

Uma Abordagem Multicritério ao Problema do Encaminhamento em Redes WDM

Carlos Simões^{1,3}, Teresa Gomes^{2,3} e José Craveirinha^{2,3}

¹Escola Superior de Tecnologia de Viseu
Instituto Politécnico de Viseu

²Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
FCTUC – Universidade de Coimbra

³INESC Coimbra
Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
csimoes@ipv.pt, teresa@deec.uc.pt, jcrav@deec.uc.pt

**Jornadas do INESC Coimbra
25 de Junho de 2009**

Plano

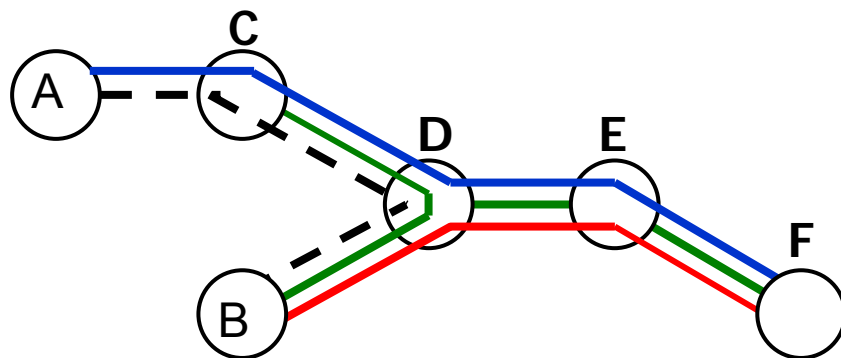
- **Introdução**
- **O Problema RWA**
 - SLE; DLE;
 - Subproblema Encaminhamento
 - Heurísticas para Atribuição do comprimento de onda
- **Encaminhamento resiliente**
 - Mecanismos de Recuperação
 - Protecção Dedicada e Protecção Partilhada
- **Abordagem Multicritério**
 - Formulação Bicritério
 - Estratégia de Resolução
- **Trabalho Futuro**

Introdução

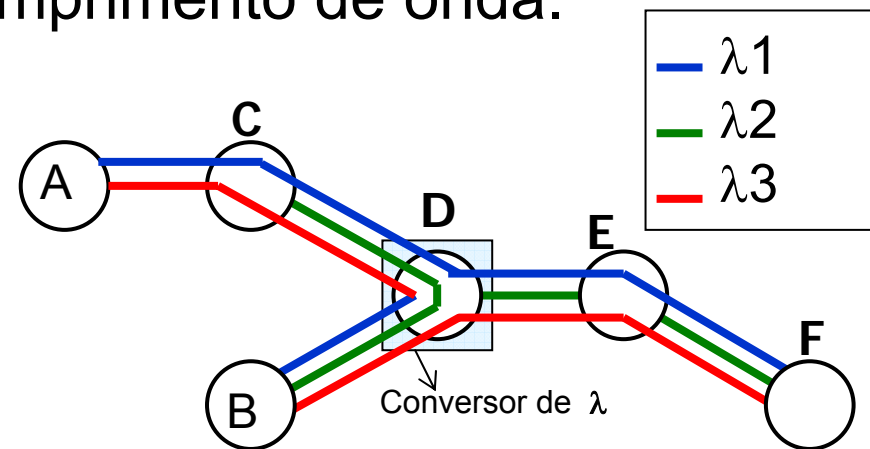
O Problema RWA

■ A rede óptica

- Rede orientada à ligação
- Caminhos ópticos
- O problema do RWA
 - Sem conversores de comprimento de onda \Rightarrow restrição da continuidade do comprimento de onda.
 - Com conversores de comprimento de onda.



Ligação A-B bloqueada



Ligação A-B bem sucedida

O Problema RWA

Existem duas variantes do problema RWA:

- **Estático** - *Static Lightpath Establishment (SLE)*.
 - Formulação ILP - *NP-completo*.
- **Dinâmico** - *Dynamic Lightpath Establishment (DLE)*.
 - Devido a ser um problema que requer solução em tempo real, o problema **DLE** é mais difícil de resolver que o **SLE**.

Estratégia – O problema RWA pode ser dividido em dois sub-problemas:

- (1) **Encaminhamento** e
- (2) **Atribuição do comprimento de onda**

os quais são resolvidos separadamente.


O Problema RWA

Encaminhamento

- Encaminhamento **Fixo**;
- Encaminhamento **Alternativo-Fixo**:
 - Tabela de caminhos alternativos;
- Encaminhamento **Adaptativo**:
 - O caminho é escolhido com base no estado actual da rede;
 - Uma escolha adequada do custo dos nós (com conversores) pode reduzir a necessidade de fazer conversões de comprimento de onda.

O Problema RWA

Atribuição de λ

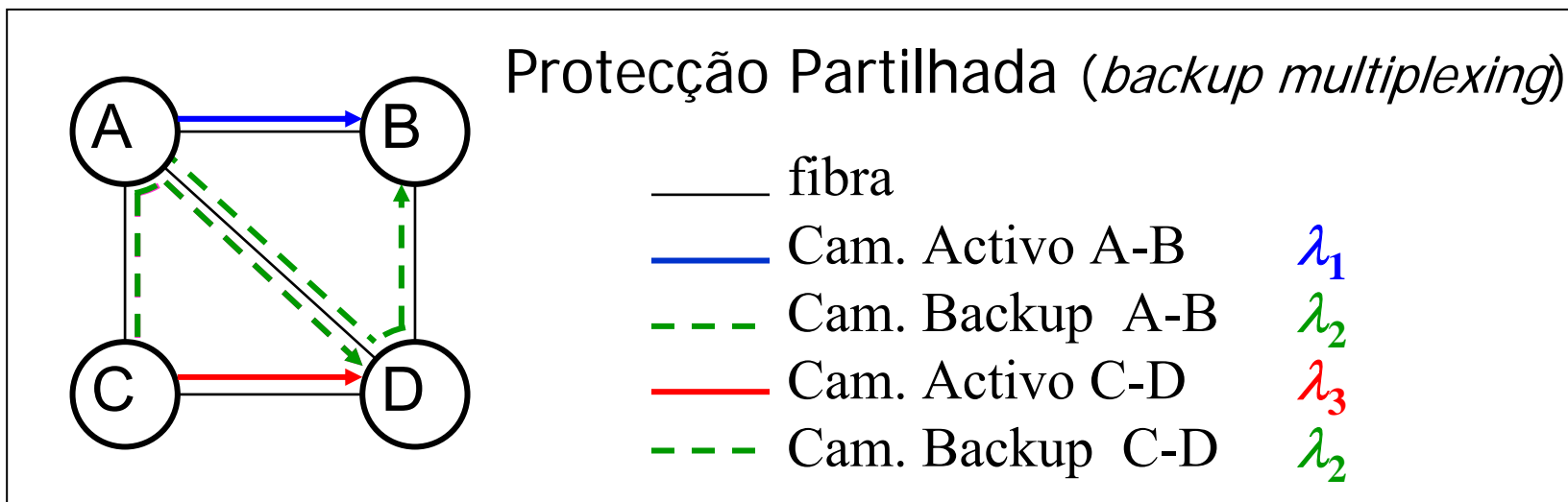
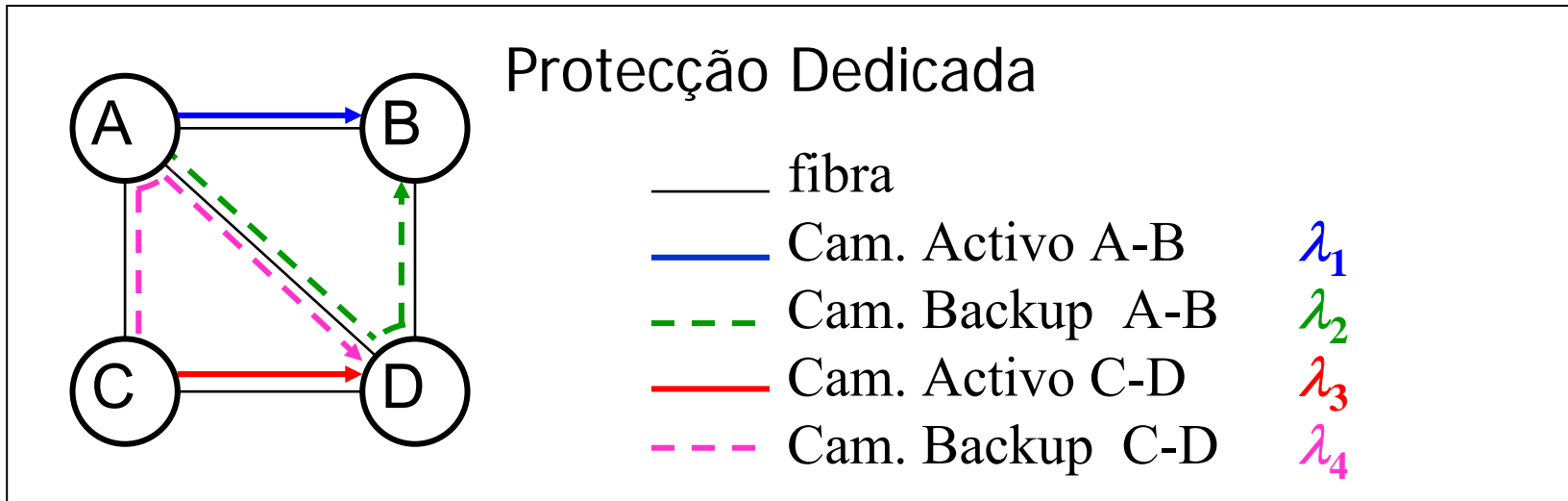
- Estabelecimento de caminhos ópticos estáticos (*SLE*)
 - Objectivo: **Minimizar o número de λ 's usados** satisfazendo a *restrição da continuidade do comprimento de onda*:
 - Coloração de grafos: problema **NP-Completo**
 - Existem no entanto algoritmos sequenciais bastante eficientes
- Heurísticas para o Estabelecimento de caminhos ópticos dinâmicos (*DLE*)
 - O número de comprimentos de onda por fibra é fixo e conhecido \Rightarrow O objectivo mais comum consiste em **minimizar a probabilidade de bloqueio**.
 - R (Random)
 - FF (First Fit)
 - LU (*Least Used*) 
 - MU (*Most Used, pack*)
 - MP (*Min-Product*)
 - MP (*Min-Product*)
 - LL (*Least-Loaded*)
 - $M\Sigma$ (*Max-Sum*)
 - ...

Encaminhamento Resiliente

- Vantagens dos mecanismos de recuperação na camada óptica:
 - Recuperação rápida de fluxos de tráfego
 - Protecção de protocolos de camadas elevadas que não possuem mecanismos de recuperação
- Classificação dos mecanismos de recuperação:
 - **Protecção** – recursos pré-calculados e reservados;
 - **Restabelecimento** – o novo caminho e o respectivo comprimento de onda são determinados dinamicamente após a ocorrência da falha.
- Caminho de Serviço + Caminho de Protecção

Encaminhamento Resiliente

Protecção Dedicada *versus* Partilhada



Objectivos do Trabalho

- Propor método de resolução do problema RWA em redes resilientes no sentido multicritério, considerando explicitamente algumas métricas como objectivos e, eventualmente, incorporando outras métricas como restrições;
- Tendo em conta o âmbito de aplicação, o método de resolução deve envolver a escolha automatizada da solução. Tal implica:
 - Identificação das soluções não-dominadas;
 - Representação de um sistema de preferências.
- A abordagem de resolução deverá ainda ser um compromisso entre a qualidade das soluções obtidas e a eficiência computacional.

Objectivos do Trabalho

- Investigar métricas/objectivos que explorem os compromissos entre:
 - Probabilidade de bloqueio;
 - Equidade;
 - Impacto de aceitação de uma ligação em pedidos futuros.
- Estudo comparativo do desempenho do modelo e da abordagem de resolução proposta face a outras aproximações, envolvendo o mesmo tipo de critérios, em redes de estudo apropriadas.

Abordagem Inicial

- **Âmbito de Aplicação:**
 - Redes WDM de grande dimensão;
 - Várias fibras por *link* (rede multifibra);
 - Nós com capacidade de conversão total, sem capacidade de conversão e com capacidade de conversão limitada;
 - Pedidos de ligação unidireccionais e bi-direccionais simétricos;
 - Tráfego incremental;
- **De modo a obter a solução num período de tempo curto:**
 - Os problemas de encaminhamento e atribuição de comprimento de onda foram considerados separadamente.
 - Foi usada uma abordagem orientada ao fluxo.

Abordagem Inicial

Formulação Bicritério

O problema do **Encaminhamento** foi objecto de uma formulação bicritério:

- O primeiro critério está relacionado com a **utilização da largura de banda** na rede, e procura utilizar os arcos com maior capacidade disponível :

$$\min_{(p,q) \in D} \left\{ c_1(p,q) = \sum_{l \in p; l \in q} \frac{1}{b_l} \right\}$$

D - conjunto dos pares de caminhos (p,q) , disjuntos, topologicamente possíveis na rede;

b_l - largura de banda disponível no arco l .

- O segundo critério procura minimizar os recursos utilizados (evitando caminhos longos):

$$\min_{(p,q) \in D} \left\{ c_2(p,q) = h(p) + h(q) \right\}$$

$h(\cdot)$ – número de arcos do caminho;

- No caso da rede não possuir capacidade de conversão total, é necessário verificar se cada par de caminhos topológicos disjuntos permite uma atribuição de comprimentos de onda viável.

Abordagem Inicial

Atribuição Comprimento de Onda

- É escolhido o comprimento de onda λ_j que maximiza a **Largura de Banda de Estrangulamento** do caminho, $b_j(p)$:

$$\max_{\lambda_j \in \Lambda} \left\{ b_j(p) = \min_{l \in p \wedge b_{lj} > 0} b_{lj} \right\}$$

Λ - conjunto de comprimentos de onda;

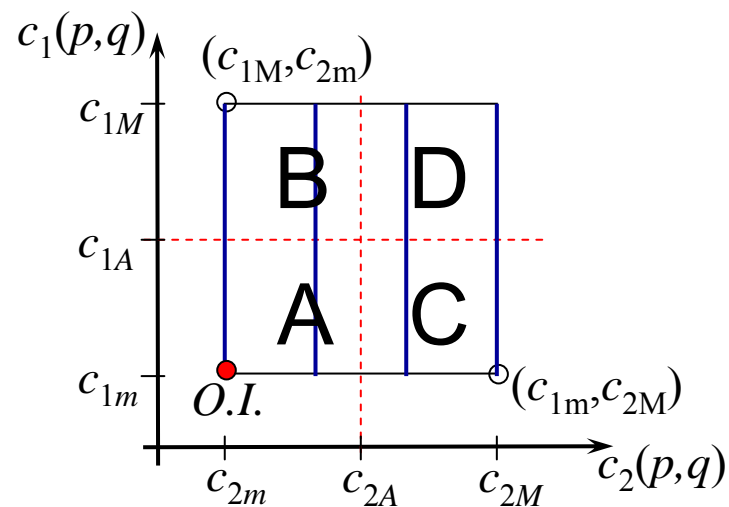
b_{lj} – n.º de fibras do arco l em que o comprimento de onda λ_j está livre.

- Em cada arco é seleccionada a fibra com menor *id* que tem o comprimento de onda λ_j livre.
- É usado o mesmo procedimento para o caminho q .

Abordagem Bicritério

Método de Resolução

- Com base na solução óptima relativamente à métrica c_1 , (p_1, q_1) , e na solução óptima relativamente à métrica c_2 , (p_2, q_2) , são definidas regiões de preferência:



$$c_{1m} = c_1(p_1, q_1)$$

$$c_{2M} = c_2(p_1, q_1) = h(p_1) + h(q_1)$$

$$c_{2m} = c_2(p_2, q_2) = h(p_2) + h(q_2)$$

$$c_{1M} = c_1(p_2, q_2)$$

$$c_{1m} \leq c_{1A} \leq c_{1M}$$

$$c_{2m} \leq c_{2A} \leq c_{2M}$$

Abordagem Bicritério

Método de Resolução

- Para determinação das soluções não dominadas é utilizado o método proposto por *Clímaco e Pascoal* (2007) que permite obter os pares de caminhos disjuntos nos nós, por ordem não decrescente do custo:

$$f = \alpha c_1(p, q) + (1 - \alpha)c_2(p, q), 0 \leq \alpha \leq 1$$

- Cada solução gerada é avaliada para verificar se corresponde a um par de caminhos ópticos viáveis e se é não-dominada relativamente às soluções já geradas.
- Uma solução não-dominada apenas será guardada se pertencer a uma região com prioridade igual ou superior à região com maior prioridade que já contém soluções não-dominadas.

Abordagem Bicritério

Método de Resolução

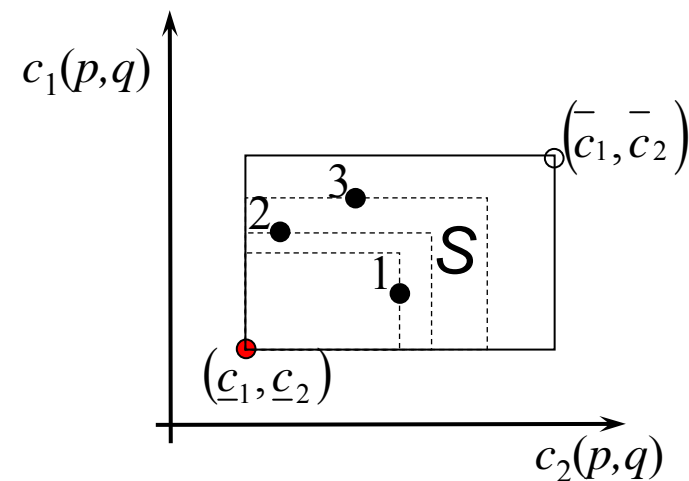
- Após “varrer” toda a região de preferência, a melhor solução de compromisso é escolhida de entre as soluções não-dominadas da região com maior prioridade $S \in \{A, B, C, D\}$. A escolha é feita de forma automática utilizando um método de pontos de referência com uma distância pesada de *Chebyshev*.

$$\min_{(p,q) \in S} \max_{i=1,2} \{w_i |c_i(p,q) - \underline{c}_i|\}$$

$(\underline{c}_1, \underline{c}_2)$ - ponto de referência (canto inferior esquerdo de S)

(\bar{c}_1, \bar{c}_2) - canto superior direito de S

$$w_i = \frac{1}{|\bar{c}_i - \underline{c}_i|}, i = 1, 2$$



Trabalho Futuro

- Análise e especificação novas métricas para os custos dos arcos, e estudo da sua influência no desempenho global da rede;
- Definição dos objectivos a usar no modelo multicritério de modo a por um lado fazer uma utilização eficiente dos recursos da rede, e por outro garantir alguma equidade nas ligações entre os diferentes pares de nós.