



Exaustão da Capacidade

("Capacity Crunch"):

Adiamento, Adaptação e Reforma

Helio Waldman

SBrT 2017, São Pedro, SP, 03-06/09/2017

Resumo

- A Exaustão Iminente
- Adiamento
 - “Elastic Optical Networks” (EON’s)
 - Tráfego Multiclasse
 - Adaptividade à Distância
 - Próxima Infraestrutura: Multiplexagem por Divisão Espacial (SDM)
- Adaptação para EON’s
 - Gerenciamento do espectro para maximizar vazão, imparcialidade, ...
 - Proteção Reduzida (“squeezed”)
- Reforma
 - Gargalo de Energia
- Conclusão

A Virada do Século

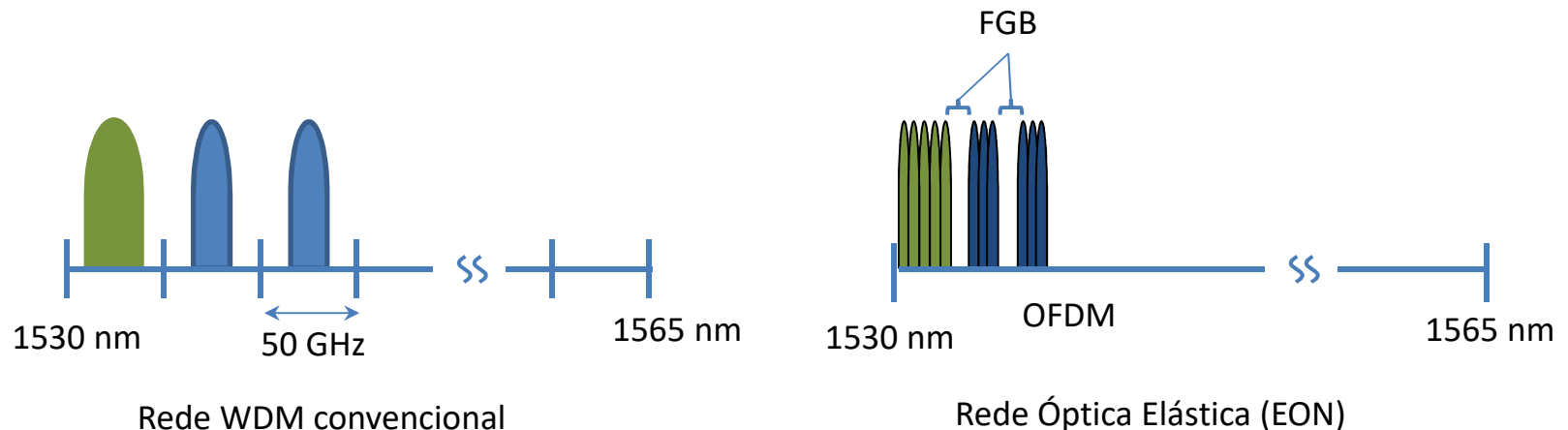
- Anos 70 → Fibras Multimodo (muitos modos) → 1 Gbps.km
- Anos 80 → Fibras Monomodo → 1 Tbps.km
- Anos 90 → Amplificadores Ópticos → WDM → Nx10 Tbps.km
 - N = 4 THz/espacamento
- Ano 2000 → Internet > Telefonia → 10% → 50-100%/ano
 - Pico de capacidade + Bolha Pontocom
 - Ociosidade 99 – 100% → capacidade “infinita(?)”
- A partir de uma ociosidade de 99,9%, temos então:
 $2^{10} = 1,41^{20} = 1,26^{30} = \dots = 1024 \rightarrow \text{“CRUNCH”}$

Estratégias de Adiamento da Exaustão

- Alargamento da Janela Espectral de 4 THz dada pela faixa de ganho dos EDFA's
- Substituição da grade fixa de frequências por uma grade flexível
 - Redes Ópticas Elásticas (EON's)
- Multiplexagem por Divisão Espacial (SDM)

A Rede Óptica Elástica (EON)

- Alocação eficiente dos recursos espectrais:
 - Os clientes demandam e recebem apenas os recursos espectrais necessários para a prestação do serviço
 - Adaptividade à Distância: Ao invés de projetar o sistema de transmissão para o alcance máximo, projeta-se para o alcance **requerido** mediante o uso de esquemas avançados de modulação com mais bits por símbolo.



Próxima Infraestrutura

- Após a exaustão da capacidade das atuais fibras monomodo pelas EON's, uma nova geração de fibras multimodo será lançada para acomodar o crescimento da Internet.
 - Few-mode fibers (FMF)
 - Multi-core Fibers (MCF)
- Multiplexagem por Divisão Espacial (SDM)
 - Intensiva em Processamento de Sinais.
 - Ganhos de empacotamento espacial.

O Gargalo da Energia

- As novas estratégias (ex. SDM) não diminuem a energia necessária para transmitir um bit, levando ao que pode ser um limitante definitivo.
- Serviços de melhor esforço poderão ser preteridos num ambiente não-regulamentado.
- A exaustão poderá impactar os modelos de negócios e de regulação da Internet.
- O atual debate sobre a neutralidade da rede pode ser um sintoma precursor da exaustão iminente.

Conclusões

- Lidar com a iminente exaustão da capacidade nas próximas décadas deverá exigir soluções inovadoras em tecnologia, nos negócios, e na regulação/legislação.
 - Neutralidade
 - Universalização
 - Protocolos parcimoniosos na geração de tráfego
 - NDN – Named Data Networking
- *“Ideas do not always come in a flash, but by diligent trial-and-error experiments that take time and thought.”*, Charles Kao, Nobel Prize 2009