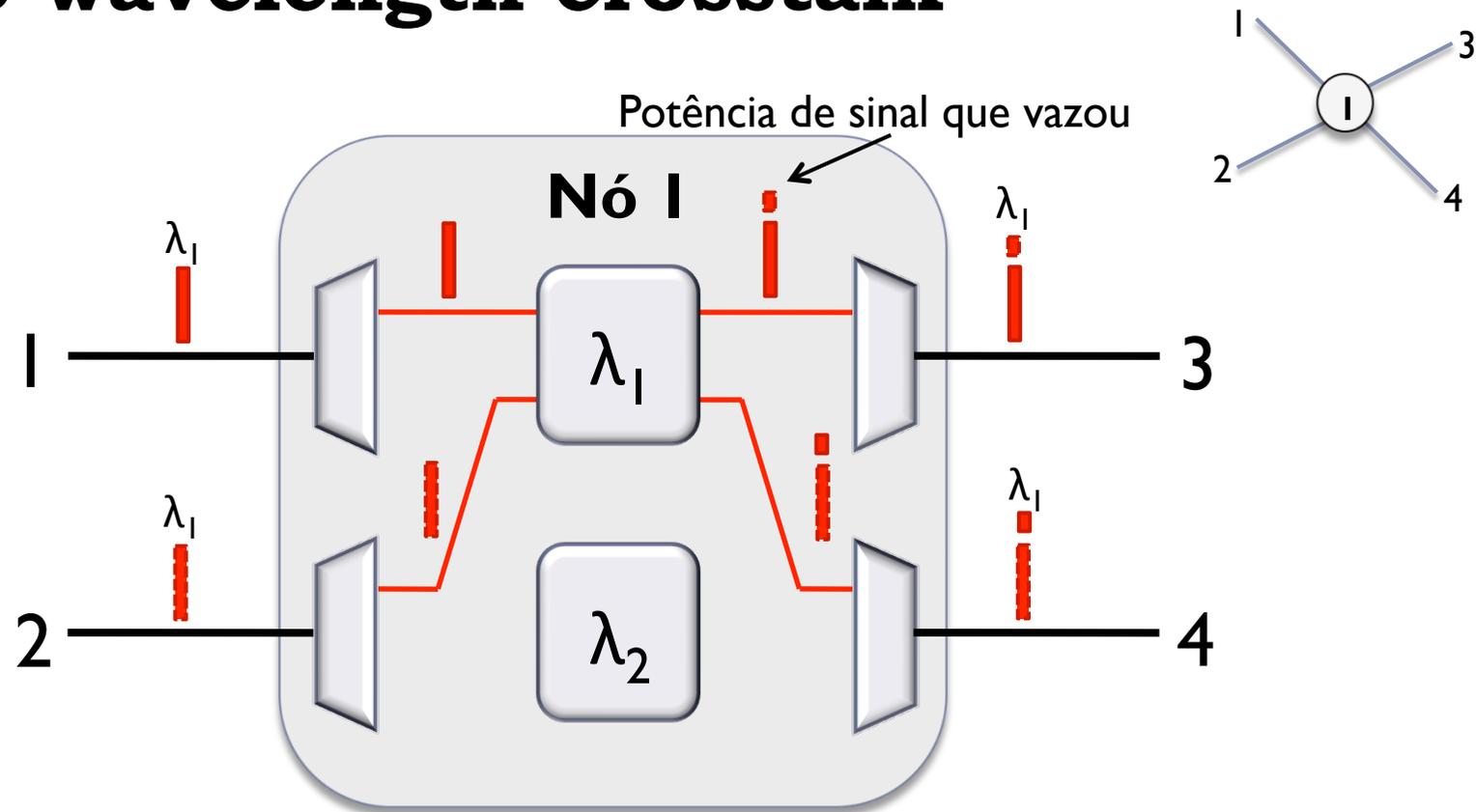
Efeitos de Camada Física

➤ **Crosstalk**

- Origina-se do vazamento de potência de sinal nos OXCs, ou na fase de demultiplexação ou no interior da matriz de comutação.
- Três tipos:
 - ***Co-wavelength crosstalk;***
 - ***Self wavelength crosstalk;***
 - ***Neighbor-port wavelength crosstalk.***

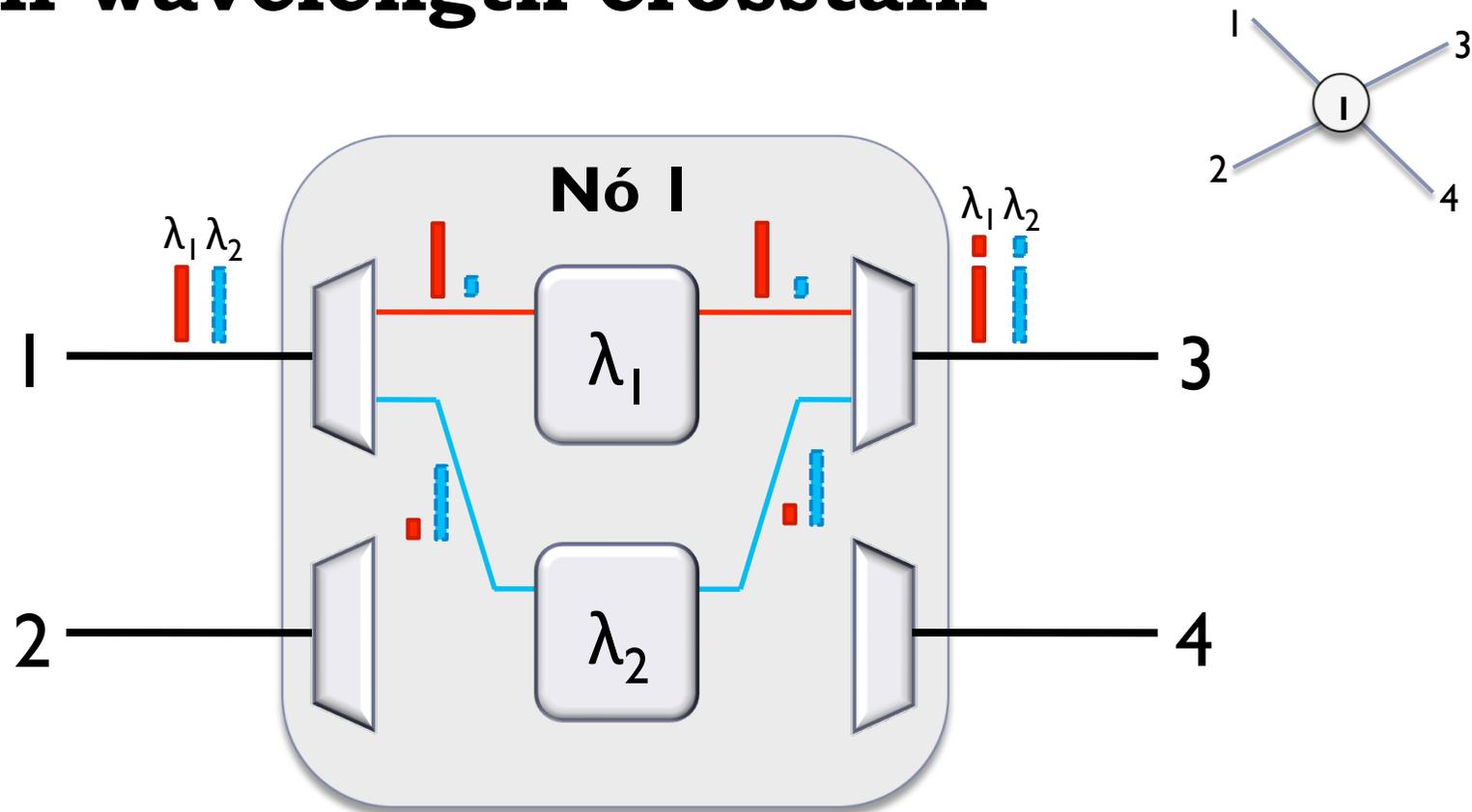
Efeitos de Camada Física

➤ Co-wavelength crosstalk



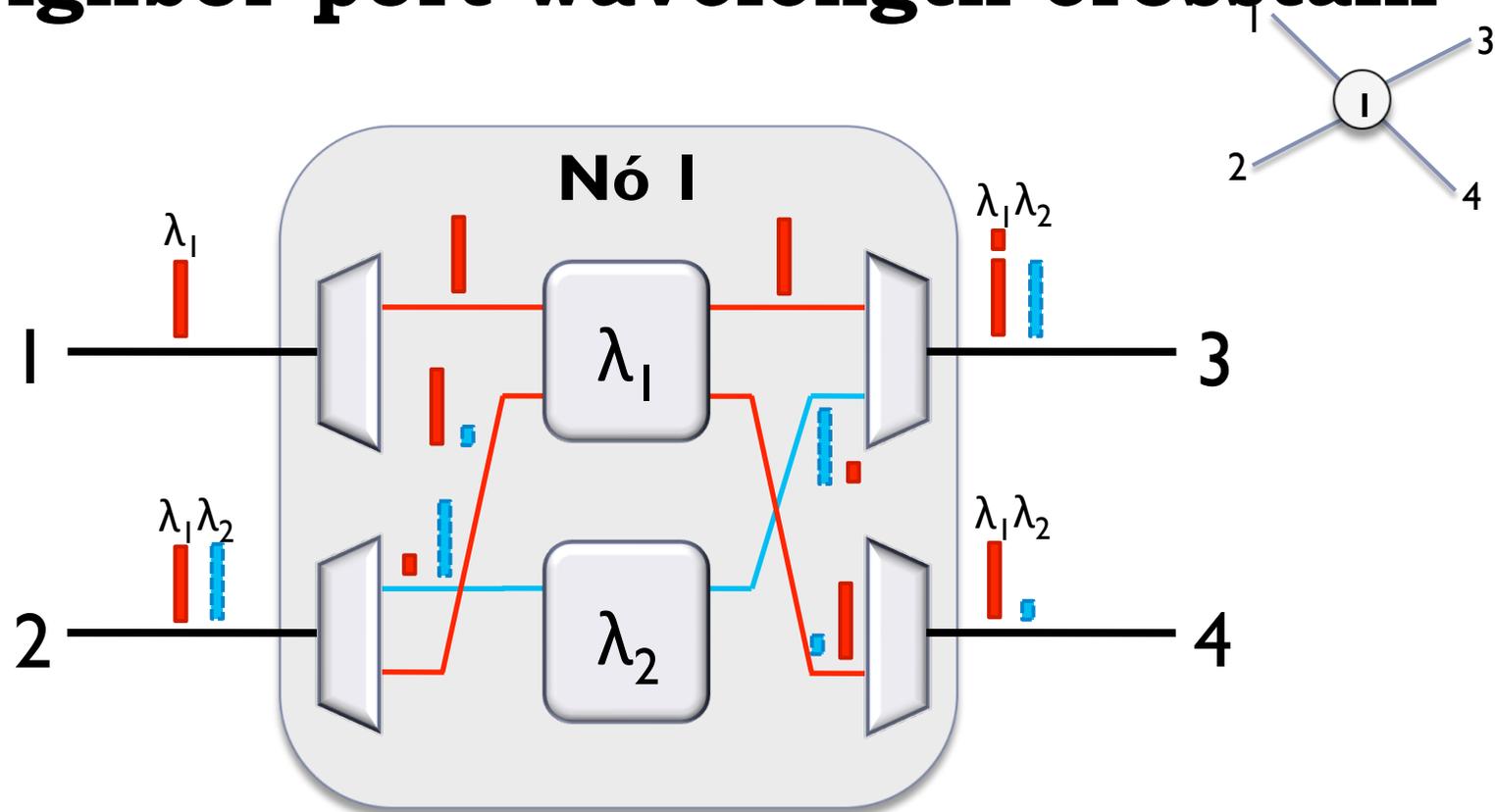
Efeitos de Camada Física

➤ Self wavelength crosstalk



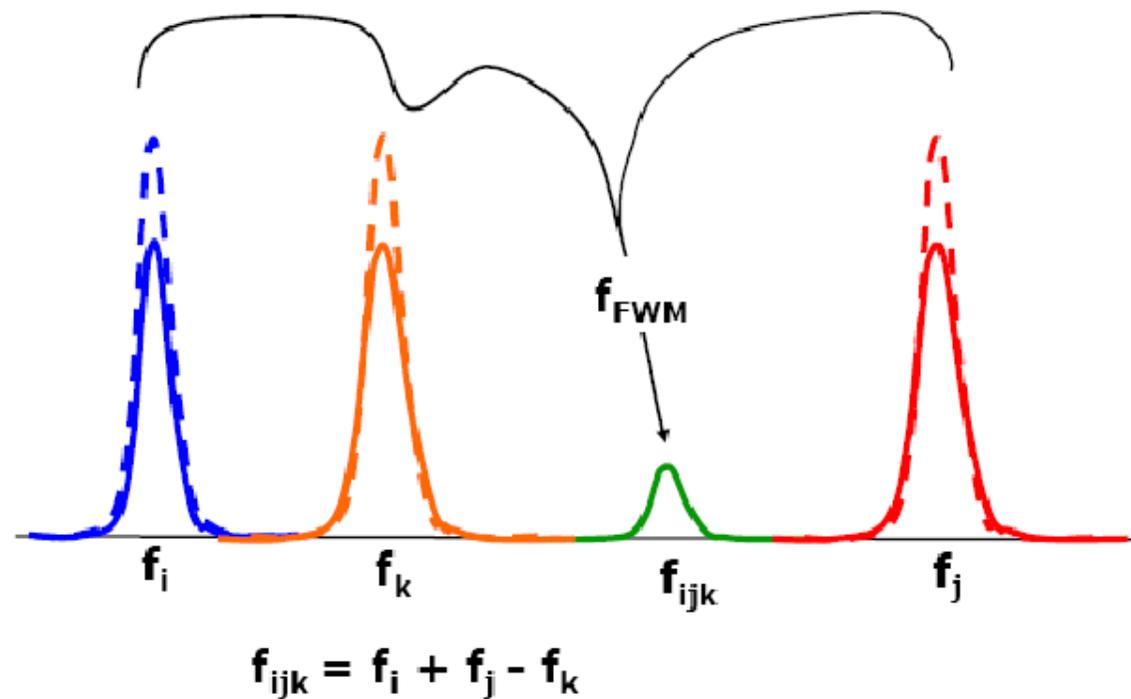
Efeitos de Camada Física

➤ Neighbor-port wavelength crosstalk



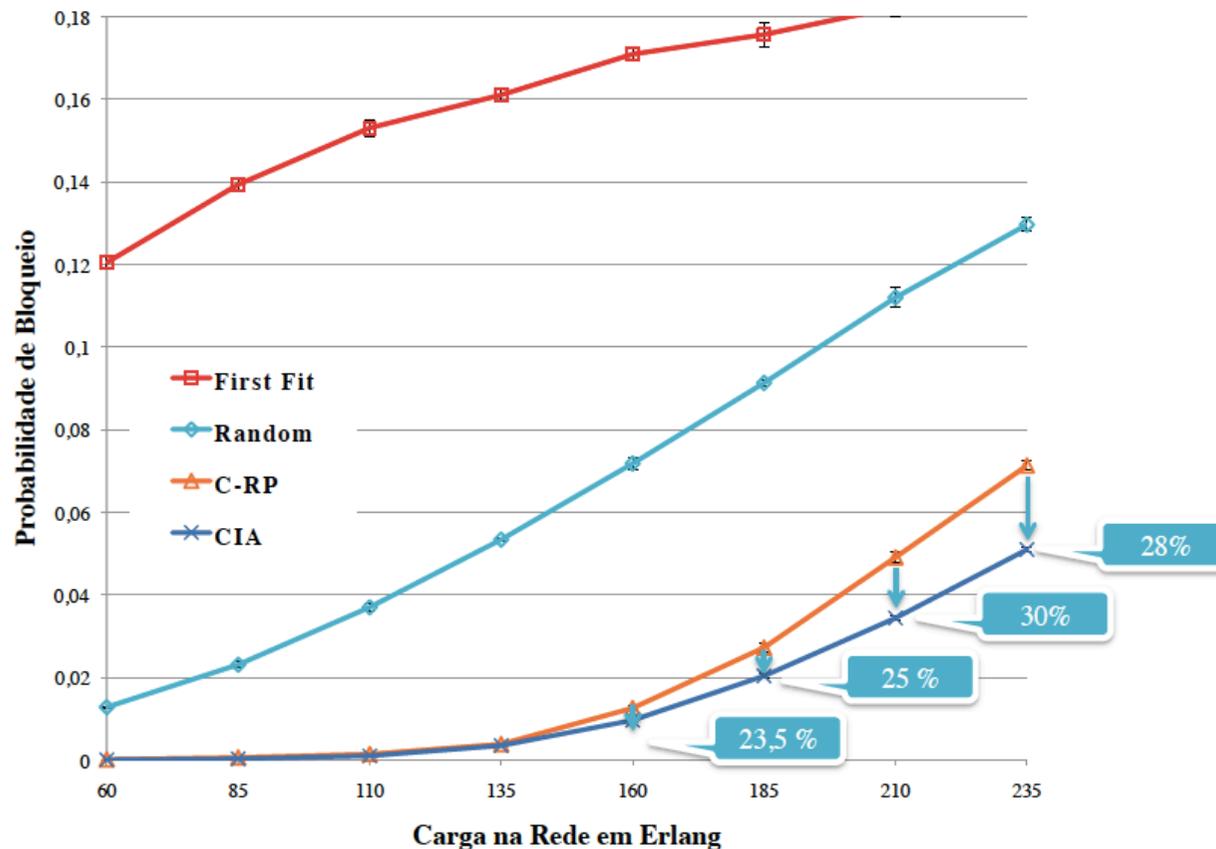
Efeitos de Camada Física

➤ **Four Wave Mixing**



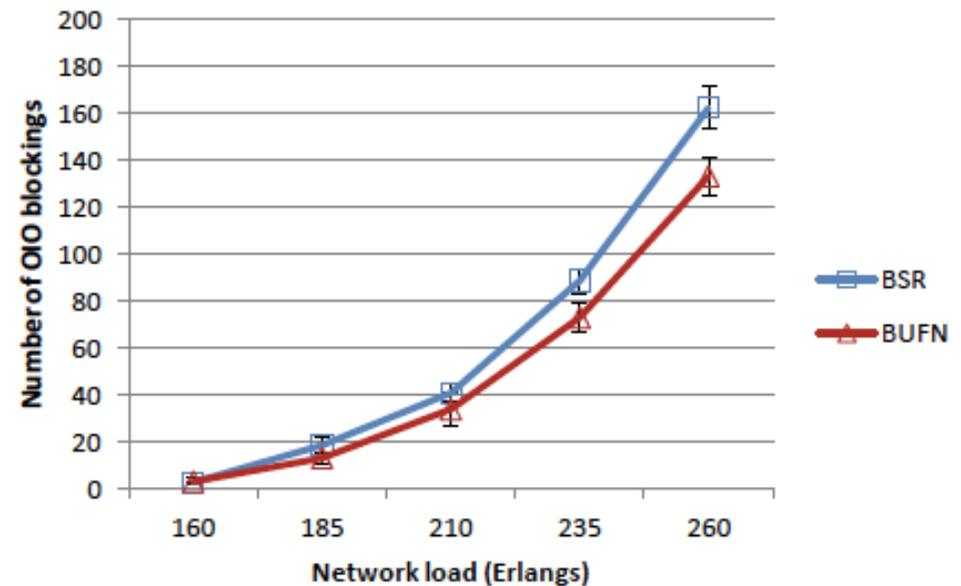
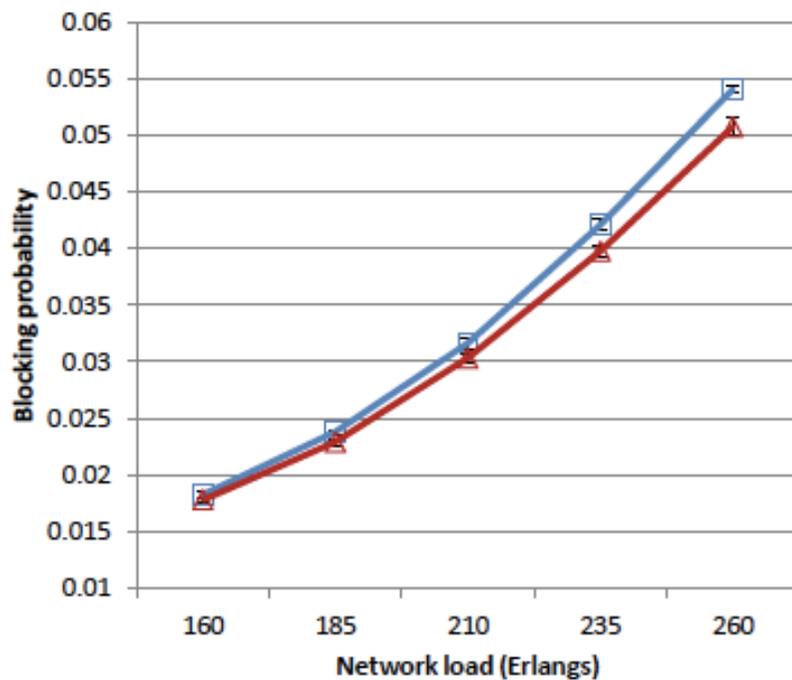
Necessidades de Algoritmos RWA-IA

- ▶ Um circuito pode ser estabelecido sem QoS aceitável
- ▶ RWA-IA = RWA ciente de camada física



Resultados do Disnel/PPGCC/UFPI

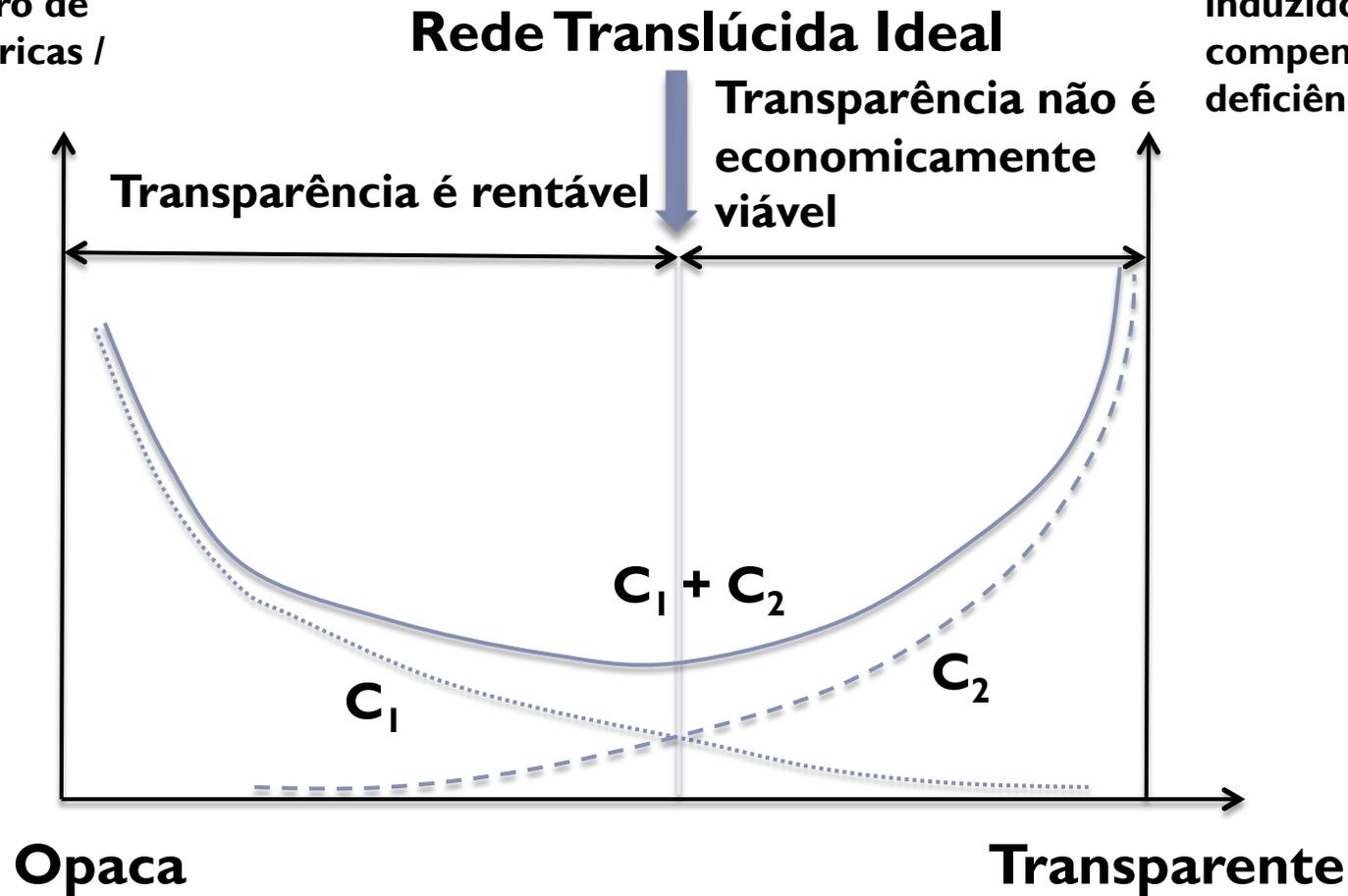
Balancing of Usage Frequency by Node (BUFN)



Rede Óptica Translúcida

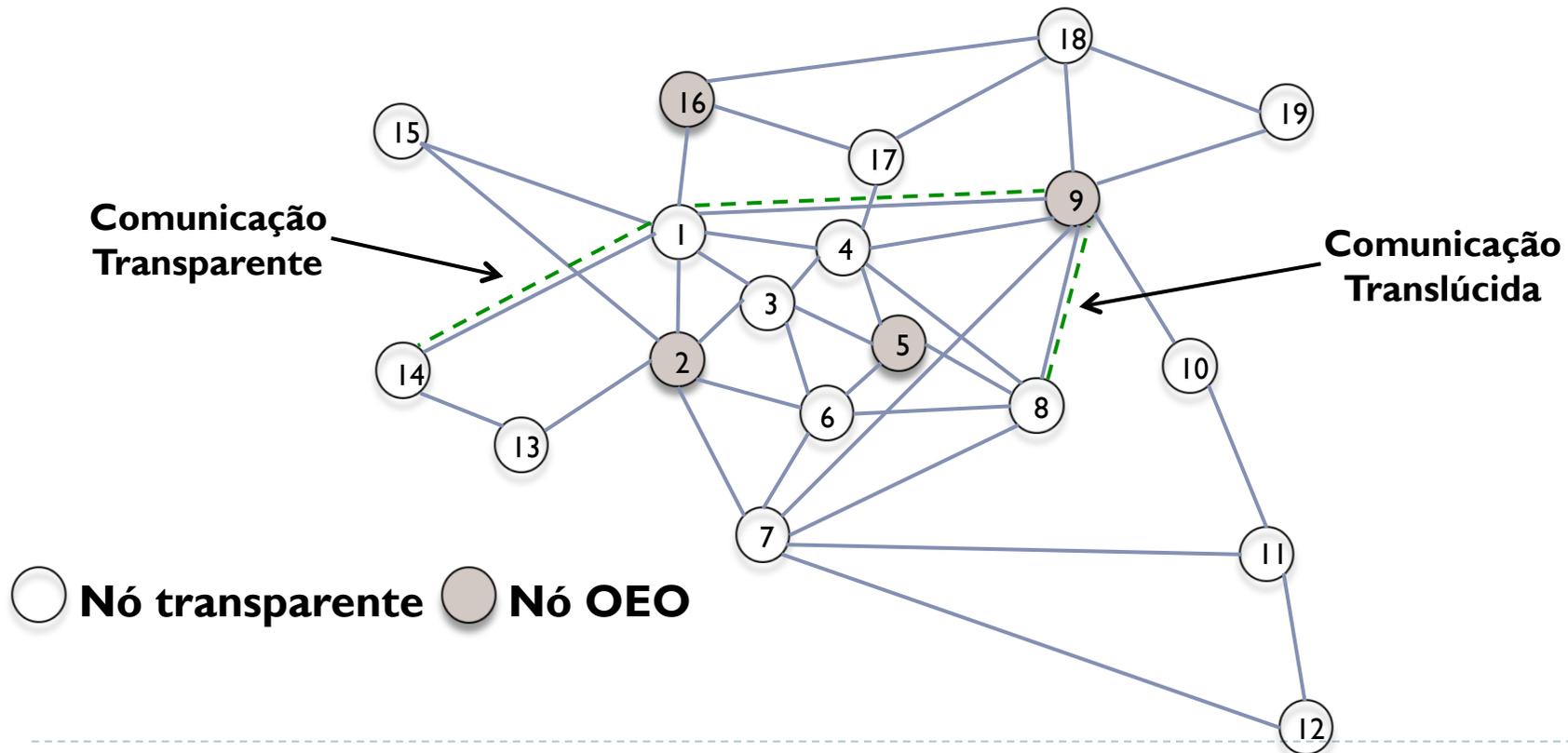
C_1 = Custo induzido pelo número de portas elétricas / ópticas

C_2 = Custo induzido pela compensação de deficiência física



Rede Óptica Translúcida

- ▶ Necessário regenerar o sinal;
- ▶ A regeneração eletrônica é atualmente a técnica mais econômica e confiável.



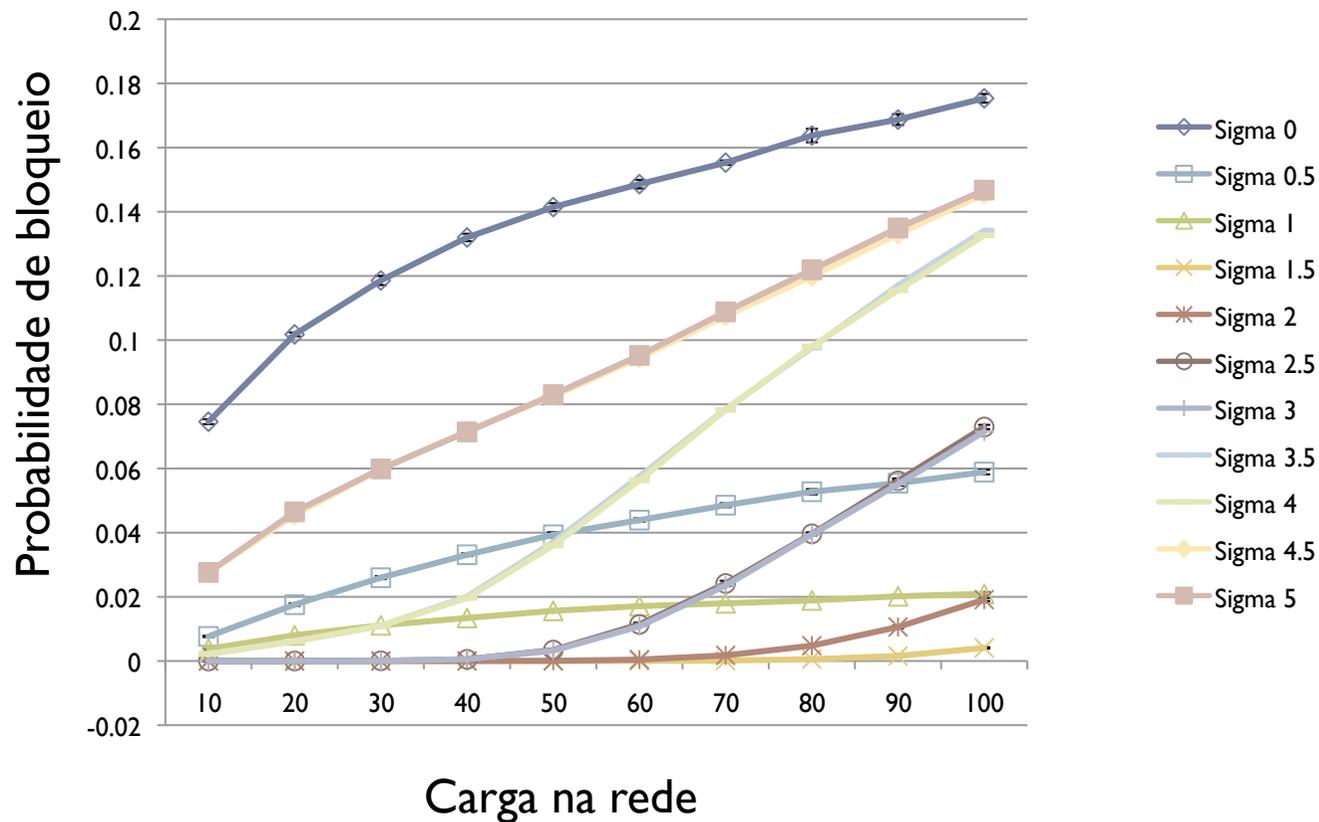
Rede Óptica Translúcida

▶ Desafios

- ▶ Como posicionar os regeneradores ?
- ▶ Quando regenerar um sinal ?
 - ▶ Regenerar o sinal em todos os nós regeneradores pode ser um desperdício de recursos
 - ▶ O Regenerador é um recurso limitado
 - ▶ Necessidade de algoritmos para alocação de regeneradores

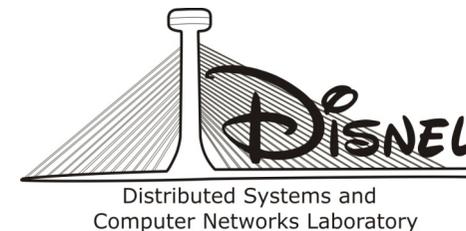
Resultados do Disnel/PPGCC/UFPI

Alocação de regeneradores



Desafios das próximas gerações de Redes Ópticas de Transporte

andre.soares@ufpi.edu.br



Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPGCC

Mestrado em Ciência da Computação

www.posgraduacao.ufpi.br/ppgcc



Objetivos do Curso/Perfil do profissional a ser formado:

- ▶ Pretende formar pessoal qualificado, capaz de atuar em instituições de ensino superior (terceiro grau), realizar pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico na área de computação.
- ▶ Primeira Turma em 2012
 - ▶ Primeiras defesas ocorrerão em 2014
- ▶ Atualmente estamos selecionando turma 2014

Linhas de Pesquisa

- ▶ **Sistemas de Computação**
 - ▶ Projeto de hardware,
 - ▶ Visão computacional,
 - ▶ Redes de computadores
 - ▶ Engenharia de software.

- ▶ **Computação Aplicada**
 - ▶ Inteligência computacional,
 - ▶ Otimização
 - ▶ sistemas robóticos.



Professores do Mestrado

- ▶ **Sistemas de Computação**
 - ▶ André Castelo Branco Soares (*Coordenador*)
 - ▶ Ivan Saraiva Silva (*Sub-Coordenador*)
 - ▶ Kelson Rômulo Teixeira Aires
 - ▶ Pedro de Alcântara dos Santos Neto
 - ▶ Raimundo Santos Moura
- ▶ **Computação Aplicada**
 - ▶ André Macedo Santana
 - ▶ Erick Baptista Passos
 - ▶ João Xavier da Cruz Neto
 - ▶ Jurandir de Oliveira Lopes
 - ▶ Paulo Sergio Marques dos Santos
 - ▶ Ricardo de Andrade Lira Rabêlo
 - ▶ Vinícius Ponte Machado

Alguns Números do PPGCC

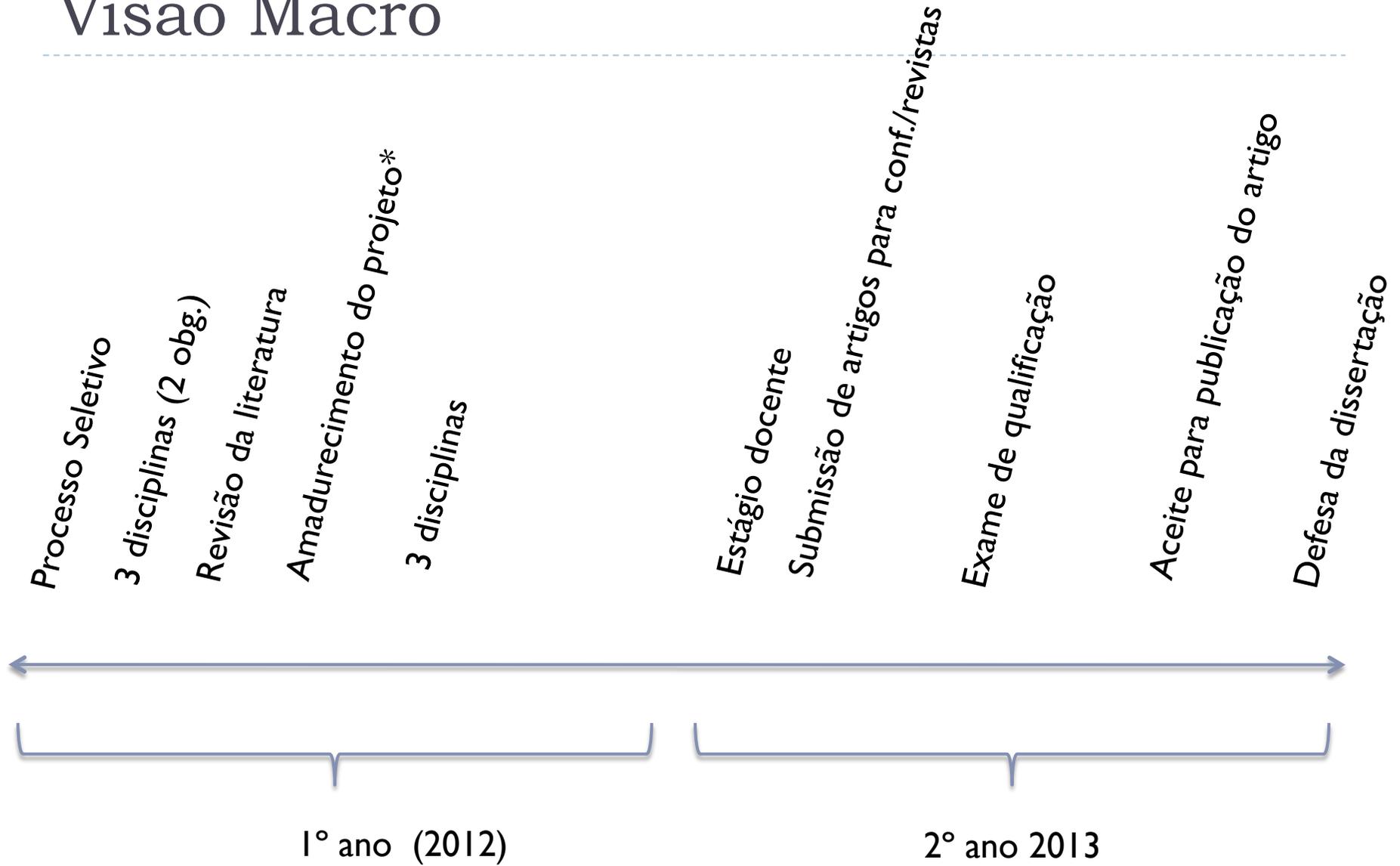
- ▶ 25 artigos publicados em 2012 em eventos nacionais e internacionais
- ▶ 2 Professores Bolsistas do CNPq
- ▶ Edital CT-INFRA FINEP
 - ▶ Construção de um novo prédio para PPGCC
- ▶ Cooperação com outras universidades: UnB, UFRN, UFPE, UFC, UFRGS, UFBA
- ▶ Projetos de pesquisa com financiamento: CNPq, FAPEPI

Infra-estrutura

- ▶ Sala de Estudo exclusiva para alunos de mestrado
- ▶ Sala de vídeo conferência
- ▶ Sala de aula
- ▶ 5 Laboratórios temáticos:
 - ▶ **CESLA** – Lab. de Circuitos e Sistemas Embarcados
 - ▶ **DISNEL** – Lab. de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos
 - ▶ **EASII** – Lab. de Engenharia de Software e Informática Industrial
 - ▶ **LabInC** – Lab. de Inteligência Computacional
 - ▶ **RAPOZA** - Lab. de Robótica Aplicada, Pesquisa Operacional e Otimização



Visão Macro



Processo Seletivo e informações

- ▶ Utiliza POSCOMP + Pré- Projeto + Currículo
- ▶ www.posgraduacao.ufpi.br/ppgcc
- ▶ ppgcc@ufpi.edu.br
- ▶ Interessados podem contactar antecipadamente seus futuro orientadores

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPGCC

Mestrado em Ciência da Computação

www.posgraduacao.ufpi.br/ppgcc

