



REDECOMEP

Estudo de modelos para a rede óptica

Julho de 2006

Este documento apresenta um estudo sobre modelos de redes ópticas, tomando como base os modelos preliminares das redes Metobel, REPAM, Paraíba, Fortaleza e Salvador.

Sumário

1. Introdução	3
2. Modelos propostos	3
2.1. Modelo A (REPAM)	3
2.1.1 Descrição	3
2.1.2 Análise dos quesitos	5
2.2. Modelo B (Metobel)	8
2.2.1 Descrição	8
2.2.2 Análise dos quesitos	9
2.3. Modelo C (PB)	12
2.3.1 Descrição	12
2.3.2 Análise dos quesitos	13
2.4. Modelo D (Fortaleza)	16
2.4.1 Descrição	16
2.4.2 Análise dos quesitos	17
2.5. Modelo E (Salvador)	21
2.5.1 Descrição	21
2.5.2 Análise dos quesitos	22
3. Comparação dos modelos	26
4. Considerações finais	27
ANEXOS	28
A – Quadros comparativos dos quesitos	28

1.

Introdução

A iniciativa Redecomp é parte de uma ação mais ampla do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), e tem como objetivo implantar redes de alta velocidade nas regiões metropolitanas do país atendidas por Pontos de Presença da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa. A iniciativa, coordenada pela RNP, possui como premissa a implantação de uma infra-estrutura óptica própria, interligando instituições de pesquisa e ensino superior. O modelo de implantação das redes prevê a construção de infra-estrutura inteiramente nova e/ou a utilização de dutos, cabos e fibras ópticas existentes, por meio de cessão de direitos de uso e parcerias.

Embora o serviço principal seja conectividade, é importante que esta infra-estrutura consiga suportar transferência de voz, dados e imagens com qualidade, visando o provimento de serviços tais como VoIP e video-conferência. Estas necessidades se traduzem em um modelo de rede metro definido à luz de quatro quesitos importantes:

- confiabilidade: seja robusto e seguro;
- desempenho: garanta bons níveis de qualidade (disponibilidade, tempo de resposta, etc) para os serviços implementados;
- flexibilidade: consiga se adaptar a cenários distintos, sem perdas em relação aos quesitos anteriores;
- custo: envolve o custo de implantação e operação. Deve refletir o melhor custo x benefício, de modo que não inviabilize a solução.

Dentro deste contexto, este documento apresenta um estudo sobre modelos baseados em iniciativas das redes metropolitanas em andamento: Manaus (REPAM), Belém (Metrobel) e PB (versão preliminar), Fortaleza e Salvador.

2.

Modelos propostos

Neste item são apresentadas descrições dos modelos, bem como considerações acerca dos quesitos apresentados no item 1. Algumas premissas norteiam a definição dos modelos:

- tecnologia gigaethernet sobre fibra apagada;
- topologia física em anel, fornecendo um grau maior de tolerância à falha em caso de rompimento no meio físico;
- cabo óptico abrangendo o maior número de instituições possíveis.

2.1.

Modelo A (REPAM)

2.1.1

Descrição

Este modelo apresenta uma topologia de anel de anéis. O anel central, ou de *backbone*, agrega os anéis institucionais, bem como conecta as instituições com uma única unidade (figura1).

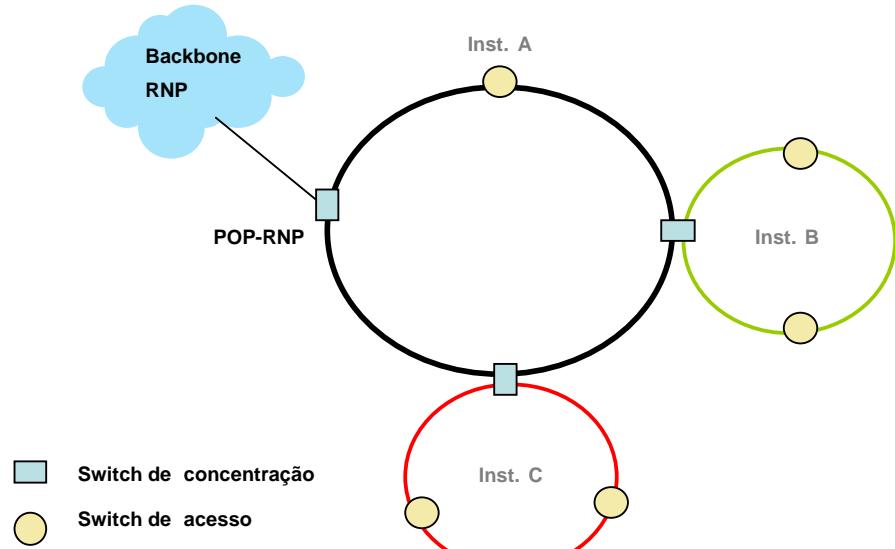


Figura 1: visão da topologia física – anel de anéis.

Os anéis institucionais são conectados ao anel de *backbone* através de switches de concentração. A conexão das instituições, aos anéis, é feita pelos switches de acesso.

- switch de concentração: faz a conexão do anel institucional ao anel de *backbone*. Eventualmente, poderá conectar unidades que ficaram fora do anel;
- switch de acesso: faz a conexão da LAN da instituição ao anel institucional, ou, ao anel de *backbone*.

A figura 2, mostra a representação física do cabo óptico.

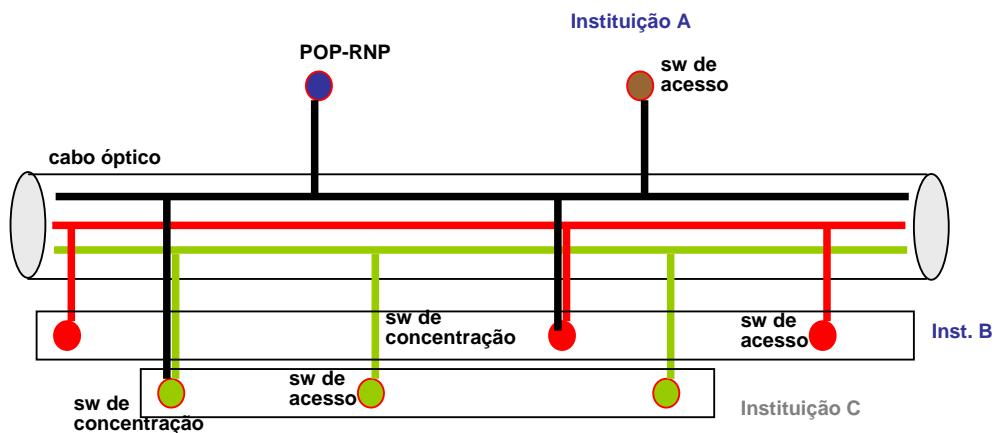


Figura 2: visão do cabo óptico do modelo A.

2.1.2

Análise dos quesitos

São apresentadas tabelas com pontos fortes, fracos e sugestões de soluções de contorno, relacionadas aos quesitos confiabilidade, desempenho, flexibilidade e custo. O anexo A apresenta uma compilação destas tabelas, em conjunto com as de outros modelos.

Confiabilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none">topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no meio físico o transforma em barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como <i>Rapid Spanning Tree</i> ou outros proprietários (EAPS, MRP);A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições).A existência de anéis institucionais determina uma separação física entre eles, implicando em maior segurança.	Cada switch nos anéis representa um ponto de falha.	<ul style="list-style-type: none">colocar uma infra-estrutura mínima de no-breaks, nos sites que abrigam os switches;colocar enlaces de redundância no <i>backbone</i>;pessoal técnico capacitado e plantão 7x24;manutenção deve contemplar a rápida reposição do equipamento.
	O anel principal é mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados a ele.	<ul style="list-style-type: none">colocar os switches, que estão no anel de <i>backbone</i>, dentro do domínio administrativo do centro de operação do consórcio;definir um conjunto mínimo de requisitos de segurança para os switches (regras de filtragem, acesso, etc);implementar firewall institucional.

Desempenho

Com o uso de fibras, como meio de transmissão, a questão do desempenho fica atrelada à capacidade dos switches que formam o anel, bem como à tecnologia de transmissão. No caso do modelo proposto, a velocidade limita-se a 1 Gbps com o uso de interfaces 1000BASE-X a menos que se opte pelo método de “link aggregation”, que possibilita o uso de várias portas gigabit ethernet em paralelo a fim de se aumentar a velocidade do enlace.

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A existência do anel de <i>backbone</i> facilita a migração para WDM.	Cada switch no anel de <i>backbone</i> representa um potencial gargalo.	Especificar a capacidade dos switches de forma que atenda plenamente ao tráfego da rede, sem perdas de desempenho.
	A comunicação entre as instituições, e com a Internet, compartilha a banda do anel de <i>backbone</i> .	O compartilhamento da banda é inerente ao modelo. Em caso de saturação, a solução é o aumento da banda (para 10Gbps), ou a adoção de tecnologias de multiplexação (CWDM).
	A existência de switches heterogêneos no anel de <i>backbone</i> traz algumas dificuldades: necessidade de se conhecer a operação e configuração de equipamentos diversos; dificuldade na adoção de soluções proprietárias, como por exemplo, a aceleração de convergência ¹ , em caso de falhas; cuidado extra com a questão de interoperabilidade entre os equipamentos.	Buscar homogeneidade dos switches. Caso não seja possível, tentar minimizar o impacto mantendo no anel de <i>backbone</i> apenas os switches de mesmo fabricante. Os demais poderiam ser conectados ponto-a-ponto. Utilizar apenas <i>features</i> padrões (baseadas em RFCs).

Flexibilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderem se conectar ao anel.	A entrada de mais uma unidade de uma instituição (que já esteja no anel de <i>backbone</i>), gera a necessidade de formação do anel institucional.	É inerente ao modelo.

¹ O EAPS (RFC3919), utilizado pela Extreme, possui tempo de convergência de menos de 50ms. Bem mais rápido, em comparação ao STP (de 30 a 50 segundos) e ao RSTP (de 1 a 2 segundos). Referência (*ABCs of Ethernet Redundancy* - <http://www.ctrlink.com/pdf/abc1.pdf>)

Custo

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none">▪ necessidade de switches com poucas portas ópticas, e consequente número de interfaces;▪ economia de fibras, uma vez que apenas as instituições multi-campi, ou unidade, possuem par de fibras próprio.	O switch de concentração cria mais um nível administrativo que precisa ser tratado (lado institucional e lado operação da rede metro).	Colocar todos os switches do anel de <i>backbone</i> sob administração da operação da rede metro. Ou, definir uma política de uso compartilhado dos equipamentos.

Custo associado à entrada de nova instituição consorciada:

Além do custo de se derivar as fibras até a localidade:

- instituição com uma única unidade: switch de acesso com duas interfaces ópticas;
- instituição multi-campi: switch de acesso com duas interfaces ópticas, para cada unidade; switch de concentração com quatro interfaces ópticas; alocação de um par de fibras para formação do anel institucional.

O anexo B apresenta os preços aproximados para switches e interfaces ópticas.

2.2.

Modelo B (Metrobel)

2.2.1

Descrição

Este modelo apresenta uma topologia de estrela de anéis, onde o centro é um switch de camada 2/3, com alta densidade de portas (figura 3). Todas as instituições possuem seu próprio par de fibras, independente do número de unidades.

Este modelo prevê dois níveis de switches:

- switch central: promove a comunicação nível 2/3 entre os anéis institucionais. Eventualmente, poderá conectar unidades que ficaram fora do anel;
- switch de acesso: faz a conexão da instituição ao anel institucional.

A representação do cabo óptico é mostrada na figura 4.

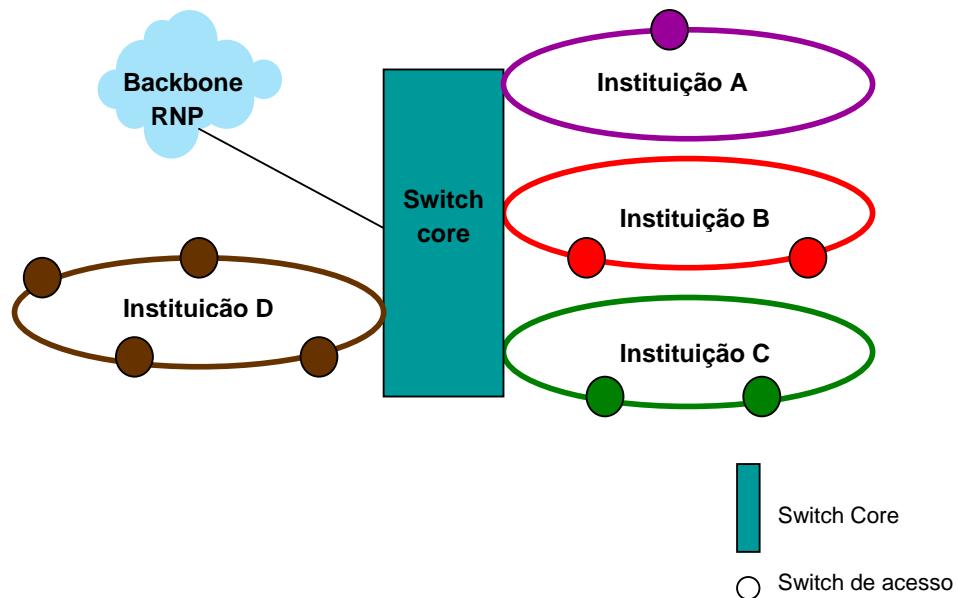


Figura 3: visão da topologia física – estrela de anéis institucionais.

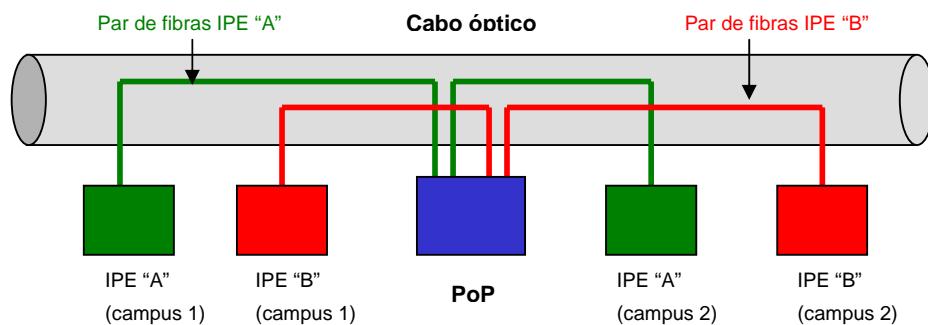


Figura 4: visão do cabo óptico do modelo B.

2.2.2 Análise dos quesitos

Confiabilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> assim como no modelo anterior, a topologia em anel das instituições traz maior robustez; apenas um único ponto de falha (switch central), em 	<p>A queda do switch central inviabiliza a comunicação entre as instituições, além do acesso à Internet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> garantir uma boa infra-estrutura do site principal (no-breaks e garadores); pessoal técnico qualificado e plantão 7x24;

<ul style="list-style-type: none"> relação ao tráfego geral; tráfego das instituições isolado, aumentando a segurança das informações; domínio administrativo bem definido. 	<ul style="list-style-type: none"> redundância de equipamento (switch central), ou site; manutenção garantindo mínimo de <i>downtime</i>, em caso de falha do equipamento (cláusula de contrato ou manutenção de estoque estratégico).
--	--

Desempenho

Assim como no modelo anterior, a questão do desempenho fica atrelada à capacidade dos switches.

Pontos forte/fraco	Observação
A comunicação entre as instituições é limitada pela capacidade do <i>backplane</i> do switch central.	Geralmente o <i>backplane</i> de switches deste porte costuma ser bem dimensionado. Porém, é importante garantir este quesito na especificação do equipamento (arquitetura <i>non-blocking</i> e <i>wirespeed</i>).

Flexibilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A alocação de um anel para cada instituição facilita a conexão de novas unidades.	O único ponto de conexão para instituições que ficaram fora do anel, a priori, seria o switch central, dada sua performance e disponibilidade de portas. Se a distância ao PoP for maior que 10 Km, será necessário o uso de interfaces ZX (que apresentam custo elevado).	Caso necessário, especificar switches de concentração que possam ser usados para agregar os enlaces das instituições (fora do anel).

Custo

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
Dispensa o uso de switches de concentração.	Uso de maior quantidade de fibras ópticas;	É inerente ao modelo proposto.
	Alto custo do switch central.	Baratear o custo do switch optando por uma solução de empilhamento de switches de menor porte.

Custo associado à entrada de nova instituição consorciada:

- switch de acesso com duas interfaces ópticas para cada unidade;
- 1 par de fibra;
- 2 portas no switch central, com as respectivas interfaces ópticas.

O anexo B apresenta os preços aproximados para switches e interfaces ópticas.

2.3.

Modelo C (PB)

2.3.1

Descrição

É uma estrela de anéis, porém, ao contrário do modelo B, os anéis não são por instituição mas sim por classes de instituições. As classes podem ser definidas de acordo com a natureza das instituições consorciadas:

- ensino e pesquisa;
- administração federal;
- administração estadual;
- administração municipal;
- iniciativa privada etc.

A figura 5 ilustra o modelo topológico da rede.

Assim como no modelo B, existem dois níveis de switches:

- switch central: promove a comunicação entre os anéis de classe.
- switch de acesso: viabiliza a conexão da instituição ao anel de classe.

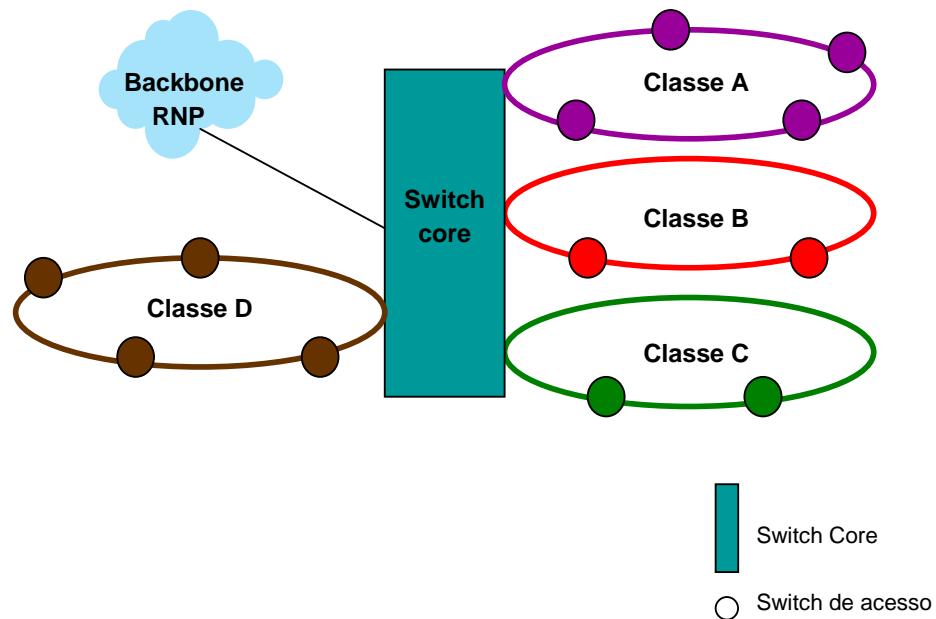


Figura 5: visão da topologia física – estrela de anéis de classe.

A ilustração do cabo óptico é apresentada a seguir.

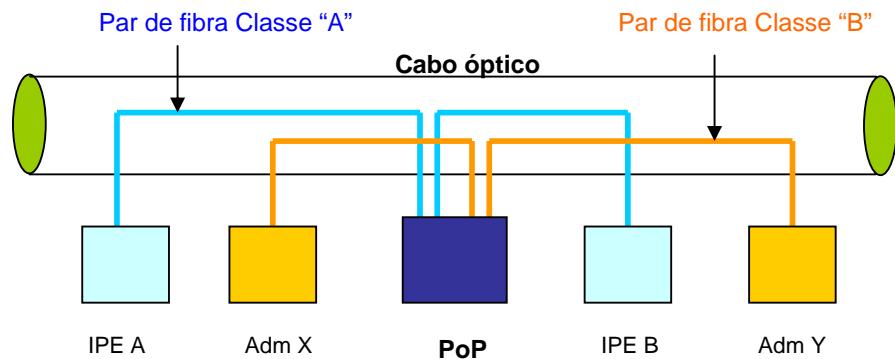


Figura 6: visão do cabo óptico do modelo C.

2.3.2 Análise dos quesitos

Confiabilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> topologia em anel; tráfego das classes isolado no nível físico. 	Cada switch no anel de classe representa um ponto de falha.	<ul style="list-style-type: none"> colocar uma infra-estrutura mínima de no-breaks, nos sites que abrigam os switches; colocar enlaces de redundância no anel; pessoal técnico capacitado e plantão 7x24; manutenção deve contemplar a rápida reposição do equipamento.
	É mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados ao anel de classe.	<ul style="list-style-type: none"> colocar os switches, que estão no anel de classe, dentro do domínio administrativo do centro de operação do consórcio; definir um conjunto mínimo de requisitos de segurança para os switches (regras de filtragem, acesso, etc); implementar firewall institucional.

	Existência do nó central. A queda deste inviabiliza a comunicação entre as classes.	<ul style="list-style-type: none"> ■ garantir uma boa infra-estrutura do site principal (no-breaks e garadores); ■ pessoal técnico qualificado e plantão 7x24; ■ redundância de equipamento (switch central), ou site; ■ manutenção garantindo mínimo de downtime, em caso de falha do equipamento (cláusula de contrato ou manutenção de estoque estratégico).
--	---	---

Desempenho

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> ■ a existência do anel de classe facilita a migração para WDM. ■ a comunicação entre as classes depende da capacidade do <i>backplane</i> do switch central. Estes costumam ser bem dimensionado, porém, é importante garantir este quesito na especificação do equipamento (portas operando de forma <i>non-blocking</i> e tecnologia <i>wire-speed</i>). 	Cada switch no anel de classe representa um potencial gargalo.	Especificar a capacidade dos switches de forma que atenda plenamente ao tráfego da rede, sem perdas de desempenho.
	A comunicação entre as instituições (dentro da mesma classe), e com a Internet, compartilha a banda do anel de classe.	O compartilhamento da banda é inerente ao modelo. Em caso de saturação, a solução é o aumento da banda (para 10Gbps), ou a adoção de tecnologias de multiplexação (CWDM).
	Existência de switches heterogêneos no anel de classe traz as mesmas dificuldades do modelo A.	Buscar homogeneidade dos switches. Caso não seja possível, tentar minimizar o impacto mantendo no anel da classe apenas os switches de mesmo fabricante. Os demais poderiam ser conectados ponto-a-ponto. Utilizar apenas <i>features</i> padrões (baseadas em RFCs).

Flexibilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A inserção de uma nova	O único ponto de conexão para	Se necessário, especificar

instituição, ou unidade, não depende de nova alocação de fibras do anel.	instituições que ficaram fora do anel, a priori, seria o switch central, dada a sua performance e disponibilidade de portas. Se a distância ao PoP for maior que 10 Km, será necessário o uso de interfaces ZX (que apresentam custo elevado).	switches de concentração que possam ser usados para agregar os enlaces das instituições (fora do anel).
--	--	---

Custo

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> ■ economia de fibras, uma vez que a alocação destas é feita por classes ■ dispensa o uso de switches de concentração; ■ gerência do tráfego facilitada pela separação física das classes. 	Maior custo do switch central. ²	Baratear o custo do switch central optando por uma solução de empilhamento de switches menores.

Custo associado à entrada de nova instituição consorciada:

Considerando que o anel institucional já esteja implementado.

- switch de acesso com duas interfaces ópticas.

O anexo B apresenta os preços aproximados para switches e interfaces ópticas.

² Neste modelo, o switch central não necessitará de grande densidade de portas, uma vez que o número de classes é relativamente pequeno.

2.4.

Modelo D (Fortaleza)

2.4.1

Descrição

Este modelo apresenta uma topologia de anel de anéis coletores. O anel central, ou de *backbone*, é formado apenas por switches concentradores de instituições posicionadas em pontos estratégicos que agregarão tantos anéis coletores quantos forem necessários. Cada anel coletor será formado por até 10 (dez) instituições e novos anéis coletores irão sendo formados à medida que este número seja alcançado (figura 7).

A figura 7 ilustra o modelo topológico da rede.

Existem três níveis de switches:

- switch central: comutador do PoP, responsável pela concentração de anéis e pontos fora do anel, pelo roteamento e saída a Internet
- switch de concentração: promove a comunicação entre os anéis e concentração de anéis e pontos fora do anel
- switch de acesso: viabiliza a conexão da instituição ao anel coletor.

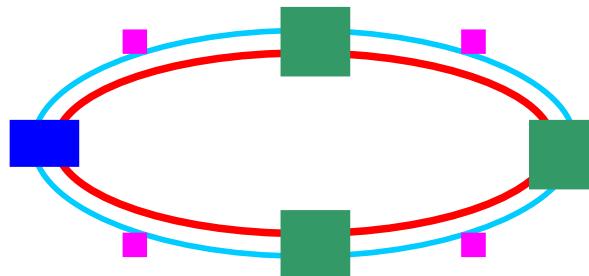


Figura 7: visão da topologia física – anel de anéis coletores



Comutador Central



Comutador Concentrador



Comutador de Acesso



Anel Coletor A



Anel Principal

IPES A

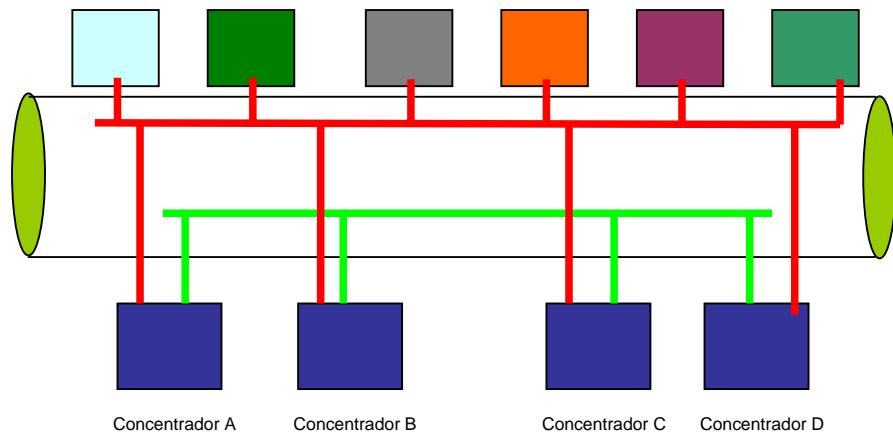
IPES B

IPES C

IPES D

IPES E

IPES F



ANEL PRINCIPAL



ANEL COLETOR A



Figura 8: visão do cabo óptico do modelo D.

2.4.2

Análise dos quesitos

Confiabilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no meio físico o transforma em barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como <i>Rapid Spanning Tree</i> ou outros proprietários (EAPS, MRP); inexistência de ponto de 	<p>Cada switch no anel representa um ponto de falha.</p>	<ul style="list-style-type: none"> colocar uma infra-estrutura mínima de no-breaks, nos sites que abrigam os switches; colocar enlaces de redundância no <i>backbone</i>; pessoal técnico capacitado e plantão 7x24; manutenção deve contemplar a rápida reposição do equipamento.

<p>processamento central. A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O anel central, sem a presença de switches de acesso, é preservado, tornando-se mais robusto. 	<p>É mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados nos anéis coletores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ colocar os switches, que estão nos anéis coletores, dentro do domínio administrativo do centro de operação do consórcio; ▪ definir um conjunto mínimo de requisitos de segurança para os switches (regras de filtragem, acesso, etc); ▪ implementar firewall institucional.
--	---	---

Desempenho

Com o uso de fibras, como meio de transmissão, a questão do desempenho fica atrelada à capacidade dos switches que formam o anel, bem como à tecnologia de transmissão. No caso do modelo proposto, a velocidade limita-se a 1 Gbps com o uso de interfaces 1000BASE-X a menos que se opte pelo método de “link aggregation”, que possibilita o uso de várias portas gigabit ethernet em paralelo a fim de se aumentar a velocidade do enlace.

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A existência do anel de <i>backbone</i> facilita a migração para WDM.	Cada switch nos anéis coletores representa um potencial gargalo.	Especificar a capacidade dos switches de forma que atenda plenamente ao tráfego da rede, sem perdas de desempenho.
	A comunicação entre as instituições, e com a Internet, compartilha a banda de cada anel.	O compartilhamento da banda é inerente ao modelo. Em caso de saturação, a solução é o aumento da banda (para 10Gbps), ou a adoção de tecnologias de multiplexação (CWDM).

	<p>A existência de switches heterogêneos nos anéis coletores traz algumas dificuldades: necessidade de se conhecer a operação e configuração de equipamentos diversos; dificuldade na adoção de soluções proprietárias, como por exemplo, a aceleração de convergência³, em caso de falhas; cuidado extra com a questão de interoperabilidade entre os equipamentos.</p>	<p>Buscar homogeneidade dos switches. Caso não seja possível, tentar minimizar o impacto mantendo no anel de <i>backbone</i> e nos anéis coletores apenas os switches de mesmo fabricante. Os demais poderiam ser conectados ponto-a-ponto. Utilizar apenas <i>features</i> padronizadas (baseadas em RFCs).</p>
--	---	--

Flexibilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<p>A existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderem se conectar ao anel.</p>		

Custo

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> necessidade de switches com poucas portas ópticas, e consequente número de interfaces; economia de fibras, uma vez que a ocupação de fibras se dará sob demanda. 	<p>O switch de concentração cria mais um nível administrativo que precisa ser tratado (lado institucional e lado operação da rede metro).</p>	<p>Colocar todos os switches do anel de <i>backbone</i> sob administração da operação da rede metro. Ou, definir uma política de uso compartilhado dos equipamentos.</p>

Custo associado à entrada de nova instituição consorciada:

Além do custo de se derivar as fibras até a localidade:

- para cada ponto de conexão, um switch de acesso com duas interfaces ópticas;

³ O EAPS (RFC3919), utilizado pela Extreme, possui tempo de convergência de menos de 50ms. Bem mais rápido, em comparação ao STP (de 30 a 50 segundos) e ao RSTP (de 1 a 2 segundos). Referência (*ABCs of Ethernet Redundancy* - <http://www.ctrlink.com/pdf/abc1.pdf>)

- switch de concentração com $N \times 2$ interfaces ópticas, sendo N o número de anéis; alocação de um par de fibras para formação do anel coletor.

O anexo B apresenta os preços aproximados para switches e interfaces ópticas.

2.5.

Modelo E (Salvador)

2.5.1

Descrição

Este modelo apresenta uma topologia de anel de anéis com redundância. Considerando a localização geográfica e a necessidade de prover a redundância das conexões, a rede se baseia em um anel central ao qual se conectam anéis secundários integrando as demais instituições e campi. Os anéis secundários serão interligados a partir de um ou de dois pontos do anel principal, e serão formados pelo agrupamento de diversos *sites* geograficamente próximos de instituições multi-campi e/ou *sites* de instituições mono-campus, observando-se o critério de otimização do custo procurando-se reduzir a extensão dos enlaces de fibra e o número de portas de switches necessário para interligá-las.

Nessa estrutura, o anel central será composto por pontos de concentração dos anéis secundários. Cada anel secundário é composto por switches de acesso e interliga-se ao anel central composto por switches de concentração. Desta forma:

- switch de concentração: forma o anel central e conecta os anéis secundários ao backbone;
- switch de acesso: faz a conexão da LAN da instituição ao anel secundário.

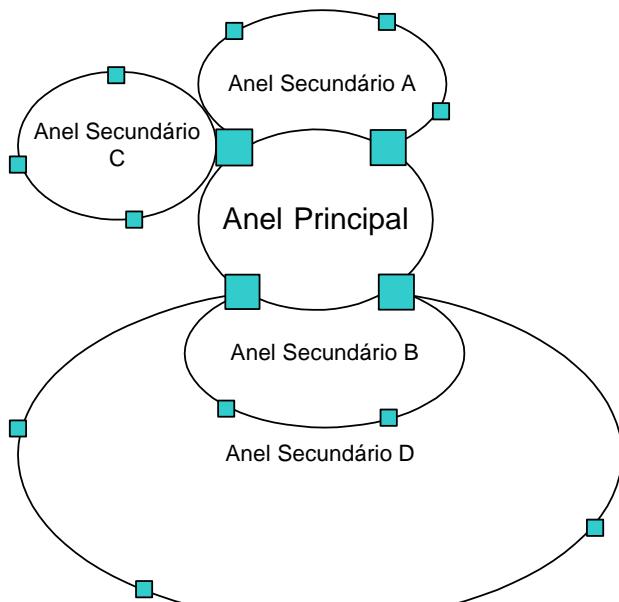


Figura 9: visão da topologia física – anel de anéis redundantes

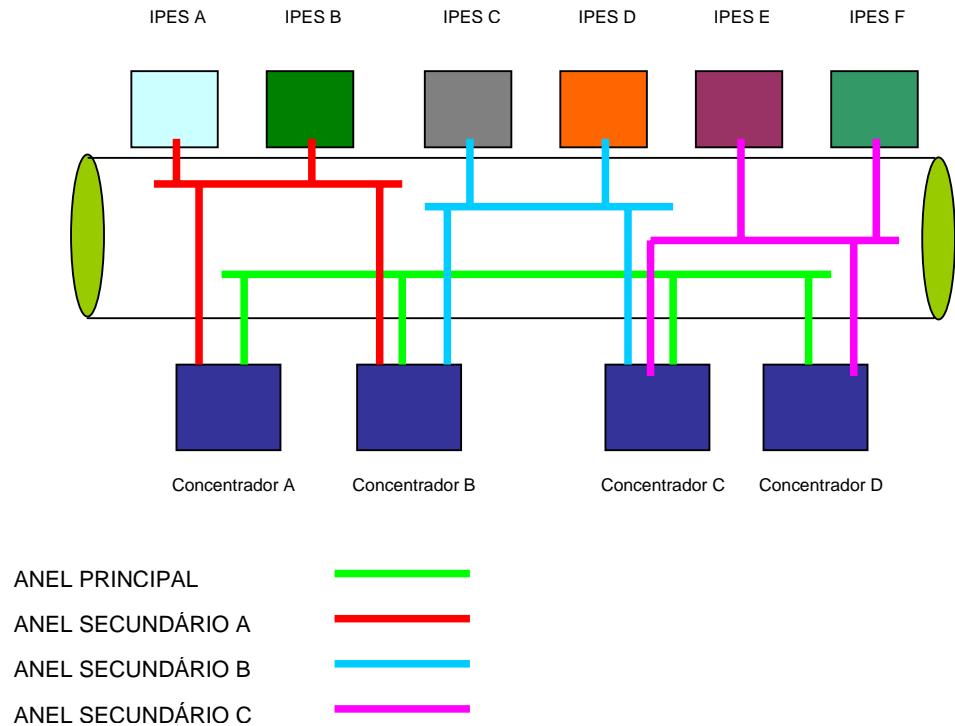


Figura 10: visão do cabo óptico do modelo E

2.5.2

Análise dos quesitos

Confiabilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none"> topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no meio físico o transforma em barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como <i>Rapid Spanning Tree</i> ou outros proprietários (EAPS, MRP); inexistência de ponto de 	Cada switch no anel representa um ponto de falha.	<ul style="list-style-type: none"> colocar uma infra-estrutura mínima de no-breaks, nos sites que abrigam os switches; colocar enlaces de redundância no <i>backbone</i>; pessoal técnico capacitado e plantão 7x24; manutenção deve contemplar a rápida reposição do equipamento.

<p>processamento central. A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O anel central, sem a presença de switches de acesso, é preservado, tornando-se mais robusto. ▪ Os anéis secundários conectam-se sempre a dois dos switches concentradores, implicando em redundância de roteamento/comutação. 	<p>É mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados nos anéis coletores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ colocar os switches, que estão nos anéis coletores, dentro do domínio administrativo do centro de operação do consórcio; ▪ definir um conjunto mínimo de requisitos de segurança para os switches (regras de filtragem, acesso, etc); ▪ implementar firewall institucional.
--	---	---

Desempenho

Com o uso de fibras, como meio de transmissão, a questão do desempenho fica atrelada à capacidade dos switches que formam o anel, bem como à tecnologia de transmissão. No caso do modelo proposto, a velocidade limita-se a 1 Gbps com o uso de interfaces 1000BASE-X a menos que se opte pelo método de “link aggregation”, que possibilita o uso de várias portas gigabit ethernet em paralelo a fim de se aumentar a velocidade do enlace.

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
A existência do anel de <i>backbone</i> facilita a migração para WDM.	Cada switch nos anéis secundários representa um potencial gargalo.	Especificar a capacidade dos switches de forma que atenda plenamente ao tráfego da rede, sem perdas de desempenho.
	A comunicação entre as instituições, e com a Internet, compartilha a banda de cada anel.	O compartilhamento da banda é inerente ao modelo. Em caso de saturação, a solução é o aumento da banda (para 10Gbps), ou a adoção de tecnologias de multiplexação (CWDM).

	<p>A existência de switches heterogêneos nos anéis secundários traz algumas dificuldades: necessidade de se conhecer a operação e configuração de equipamentos diversos; dificuldade na adoção de soluções proprietárias, como por exemplo, a aceleração de convergência⁴, em caso de falhas; cuidado extra com a questão de interoperabilidade entre os equipamentos.</p>	<p>Buscar homogeneidade dos switches. Caso não seja possível, tentar minimizar o impacto mantendo no anel de <i>backbone</i> e nos anéis secundários apenas os switches de mesmo fabricante. Os demais poderiam ser conectados ponto-a-ponto. Utilizar apenas <i>features</i> padrões (baseadas em RFCs).</p>
--	---	---

Flexibilidade

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<p>A existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderem se conectar ao anel.</p>		

⁴ O EAPS (RFC3919), utilizado pela Extreme, possui tempo de convergência de menos de 50ms. Bem mais rápido, em comparação ao STP (de 30 a 50 segundos) e ao RSTP (de 1 a 2 segundos). Referência (*ABCs of Ethernet Redundancy* - <http://www.ctrlink.com/pdf/abc1.pdf>)

Custo

Pontos fortes	Pontos fracos	Ações de contorno
<ul style="list-style-type: none">▪ necessidade de switches com poucas portas ópticas, e consequente número de interfaces;▪ economia de fibras, uma vez que a ocupação de fibras se dará sob demanda.	O switch de concentração cria mais um nível administrativo que precisa ser tratado (lado institucional e lado operação da rede metro).	Colocar todos os switches do anel de <i>backbone</i> sob administração da operação da rede metro. Ou, definir uma política de uso compartilhado dos equipamentos.

Custo associado à entrada de nova instituição consorciada:

Além do custo de se derivar as fibras até a localidade:

- para cada ponto de conexão, um switch de acesso com duas interfaces ópticas;
- switch de concentração com $N \times 2$ interfaces ópticas, sendo N o número de anéis; alocação de um par de fibras para formação do anel secundário.

O anexo B apresenta os preços aproximados para switches e interfaces ópticas.

3.

Comparação dos modelos

Neste item faz-se uma comparação entre os modelos apresentados, tomando-se como base os quesitos confiabilidade, desempenho, flexibilidade e custo.

Confiabilidade

Do ponto de vista de segurança das informações, o modelo B é o melhor, uma vez que as redes institucionais são isoladas fisicamente e o único ponto de troca é o switch central. O modelo A também permite a separação física ao prover anéis institucionais, embora ao anel central possam ser conectadas instituições de diferentes classes. Considerando a comunicação entre as instituições e à Internet, o modelo B apresenta um único ponto de falha (switch central), frente aos demais modelos; porém, a queda deste causa um impacto muito mais significativo. No modelo A, a queda do switch de concentração implicará na interrupção das instituições daquele anel com as demais instituições e com a Internet. O modelo C faz a separação física das classes de instituições, e em caso de falha no switch central, continua havendo a comunicação entre as instituições de mesma classe, ao contrário do modelo B. Nos modelos D e E a queda de algum switch de concentração não implica em nenhuma interrupção, exceto se existir instituições diretamente conectadas a ele.

Desempenho

Em termos de disponibilidade de banda, o modelo B é o melhor uma vez que não há compartilhamento de banda para as comunicações inter-instituições e nem dependência de nós intermediários, como nos demais modelos. Porém, o tráfego nem sempre seguirá o menor caminho, dado que sempre terá que “subir” até o switch central, e depois “descer” até o destino. Neste ponto, os demais modelos são mais otimizados fisicamente. Independente do modelo, todos os switches precisam ser muito bem dimensionados para não se tornarem gargalos da rede.

Flexibilidade

Os modelos A, D e E são os mais flexíveis, pensando-se na ligação de novas instituições consorciadas fora do anel, uma vez que oferece mais possibilidades de conexão (switches de concentração); nos modelos B e C, teriam que ser conectados ao switch central, dada a disponibilidade de portas. Por outro lado, o modelo B, por já destinar uma fibra por instituição, facilita a entrada de novas unidades de instituições já consorciadas; no modelo A seria necessário alocar novo par de fibras e switch de concentração. No modelo C, a nova instituição ou unidade seria conectada ao anel da classe a que pertence. Caso não seja possível, padece da mesma deficiência do modelo B. No modelo D, a instituição entraria no anel coletor disponível; já no caso do modelo E, em um dos anéis secundários.

Custos

Os custos associados ao modelo da B são impactados, em grande parte, pelo preço do switch central, uma vez que este necessita de alta densidade de portas ópticas, poder de processamento e redundância. Envolve também o uso de uma quantidade maior de interfaces ópticas e fibras. Os modelos A, D e E necessitam de switches de concentração, além dos de acesso, no caso de

instituições multi-campi; dessa forma, dependendo da quantidade destes, o custo total gasto nos switches de concentração pode superar o preço de um switch central. O modelo C apresenta custo mais racionalizado, promovendo o uso de menos fibras e dispensando o uso de switches de concentração, porém, segue a premissa de haver, no consórcio, classes além das de educação e pesquisa.

Um fator que tende a encarecer a solução, independente da topologia, é o uso de interfaces ZX (com alcance até 70 km), cujos preços são muito altos. Assim, na definição da topologia, deve-se tentar minimizar as distâncias entre as instituições que farão parte do anel.

4.

Considerações finais

O objetivo deste documento foi apresentar alguns modelos, com seus pontos fortes/ fracos e soluções de contorno, a fim de municiar o consórcio com informações, auxiliando-o na definição do modelo local. Como pôde ser visto, para cada quesito, existe um modelo mais indicado. O peso de cada quesito poderá direcionar a escolha do modelo que melhor se adeqüe às necessidades e realidades locais. Vale ressaltar que este documento está em contínuo desenvolvimento, sendo atualizado à medida que novas informações e novos pontos de análise forem surgindo durante o processo.

ANEXOS

A – Quadros comparativos dos quesitos

Confiabilidade

Modelo	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no anel o transforma em um barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como Rapid Spanning Tree ou outros proprietários (EAPS, MRP); ▪ inexistência de ponto de processamento central. A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ cada switch no anel representa um ponto de falha; ▪ é mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados ao anel central.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo B	<ul style="list-style-type: none"> ▪ assim como no modelo anterior, a topologia em anel das instituições garante maior robustez; ▪ apenas um único ponto de falha (switch central); ▪ tráfego das instituições isolado, aumentando a segurança das informações; ▪ domínio administrativo bem definido. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ existência do nó central. A queda deste inviabiliza a comunicação entre as instituições, além do acesso à Internet.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ topologia em anel garante maior robustez; ▪ tráfego das classes isolado no nível físico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ cada switch no anel de classe representa um ponto de falha; ▪ é mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de clientes conectados ao anel de classe; ▪ existência do nó central. A queda deste inviabiliza a comunicação entre as classes.
	Pontos fortes	Pontos fracos

Modelo D	<ul style="list-style-type: none"> ■ topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no anel o transforma em um barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como Rapid Spanning Tree ou outros proprietários (EAPS, MRP); ■ inexistência de ponto de processamento central. A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições). ■ O anel central, sem a presença de switches de acesso, é preservado, tornando-se mais robusto. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ cada switch no anel representa um ponto de falha; ■ é mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença dos switches de diferentes instituições conectados aos anéis coletores.
Modelo E	<p style="text-align: center;">Pontos fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ topologia em anel garante maior robustez, uma vez que uma falha no anel o transforma em um barramento, e a convergência é garantida através de protocolos de gerenciamento de enlace, tais como Rapid Spanning Tree ou outros proprietários (EAPS, MRP); ■ inexistência de ponto de processamento central. A queda do switch do PoP inviabiliza a comunicação Internet, mas não as demais (inter e intra instituições). ■ O anel central, sem a presença de switches de acesso, é preservado, tornando-se mais robusto. ■ Os anéis secundários conectam-se normalmente a dois dos switches concentradores, implicando em redundância de roteamento/comutação. 	<p style="text-align: center;">Pontos fracos</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ cada switch no anel representa um ponto de falha; ■ é mais suscetível a problemas de segurança, dada a presença de switches de diferentes instituições conectados ao anel central.

Desempenho

Modelo	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo A	<ul style="list-style-type: none"> a existência do anel de <i>backbone</i> facilita a migração para WDM. 	<ul style="list-style-type: none"> cada switch no anel de <i>backbone</i> representa um potencial gargalo; a comunicação entre as instituições, e com a Internet, compartilha a banda do anel de <i>backbone</i>; a existência de switches heterogêneos no anel de <i>backbone</i>.
Pontos forte/fraco		
Modelo B	<ul style="list-style-type: none"> a comunicação entre as instituições é limitada pela capacidade do <i>backplane</i> do switch central. 	
Pontos fortes		
Modelo C	<ul style="list-style-type: none"> a existência do anel de classe facilita a migração para WDM. a comunicação entre as classes depende da capacidade do <i>backplane</i> do switch central. 	<ul style="list-style-type: none"> cada switch no anel de classe representa um potencial gargalo; a comunicação entre as instituições (dentro da mesma classe), e com a Internet, compartilha a banda do anel de classe; a existência de switches heterogêneos no anel de classe.
Pontos fortes		
Modelo D	<ul style="list-style-type: none"> A existência do anel de backbone facilita a migração para WDM. 	<ul style="list-style-type: none"> cada switch no anel coletor representa um potencial gargalo; a comunicação entre as instituições (dentro do mesmo anel coletor), e com a Internet, compartilha a banda do anel coletor; a existência de switches heterogêneos no anel coletor.
Pontos fortes		
Modelo E	<ul style="list-style-type: none"> A existência do anel de backbone facilita a migração para WDM. 	<ul style="list-style-type: none"> cada switch em cada anel secundário representa um potencial gargalo; a comunicação entre as instituições (dentro do mesmo anel secundário), e com a Internet, compartilha a banda do anel secundário; a existência de switches

		heterogêneos no anel secundário.
--	--	----------------------------------

Flexibilidade

Modelo	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo A	<ul style="list-style-type: none"> ■ a existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderam se conectar ao anel. 	
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo B	<ul style="list-style-type: none"> ■ a alocação de um anel para cada instituição facilita a conexão de novas unidades. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ o único ponto de conexão para instituições que ficaram fora do anel, a priori, seria o switch central, dada sua performance e disponibilidade de portas.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo C	<ul style="list-style-type: none"> ■ a inserção de uma nova instituição, ou unidade, não depende de nova alocação de fibras do anel. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ o único ponto de conexão para instituições que ficaram fora do anel, a priori, seria o switch central.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo D	<ul style="list-style-type: none"> ■ A existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderem se conectar ao anel. 	
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo E	<ul style="list-style-type: none"> ■ A existência de switches de concentração facilita a conexão de instituições que, porventura, não puderem se conectar ao anel. 	

Custo

Modelo	Pontos fortes	Pontos fracos
--------	---------------	---------------

Modelo A	<ul style="list-style-type: none"> ■ necessidade de switches com poucas portas ópticas⁵, e consequente número de interfaces; ■ economia de fibras, uma vez que apenas as intuições multi-campi, ou unidade, possuem par de fibras próprio. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ o switch de concentração cria mais um nível administrativo (lado institucional e lado operação da rede metro) que precisa ser bem definido.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo B	<ul style="list-style-type: none"> ■ dispensa o uso de switches de concentração. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ uso de maior quantidade de pares de fibra; ■ alto custo do switch central.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo C	<ul style="list-style-type: none"> ■ economia de fibras, uma vez que a alocação destas é feita por classes ■ dispensa o uso de switches de concentração; ■ gerência do tráfego facilitada pela separação física das classes. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ custo elevado do switch central.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo D	<ul style="list-style-type: none"> ■ necessidade de switches com poucas portas ópticas, e consequente número de interfaces; ■ economia de fibras, uma vez que a ocupação de fibras se dará sob demanda. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ o switch de concentração cria mais um nível administrativo (lado institucional e lado operação da rede metro) que precisa ser bem definido.
	Pontos fortes	Pontos fracos
Modelo E	<ul style="list-style-type: none"> ■ necessidade de switches com poucas portas ópticas, e consequente número de interfaces; ■ economia de fibras, uma vez que a ocupação de fibras se dará sob demanda. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ o switch de concentração cria mais um nível administrativo (lado institucional e lado operação da rede metro) que precisa ser bem definido.