

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS ATRAVÉS DA GESTÃO  
INTEGRADA DA REDE DE TRANSPORTE**

**FABIANO GRANDE GUIOTTI**

**ORIENTADOR: HONÓRIO ASSIS FILHO CRISPIM  
ORIENTADOR BRASILTELECOM: ORLANDO TADEU RUSCHEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 045A/07**

**BRASÍLIA – DF: DEZEMBRO - 2007**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS ATRAVÉS DA GESTÃO  
INTEGRADA DA REDE DE TRANSPORTE**

**FABIANO GRANDE GUIOTTI**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE  
SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

**APROVADA POR:**

---

**HONÓRIO ASSIS FILHO CRISPIM, Dr. ENE/UNB  
(Orientador)**

---

**FLÁVIO ELIAS GOMES DE DEUS, Dr. ENE/UNB  
(Examinador Interno)**

---

**GEORGE CAJATY BARBOSA BRAGA, Dr. FIS/UNB  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA, 14 DE DEZEMBRO DE 2007**

## FICHA CATALOGRÁFICA

GUIOTTI, FABIANO GRANDE

Otimização de Recursos Através da Gestão Integrada da Rede de Transporte [Distrito Federal] 2007.

xvi, 96p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2007).

Dissertação de Mestrado Profissionalizante – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1.Redes de Transporte - SDH

2.eTOM

3.TMN

4.OSS e BSS

5.Algoritmos de Busca em Grafos

6.Otimização de Recursos

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GUIOTTI, F.G. (2007). Otimização de Recursos Através da Gestão Integrada da Rede de Transporte. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-045A/07, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 96p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabiano Grande Guiotti.

TÍTULO: Otimização de Recursos Através da Gestão Integrada da Rede de Transporte.

GRAU: Mestre

ANO: 2007.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Fabiano Grande Guiotti

Cond. Jardim Europa II – Módulo P – Casa 16.

73.105-904 Sobradinho – DF – Brasil.

fguiotti@hotmail.com

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Lydiane, aos meus filhos Pedro Vitor e Maria Clara que sempre me apoiaram e abriram mão de horas de atenção. Dedico também aos meus pais Maria Clara e José Carlos Guiotti pelos ensinamentos de vida, sem os quais este trabalho jamais existiria.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Brasil Telecom, representada por seus gerentes e diretores, pela confiança no meu trabalho e pela oportunidade de participar deste programa de Mestrado Profissionalizante.

Agradeço também à UnB pelos conhecimentos ministrados que abriram novos horizontes na busca de ferramentas para administrar adequadamente uma rede altamente complexa. Particularmente agradeço ao meu orientador Dr. Honório Crispim pelo companheirismo, atenção, paciência e pela liberdade permitida na elaboração deste trabalho. Sempre acompanhando de perto a evolução e corrigindo quando necessário.

O ponto de vista apresentado neste trabalho é fruto de discussões construtivas com excelentes profissionais da área de telecomunicações, aos quais agradeço profundamente. Primeiramente agradeço ao Professor Orlando Tadeu Ruschel, pelas horas de discussões e pela co-orientação deste trabalho. Em nossas conversas sempre buscou indicar novos caminhos e um bom embasamento para o trabalho. Agradeço também:

- aos colegas de planejamento de rede da Brasil Telecom, Luis Flávio Collares Machado e Fernanda Margaret da Conceição Soares, que diariamente forneceram *insights* que resultaram neste trabalho;
- às equipes de transmissão da Brasil Telecom, que participaram das discussões sobre necessidade de um sistema de informações adequado para gerir uma rede de transporte;
- aos colegas do Centro de Gerência da Brasil Telecom, Airton Adriano Ferreira e Hélio Rotondo Sobrinho pelas consultorias;
- aos profissionais dos nossos principais fornecedores de equipamentos SDH que pacientemente forneceram informações sobre ferramentas de exportação (Alcatel/Lucent, Ericsson/Marconi, Nokia/Siemens).

Finalmente, agradeço à toda a turma do mestrado profissionalizante, pois sem o apoio e a motivação mútua, este trabalho teria sido muito mais sacrificante.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

## **RESUMO**

### **OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS ATRAVÉS DA GESTÃO INTEGRADA DA REDE DE TRANSPORTE**

**Autor: Fabiano Grande Guiotti**

**Orientador: Honório Assis Filho Crispim**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, dezembro de 2007.**

As redes de transporte estão alcançando níveis tão elevados de complexidade que seu planejamento e operação sem ferramentas computacionais adequadas está se tornando impraticável. Adicionalmente, as operadoras estão sendo pressionadas pela concorrência do mercado a diminuir seu OPEX e CAPEX, a ter maior agilidade e a manter suas margens de lucro. O objetivo deste trabalho é aprofundar a discussão sobre a viabilidade técnica e econômica de um sistema integrado de informações para otimização de recursos da rede de transporte e propor ações no sentido de alcançar a excelência na administração desta rede.

## **ABSTRACT**

### **RESOURCES OPTIMIZATION THROUGH THE INTEGRATED ADMINISTRATION OF THE TRANSPORT NETWORK**

**Author: Fabiano Grande Guiotti**

**Supervisor: Honório Assis Filho Crispim**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, december de 2007.**

The transmission networks are reaching such high levels of complexity that its planning and operation without adequate computational tools is becoming impractical. Additionally, operators are being pressured by competition in the market to reduce their OPEX and CAPEX, to have greater agility and to maintain their profit margins. The goal of this work is to further discussion on the technical and economic feasibility of an integrated system of information for optimization of resources of the transmission system and propose actions to achieve excellence in the administration of this network.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 - SISTEMAS DE GERÊNCIA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 - FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DE REDE .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 - OTIMIZAÇÃO DE REDE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 - SISTEMA DE INVENTÁRIO DE REDE.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 - GESTÃO INTEGRADA DE REDE .....</b>	<b>19</b>
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 - REDE DE TRANSPORTE .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.1 - Histórico da Rede de Transporte no Brasil.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2 - Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH).....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3 - Hierarquia Digital Síncrona (SDH) .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.4 - Equipamentos SDH Nova Geração.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.5 - Plano de Controle da Rede Óptica (ASON/GMPLS).....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 - RESILIÊNCIA EM REDES DE TRANSPORTE .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1 - Mecanismos de Proteção Automática de Anéis SDH .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2 - Resiliência em Redes ASON/GMPLS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 - GERENCIAMENTO DE REDES.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.1 - Histórico do Gerenciamento de Redes.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2 - ITU-T TMN.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.3 - TeleManagement Forum (TMF) .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4 - ETOM – ENHANCED TELECOM OPERATIONS MAP .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4.1 - Processos de Desenvolvimento e Gerência de Recursos.....</b>	<b>48</b>
3.4.1.1 - Estratégia e Planejamento de Recursos .....	48
3.4.1.2 - Entrega de Recursos de Capacidade.....	49
3.4.1.3 - Desenvolvimento e Descontinuidade de Recursos.....	50
<b>3.4.2 - Processo de Gerência e Operações de Recursos .....</b>	<b>50</b>
3.4.2.1 - Suporte e Disponibilidade Operacionais .....	51

3.4.2.2 - Aprovisionamento de Recursos .....	54
3.4.2.3 - Coleta e Processamento de Dados .....	55
<b>3.5 - TEORIA DE GRAFOS .....</b>	<b>57</b>
3.5.1 - Busca em Largura .....	61
3.5.2 - Busca em Profundidade .....	61
3.5.3 - Busca em Profundidade Limitada .....	63
3.5.4 - Busca com Aprofundamento Iterativo .....	63
3.5.5 - Busca Gananciosa – Greedy Search .....	64
3.5.6 - Busca de Custo Uniforme – Algoritmo de <i>Dijkstra</i> .....	65
3.5.7 - Algoritmo A* .....	67
<b>4 - DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
4.1 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA REDE DE TRANSPORTE.....	68
4.2 - COLETA DE INFORMAÇÕES DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA.....	77
4.3 - ROTEAMENTO COM FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	80
<b>5 - ESTUDO DE CASO E DISCUSSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>6 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Comparação de esquemas de busca em grafos .....	59
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	– Exemplo da aplicação de algoritmo de busca em um grafo que representa a rede SDH do Estado do Paraná.....	2
Figura 1.2	– Exemplo de visão que o sistema de gerência oferece ao operador.....	2
Figura 1.3	– Direcionadores para proposta de serviços gerenciados (Modificado ERICSSON,2007) .....	4
Figura 1.4	– Cadeia de valor envolvendo fornecedores e operadoras de telecomunicações (Modificado ERICSSON,2007) .....	4
Figura 1.5	– Barreiras significantes para outsourcing e out-tasking (Modificado BLUM,2004) .....	5
Figura 1.6	– Mudanças nas barreiras mais significantes de out-tasking (Modificado BLUM, 2004) .....	5
Figura 2.1	– Exemplos de sistemas de informação associados à rede de transporte .....	10
Figura 2.2	– Evolução do nível de integração de redes e sistemas (Modificado BLUM,2004) .....	11
Figura 2.3	– TMN – Intenção original versus situação atualmente implementada (Modificado ELLANTI, 2005).....	12
Figura 2.4	– Utilisator – Diagrama do processo de planejamento de capacidade (Modificado BROWNLIE, 2003).....	16
Figura 2.5	– Maiores barreiras para melhorar a capacidade do NOC (Modificado BLUM, 2004) .....	18
Figura 3.1	– Contextualização da rede de transporte.....	22
Figura 3.2	– Estrutura do padrão europeu de multiplexação PDH (CINKLER, 2002) ..	26
Figura 3.3	– Problema da multiplexação de estruturas completas na tecnologia PDH (CINKLER, 2002) .....	26
Figura 3.4	– Camadas da rede SDH (Modificado CABALLERO, 2005) .....	28
Figura 3.5	– Estrutura do quadro SDH (CINKLER, 2002). .....	28
Figura 3.6	– Estrutura de multiplexação do SDH (G.707, 2000).....	29
Figura 3.7	– Principais funções de equipamentos SDH.....	30
Figura 3.8	– Relacionamento entre as diversas entidades de padronização para ASON/GMPLS (Modificado FOISEL, 2007).....	32

Figura 3.9	– Relacionamento entre os diversos planos de controle associados à rede de transporte (G.8080, 2004).....	33
Figura 3.10	– Visão das recomendações para o plano de controle da arquitetura ASON (Modificado LEHR - ZEUNER, 2007) .....	33
Figura 3.11	– Evolução dos esforços do ITU-T na elaboração das recomendações do plano de controle da arquitetura ASON (LEHR - ZEUNER, 2007) .....	34
Figura 3.12	– Métodos de configuração de caminho para recuperação do tráfego .....	35
Figura 3.13	– Métodos de uso dos recursos reserva .....	35
Figura 3.14	– Esquema de proteção MS-SPRing a 2 fibras.....	37
Figura 3.15	– a) Esquema de Proteção MS-SPRing a 4 Fibras; b) Representação da ocupação deste anel considerando que os agregados são de 2,5Gbps (16 AU-4s) .....	38
Figura 3.16	– Esquema de proteção SNCP .....	39
Figura 3.17	– Phoenix - Rede ASON Telecom Itália (Modificado D'ALESSANDRO et al, 2006).....	40
Figura 3.18	– Arquitetura de camadas da TMN (Modificado M.3010,2002).....	43
Figura 3.19	– eTOM – Visão dos grupos de processos do nível 1 (Modificado M.3050.1) .....	46
Figura 3.20	– Grupo de processos 1.SIP.3 – Nível 2 (Modificado - M.3050.2,2004).....	48
Figura 3.21	– Grupo de processos 1.OFAB.3 – Nível 2 (Modificado - M.3050.2,2004)..	50
Figura 3.22	– Grupo de processos 1.O.3.1 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004) .....	52
Figura 3.23	– Grupo de processos 1.F.3.2 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004) .....	54
Figura 3.24	– Exemplo de relatório de ocupação de vias de alta ordem da rede da Brasil Telecom .....	55
Figura 3.25	– Grupo de processos 1.AB.3.5 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004) .....	55
Figura 3.26	– a) Representação de um anel SDH; b) Representação deste anel por um grafo não orientado; c) Exemplo de um dígrafo.....	57
Figura 3.27	– Exemplo da busca em largura (CHAIMOWICZ, 2006).....	61
Figura 3.28	– Exemplo da busca em profundidade (CHAIMOWICZ, 2006).....	62
Figura 3.29	– Exemplo da busca com aprofundamento interativo (CHAIMOWICZ, 2006) .....	64

Figura 3.30 – Exemplo da busca gananciosa (Greedy Search).....	65
Figura 3.31 – Exemplo do algoritmo de Dijkstra .....	67
Figura 4.1 – Administração do ciclo de vida da rede sem ferramentas computacionais adequadas .....	69
Figura 4.2 – Administração do ciclo de vida da rede com ferramenta GeIR.....	70
Figura 4.3 – Relacionamento entre regiões e sistemas .....	71
Figura 4.4 – Diagrama georeferenciado indicando capacidades e topologias .....	73
Figura 4.5 – Diagrama de ocupação de um anel SDH MSP-Ring a 4 fibras.....	74
Figura 4.6 – Visão da ocupação de um anel SDH MSP-Ring a 4 fibras pela base de dados.....	75
Figura 4.7 – Visão de diagrama topológico .....	77
Figura 4.8 – Exemplo de relatório de roteamento de vias de alta ordem.....	79
Figura 4.9 – Exemplo de relatório de roteamento de vias de alta ordem tratado.....	79
Figura 4.10 – Fluxograma do algoritmo aplicado no roteamento de cada circuito .....	81
Figura 4.11 – Exemplo de Re-roteamento proposto neste trabalho.....	83
Figura 4.12 – Grafo resultante do exemplo de re-roteamento .....	83
Figura 4.13 – Exemplo de Re-roteamento proposto neste trabalho.....	84
Figura 5.1 – Preços mensais da OI para EILD de altas taxas (OI SL, 2006).....	86

## LISTA DE NOMENCLATURAS E ABREVIACOES

ADM	<i>Add/Drop Multiplex</i>
ANSI	<i>American Nacional Standards Institute</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
APS	<i>Automatic Protection Switching</i>
ASON	<i>Automatic Switched Optical Network</i>
ASTN	<i>Automatic Switched Transport Network</i>
BFS	<i>Breadth First Search</i>
BSS	<i>Business Support System</i>
DFS	<i>Depth First Search</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplex</i>
DXC	<i>Digital Crossconnect</i>
E2E	<i>End-to-End</i>
EILD	<i>Explorao Industrial de Linhas Dedicadas</i>
EMS	<i>Element Management System</i>
eTOM	<i>Enhanced Telecommunications Operation Map</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCAPS	<i>Fault, Configuration, Accounting, Performance &amp; Security</i>
GFP	<i>Generic Framing Procedure</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HO	<i>Higher Order</i>
INS	<i>International Network Services</i>
IETF	<i>Internet Engineering Tasking Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU-T	<i>International Telecommunications Union</i>
LCAS	<i>Link Capacity Adjustment Scheme</i>
LO	<i>Lower Order</i>
MSOH	<i>Multiplex Section Overhead</i>

MSP	<i>Multiplex Section Protection</i>
MSPP	<i>Multi Service Provisioning Platform</i>
MS-SPRing	<i>Multiplex Section - Shared Protection Ring</i>
MSTP	<i>Multi Service Transport Platform</i>
MTNM	<i>Multi-Technology Network Management</i>
MTOSI	<i>Multi-Technology Operations Systems Interface</i>
NMS	<i>Network Management System</i>
NOC	<i>Network Operations Center</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>
OSS	<i>Operations Support System</i>
OSS/J	<i>Operations Support System Trought Java Initiative</i>
OTN	<i>Optical Transport Network</i>
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>
RSOH	<i>Regeneration Section Overhead</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SID	<i>Shared Information Data</i>
SNCP	<i>SubNetwork Connection Protection</i>
SOH	<i>Section Overhead</i>
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i>
STM	<i>Synchronous Transport Module</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
TMF	<i>TeleManagement Forum</i>
TMN	<i>Telecommunications Management Network</i>
TNA	<i>Technology Neutral Architecture</i>
TSI	<i>Time Slot Interchange</i>
VCAT	<i>Virtual Concatenation</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

# 1 - INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da planta de telecomunicações no Brasil nos últimos 10 anos, em conjunto com a constante demanda por maior largura de banda, migração tecnológica de TDM para IP e maior diversidade de serviços, resultaram em redes altamente complexas. Adicionalmente, após a privatização das telecomunicações no Brasil o nível de concorrência no mercado ganhou nuances de luta por sobrevivência.

Este trabalho será dedicado à rede de transporte e terá o foco na administração eficiente de recursos da rede. Serão abordados dois aspectos na otimização de recursos. O primeiro genérico, para todas as tecnologias de transporte, que consiste na necessidade de um sistema de informação adequado que permita alcançar uma descrição integrada da rede para operação, gerenciamento e planejamento. Busca preencher a necessidade indicada por Tivadar Jakab (JAKAB, 2002), segundo o qual é praticamente impossível resolver problemas reais de planejamento de rede sem ferramentas computacionais efetivas. O segundo aspecto, mais específico, será a otimização de circuitos em redes de Hierarquia Digital Síncrona (SDH), que continua sendo a tecnologia predominante nas redes de transporte. Neste ponto será utilizado algoritmo de menor caminho (*Dijkstra*) como uma maneira simples de obter resultados consideráveis.

A complexidade das redes de transporte e a concorrência do mercado de telecomunicações são as principais justificativas para relevância deste trabalho.

A Figura 1.1, na intenção de ilustrar esta complexidade, exemplifica os inúmeros arcos explorados por um algoritmo de busca do menor caminho para rotear circuito STM-1 em um grafo que representa a rede SDH do Estado do Paraná. Atualmente, esta função de escolha do melhor caminho está atribuída à pessoa do operador, dependendo extremamente da sua experiência e do seu conhecimento da topologia da rede.

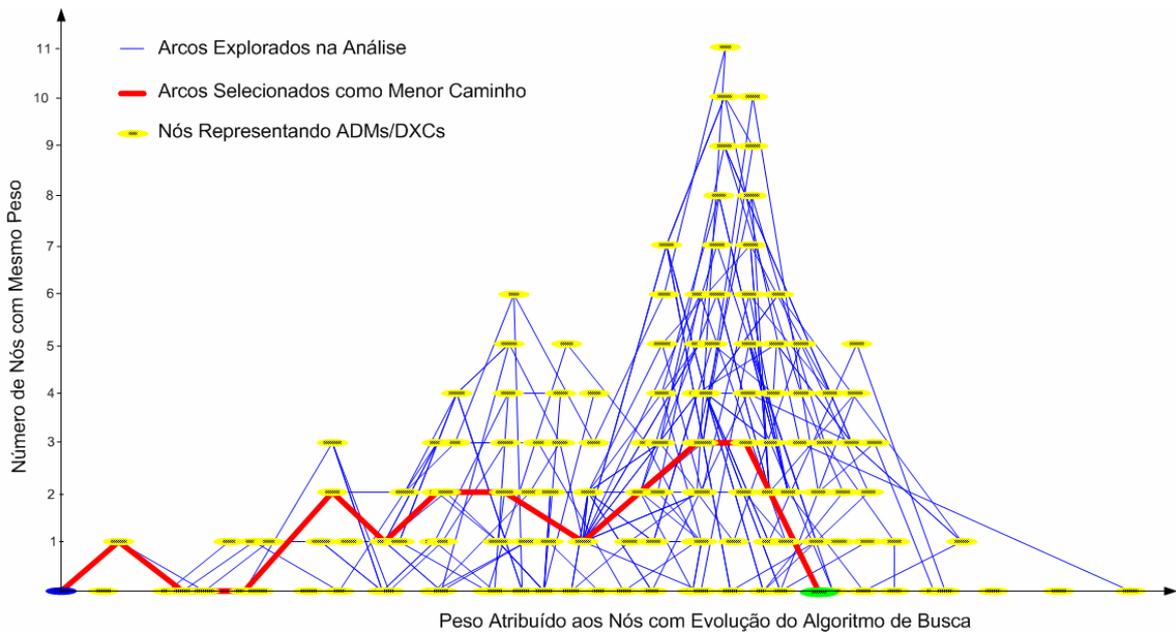


Figura 1.1 – Exemplo da aplicação de algoritmo de busca em um grafo que representa a rede SDH do Estado do Paraná.

A Figura 1.2 também pretende demonstrar a complexidade da rede e representa a visão que o sistema de gerência oferece ao operador para que este decida sobre roteamento entre elementos pertencentes à rede urbana de Curitiba. Cada anel indicado nesta figura pode ser composto de N (N=1 à 16) elementos interligados. Cada interligação deve ser avaliada pelo operador para garantir que existem vias disponíveis.

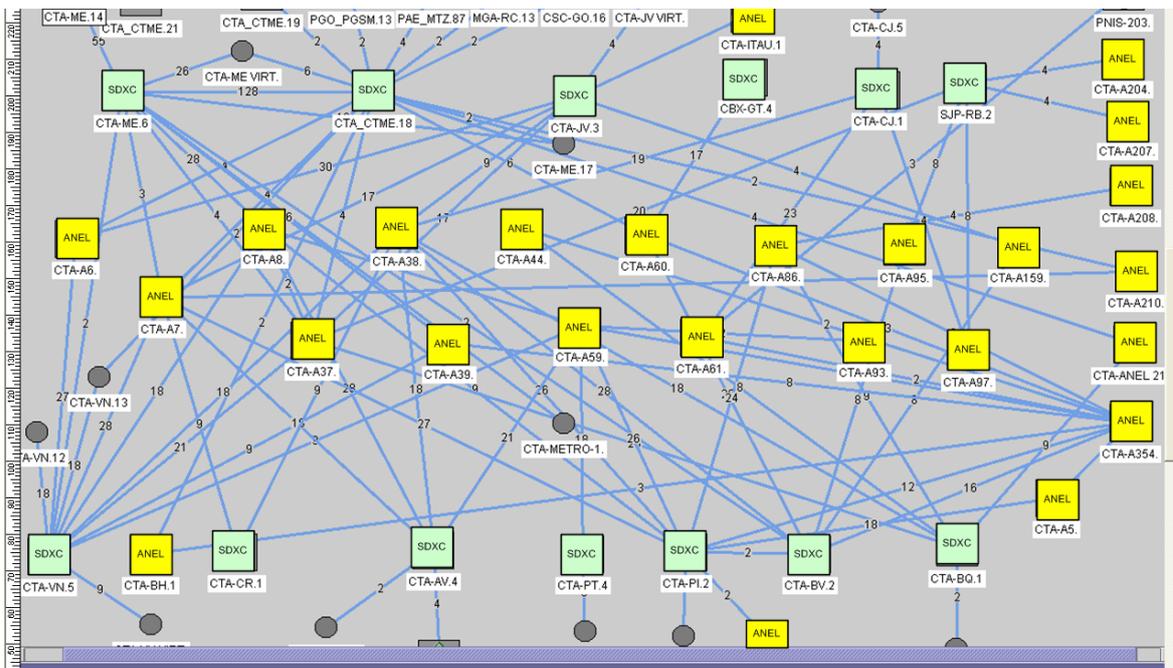


Figura 1.2 – Exemplo de visão que o sistema de gerência oferece ao operador

Adicionalmente, em um cenário cada vez mais competitivo, as operadoras passaram a focar o negócio final, perdendo o foco de administração eficiente da rede e abrindo espaço para a proposta de Serviços Gerenciados (MARCUS, 2006). Termo este originalmente definido por Gerard Macioce, que consiste na transferência da responsabilidade de gerenciamento de alguma atividade para um “provedor de serviços” como uma estratégia para melhorar a eficiência e a eficácia operacional.

Fornecedores tradicionais, Ericsson (ERICSSON, 2007) – Alcatel-Lucent (RABHAN, 2006) – Nokia-Siemens (NOKIA, 2005), por investirem valores consideráveis em pesquisa, defendem com propriedade sua posição como os mais preparados para assumir esta função de “provedor de serviços”. Esta discussão revela que no mercado de telecomunicações não existe apenas a concorrência entre operadoras na disputa de clientes e receita, mas também uma concorrência por eficiência operacional entre áreas das operadoras e provedores de serviço.

Os maiores desafios enfrentados pelas operadoras e que estão justificando a proposta de serviços gerenciados são: o aumento da complexidade da rede, a necessidade constante de desenvolvimento de competência, as pressões financeiras para diminuição de OPEX<sup>1</sup> e CAPEX<sup>2</sup>, a necessidade de aumentar a eficiência operacional e as constantes mudanças nos negócios de telecomunicações (Figura 1.3). Independentemente, se estes problemas serão resolvidos pelas operadoras ou por provedores de serviços, a utilização de ferramentas computacionais para gestão integrada destas redes é um ponto chave para o sucesso e este será o foco deste trabalho. A Figura 1.3 destaca os principais desafios para os quais este trabalho buscará solução.

---

<sup>1</sup> OPEX – *Operational Expenditures* – custos operacionais para manter um negócio/produto.

<sup>2</sup> CAPEX – *Capital Expenditures* – custos para desenvolver ou expandir negócio/produto. Esta associado a itens não consumíveis.

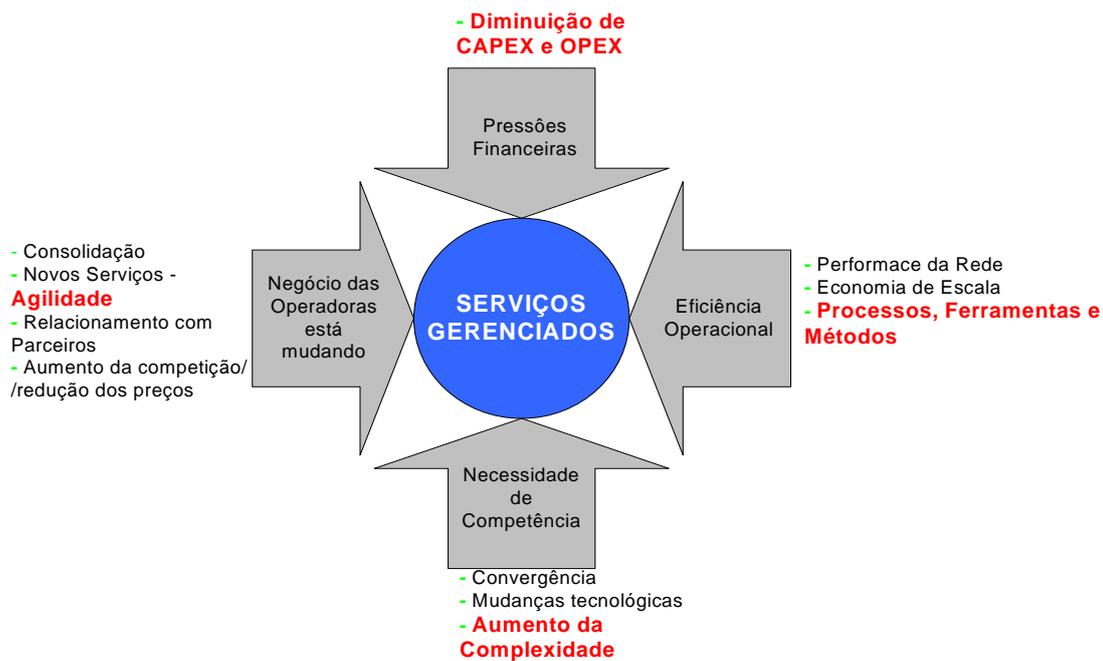


Figura 1.3 – Direcionadores para proposta de serviços gerenciados (Modificado ERICSSON,2007)

Na proposta apresentada pela Ericsson (ERICSSON,2007) os fornecedores agregariam valor em pontos da cadeia produtiva de um sistema de telecomunicações que atualmente são dominados pelas operadoras através da terceirização por parte destas (Figura 1.4).



Figura 1.4 – Cadeia de valor envolvendo fornecedores e operadoras de telecomunicações (Modificado ERICSSON,2007)

Esta transferência, ou terceirização, de todas as atividades essenciais à rede envolvendo o planejamento, o projeto, a implantação (Item Construção de Rede da Figura 1.4) e a operação da rede é denominada *outsourcing*. O *out-tasking* é uma opção mais aceitável de terceirização para companhias conservadoras, que acreditam que o *outsourcing* significa perda de controle e de comando, e consiste na passagem de apenas algumas tarefas essenciais. Um exemplo de *out-tasking* é a terceirização da operação e manutenção da rede externa de uma operadora (Item Operações de Campo da Figura 1.4).

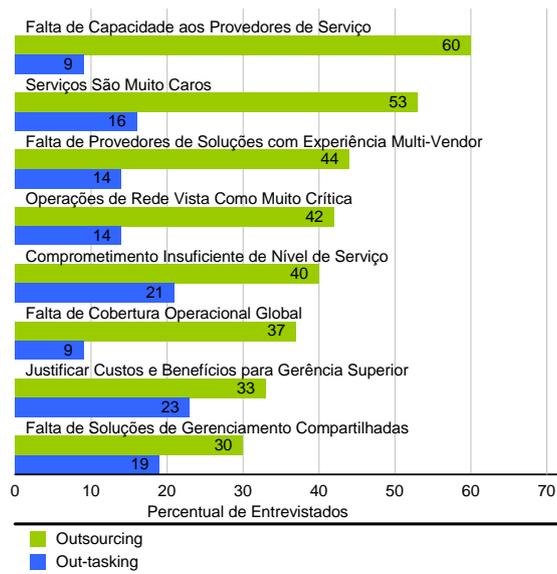


Figura 1.5 – Barreiras significantes para outsourcing e out-tasking (Modificado BLUM,2004)

A Figura 1.5 indica as principais barreiras à estas propostas por parte das operadoras. Estas informações são resultados de pesquisa realizada pelo INS – *International Network Services* (BLUM, 2004).

Claramente a opção de *out-tasking* é melhor aceita pelas operadoras. Entretanto, pode ocorrer que com a maturação dos processos de *outsourcing*, casos de sucesso diminuam a resistência das operadoras conforme o ocorrido com o processo de *out-tasking* (Figura 1.6).

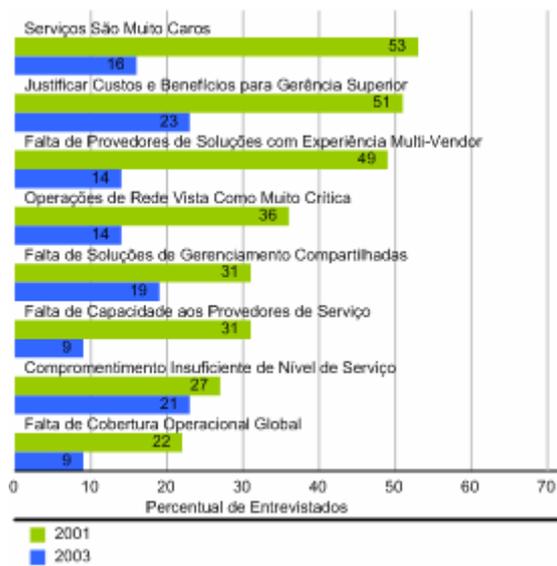


Figura 1.6 – Mudanças nas barreiras mais significantes de *out-tasking* (Modificado BLUM, 2004)

O exemplo mais recente e arrojado de *out-tasking* no Brasil foi anunciado em novembro de 2007.

“Focada na adoção de medidas capazes de reduzir custos e melhorar a rentabilidade, a Brasil Telecom anuncia nesta quinta-feira (8/11) que fará concorrência inédita para escolher apenas um fornecedor para cuidar da manutenção de toda sua rede, dividida hoje entre sete companhias. O processo de manutenção representa 9% dos custos totais da empresa, que foram de R\$ 5,3 bilhões nos nove primeiros meses do ano.

Segundo o vice-presidente de operações da BrT, Francisco Santiago, trata-se de um movimento único no País. ‘Não temos notícias de algo assim não só no Brasil como em nenhum outro lugar no mundo’, diz. ‘Se houver algo semelhante é uma ação pontual. Vamos terceirizar a manutenção, mas não a inteligência da rede’, fez questão de frisar o executivo.....‘A medida envolve risco, uma vez que a BrT irá concentrar contratos significativos com um parceiro’, admite Santiago. ‘Mas as exigências que fizemos para aqueles que irão participar da concorrência são suficientes para minimizar as chances de que ocorram problemas’, completa o vice-presidente de operações da concessionária.” (CONVERGÊNCIA DIGITAL, 2007)

Do ponto de vista de gerenciamento de redes, as preocupações básicas das operadoras são com processos relativos à operação e manutenção, ainda muito dependentes da intervenção humana nos centros de operações da rede (NOC) para coordenação e monitoramento dos diversos sistemas de gerência de rede (NMSs) e de elemento de rede (EMSs) (SAMBA, 2006). Quando se trata de automatização de processos, otimização e controle da rede ainda há muito a ser feito.

As justificativas para esta situação envolvem a complexidade e a diversidade das redes, a complexidade de funcionalidades, a necessidade de interação com sistemas proprietários de fornecedores e fundamentalmente o fato de que a falta de ferramentas e de automação destas últimas atividades ainda não comprometerem de forma significativa a viabilidade do negócio.

Esta maneira de gerir é criticada por Suzana Schwartz (SCHWARTZ,2003), especialista em tecnologias de sistemas de suporte à operação (OSS) e sistemas de suporte ao negócio (BSS):

“Enquanto outras indústrias utilizam sistemas automatizados para associar pedidos de clientes aos recursos, as operadoras de telecomunicações ainda dependem de planilhas para rodar seu negócio multibilionário”.

Em suma, esta discussão permite concluir que por força de mercados cada vez mais competitivos, diminuição de força de trabalho e pelo fato da complexidade de rede atingirem patamares que inviabilizam a administração humana sem uso de ferramentas computacionais adequadas, a administração da rede de telecomunicações passará por muitas mudanças nos próximos anos.

Em um cenário futuro, ainda com base nesta discussão, é possível prever dois caminhos para as operadoras:

- Assumir como missão a administração própria da rede através de capacitação técnica, melhoria dos processos e desenvolvimento/contratação de sistemas computacionais adequados para gerir uma rede altamente complexa em um nível de excelência, ou;
- Se ver obrigada à ceder as pressões e partir para opção de *outsourcing*, na qual estará abrindo mão de grande parte do controle e inteligência da rede;

O objetivo deste trabalho é buscar e justificar um sistema de Gestão Integrada de Rede (GeIR) que permita à própria operadora administrar a complexidade de uma rede de transporte em um nível de excelência e vencer alguns dos seus maiores desafios.

## 1.1 - ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho será dedicado à rede de transporte e seu foco será o delineamento de um sistema de informação que permita gerir os recursos da rede com elevado grau de otimização. Tal sistema deverá dar suporte aos seguintes aspectos:

- Tecnológico ou de planejamento de rede: onde serão destacadas funcionalidades necessárias para expansão da rede existente considerando novas arquiteturas e tecnologias, de modo a minimizar o CAPEX para o crescimento adequado da rede;
- Operacional ou de gerenciamento de rede: onde serão abordadas otimizações de recursos existentes na rede buscando alternativas para minimizar OPEX (diminuir tempo e recursos necessários para provisionamento de circuitos e para manutenção das informações da rede) e minimizar o CAPEX através da liberação de recursos sub-utilizados na rede de hierarquia digital síncrona (SDH). Das cinco áreas funcionais da gerência OSI (*Open System Interconnection*), neste trabalho serão focados apenas o gerenciamento de configuração e o gerenciamento de contabilização. O gerenciamento de falhas está relativamente evoluído nas operadoras e os gerenciamentos de segurança e de desempenho agregam pouco valor à proposta defendida neste trabalho.

O Capítulo 2 apresenta os principais sistemas de informação associados à rede de transporte e também trabalhos relacionados ao tema abordado nesta dissertação.

O Capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica dos principais conceitos utilizados neste trabalho. Inicialmente será contextualizada a rede de transporte, sua evolução e tendências. Num segundo passo serão abordados os sistemas de gerência que são as fontes primárias de informação de uma rede de transporte. A seguir, será abordado o eTOM (*Enhanced Telecommunications Operation Map*), que é a proposta consensual de visão estruturada do negócio de telecomunicações e que servirá de base para proposta do sistema de informações defendido neste trabalho. Também serão abordados conceitos de grafos, que serão utilizados para representar a rede SDH e algoritmos de busca do menor caminho necessários para otimização de circuitos e caminhos da rede SDH.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento desta dissertação. Serão apresentadas as características necessárias para que um sistema de informações

permita alcançar elevado nível de otimização de recursos. Os ganhos subjetivos, caracterizados como custos de falta de informação, serão exemplificados. Os ganhos diretos serão obtidos a partir dos sistemas de gerência das redes SDH. Nos dados obtidos destas redes serão aplicados algoritmos de otimização para re-roteamento do tráfego e o resultado será comparado com a situação atual, indicando oportunidades mensuráveis de otimização de recursos. É importante salientar que durante todo o texto o termo “re-roteamento” será utilizado no sentido de computar um novo caminho e até estabelecê-lo no sistema de gestão integrada da rede (GeIR) proposto neste trabalho. Entretanto não se trata da efetivação deste re-roteamento nos equipamentos da rede. Esta função ainda ficará a cargo do operador de rede. Uma das evoluções deste trabalho será justamente integrar o GeIR com sistemas de gerência de rede (NMSs) de modo a permitir que as novas rotas computadas pelo GeIR sejam automaticamente provisionadas na rede.

O Capítulo 5 apresenta e discute os resultados obtidos através do re-roteamento de tráfego nas redes SDH.

O Capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho, sua aplicação no mercado de telecomunicações e indica possibilidades de evolução.

## 2 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados diversos sistemas de informações associados à rede de transporte e também trabalhos relacionados ao tema desta dissertação.

Na Figura 2.1 estão indicados diversos sistemas de informação associados à rede de transporte.

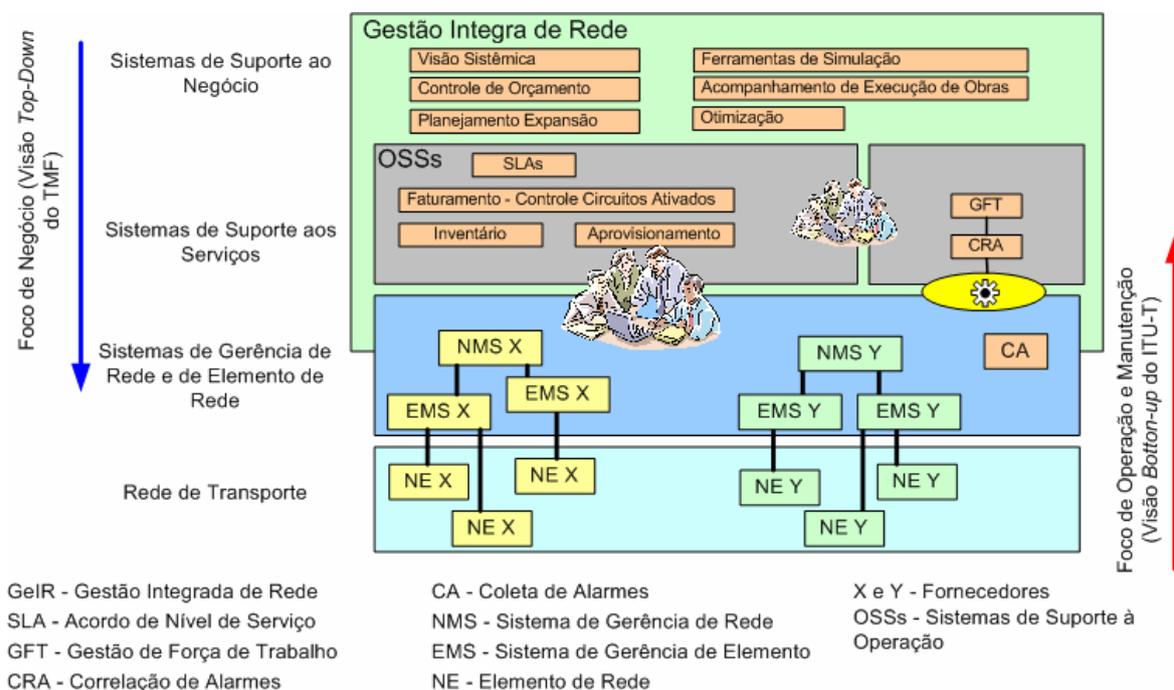


Figura 2.1 – Exemplos de sistemas de informação associados à rede de transporte

Desta figura, os sistemas de gerência EMS e NMS são bem estruturados e funcionais, herança das especificações para TMN do ITU-T (Visão *bottom-up*). Entretanto estes sistemas são proprietários e de difícil inter-funcionamento com outros sistemas. Os sistemas de correlação de alarme (CRA) e gerência de força de trabalho (GFT), por serem críticos para manutenção do negócio, estão relativamente bem evoluídos nas operadoras. Os demais sistemas ainda dependem fortemente de interfaces humanas. O artigo de Yongxing indica que a atenção de grandes operadoras está se voltando para implementação de sistemas de suporte a operação (OSSs) mais abrangentes e integrados (YONGXING, 2007), conforme proposta de gestão integrada de rede (Visão *Top-Down*) apresentada na Figura 2.1, e é este assunto que será discutido neste trabalho.

A integração entre gerência de redes e sistemas de informação é um ponto chave na administração eficiente das redes e vem evoluindo consideravelmente nos últimos anos conforme estudo do INS – *International Network Services* (BLUM, 2004) conforme Figura 2.2.

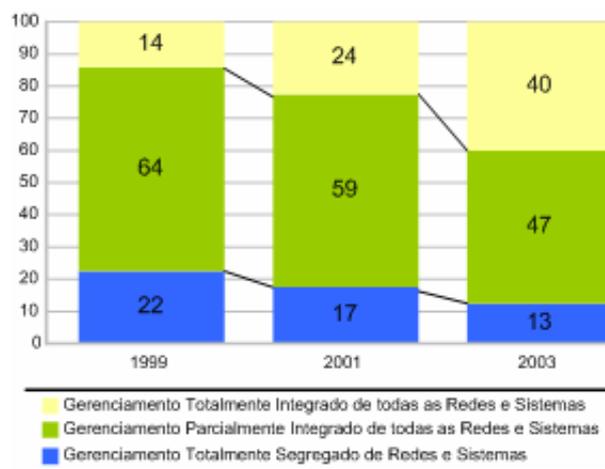


Figura 2.2 – Evolução do nível de integração de redes e sistemas (Modificado BLUM,2004)

A seguir serão discutidos os principais sistemas de informação e trabalhos relacionados ao tema defendido nesta dissertação.

## 2.1 - SISTEMAS DE GERÊNCIA

Invariavelmente, qualquer solução de sistemas OSS para rede de transporte, como a proposta desta dissertação, deve ser baseada em interfaces com sistemas de gerência de elemento de rede (EMS) ou de rede (NMS).

Mazzini (MAZZINI *et al*, 2003) apresenta os problemas envolvidos na definição e padronização destas interfaces. As necessidades estão associadas ao fato de que as grandes redes de transporte geralmente são compostas por equipamentos de diversos fornecedores, como resultado da estratégia das operadoras de não depender de um único fornecedor na construção destas redes. Para cada fornecedor são necessários treinamentos e métodos específicos para operação dos equipamentos e interfaces gráficas de usuário (GUI). Naturalmente existe uma pressão cada vez maior por parte das operadoras de uma visão centralizada de toda a rede. Um outro nível de complexidade é agregado devido à característica multi-tecnológica das redes modernas, nas quais aspectos de multi-

forneecedores são multiplicados pelo número de tecnologias (PDH – hierarquia digital plesiócrona, SDH – hierarquia digital síncrona, DWDM – multiplexação por divisão densa de comprimentos de onda). A Figura 2.3 indica a arquitetura atual de gerência de rede herdada dos padrões do ITU-T, exigindo equipes especializadas por NMS e interação mínima entre NMSs distintos.

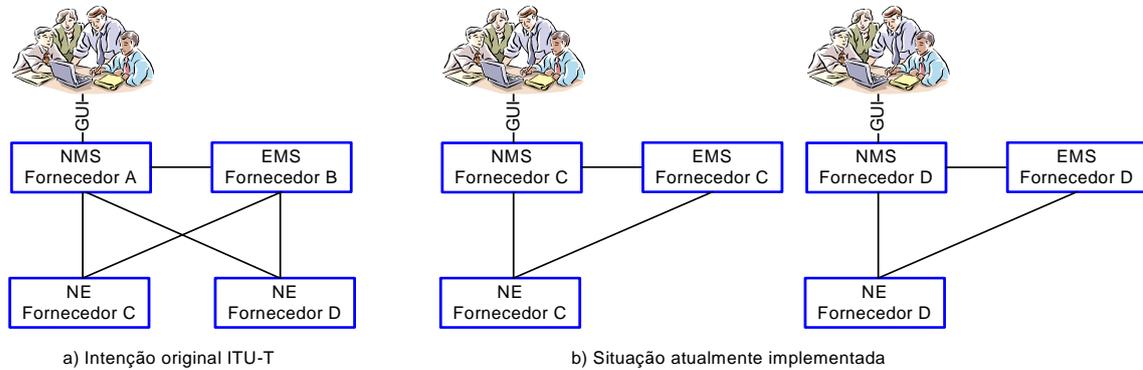


Figura 2.3 – TMN – Intenção original versus situação atualmente implementada  
(Modificado ELLANTI, 2005)

Outras questões relevantes a respeito das interfaces com os sistemas de gerência são se a integração deve ser feita em nível de elemento de rede ou em nível de rede e qual o grau de detalhe deve ser adotado para o modelo de informações. Segundo Mazzini, se o sistema de suporte à operação OSS for orientado a serviços ou sistêmico, a integração em nível de rede é a mais indicada. A vantagem deste modelo de integração é a abstração permitida pela gerência de rede que resulta em uma sumarização para o OSS. A integração em nível de elemento de rede é indicada para OSS de operação e manutenção da rede, como correlação de alarmes e gerência de força de trabalho.

Quanto ao grau de detalhe, a escolha pode ser por um grau maior, o que aumenta a transparência do modelo, ou pela opção de “caixa preta” com um menor grau de detalhamento. A proposta transparente expõe mais detalhes da rede permitindo uma administração mais eficiente. Em contrapartida aumenta a complexidade devido ao maior número de entidades que devem ser representadas. A opção de um menor detalhamento simplifica a implementação, entretanto apresenta baixo valor agregado. Como exemplo, uma rede SDH tratada como “nuvem” não permite definir a ocupação das vias de alta ordem existentes limitando seu uso para roteamento e planejamento de capacidade.

Ainda segundo Mazzini, a definição ideal de interface para sistemas OSS deveria apresentar as seguintes características:

- Possuir detalhes definidos ao máximo possível, para minimizar variações de interpretações da especificação destas interfaces entre fornecedores distintos;
- Permitir nível de detalhe para um modelamento transparente da rede;
- Permitir integração em nível de gerência de rede;
- Ser multi-tecnológica;
- Ser extensível para novas tecnologias.

Várias organizações (ISO – *International Organization for Standardization*, ITU-T – *International Telecommunications Union*, IETF – *Internet Engineering Task Force*, TMF - *TeleManagement Forum*) trabalharam, e ainda trabalham, no desenvolvimento de serviços, protocolos e arquiteturas para sistemas de gerência indicando as dificuldades de se alcançar um consenso e um modelo completo. Para a rede de transporte, a proposta mais completa é a do TMF através da proposta de Gerenciamento de Rede Multi-Tecnológica (MTNM) (MAZZINI *et al*, 2003). Adicionalmente, o TMF tem se destacado pela visão *top down*, conforme Figura 2.1, através da qual busca entender as necessidades do negócio e propor a adoção de processos para gestão do negócio e da rede. Este novo modelo denominado eTOM, acabou sendo reconhecido pelo ITU-T através da recomendação M.3050 em 2004. O próprio ITU-T reconhece que a proposta do TMF está mais alinhada com a tendência de mercado onde os investimentos de telecomunicações estão sendo cada vez mais norteados por decisões de negócio do que por questões tecnológicas (M.3050.Sup3, 2004).

Os sistemas de gerência são indispensáveis na administração de redes de transporte, entretanto são insuficientes para redes altamente complexas em um ambiente altamente competitivo. Sims (SIMS, 2006) indica ponto de vista da VERIZON<sup>3</sup>, segundo a qual, redes multi fornecedores necessitam mais que plataformas NMS para serem operadas. Neste sentido, defende um sistema de suporte que inclua a automatização do provisionamento, gerenciamento de falhas, faturamento, inventário e o acompanhamento dos limiares de ocupação.

---

<sup>3</sup> Operadora com maior rede de telecomunicações própria do mundo, prestando serviço em 6 continentes (150 países e mais de 2700 cidades), uma das maiores redes IP do mundo com mais de 1.000.000,00 km de cabos ópticos (SIMS, 2006).

## 2.2 - FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DE REDE

O desenvolvimento de ferramentas computacionais aplicadas à rede de transporte é um assunto muito estudado e normalmente foca a sua expansão. Estas ferramentas trabalham com nós, arcos e matrizes de tráfego para propor evolução da rede através de simulações. Neste sentido, vários trabalhos foram desenvolvidos, alguns merecendo destaque:

- **REFORMA**: família de ferramentas computacionais para planejamento de redes ópticas PDH e SDH desenvolvida pelo centro de pesquisa e desenvolvimento da Telefônica (PDT). Inicialmente esta ferramenta foi utilizada para estudar a evolução de redes PDH para SDH, entretanto serviu também para estudos de expansão da rede SDH (EURESCOM, 2000);
- **DIAMOND**: ferramenta de planejamento que permite trabalhar com duas camadas nas quais as redes SDH e DWDM podem ser tratadas simultaneamente (EURESCOM, 2000). Esta ferramenta foi desenvolvida pelo centro de pesquisa da Telecom Itália CSELT, hoje denominado TILAB.
- **ESTREL-S**: ferramenta de planejamento desenvolvida pela CNET, divisão de pesquisa e desenvolvimento da France Telecom, focada em soluções para redes SDH (EURESCOM, 2000). Permite avaliar quantidade de anéis e ADMs (*Add/Drop Multiplexers*) necessários para atender uma dada matriz de tráfego por nós de concentração ou, partindo de uma estrutura definida de anéis, indicar sua melhor utilização considerando uma dada matriz de tráfego;

Estas soluções são estratégicas para estas empresas e por este motivo são poucas as informações relativas ao modelamento de dados e exemplos de interfaces gráficas.

No Brasil, merece destaque o sistema DSS (*Decision Support System*) defendido na dissertação de Detoni (DETONI, 2001) junto à Universidade Federal do Espírito Santo, que propõe um sistema de suporte à decisões para planejamento de redes multicamadas (fibras, galerias, equipamentos) garantindo proteção da rede e minimizando custos. O sistema proposto é composto de três sub-sistemas integrados: banco de dados, interface gráfica e ferramentas de otimização. Uma arquitetura semelhante será utilizada no protótipo desenvolvido nesta dissertação: base de dados e ferramentas de otimização desenvolvidas em ACCESS e interface gráfica com aplicativo VISIO. Adicionalmente, Detoni apresenta um histórico do desenvolvimento de ferramentas para planejamento de

rede no Brasil, a importância da visualização gráfica na administração de redes de transporte e identifica a dificuldade na entrada de dados como um dos maiores desafios para ferramentas de simulação.

Algumas das características destas ferramentas limitam sua aplicação ao tema defendido nesta dissertação:

- Foco em planejamento de longo prazo;
- Entrada de dados não é otimizada através de mediação com sistemas de gerência (NMS/EMS);
- Algumas metodologias, como programação linear inteira, são limitadas para redes altamente complexas compostas de milhares de equipamentos e arcos;
- Foco na expansão da rede ou no roteamento ótimo de todo o tráfego. A realização de otimização de recursos por re-roteamento de tráfego atual não é o foco destas ferramentas.

Atualmente um novo conjunto de sistemas de planejamento tem surgido. Com o intuito de aumentar a flexibilidade e a escalabilidade de capacidade da rede de transporte existe uma forte tendência de adoção de topologias em malha. Entretanto, o nível de complexidade para administrar e planejar esta rede exige ferramentas específicas que estão sendo fornecidas junto com os equipamentos. Estas soluções são pacotes de *software* que interagem com os sistemas de gerência do fornecedor permitindo simulações de falhas, roteamentos ou cenários de expansão. Uma vez definida a migração para arquitetura ASON/GMPLS com equipamentos de um fornecedor, a contratação da ferramenta de planejamento associada será praticamente obrigatória, assim como já é a contratação de sistemas de gerência de elemento e de rede deste fornecedor.

### **2.3 - OTIMIZAÇÃO DE REDE**

O final dos anos 90 apresentou um forte crescimento das redes de telecomunicações. Milhares de quilômetros de fibra foram construídos, muitos sistemas de transmissão foram implantados, dúzias de novas empresas operadoras e fornecedoras surgiram no mercado e buscaram seu espaço na disputa dos lucros. O subsequente movimento contrário do mercado levou algumas empresas ao limiar de catástrofe (JAJSZCZYK, 2005). No início

de 2001, após o estouro da “Bolha da Internet”<sup>4</sup>, as operadoras foram forçadas à mudar seu foco de expansão da rede para a maximização do retorno do investimento através do aumento da eficiência e da minimização de custos operacionais. O trabalho elaborado por Mark Brownlie (BROWNLIE, 2003) indica os esforços feitos pela British Telecom neste sentido. Brownlie apresenta uma ferramenta de planejamento para gestão de capacidade (Nível de VC-4 e VC-4c) e inventário denominada “Utilisator” (Figura 2.4).

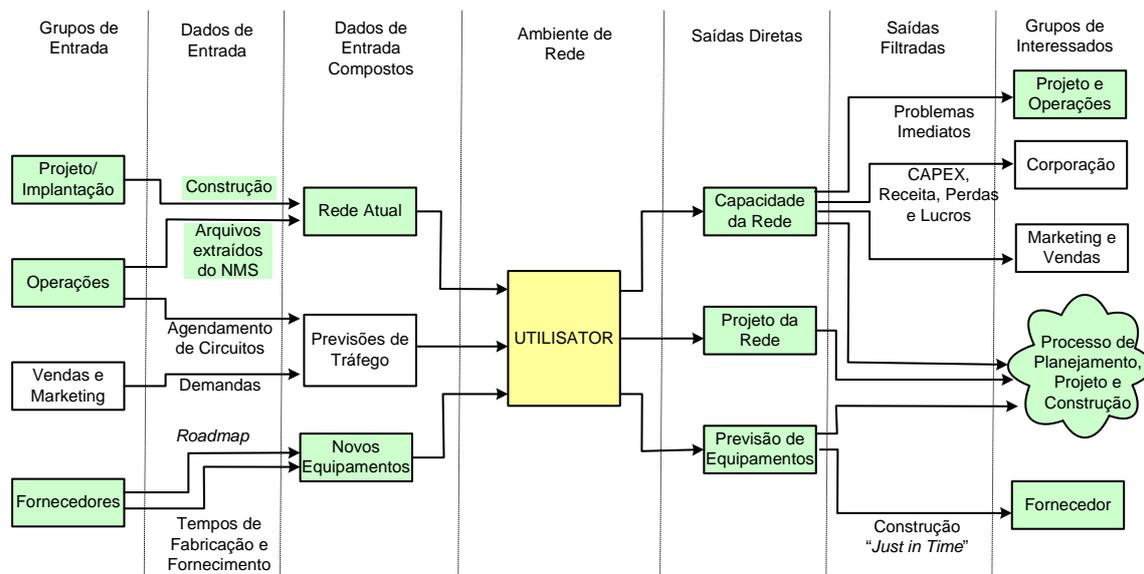


Figura 2.4 – Utilisator – Diagrama do processo de planejamento de capacidade  
(Modificado BROWNLIE, 2003)

Muitas das funcionalidades e pontos de vista sobre otimização de rede desta ferramenta fazem parte do sistema proposto nesta dissertação. A Figura 2.4 destaca as principais funcionalidades utilizadas. Quanto aos pontos de vista, podem ser citados o uso de sistemas NMS como fonte primária de informação e a busca de um sistema único que permita:

- Uma visão padronizada da rede para diversos grupos dentro da empresa;
- Maximizar o potencial de receita da rede;
- Minimizar gastos de CAPEX e OPEX;
- Otimizar os processos de planejamento, projeto, implantação e operação.

<sup>4</sup> - Denominação dada ao fenômeno de supervalorização das empresas pontocom que indicavam forte crescimento de necessidades de banda no final dos anos 90.

No Brasil, o trabalho de Amorim (AMORIM, 2006) merece destaque quanto ao foco de otimização de rede SDH utilizando programação linear inteira. No seu trabalho, Amorim aborda duas questões, a saber: o Problema de Planejamento de Novas Redes de Telecomunicações (PPNRT), que foge da proposta deste trabalho; e o Problema de Configuração de *Trails* nas Redes SDH (PCTRS). Neste trabalho as ocupações das vias de alta ordem são otimizadas por anel no sentido de ocupar o menor número de arcos e de maximizar o número de vias minimamente utilizadas em todo o anel.

Amorim sugere como evolução do seu trabalho o estudo de soluções para problemas com múltiplos anéis e centenas de equipamentos, ou seja, redes altamente complexas. Este será o assunto abordado nesta dissertação, entretanto, sem utilizar a programação linear inteira e focando apenas minimizar a ocupação dos arcos por vias de alta ordem, devido às limitações para formulação do problema para grandes redes. A rede simulada nesta dissertação será composta de 458 nós e 469 interligações de equipamentos e se trata de uma amostra estadual da operadora Brasil Telecom. A abordagem proposta permitirá que a mesma metodologia seja aplicada para toda a rede de transporte corporativa.

## **2.4 - SISTEMA DE INVENTÁRIO DE REDE**

É um dos sistemas de informações mais importantes na evolução para uma gestão integrada de recursos, entretanto é um tópico espinhoso para a maioria das grandes operadoras, pois normalmente está associado ao conceito de elevado consumo de recursos (custo das ferramentas Figura 2.5), para pouco resultado mensurável (dificuldade de justificar custos, benefícios e falta de comprovação dos benefícios da Figura 2.5).

Existem diversas razões inter-relacionadas que justificam este posicionamento:

- Realmente consome orçamento, tempo e pessoas muitas vezes indisponíveis devido ao foco em problemas imediatos;
- Experiências de insucesso na contratação de ferramentas que quando da implantação extrapolaram o orçamento original ou que não atenderam as expectativas, por problemas de especificação (falta de pessoal experiente Figura 2.5) ou limitação de ferramentas comerciais;
- Falta de desenvolvimento de massa crítica que permita definir claramente o que se pretende executar, como executar e em qual prazo. Este problema limita a visão dos

riscos de não implementar um sistema de inventário, assim como dos ganhos que este sistema pode trazer;

- Consideráveis custos de implantação e principalmente de manutenção - tanto das informações em si, quanto de sistema de TI;
- Falta da real percepção da dimensão deste problema e de que sua complexidade cresce a cada ano, indicando necessidade de elevado grau de comprometimento para resolvê-lo.

Algumas destas razões são também apontadas pela pesquisa do INS como barreiras significantes para melhorar a capacidade do NOC (BLUM, 2004) conforme Figura 2.5.

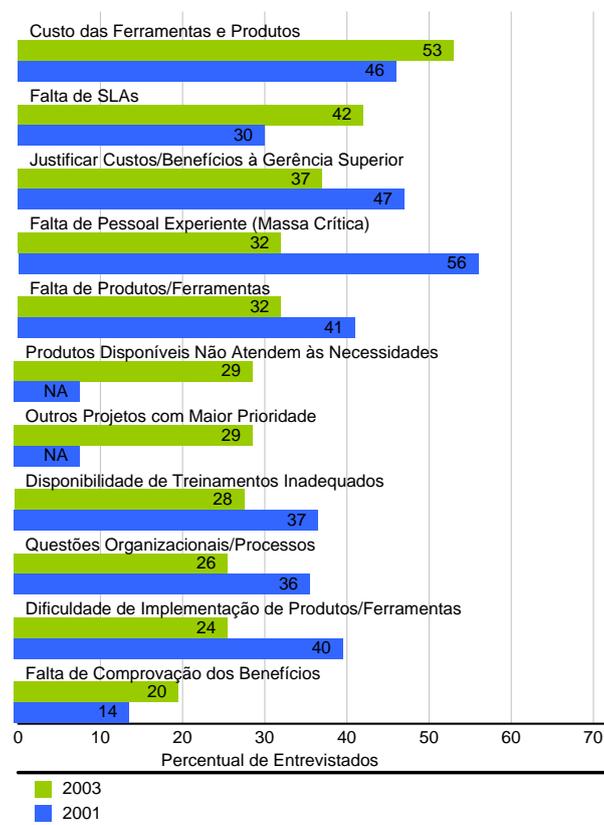


Figura 2.5 – Maiores barreiras para melhorar a capacidade do NOC (Modificado BLUM, 2004)

Apesar da sua importância, o inventário puro não atende plenamente as necessidades de um sistema de gestão integrada da rede. No Capítulo 4 serão apresentados diversos níveis de abstração, ou visualizações sistêmicas, que um sistema de inventário deve permitir para realmente fazer parte de um sistema de gestão integrada de rede.

## 2.5 - GESTÃO INTEGRADA DE REDE

A gestão integrada de rede é uma visão que pode ser considerada como “estado da arte” na administração de recursos. Seu principal objetivo é fornecer uma visão sistêmica para diversas áreas da empresa e atuar como catalisadora no processo de expansão e operação da rede, também denominado processo do ciclo de vida da rede.

O Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Telefônica vem trabalhando desde 2003 no desenvolvimento do sistema denominado GEISER (Gestão Integrada de Serviços de Rede de Transporte) (TID, 2005/2006/2007). Este sistema entrou em produção na Telefônica da Espanha no ano de 2005. Segundo o relatório anual de 2006, este sistema alcançou 80% do seu desenvolvimento e atendeu 40% da rede de transporte no final de 2006. Como um gestor para toda a rede, este sistema trata até o provisionamento de circuitos fim a fim (E2E) através de interfaces com sistema de gerência, eliminando os domínios de gestão proprietários dos diversos fornecedores.

O artigo de Cassone (CASSONE *et al*, 2002) apresenta alguns resultados dos esforços do Centro de Pesquisa da Telecom Itália na busca de um sistema integrado para sua rede de transporte. O sistema desenvolvido, denominado SGSDH-NM, na época possuía interface com 63 gerências de elementos de rede de três tecnologias diferentes, gerenciava 7.062 elementos de rede e 200.000 circuitos. A taxa de crescimento da rede atendida por este sistema era de 8.000 circuitos ao mês, atendidos por provisionamentos E2E.

Segundo (YONGXING, 2007), quase todas as grandes operadoras implementaram ou estão construindo Sistemas de Suporte a Operação. Cita como exemplo a premissa básica da rede BT's 21CN<sup>5</sup> de construir um sistema OSS multi-tecnológico e multi-fornecedor para provisionamento E2E. E também os sistemas OSSs implementados pela Telecom Itália

---

<sup>5</sup> A rede BT's 21CN da British Telecom é a programa mais radical de transformação na atualidade da indústria de telecomunicações. Seu principal objetivo é construir uma rede de nova geração, que permita uma redução de custos da ordem de 1 bilhão de libras ao ano já em 2008/2009, disponibilizar banda larga em toda a região (até 24Mbps por usuário), assim como preparar a rede para novos serviços. [www.btplc.com/21CN](http://www.btplc.com/21CN)

(SGSDH-NM) e pela Telefônica (GEISER) que já permitem o provisionamento multi-tecnológico e multi-fornecedor E2E.

Na busca de soluções indicadas pelos relatórios do centro de pesquisa da Telefônica e da Telecom Itália, será proposto um sistema de informação que permita gerir uma rede de transporte multi-fornecedores de forma integrada e que permita funções de cálculo e a seleção de vias requeridas para o provisionamento de circuitos denominado GeIR.

### 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos principais conceitos utilizados neste trabalho. Inicialmente será contextualizada a rede de transporte, sua evolução e tendências. Num segundo passo serão abordados os sistemas de gerência que são as fontes primárias de informação de uma rede de transporte. A seguir, será abordado o eTOM (*Enhanced Telecommunications Operation Map*), que é a proposta consensual de visão estruturada do negócio de telecomunicações e que servirá de base para proposta do sistema de informações defendido neste trabalho. Também serão abordados conceitos de grafos, que serão utilizados para representar a rede SDH e algoritmos de busca do menor caminho necessários para otimização de circuitos e caminhos da rede SDH.

#### 3.1 - REDE DE TRANSPORTE

Uma rede de telecomunicações é um conjunto integrado de equipamentos e softwares para prover serviços de comunicações (voz, vídeo, dados). Estas redes tipicamente são construídas considerando alguns aspectos básicos como capacidade, confiabilidade, flexibilidade, escalabilidade e capilaridade.

Para entender a rede de transporte é importante primeiramente contextualizá-la em uma rede de telecomunicações. Esta última pode ser dividida em três grandes categorias (Figura 3.1):

- Acesso – responsável pelo acesso de clientes/usuários à uma plataforma de atendimento. Normalmente disponibiliza meios físicos dedicados à cada cliente ou pequeno grupo de clientes, ou seja, baixa capacidade de multiplexação<sup>6</sup>. Quando existe um maior compartilhamento de meios físicos passa a ser tratada como rede de transporte de acesso. Aspectos de capilaridade, capacidade e flexibilidade são mais relevantes;
- Plataformas ou comutação – responsável pela otimização de recursos requeridos pelos usuários no estabelecimento de conexão (orientada à conexão) ou

---

<sup>6</sup> Multiplexação é a função que permite agregar diversos sinais de baixa taxa em um sinal de hierarquia superior. A multiplexação pode ser feita em tempo (TDM), em frequência (FDM), em comprimento de onda (WDM) ou por código (CDM).

comunicação (orientada a pacotes) com outros clientes ou serviços. Sua principal função é compartilhar os recursos disponíveis com os clientes que estão interligados via rede de acesso. Suas principais características são capacidade de estabelecimento de conexões no menor tempo, flexibilidade para permitir vários serviços, confiabilidade operacional e escalabilidade;

- **Transporte ou transmissão** – responsável pela multiplexação e transporte das informações entre plataformas ou nós concentradores em localizações distintas com interesse comum em função do tráfego ou da arquitetura da rede de plataformas. Suas principais características são capacidades de escoamento, flexibilidade no roteamento de circuitos, escalabilidade, confiabilidade garantindo mínimo tempo de resposta em caso de falha e capacidade de compartilhamento de recursos reserva.

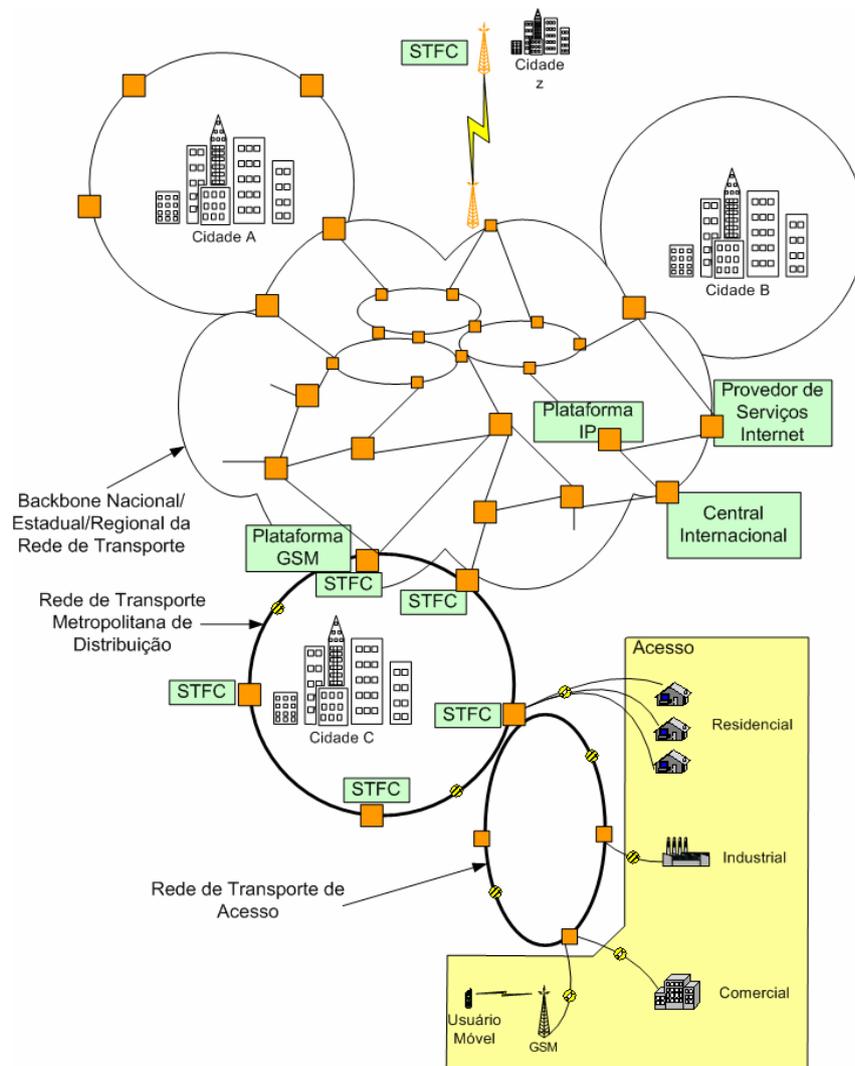


Figura 3.1 – Contextualização da rede de transporte

Com o crescimento de tamanho e de capacidade das redes de transporte, aumenta a importância de sistemas de Operação, Administração, Manutenção e Aprovisionamento (OAM&P). Como exemplo desta importância, a atual falta de capacidades de OAM&P tem limitado o uso de Ethernet como tecnologia de rede de transporte em redes de grande porte (ELLANTI *et al*, 2005).

Tradicionalmente, a rede de transporte pode ser classificada geograficamente ou por escopo funcional (ELLANTI *et al*, 2005). Geograficamente pode ser classificada como um sistema Nacional, Estadual, Regional ou Urbano/Metropolitano. Funcionalmente pode ser classificada como *backbone*, distribuição e acesso. Estas classificações permitem dividir a rede em camadas, tornando-a mais simples de ser administrada e compreendida.

Uma outra visão da rede de transporte é dada pela sua decomposição em três camadas lógicas: plano de transporte, plano de gerenciamento e plano de controle (ELLANTI *et al*, 2005). O plano de transporte define uma arquitetura em camadas (ex: SDH através da G.803, e OTN – *Optical Transport Network* através da G.872). O plano de gerenciamento também é organizado em camadas (M.3010, 2000) e se preocupa com o gerenciamento da rede. O plano de controle ou sinalização tem por objetivo atender ao estabelecimento dinâmico de conexões com/sem o auxílio explícito do plano de gerenciamento (ELLANTI *et al*, 2005).

É o plano de controle a atual preocupação das entidades de normatização a respeito da rede de transporte, e suas definições é que serão os maiores direcionadores da evolução desta rede.

### **3.1.1 - Histórico da Rede de Transporte no Brasil**

O Brasil sempre acompanhou de perto a evolução das redes de telecomunicações. Antes das primeiras centrais manuais do mundo serem ativadas em grandes cidades como Londres (1883), Tóquio (1890), Munique (1904), em 1877, D. Pedro II instalou uma linha do Palácio da Quinta da Boa Vista, onde hoje funciona o Museu Nacional, até as residências de seus ministros no Rio de Janeiro (VIERIA, 2005).

Em 1881 foi concedido à Companhia Telefônica do Brasil (CTB) autorização para construir linhas telefônicas no Rio de Janeiro e subúrbios o que a tornou a primeira entidade a explorar o serviço de telefonia com fins comerciais no Brasil (VIERIA, 2005).

Em 1960, o setor estava totalmente estagnado por falta de investimentos. Como resultado, as concessões foram cassadas e empresas foram desapropriadas e estatizadas (VIERIA, 2005). Foi criado o Ministério das Comunicações e em 1965 foi criada a Embratel (SHIMA, 2007), empresa à qual foi atribuída a instalação de um sistema de comunicações interurbanas de alta capacidade cobrindo todo o território nacional. Esta primeira rede de transporte brasileira foi construída com sistemas microondas analógicos.

Em 1972, foi criada a *holding* Telebrás que nos anos seguintes passou a incorporar companhias nos Estados e Municípios que prestavam os serviços de forma isolada da rede nacional (SHIMA, 2007). Como resultado a Telebrás passou a controlar 90% da rede de telecomunicações instalada no Brasil (SHIMA, 2007).

Nos anos 80, os sistemas digitais plesiócronicos (*PDH*) se consolidaram como tecnologia para rede de transporte substituindo os sistemas analógicos. Foram construídas as primeiras rotas digitais de alta capacidade através de rádios operando em modulação de amplitude em quadratura *QAM* na faixa de 5GHz.

Na início dos anos 90, sistemas rádio de hierarquia digital síncrona (*SDH*) começaram a substituir os sistemas *PDH*<sup>7</sup> em novas implantações. A queda no custo de construção de redes ópticas em conjunto com a flexibilidade, padronização, inteligência e robustez do sistema *SDH*, levou a um rápido crescimento desta rede a partir da segunda metade da década de 90. O trabalho de Machado (Machado, 1996) cita o *SDH* como uma realidade sendo implantada em várias empresas no Brasil e apresenta estudo sobre o mapeamento de sinais de baixa ordem.

---

<sup>7</sup> Equipamentos *PDH* ainda são utilizados na rede de transporte em sistemas de baixa capacidade e que não requeiram funções mais avançadas como re-roteamento de tráfego, proteção, gerência. Tipicamente esta solução está associada com rádio enlaces de baixa capacidade e modems de acesso.

Como referência, entre 1976 e 1996 a rede de telecomunicações no Brasil cresceu muito mais rápido que a população e que o crescimento econômico: a população cresceu 50% e o PIB aproximadamente 80%, enquanto a rede telecomunicações cresceu cerca de 400% (SHIMA, 2007).

Novamente, no final dos anos 90, a rede de telecomunicações brasileira não conseguia crescer na velocidade necessária para atendimento das necessidades do país devido à falta de investimento. E em 1998, seguindo a tendência de abertura de mercado mundial, as operadoras de telecomunicações brasileiras foram privatizadas. Com metas a serem cumpridas, uma grande demanda reprimida e indicações de grande necessidade de banda para internet, as operadoras investiram alto para se estabelecer nas suas regiões. Em 2001 a demanda reprimida havia sido drasticamente diminuída quando houve o estouro da “Bolha da Internet”. A partir deste ponto as operadoras passaram a buscar a utilização máxima dos recursos instalados minimizando custos operacionais, ao mesmo tempo em que buscam novos serviços para diminuir a perda de receita por migração de serviços de voz para IP e pela concorrência.

Do ponto de vista de tecnologia de transporte, a partir do ano 2000, a multiplexação de comprimentos de onda (WDM) começou a ser amplamente utilizada no Brasil como forma de simplificar a ampliação de capacidade em rotas interurbanas e resolver problemas de esgotamentos de cabos ópticos, entretanto basicamente como enlaces ou barramentos. As redes SDH mantiveram o crescimento, pois continuaram sendo responsáveis por aspectos básicos da rede de transporte como a flexibilidade tanto no roteamento quanto nos tipos de interfaces, a sobrevivência e o compartilhamento de recursos reserva.

Para a próxima década se espera a consolidação das redes totalmente ópticas (OTN – *Optical Transport Network*) como principal tecnologia da rede de transporte e também grandes evoluções no seu plano de controle (ELLANTI *et al*, 2005).

### 3.1.2 - Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH)

Sistemas plesiócronicos, ou quase síncronicos, são sistemas onde o *clock* dos sinais nos equipamentos multiplex são idênticos apenas dentro de limites especificados de tolerância (CINKLER, 2002). Sinais desta natureza ainda são comuns e provenientes de diversas plataformas de comutação, entretanto como rede de transporte seu uso atualmente é muito limitado.

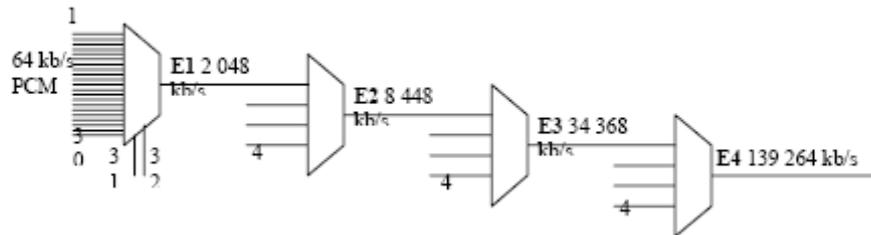


Figura 3.2 – Estrutura do padrão europeu de multiplexação PDH (CINKLER, 2002)

Segundo (CINKLER, 2002) os principais prós e contras desta tecnologia são:

- As taxa de transmissão de dispositivos individuais podem apresentar variações da taxa nominal, e apesar disto, o sistema irá operar sem problemas;
- O sinal de sincronismo (*clock*) não precisa ser distribuído na rede;
- Multiplexação é executada bit a bit;
- Estruturas completas devem ser demultiplexadas a cada nível. Como exemplo para atender uma localidade com 1 E1 (2Mbps) a partir de um sinal E4 (140Mbps) próximo, todos os níveis deverão ser demultiplexados (Figura 3.3);
- As versões americana, européia e japonesa são diferentes;
- Não há espaço suficiente para transmitir informações de operação e manutenção ou possibilitar outras informações;
- Não é fácil prover proteção.

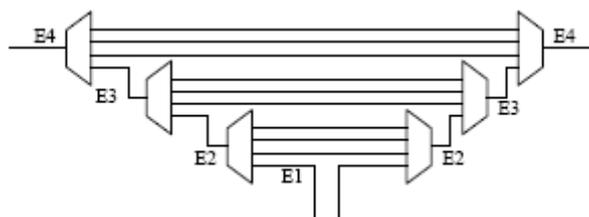


Figura 3.3 – Problema da multiplexação de estruturas completas na tecnologia PDH (CINKLER, 2002)

### 3.1.3 - Hierarquia Digital Síncrona (SDH)

O *American National Standards Institute* (ANSI) concebeu o sistema SONET (*Synchronous Optical Network*) para links transatlânticos no início de 1985. Na seqüência, o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) especificou o SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). Finalmente o ITU-T, concebeu um sistema combinando o SONET e o SDH, também denominado SDH, através das recomendações G.707, G.708 e G.709 no final de 1988 (CINKLER, 2002). No início, sua principal aplicação era para transporte de sinais PDH, entretanto também se mostrou excelente para transmissão de dados.

Os principais benefícios da tecnologia SDH sobre a rede precedente foram (ELLANTI *et al*, 2005):

- O SDH prove uma hierarquia padronizada para multiplexação de sinais em sistemas ópticos de transmissão com altas taxas;
- A estrutura do sinal SDH prove um método mais simples de multiplexação, especialmente pelo fato de ser capaz de formar sinais de taxas superiores pelo simples entrelaçamento de sinais básicos, e de ser capaz de acessar diretamente os sinais constituintes;
- Prover cabeçalhos embutidos nos sinais que reduziram significativamente os custos de configuração e operação da rede, aumentaram a disponibilidade da rede e garantiram o transporte da performance dos sinais de clientes pela rede;
- Devido à cooperação de entidades de padronização Norte Americanas, Européias e Asiáticas, a tecnologia SONET/SDH é altamente compatível.

O conceito de camadas foi utilizado no desenvolvimento do padrão SDH. Esta técnica permite separar as funções de cabeçalho de tal forma que apenas as funções necessárias em um dado ponto da rede precisem ser acessadas e processadas. Outra razão para esta abertura em camadas é que esta abordagem permite que o monitoramento de performance seja aplicado à vários níveis da conexão através da rede SDH. Por exemplo, um conjunto de cabeçalho atende links individuais entre seções de multiplexação, enquanto um outro conjunto atende o circuito fim-a-fim, de forma a eliminar a necessidade de coletar e correlacionar informações de vários links para determinar a performance do circuito fim-a-

fim (ELLANTI *et al*, 2005). Esta abertura em camadas está representada na Figura 3.4 e é descrita na recomendação G.783 (G.783, 2006).

Este trabalho irá propor um algoritmo de otimização para a camada 4 (HO Path) da referida figura. Este mesmo algoritmo com mínimas alterações poderá também ser aplicados a camada 5 (LO Path).

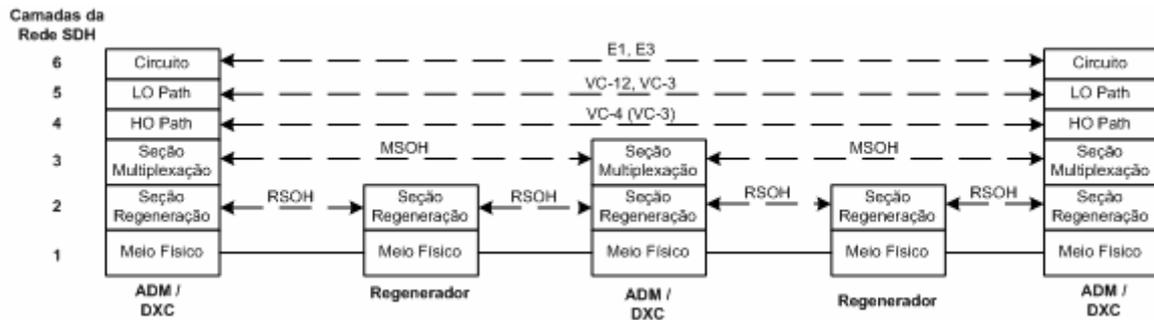


Figura 3.4 – Camadas da rede SDH (Modificado CABALLERO, 2005)

A organização da estrutura do sinal SDH é ilustrada na Figura 3.5. O container C-4 inclui 9 linhas, cada uma com 260 octetos. Os dados de tráfego são inseridos nele continuamente, por exemplo sinais PDH no nível de circuito E4 (140Mbps), células ATM ou pacotes IP. Containeres menores também podem ser inseridos em um container C-4. Todos os containeres são suplementados com um cabeçalho de caminho (POH – *Path Overhead*) de forma a se obter um container virtual (VC – *Virtual Container*). O VC é uma unidade completa e independente que pode ser alocada arbitrariamente em qualquer ponto da estrutura de nível superior e ainda ser inequivocamente identificado através do uso de ponteiros. Na Figura 3.5 a localização do VC-4 dentro da estrutura de um STM-1 é dada pelo ponteiro da unidade administrativa (AU) denominado 4 PTR (CINKLER, 2002).

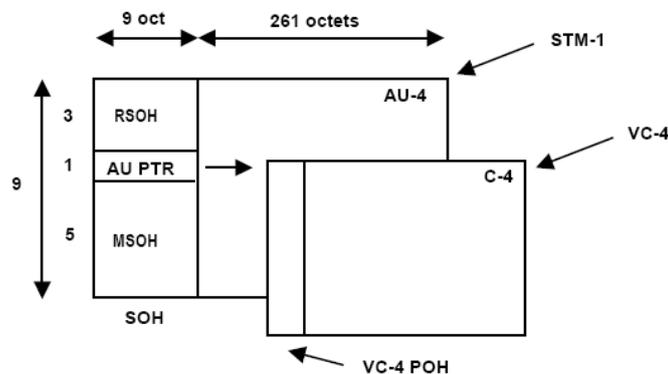


Figura 3.5 – Estrutura do quadro SDH (CINKLER, 2002).



(DXC), para referenciar equipamentos cuja principal função é permitir grande volume de conexões entre várias seções de multiplexação.

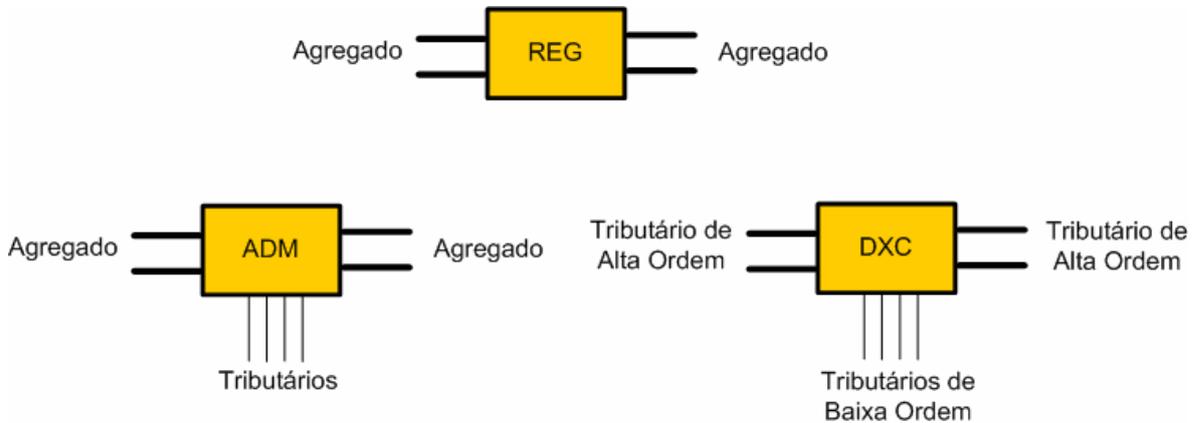


Figura 3.7 – Principais funções de equipamentos SDH

Os equipamentos ADMs e DXCs também são classificados de acordo com sua capacidade de tratar sinais. Assim sendo, ADMs e DXCs que tratam tanto circuitos de alta ordem quanto de baixa ordem são classificados com ADMs 4/1 ou DXCs 4/1 e equipamentos que tratam apenas alta ordem são classificados com ADMs 4/4 ou DXCs 4/4. Esta capacidade ou não de tratar circuitos de baixa ordem tem grande implicação na otimização proposta neste trabalho, pois as vias de alta ordem estruturadas para transportar tráfegos de baixa ordem devem obrigatoriamente terminar em *ADMs* ou *DXCs* com matriz de baixa ordem.

Tan (TAN, 2002) aborda o problema de dimensionamento de uma rede SDH. Segundo Tan, o problema de seleção de anéis consiste em selecioná-los de forma a minimizar o tráfego entre anéis, uma vez que este tipo de tráfego aumenta o custo da rede, sua complexidade e seus pontos de estrangulamento. Entretanto, são estas interligações entre anéis diretas ou indiretamente via DXCs que dão flexibilidade à rede de transporte. Adicionalmente, novos equipamentos SDH estão sendo disponibilizados com matrizes com grandes capacidades (720G e 960G) permitindo o fechamento de diversos anéis em um único nó, o que minimizou os custos para tráfegos entre anéis e aumentou consideravelmente a complexidade da rede, que é um dos problemas tratados neste trabalho.

### **3.1.4 - Equipamentos SDH Nova Geração**

As redes atuais, cada vez mais orientadas ao tráfego de dados, ainda dependem fortemente das redes SDH/SONET como camada de transporte. Uma vez que a camada 2, cliente da camada de transporte, é praticamente dominada por protocolos orientados a pacotes, a rede de transporte pode ser otimizada pela integração das funcionalidades de comutação e agregação de pacotes em um simples elemento de rede (GRNET,2006). Esta integração ocorre em plataformas denominadas *Multi Service Provisioning Platform* (MSPP) e *Multi Service Transport Platform* (MSTP).

Plataformas MSPP se propõem a simplificar arquiteturas de redes metropolitanas pelo colapso de ADMs, *cross-connects* e Comutadores de camada 2 e 3 em um único sistema. Tipicamente, implementações comerciais de MSPP são baseadas na integração de interfaces de dados em elementos de rede SDH (GRNET,2006). Plataformas MSTP, por sua vez, podem ser consideradas como plataformas MSPP com capacidades DWDM integradas para facilitar sua integração com equipamentos ópticos.

Através da combinação de comutação de circuitos e de pacotes, ambas as plataformas MSPP e MSTP oferecem significantes vantagens de escalabilidade em relação às redes legadas TDM. Adicionalmente, simplificam o provisionamento e proporcionam uma economia operacional significativa devido à integração em um único sistema de gerência.

Para facilitar a integração de transmissão e dados, novas funções de multiplexação foram desenvolvidas para flexibilizar a rede SDH/SONET, tais como o Procedimento Genérico de Mapeamento (GFP), a concatenação Virtual (VCAT) e Esquemas de Ajuste de Capacidade de Link (LCAS).

### **3.1.5 - Plano de Controle da Rede Óptica (ASON/GMPLS)**

É um dos mais importante projetos em andamento entre diversas entidades de padronização a respeito da rede de transporte. A Figura 3.8 ilustra o relacionamento entre estas entidades e o modo de trabalho de cada uma.

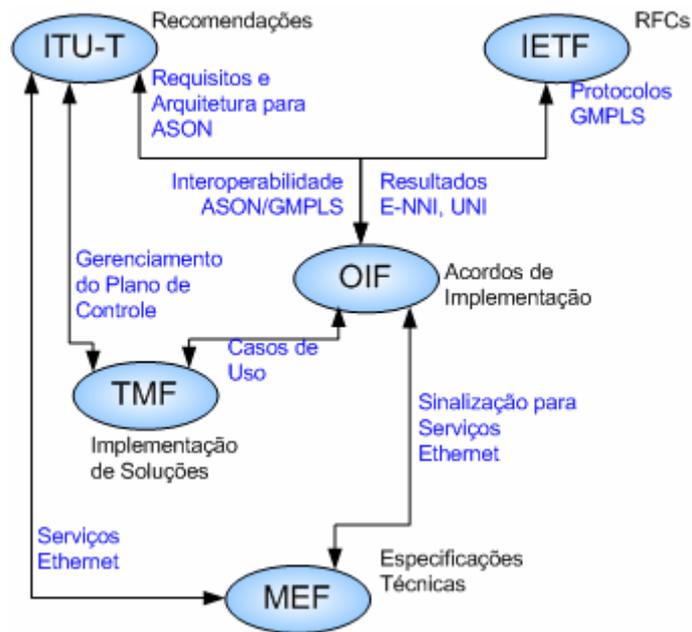


Figura 3.8 – Relacionamento entre as diversas entidades de padronização para ASON/GMPLS (Modificado FOISEL, 2007)

Destas entidades, as duas principais direcionadoras do processo de padronização são o ITU-T e o IETF. O ITU-T trabalha na arquitetura que define os componentes do plano de controle e da interação entre estes componentes. O IETF se propõe a definir protocolos que irão permitir uma grande interoperabilidade de comutadores ópticos e elétricos (LARKIN, 2002).

Embora os objetivos do ITU-T e IETF aparentem serem complementares, existem vários pontos entre as propostas que indicam claras divergências. Como exemplo, o IETF trabalha por uma rede GMPLS onde qualquer nó desta rede poderá ser substituído por equipamento de outro fornecedor sem afetar a continuidade dos serviços e funcionalidades. Todos os nós e enlaces que constituem uma rede GMPLS compartilham o mesmo espaço de endereçamento IP e as informações são compartilhadas livremente entre os nós. Ou seja, o GMPLS implica em um ambiente confiável (LARKIN, 2002). Já o ITU-T trabalha por uma rede composta por domínios que se comunicam com outros domínios de forma padronizada. Entretanto, dentro dos domínios a operação é independente de protocolo e não sujeita à padronização (LARKIN, 2002).

Os principais objetivos do Plano de Controle para uma rede ASON são (G.8080, 2006):

- Facilitar a configuração de conexões de forma rápida e eficiente no plano de transporte para suportar conexões comutadas e semi-permanentes;
- Reconfigurar ou modificar conexões que tenham sido previamente estabelecidas;
- Executar a função de restauração.

A Figura 3.9 indica o relacionamento dos diversos planos de controle associados à rede de transporte. O plano de transporte é multi camadas e descrito na recomendação G.805. A arquitetura do plano de gerência é descrita na recomendação M.3010.

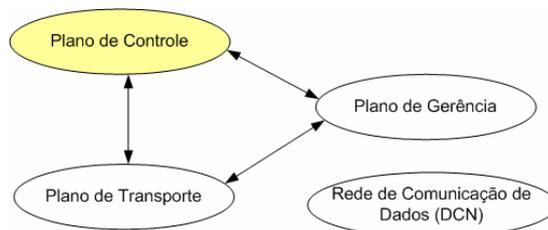


Figura 3.9 – Relacionamento entre os diversos planos de controle associados à rede de transporte (G.8080, 2004)

A Figura 3.10 indica as diversas recomendações para o plano de controle da arquitetura ASON do ITU-T.

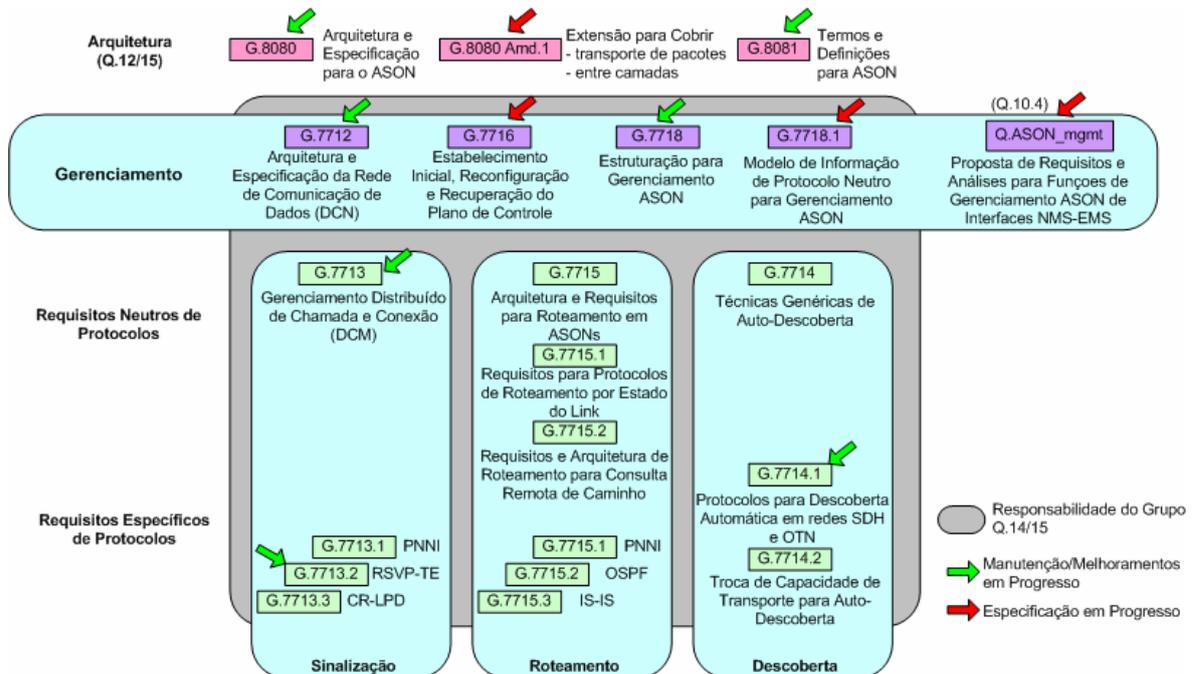


Figura 3.10– Visão das recomendações para o plano de controle da arquitetura ASON (Modificado LEHR - ZEUNER, 2007)

A Figura 3.11 indica a evolução dos esforços do ITU-T na elaboração das recomendações para o plano de controle da arquitetura ASON. Segundo declaração de D’Alessandro (D’ALESSANDRO *et al*, 2006), após implementação de rede ASON na Telecom Itália, esta tecnologia é estável, confiável e permite a implementação de uma rede de transporte muito flexível e custo efetiva.

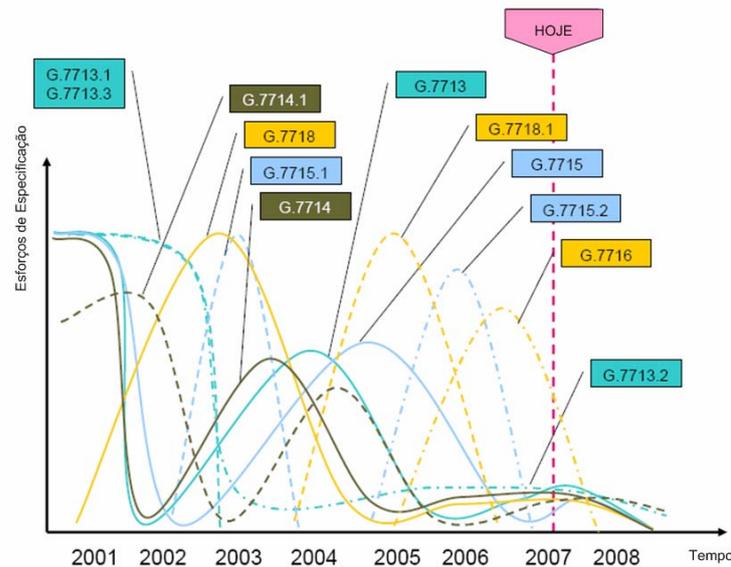


Figura 3.11– Evolução dos esforços do ITU-T na elaboração das recomendações do plano de controle da arquitetura ASON (LEHR - ZEUNER, 2007)

As mudanças propostas no plano de controle da rede óptica agregam elevada complexidade e tem grande impacto na forma atual de administração atual das redes de transporte. Como exemplo, os circuitos a serem provisionados ou migrados para esta arquitetura devem possuir seus limiares de suporte a falha muito bem definidos para máximo proveito desta nova arquitetura. Outro fator crítico será que a maior volatilidade dos recursos utilizados na rede, uma vez que existirá o auto-provisionamento e que situações de falha irão afetar diversos nós e arcos da rede, diferentemente da situação da arquitetura em anel atual, onde o comportamento da rede em situações de falha é altamente previsível. O uso de ferramentas computacionais para gestão desta rede é altamente recomendável.

O sistema de informações proposto neste trabalho, por representar detalhadamente a rede, permitindo sua compreensão num nível mais profundo, facilitará a implantação desta nova tecnologia de forma mais suave e aderente à realidade. Este assunto será abordado no grupo de processo SIP do eTOM na Seção 2.4.

### 3.2 - RESILIÊNCIA EM REDES DE TRANSPORTE

O dimensionamento das redes de transporte é fortemente pautado pela preocupação em garantir a resiliência<sup>8</sup> da rede. Ou seja, garantir que em caso de falha um mínimo de tráfego seja perdido ou, se possível, nenhum tráfego. Este planejamento é feito através do uso de recursos reserva e esquemas de proteção ou restauração. Entretanto, os custos associados são consideráveis e o objetivo de minimizá-los é constante. O conhecimento do tráfego em conjunto com o conhecimento dos esquemas de proteção da rede, providos por um sistema GeIR, permite maximizar o uso desta tanto do ponto de vista de aprovisionamento, quanto do ponto de vista de ampliação ou reconfiguração.

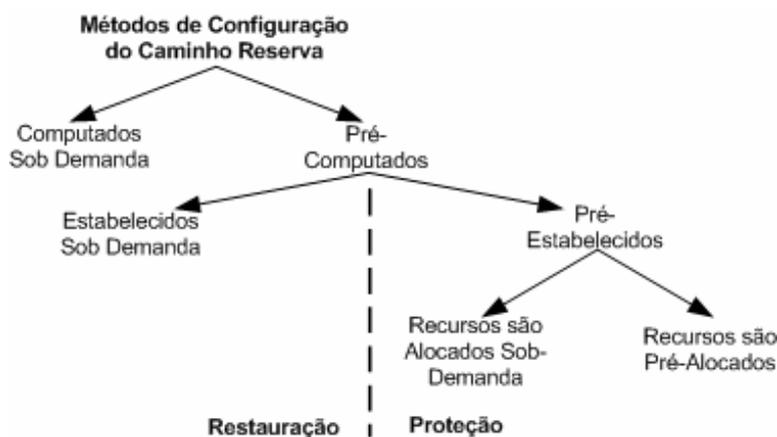


Figura 3.12– Métodos de configuração de caminho para recuperação do tráfego



Figura 3.13– Métodos de uso dos recursos reserva

Os sistemas de recuperação de falhas na rede são classificados em sistemas de proteção e de restauração conforme Figura 3.12 e Figura 3.13.

---

<sup>8</sup> Resiliência um conceito oriundo da física, que se refere à propriedade de que são dotados alguns materiais, de acumular energia quando exigidos ou submetidos a estresse, voltando em seguida ao seu estado original, sem qualquer deformação (Wikipedia, 2007). Neste trabalho será equivalente à capacidade da rede resistir à pressões de situações adversas (falhas) de modo que um mínimo de tráfego seja perdido ou, se possível, nenhum tráfego.

Historicamente, esquemas de proteção são derivados do protocolo para proteção por comutação automática (APS) padronizado pela recomendação G.841 para redes SDH (G.841, 1998). Os esquemas de proteções desta recomendação possuem valor inestimável para as operadoras pela sua confiabilidade, interoperabilidade e velocidade de ação (50ms para configurações em anel com proteção compartilhada e menor que 50ms para proteções dedicadas de sub-rede em anéis ou para proteções dedicadas de seções de multiplexação). Estes são os principais motivos pelos quais as topologias em anéis foram preferencialmente implementadas em todas as redes.

Sistemas de restauração têm sua origem nos Protocolos de Internet onde os caminhos são calculados sob demanda. A flexibilidade de administração de recursos reserva e de tráfego, em conjunto com a padronização de protocolos para rede ASTN/ASON indicam forte tendência de migração das topologias de rede de transporte de anéis para topologias malha.

### **3.2.1 - Mecanismos de Proteção Automática de Anéis SDH**

Os anéis SDH incorporam mecanismos de proteção que detectam falhas e rapidamente comutam o tráfego pelos canais reserva. Podem utilizar recursos reserva dedicados onde cada caminho criado possui seu par de proteção pelo complemento do anel, ou pode utilizar recursos reserva compartilhados.

Embora as arquiteturas em malha indiquem funcionalidades mais avançadas e as redes em anéis requeiram maior capacidade e possuam flexibilidade limitada, estas últimas dominaram as redes de transporte nas últimas décadas devido à sua padronização, velocidade de proteção, confiabilidade, simplicidade e praticidade.

A norma G.841 define 2 tipos de anéis com proteção utilizando recursos compartilhados, a saber, MS-SPRing a 2 Fibras e MS-SPRing a 4 Fibras.

Na arquitetura de proteção MS-SPRing a 2 Fibras, cada uma das duas fibras do anel possui metade da banda como tráfego e outra metade como reserva. A Figura 3.14 ilustra esta arquitetura indicando a situação de tráfego normal e sua comutação automática em caso de falha.

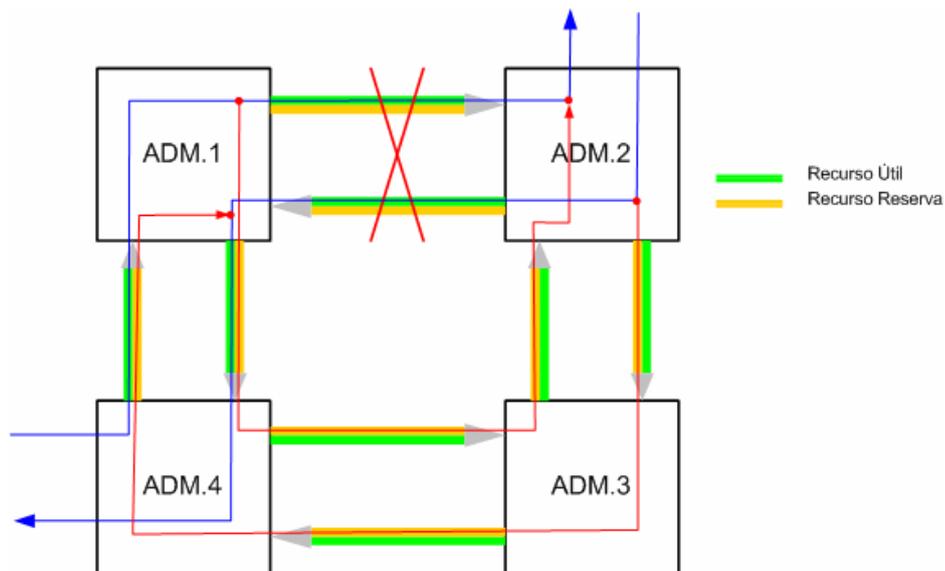


Figura 3.14– Esquema de proteção MS-SPRing a 2 fibras

Na arquitetura MS-SPRing a 4 Fibras, um par de fibras é alocado para tráfego e o outro par tem a função reserva. Esta arquitetura permite recuperação do tráfego para mais que uma falha na rede, pois permite comutação de arco e comutação de anel. A comutação de arco é acionada quando ocorre alguma falha apenas nas interfaces ou nas fibras de tráfego de um arco. Nesta situação, os nós adjacentes identificam a falha e comutam para o arco reserva. No caso de falha do arco de tráfego e do reserva simultaneamente, a comutação de anel é acionada. Esta arquitetura é mais difícil de ser implementada e por esta razão nem sempre está disponível para todas as linhas de equipamentos. Uma característica adicional desta arquitetura é a possibilidade de sobrecarregar a ocupação da rede utilizando os recursos reserva, o que é denominado de extra-tráfego. Tráfegos roteados desta maneira, classificados como não prioritários, são descartados no caso de qualquer falha no anel.

A Figura 3.15 a) apresenta um anel MS-SPRing a 4 fibras, enquanto a Figura 3.15 b) representa a ocupação deste anel considerando os agregados sendo de 2,5Gbps e sem extra-tráfego. Neste caso o circuito entre o ADM.4 e o ADM.2 foi roteado pela via 1 do arco entre o ADM.4 e o ADM.1 e pela via 1 do arco entre o ADM.1 e o ADM.2. Este modo de representação será utilizado no restante deste trabalho. Apenas como exemplo, caso este anel fosse configurado como MS-SPRing a 2 fibras, apenas 8 vias estariam disponíveis por arco na Figura 3.15 b).

O protocolo APS (*Automatic Protection Switching*) para anéis com proteção compartilhada limita em 16 o número de nós do anel. Este mesmo protocolo garante que anéis, sem extra-tráfego e com perímetro menor que 1.200 km de fibra, sejam comutados em menos de 50ms no caso de falha simples. (G.841, 1998).

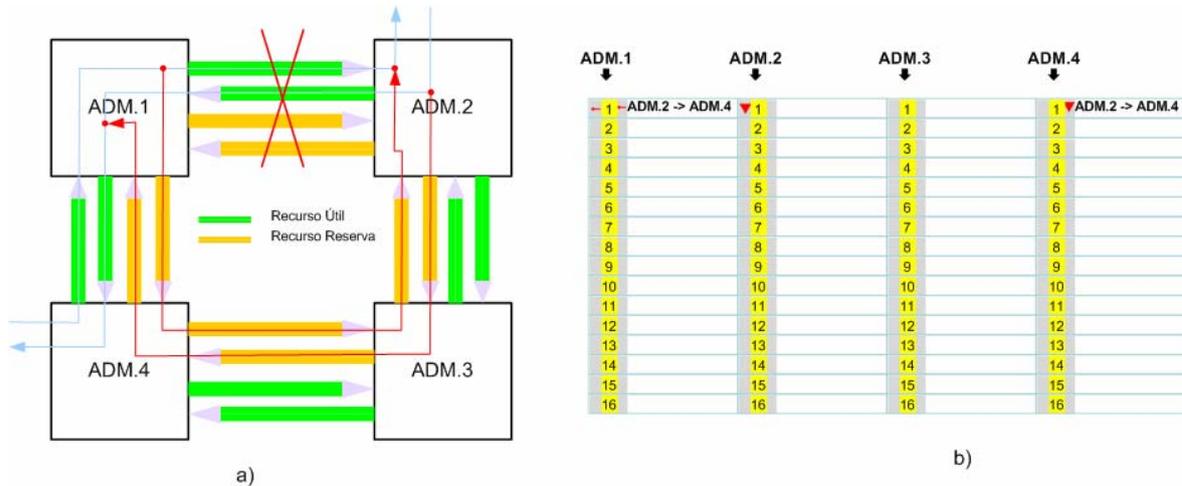


Figura 3.15 – a) Esquema de Proteção MS-SPRing a 4 Fibras; b) Representação da ocupação deste anel considerando que os agregados são de 2,5Gbps (16 AU-4s)

A recomendação G.841 (G.841, 1998), nos objetivos de rede, cita a conexão cruzada entre vias de posições distintas (*Time Slot Interchange – TSI*), como forma de melhorar o uso de banda de um anel. Entretanto, deixa para estudos futuros a decisão sobre a sua obrigatoriedade. Também não garante que, caso os equipamentos permitam TSI, o tráfego utilizando TSI possa ser recuperado em situação de falha. Como resultado desta indefinição, este recurso é pouco explorado pelas operadoras e, por esta razão, o algoritmo de roteamento deste trabalho deve considerar esta limitação de não permitir TSI.

A norma G.841 também define um esquema de proteção dedicada denominada Proteção de Conexão de Sub-Rede (SNCP), conforme Figura 3.16, que pode ser utilizada em qualquer estrutura física de rede (anel, malha, ou mista). Por não depender de protocolo de comutação automática, é facilmente implementada entre redes de fornecedores distintos. Sua aplicação na arquitetura de um anel é limitada no sentido de que depende do padrão de distribuição do tráfego a ser atendido. Apenas no caso de um padrão de tráfego convergente para um único nó do anel, e onde todos os circuitos devam ser protegidos, a capacidade de um anel SNCP é equivalente a um anel com proteção compartilhada com a mesma taxa de transmissão e ocupando o mesmo número de fibras. Caso nem todo o tráfego necessite proteção, mantendo esta distribuição de tráfego, a capacidade de um anel

SNCP será maior que a de um anel compartilhado. Nas demais condições, a capacidade de um anel compartilhado é maior que de um anel com proteção dedicada.

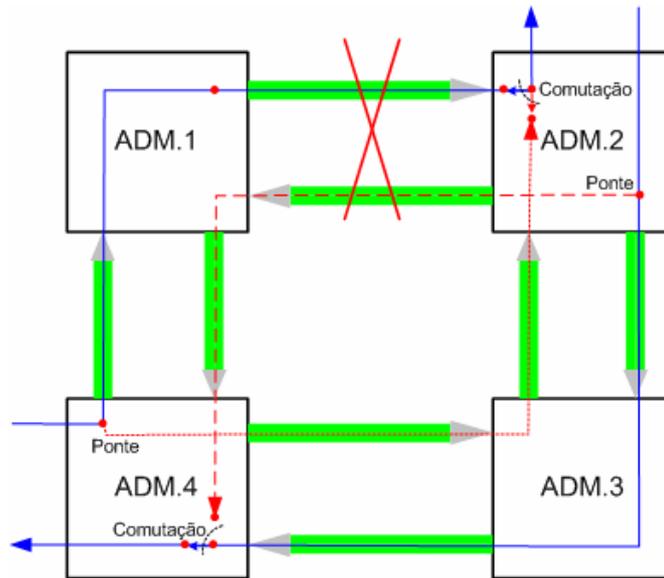


Figura 3.16– Esquema de proteção SNCP

### 3.2.2 - Resiliência em Redes ASON/GMPLS

A evolução para redes em malha busca aumentar a flexibilidade da rede de transporte no sentido de atender diversas classes de serviço, associadas a diferentes níveis de proteção. Como exemplo, os anéis SDH previam solução para uma falha simples, já as redes em malha com arquitetura ASON/GMPLS permitem resiliência à múltiplas falhas, dependendo apenas de caminhos e capacidades disponíveis.

Esta arquitetura pode ser de controle centralizado ou distribuído (G.7715, 2002). Permite também vários esquemas de proteção e de restauração (Figura 3.12 e Figura 3.13) e variações de número de falhas suportadas.

Os esquemas de restauração representam o grande ganho desta nova arquitetura, entretanto existe uma forte relação de compromisso entre os tempos de convergência e o uso destes esquemas de restauração.

A Figura 3.17 apresenta a rede ASON implementada na Telecom Itália denominada de Rede Phoenix. Nesta rede foi utilizado:

- O plano de controle centralizado;
- Equipamentos Ericsson (OMS3250, OMS3260) ;
- Restauração com recursos reserva pré-planejados para recuperar primeira falha (100-200ms) e restauração sem reserva de recursos para recuperar a segunda falha (40-50s).

Um outro ponto a ser destacado na Figura 3.17, que não está diretamente relacionado com a arquitetura ASON/GMPLS, é que a Telecom Itália não trabalha com gerência de rede (NMS) do fornecedor, apenas com a gerência de elemento de rede (EMS) deste que é o MV36<sup>9</sup>. A gestão da rede é feita por sistema desenvolvido pela própria Telecom Itália, denominado SGSDH-NM, que deve ter consumido inúmeros recursos no seu desenvolvimento e implementação.

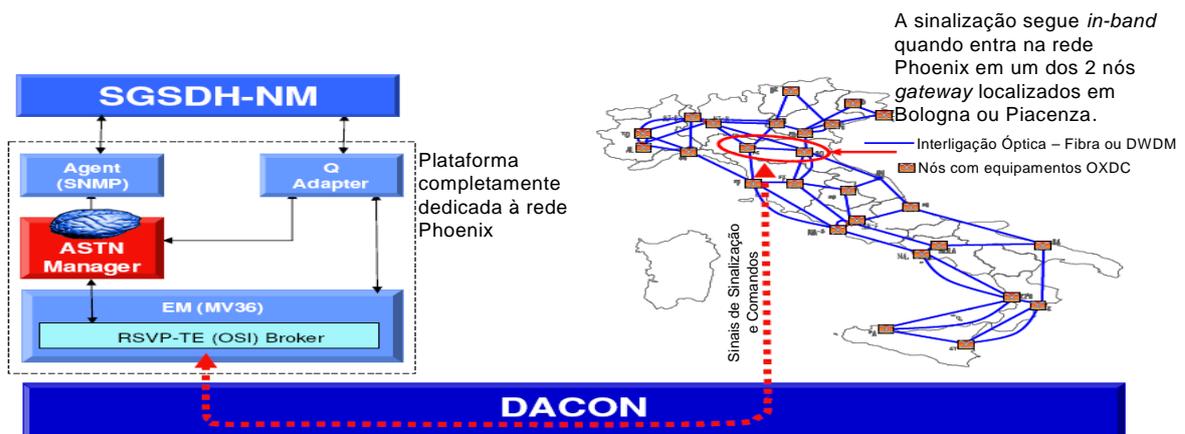


Figura 3.17– Phoenix - Rede ASON Telecom Itália (Modificado D’ALESSANDRO *et al*, 2006)

<sup>9</sup> Nome comercial da ferramenta de *software* para gerência de elemento de redes SDH Ericsson.

### **3.3 - GERENCIAMENTO DE REDES**

Segundo o ITU, principal responsável pelas bases dos atuais sistemas de gerência, o objetivo da TMN é disponibilizar uma arquitetura organizada para alcançar a interconexão entre diversos tipos de Sistemas Operacionais e/ou equipamentos de telecomunicações, onde a troca de informações de gerenciamento utiliza uma arquitetura acordada com interfaces padronizadas incluindo mensagens e protocolos (G.3010,2002).

Várias organizações (ISO, ITU-T, IETF, TMF) trabalharam, e ainda trabalham, no desenvolvimento de serviços, protocolos e arquiteturas para sistemas de gerência indicando as dificuldades de se alcançar um consenso e um modelo completo.

#### **3.3.1 - Histórico do Gerenciamento de Redes**

A *International Organization for Standardization* (ISO), como parte do seu programa *Open System Interconnection* (OSI), foi a primeira a desenvolver uma proposta para gerenciamento de rede, cujo principal objetivo era gerenciar redes de dados. Foi iniciada na primeira parte dos anos 80 e sua versão final entregue em 1988. Em 1985 o ITU-T, iniciou o desenvolvimento de uma proposta semelhante para as redes de telecomunicações que foi denominado *Telecommunications Management Network* (TMN).

O ITU-T foi o primeiro foro a formalizar padrões de interfaces de gerenciamento. Baseado no modelo OSI, buscou definir interfaces robustas e poderosas utilizando metodologia orientada a objetos, com troca de informações de gerenciamento altamente confiável. A complexidade de implementação desta proposta impediu-a de alcançar consenso de mercado e conseqüentemente implicou na sua falha de atingir integralmente seus objetivos (MAZZINI *et al*, 2003).

Na busca de preencher esta lacuna foi fundado o *Tele Management Forum* com a visão de acelerar a disponibilidade e a interoperabilidade de produtos de gerenciamento de rede.

Destas propostas as mais aderentes ao tema proposto nesta dissertação são a proposta do ITU-T e do TMF que serão descritas a seguir. Existem pontos de sobreposição nestas

propostas, entretanto possuem focos distintos. A proposta do ITU-T foca a tecnologia, enquanto a do TMF foca o negócio e por esta razão existe mais ganho que superposição.

### 3.3.2 - ITU-T TMN

Os principais padrões que formam a base do Gerenciamento de Redes de Telecomunicações (TMN) estão definidos nas séries de recomendações X.7XX, G.XXX e M.3XXX do ITU-T.

As principais recomendações relacionadas com este trabalho são a X.700, a M.3010, a M.3400 e a M.3050.

A série de recomendações X.7XX trata as definições OSI dentro do ITU-T. Merece destaque a recomendação X.700 que define as cinco áreas funcionais (FCAPS) e que embasam o gerenciamento de rede, a saber:

- Gerenciamento de falha (*Fault Management*);
- Gerenciamento de configuração (*Configuration Management*);
- Gerenciamento de contabilização (*Accounting Management*);
- Gerenciamento de performance (*Performance Management*);
- Gerenciamento de segurança (*Security Management*).

A recomendação M.3010 define os blocos funcionais e a arquitetura lógica em camadas para sistemas de gerência. Esta arquitetura lógica é composta de 4 camadas normalmente apresentada na forma de triângulo ou pirâmide (Figura 3.18), com o gerenciamento de negócios no ápice, o gerenciamento de serviços na segunda camada, o gerenciamento de rede na terceira camada e o gerenciamento de elemento na última. A idéia é que as decisões de gerenciamento em cada camada são diferentes, entretanto inter-relacionadas (M.3050.Sup3, 2004). Trabalhando de cima para baixo, cada camada impõe requisitos à camada de baixo. No sentido contrário, cada camada provê capacidade ao nível de cima (M.3050.Sup3, 2004).



Figura 3.18 – Arquitetura de camadas da TMN (Modificado M.3010,2002)

A recomendação M.3400 (M.3400, 2000) detalha as funções de gerenciamento e agrupa estas funções dentro das cinco áreas funcionais da recomendação X.700. Como exemplo, na área funcional de gerenciamento de configuração estão os grupos de funções de planejamento e engenharia de rede, de instalação, de negociação e planejamento de serviços, de provisionamento, de status e controle. Cada um destes grupos são detalhados no menor nível de funções previsto na TMN. Como exemplo, o grupo de funções de planejamento e engenharia de rede é detalhado em 11 funções, entre estas: função de orçamento por linha de produto, função de políticas para tecnologias e fornecedores, função de previsão de demandas e outras. Assim, é neste nível que existe a relação entre a proposta do ITU-T e do TMF, sendo que a proposta do TMF é mais focada no negócio e por esta razão foi incorporada pelo ITU através da série de recomendações M.3050. A recomendação M.3050 (M.3050.Sup3, 2004) cita como principal motivador para esta mudança de posicionamento o fato das decisões de investimento em telecomunicações serem cada vez mais direcionadas por decisões de negócio do que por questões tecnológicas.

O modelo TMN é simples, entretanto sua implementação é complexa (M.3050.Sup3, 2004). O modelo do ITU-T é focado principalmente nas camadas de Gerência de Rede e de Elemento de Rede e foi desenvolvido com uma visão *bottom up* o que torna difícil uma visão de negócio centrada no cliente (M.3050.Sup3, 2004).

A recomendação M.3050, que será uma das bases deste trabalho, será discutida no item 3.4.

### 3.3.3 - TeleManagement Forum (TMF)

O **TMF** é um consórcio iniciado pela British Telecom (BT), *American Telephone and Telegraph* (AT&T), Nortel e Hewlett-Packard (HP) focado em questões e soluções relativas à Sistemas de Suporte à Operação (OSS) e Sistemas de Suporte ao Negócio (BSS).

O trabalho do TMF evolui em quatro grupos principais:

- Processos: através do eTOM, que é um conjunto estruturado de processo para provedores de serviço/operadoras gerirem o negócio de telecomunicações com uma visão de consenso de mercado (M3050.1, 2007);
- Dados: através de um modelo padronizado de informações (SID – *Shared Information Data*). O foco do SID é definir as entidades genéricas do negócio de telecomunicações, seus atributos e seus relacionamentos com outras entidades do negócio. Este modelo é dividido em 8 domínios, a saber, mercado/vendas, produto, cliente, serviço, recurso, fornecedor/parceiro, empresa e negócios;
- Aplicações: propõe o desenvolvimento de APIs (*Application Programming Interface*, ou Interface de Programação de Aplicativos) através da JAVA<sup>TM</sup> *Initiative* (OSS/J). Estes aplicativos são conjuntos de rotinas e padrões estabelecidos por um software para utilização de suas funcionalidades por programas aplicativos. Os principais objetivos desta iniciativa são desenvolver, através do programa Java Community Process<sup>SM</sup> (JCP), especificações de APIs, disponibilizar implementações de referência, e conjuntos de compatibilidade tecnológica, para implementação e integração de OSSs (OSS/J Product Team, 2006);
- Integração: busca uma arquitetura com neutralidade tecnológica (TNA – *Technology Neutral Architecture*) através dos trabalhos do projeto de Gerenciamento de Redes Multi-Tecnológicas (MTNM – *Multi-Technology Network Managment*) que busca uma interface aberta para integração da Gerência de Elemento de Rede e da Gerência de Rede. Além disto, a partir de um segundo projeto se busca padronizar uma interface aberta entres sistemas de suporte à operação (MTOSI – *Multi-Technology Operations Systems Interface*) (TMF, 2005).

Devido à complexidade desta proposta do TMF, a ferramenta a ser utilizada nesta dissertação será uma versão simplificada buscando:

- Respeitar os processos do eTOM;
- Buscar uma estruturação dos dados;
- Disponibilizar aplicativo para OSS de baixo custo: base de dados em ACCESS e Interface para visualizações gráficas em VISIO;
- Integração do aplicativo com os sistemas de gerência: será feito através de relatórios ou interfaces de exportação de dados dos sistemas de gerência.

### **3.4 - ETOM – ENHANCED TELECOM OPERATIONS MAP**

O eTOM (Mapa das Operações de Telecomunicações Melhorado) é um conjunto estruturado de processos de negócio, que tem por objetivo auxiliar na categorização, organização e entendimento do inter-relacionamento de todas as atividades necessárias por uma operadora de telecomunicações para executar sua missão. Não se trata de um modelo de processo de negócio, rígido e padronizado, mas sim de uma referência.

O TMF identificou inicialmente o processo de negócio como sendo uma ferramenta de consenso para discussão e convergência entre provedores de serviço e operadores de rede.

O resultado é que produtos adquiridos por provedores de serviço e operadores de rede para gerenciamento operacional e de negócios da suas redes, tecnologias de informação e serviços são de integração mais simples com o ambiente existente, permitindo otimização inerente de uma automação fim-a-fim. Adicionalmente, a visão comum dos processos e informações, facilita entendimentos e fluxo de informações nos relacionamentos operadora-operadora, operadora-usuário, operadora-fornecedor/parceiro, o que é essencial para um provisionamento ágil de serviços e rápida resolução de problemas em um ambiente competitivo.

Com este intuito é que será abordada no Capítulo 4 a necessidade de uma ferramenta computacional para administração da planta da rede de transporte com foco no compêndio de processo do eTOM para otimizar recursos (tempo, pessoas, custos) envolvidos. A Figura 3.19 destaca os grupos de processo Nível 1 que serão focados neste trabalho.

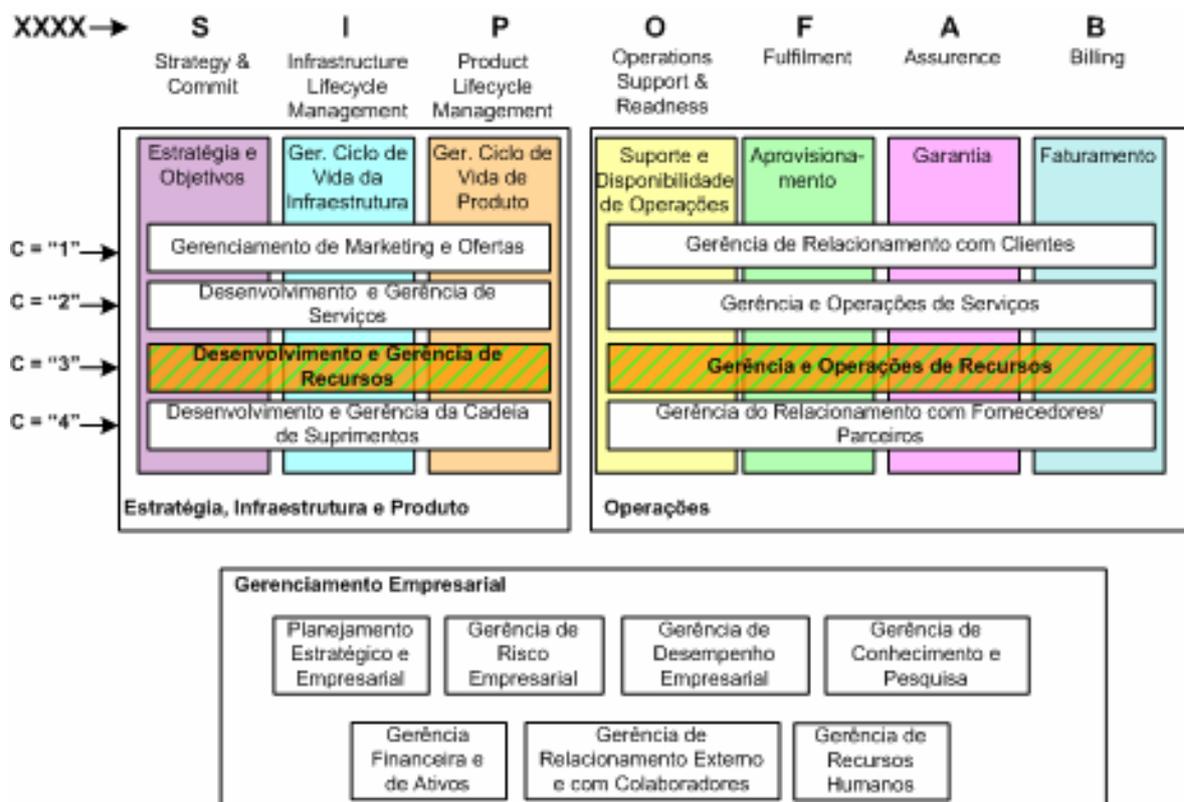


Figura 3.19 – eTOM – Visão dos grupos de processos do nível 1 (Modificado M.3050.1)

A recomendação M.3050 identifica cada grupo de processos de forma padronizada no formato aaaaaa.b.XXXX.c.d.e onde:

- aaaaaa: representa um código específico dado à empresa;
- b: identifica o originador do processo, sendo 1 para processos originais do TMF e 2 para os demais;
- XXXX: estas letras (até 4 letras) identificam os processo verticais fim a fim conforme indicação da Figura 3.19;
- c: representa os processos do nível 1;
- d: representa os processos do nível 2;
- e: representa os processos do nível 3.

Por exemplo o código “1.SIP.3”, referencia todo o grupo de processos nível 1 de desenvolvimento e gerência de recursos da proposta original do TMF.

A estruturação do eTOM é definida da forma mais genérica possível, portanto é independente de organização, tecnologia ou serviço (M.3050.1, 2007). Para refletir o modo

como o negócio é mapeado em seus processos, o eTOM suporta duas perspectivas distintas no agrupamento dos elementos detalhados de processo.

Uma das perspectivas é dada pelos Processos Horizontais de Nível 1. Esta perspectiva é útil para os responsáveis por criar as capacidades que suportam, permitem ou automatizam os processos. Por esta razão foi escolhida para nortear este trabalho, conforme destacado na Figura 3.19, o grupo de processos horizontal referente aos recursos (c = “3”). Uma outra característica intrínseca desta perspectiva é que normalmente está alinhada com a organização dos grupos de trabalho dentro da empresa, uma vez que o conhecimento e técnicas estão distribuídas nestes processos funcionais.

A outra perspectiva é dada pelos Processos Verticais de Nível 1 que representa a visão fim-a-fim de processos para o negócio. Esta visão é importante para os responsáveis por mudanças, operações e gerenciamento de processos fim-a-fim (ex. processos fim-a-fim de cobrança). Esta visão se preocupa com o resultado e a eficiência dos processos fim-a-fim, e não foca os aplicativos de TI ou grupos de trabalho necessários para entregar o resultado.

Adicionalmente o eTOM provê algumas visões que merecem ser destacadas, assim reconhece (M.3050.1, 2007):

- A distinção de três grupos de processos dentro da empresa quando separa o grupo SIP do grupo de processos operacionais, pois este último tem prioridade nos clientes e é onde a automação das atividades é mais crítica. As atividades associadas ao grupo de processos SIP são executadas em uma velocidade diferente das atividades executadas no dia-a-dia/minuto-a-minuto requerida pelo grupo de processos operacionais. Os processos do grupo SIP fazem parte dos aspectos tecnológicos deste trabalho.
- A necessidade de gerenciar recursos independentemente de tecnologias, quando integra os processos funcionais de gerenciamento de redes e sistemas no grupo de processos horizontais de Gerência e Operações de Recursos .
- Que a empresa interage com partes externas, e que a mesma pode precisar interagir com fluxos de processos definidos por partes externas (por exemplo a interação com fornecedores).

A seguir serão detalhados os principais grupos de processos associados ao desenvolvimento deste trabalho.

### 3.4.1 - Processos de Desenvolvimento e Gerência de Recursos

Identificador: 1.SIP.3. Este grupo horizontal de processos foca o plano, o desenvolvimento e a entrega de recursos necessários para suportar serviços e produtos para o domínio operacional. Inclui processos necessários para definição de estratégias de evolução da rede (recursos físicos e lógicos) e para introdução de novas tecnologias garantindo seu interfuncionamento com as existentes, assegurando que capacidades estarão disponíveis para atender às futuras necessidades dos serviços.

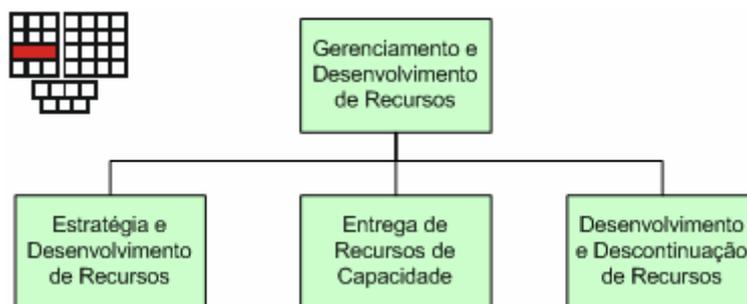


Figura 3.20 – Grupo de processos 1.SIP.3 – Nível 2 (Modificado - M.3050.2,2004)

#### 3.4.1.1 - Estratégia e Planejamento de Recursos

Identificador: 1.S.3.1. Desenvolver políticas, estratégias e planos para empresa, baseado em direções de negócios, mercados, produtos e serviços de longo prazo.

Estes processos devem permitir o entendimento das capacidades da infra-estrutura existente da empresa, compreender as necessidades de infra-estrutura indicadas pelas estratégias de mercado, produtos e serviços da empresa, administrar a capacidade dos fornecedores e parceiros de desenvolver e disponibilizar novas capacidades na rede e definir o modo como novas tecnologias ou melhorias devem ser implementadas. (M.3050.2, 2004)

Seu foco é a expansão das capacidades de recursos existentes e identificação de necessidades de novos recursos.

Um sistema de gestão integrada de rede deve assumir alguns processos deste nível e permitir:

- O entendimento das capacidades existentes, através de representações da rede sob diversos prismas e com vários níveis de abstração;
- O conhecimento dos produtos e serviços oferecidos pelos fornecedores e parceiros. Como exemplo, deve possibilitar o cadastramento das regras de engenharia dos equipamentos identificando limitações de *back-planes*, número de interfaces e restrições de tipos de placas por slot. Este nível de conhecimento auxilia na compreensão do processo de evolução dos equipamentos do fornecedor ou parceiro e conseqüentemente permite passos corretos na evolução da própria rede. Adicionalmente, deve permitir vinculação de listas de preços do fornecedor ou parceiro com recursos a serem planejados através de códigos do fornecedor, de modo que alterações contratuais possam ser rapidamente avaliadas.
- O registro de demandas apresentadas para a rede de modo a possibilitar que a evolução das necessidades do mercado e de serviços sejam compreendidas.

#### 3.4.1.2 - Entrega de Recursos de Capacidade

Identificador de Processo:1.I.3.2. O objetivo destes processos é assegurar que recursos de rede e aplicações sejam implementadas de acordo com os planos feitos pelo Desenvolvimento de Recursos. Assim, garantem a entrega de capacidades físicas de recursos necessários para manter o bom andamento do negócio e assegura as bases nas quais todos os recursos e serviços serão construídos.

Algumas responsabilidades deste processo são:

- Planejamento da logística para implantação dos recursos;
- Planejamento da implantação dos recursos;
- Contratação e controle da construção de recursos onde necessário;
- Verificar instalação dos recursos;
- Passar recursos implantados para operação através de interações com Classe de Configurações de Gerenciamento de Recursos.

Neste grupo de processos o sistema de gestão integrada de rede deve permitir:

- Uma visão clara do plano liberado pelo Desenvolvimento de Recurso;
- Controle de obras e suas interdependências;
- A compreensão das demandas que estão sendo atendidas, evitando falhas e proporcionando informações para priorização de obras;
- Interação com sistemas de gerência para, através de verificações de consistência, comparar obras executadas com obras planejadas.
- Verificar se as cotações de fornecedores ou parceiros estão de acordo com o plano.

### 3.4.1.3 - Desenvolvimento e Descontinuidade de Recursos

Identificador de Processo: 1.P.3.3. Desenvolve novas ou aprimora tecnologias existentes de forma a disponibilizar novos produtos aos clientes. Este processo também decide sobre o congelamento ou desativação de uma tecnologia e de seus recursos associados.

Para este grupo de processos, uma ferramenta de gestão integrada de rede atua como uma fonte de consulta para que seja entendida a composição da rede existente e seu uso. Adicionalmente, permite desenvolver propostas de evolução ou inserção de novas tecnologias de forma mais aderente a realidade da rede.

### 3.4.2 - Processo de Gerência e Operações de Recursos

Grupo de Processos: 1.OFAB.3. Este grupo horizontal de processos mantém o conhecimento dos recursos da rede e é responsável por gerenciar todos os recursos requeridos pelos usuários ou que lhes foram associados. Apenas os processos nível 2 destacados com preenchimento na Figura 3.21 serão desenvolvidos neste trabalho.

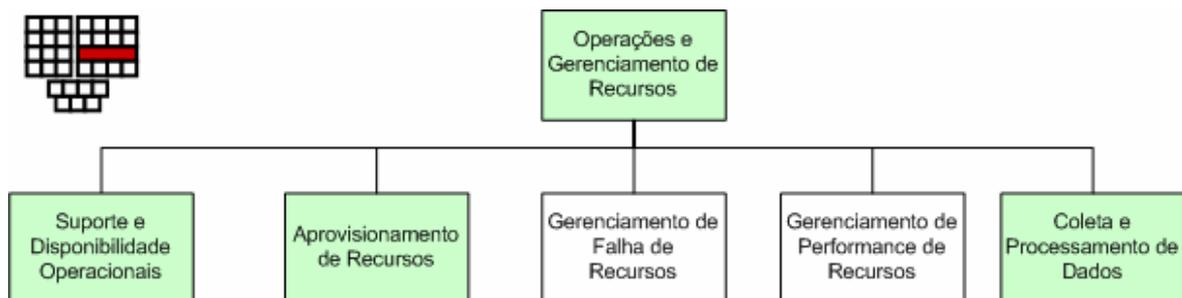


Figura 3.21 – Grupo de processos 1.OFAB.3 – Nível 2 (Modificado - M.3050.2,2004)

O objetivo destes processos é garantir que a rede funcione adequadamente, seja acessível aos usuários e empregados e que responda prontamente as necessidades, sejam diretas ou indiretas, dos serviços, usuários ou empregados. Também é sua responsabilidade básica reunir informações sobre recursos (por exemplo, de elementos de redes ou de gerenciadores de elementos de rede), e então integrar, correlacionar, e em muitos casos, sumarizar estes dados em informações relevantes para sistemas de Gerenciamento de Serviços ou para permitir intervenções cirúrgicas na rede.

Entre os grupos verticais de processos, o objetivo principal da estrutura do eTOM é alcançar sucesso nos grupos chave para os clientes que correspondem ao FAB (Aprovisionamento, Garantia da Qualidade e Cobrança) – os quais operam em tempo real. O Suporte e Prontidão Operacionais (OSR – *Operations Support & Readness*) é diferenciado dos processo de tempo real para destacar seu foco em viabilizar o suporte e a automação necessárias ao FAB.

A proposta defendida neste trabalho esta alinhada com estes processos, pois:

- Propõe um sistema baseado na coleta de informações de sistemas de gerencia de rede e de elementos de rede;
- Organiza e relaciona entre si estas informações permitindo diversos níveis de abstração, ou seja, permite ressaltar informações relevantes da rede;
- Através da análise destas informações, propõe intervenções precisas de re-roteamento de tráfegos para otimização da rede.

#### 3.4.2.1 - Suporte e Disponibilidade Operacionais

Identificador de Processos: 1.O.3.1. Respondem pela parte estratégica dentro do grupo de processos operacionais. Sua importância está associada à responsabilidade de garantir que o ambiente operacional (inventário e sistemas de suporte à operação) estejam sempre disponíveis, atualizados e em estado de prontidão para garantir que as atividades do grupo de processos FAB sejam executadas sem sobressaltos.

Este processo de nível 2 é decomposto em 7 processos de nível 3. Destes, apenas os destacados na Figura 3.22 serão escopo deste trabalho.

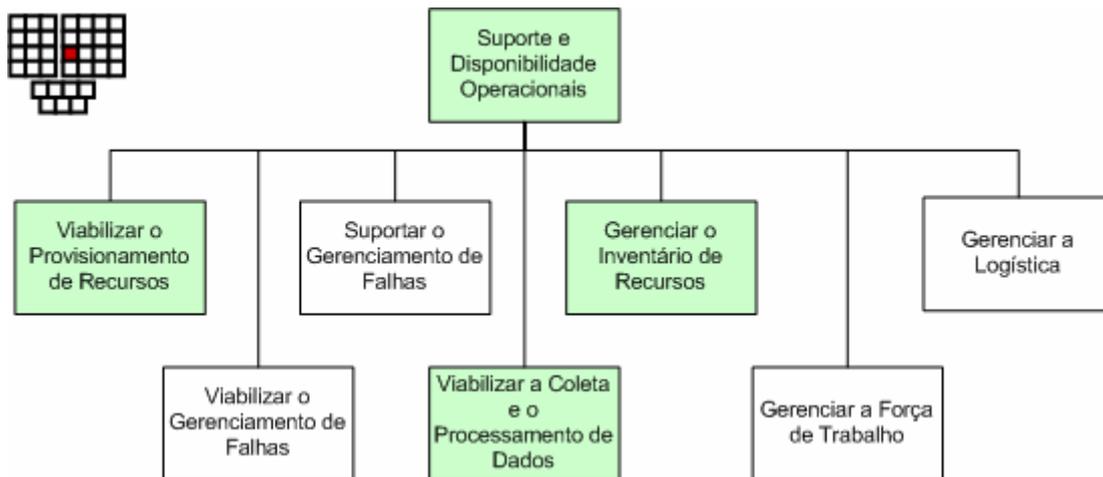


Figura 3.22 – Grupo de processos 1.O.3.1 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004)

Processo 1.O.3.1.1 – Viabilização do Aprovisionamento de Recursos. Este processo viabiliza o Aprovisionamento de Recursos sendo a interface com os Processos de Entrega de Capacidades para passagem de recursos planejados e implantados para operação. Dentre as principais funções desta interface estão testar e aceitar os novos recursos, atualizar o inventário com os novos recursos e, no caso de esgotamentos localizados, buscar através de otimização e reconfiguração da rede recuperar recursos sub-utilizados.

A ferramenta proposta nesta dissertação permite que a otimização de redes, tarefa atualmente pouco explorada devido as limitações humanas e a complexidade da rede, faça parte da Gestão Integrada de Rede.

Processo 1.O.3.1.4 – Viabilização da Coleta e Processamento de Dados. Compreende a estruturação dos dados de forma a permitir a agregação de rede e informações tecnológicas em grupos de recursos, assim como informações de classes de recursos, para auxiliar o planejamento de engenharia e de tráfego. O objetivo destes processos é viabilizar visões de disponibilidade e de capacidade de recursos, em particular identificar recursos cuja taxa de indisponibilidade é maior que a aceitável e identificar classes de recursos que estão continuamente sob stress.

A ferramenta proposta está aderente a estes processos pois se preocupa em organizar e agregar as informações da rede de modo a gerar visões dos recursos para engenharia de tráfego e planejamento, como exemplo:

- Estações caracterizadas por coordenadas geográficas e regiões administrativas, o que, em conjunto com os links, permite uma visão georeferenciada da distribuição de capacidade da rede;
- Grupo de elementos de rede caracterizados por tecnologia (PDH, SDH, DWDM), meio de transmissão (Óptico, Rádio Freqüência, ou Metálico), função (ADM-1, ADM-4, ADM-16 4x1, ADM-16 4x4, OTM, OLA, OADM, etc...), que permite a identificação de recursos disponíveis na rede como posições vagas para novas placas, disponibilidades de matriz nos equipamentos, identificação de interfaces disponíveis para remanejos ou ativação de novos serviços;
- Links entre elementos de rede caracterizados por topologia (anel, barramento, enlace), camadas (Estadual, Nacional, Urbano, Acesso), esquemas de proteção e capacidade;
- Arcos dos anéis *SDH* de alta capacidade estruturados logicamente. Estes recursos estão continuamente sob stress e merecem especial atenção.

Processo 1.O.3.1.1 - Gestão de Inventário. Este processo garante a manutenção e a confiabilidade do sistema de inventário que, por sua vez, é a base de informações para todo este grupo horizontal do eTOM. A representação fidedigna da rede pode ser garantida por meio de auditorias e processo de reconciliação com sistemas de gerência ou, caso seja possível, através de mecanismos de auto-descoberta. Também é responsabilidade deste grupo de processos o monitoramento constante da utilização dos recursos da rede, e caso seja identificada a extrapolação dos limites preestabelecidos, acionar ações de reconfiguração da rede para liberar recursos sub-utilizados ou acionar a construção de novos recursos.

No caso da rede de transporte, os sistemas de gerência de rede (NMS) e de elemento de rede (EMS) dos diversos fornecedores possuem campos texto abertos para identificação dos elementos de rede, links, topologias, circuitos e outros campos auxiliares que podem ser utilizados pelas operadoras. Estes sistemas podem ser considerados os sistemas básicos de inventário da rede de transporte e, por esta razão, este grupo de processos deve garantir

o preenchimento padronizado destes campos. Esta padronização deve garantir a unicidade das informações de forma a viabilizar e simplificar processos de coleta, processamento e reconciliação de dados com o sistema geral de inventário da operadora.

### 3.4.2.2 - Aprovisionamento de Recursos

Corresponde ao processo 1.F.3.2 e trata da alocação e configuração de recursos para atender requisitos de serviços solicitados por usuários individuais.



Figura 3.23 – Grupo de processos 1.F.3.2 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004)

Estes processos envolvem a identificação, a alocação e a entrega de recursos necessários para atender um pedido de serviços.

Destes processos, o que toma mais tempo dos recursos humanos é a identificação de meios disponíveis. Adicionalmente, quando feita manualmente, nem sempre a melhor opção de roteamento é identificada. A ferramenta proposta nesta dissertação se propõe a assumir esta função, garantindo sempre a melhor opção de roteamento dentro de uma métrica pré-estabelecida, através da aplicação do algoritmo de *Dijkstra*.

Entretanto, para garantir o roteamento por vias disponíveis, o inventário deve estar atualizado com as informações de ocupação da rede. Com este intuito, este grupo de processos, inclui a coleta, a atualização e a publicação da configuração dos recursos da rede. A Figura 3.24 abaixo indica um exemplo de dados coletados sobre ocupação de vias de alta ordem de um sistema de gerência. Este relatório deve ser tratado para obtenção das informações mais relevantes, conforme destaque. Em vermelho é evidenciado um problema de padronização intrínseco deste sistema de gerência que requer atenção quando do tratamento das informações. Cabe ressaltar que esta mesma informação é apresentada

de formas totalmente distintas entre sistemas de fornecedores distintos, requerendo desenvolvimento exclusivo para cada interface de coleta de informações.

```

AND-BA/1-CBR-BR/1 1S 2
Type:Bidirectional VC-4, Not pre-emptive
State:Active
Worker Colours:No Colours
Operational State:Enabled
In Service:Yes
Trail Trace State:Undefined
Created on:Tuesday, September 20, 2005 2:39:31 PM
Created by:MC26711
Routing Properties:
MSP/MS-SPRing (Worker): partial
Routing:
PR-ANDIRA-BA-L268.AND-BA.1 SLOT 13 STM4 1
AND-BA/1-BNT-ES/4 4S 1 1
PR-BANDEIRANTES-ESPIRITO SANTO-L374.BNT-ES.4 CORE 1-9.1 STM4 1 <-> CORE 1-8.2 STM4 1 (Active)
BNT-ES/3-BNT-ES/4 4S 1 1
PR-BANDEIRANTES-ESPIRITO SANTO-A153.BNT-ES.3 SLOT 1 STM4 1 <-> SLOT 25 STM16 1 (Active)
BNT-ES/3-JZO-GV/1 16S 1 1
PR-JACAREZINHO-GETULIO VARGAS-A153.JZO-GV.1 SLOT 17 STM16 1 <-> SLOT 5 STM4 2 (Active)
JZO-GV/1-JZO-GV/4 4S 1 2
PR-JACAREZINHO-GETULIO VARGAS-ANEL153.JZO-GV.4 SLOT 6 STM4 2 <-> SLOT 1 STM4 3 (Active)
CBR-BR/1-JZO-GV/4 4S 1 3
PR-CAMBARA-BR-L267.CBR-BR.1 SLOT 13 STM4 3

```

Figura 3.24 – Exemplo de relatório de ocupação de vias de alta ordem da rede da Brasil Telecom

### 3.4.2.3 - Coleta e Processamento de Dados

Processo 1.AB.3.5. Este grupo de processos é de suma importância para gestão integrada da rede, pois permite a atualização do sistema de inventário e sua auditoria.

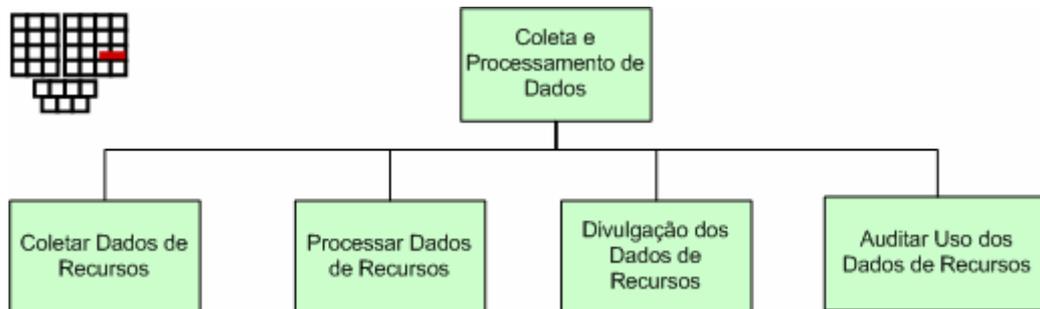


Figura 3.25 – Grupo de processos 1.AB.3.5 – Decomposição nível 3 (Modificado - M.3050.2,2004)

A automação destes processos permite que um dos maiores obstáculos da manutenção de um sistema de inventário, que é a dificuldade da entrada de dados e sua manutenção atualizada, seja vencida com um menor consumo de tempo e de pessoas.

Conforme a Figura 3.25, as principais funções são a coleta de dados, seu processamento, sua apresentação aos usuários e sua auditoria.

No processo de coleta de dados deve ser garantida a confiabilidade da fonte de informações assim como sua precisão. Neste sentido, os sistemas de gerência de elemento de rede (EMS), superam os sistemas de gerência de rede (NMS), pois estes últimos assumem um nível de abstração da rede. Como exemplo, uma interface óptica STM-1 de curto alcance operando na janela de 1310nm para o sistema NMS é apenas um STM-1, enquanto para o sistema EMS é uma interface S-1.1<sup>10</sup> com respectivo número de série, código do fornecedor, data de fabricação, etc. A mesma interface para longo alcance para o sistema NMS continuaria sendo apenas um STM-1, enquanto para o sistema EMS seria uma interface L-1.1.

O processamento destes dados permite uma padronização das informações provenientes NMS/EMS de diversos fornecedores em uma base única e padronizada de informações. Adicionalmente inclui a função de sumarização e abstração destas informações de modo a agregar valor aos usuários (pessoas e outros sistemas).

A seguir será apresentada a teoria de grafos que será utilizada para roteamento/re-roteamento de circuitos na rede SDH. Esta funcionalidade agrega elevado valor ao grupo de processo 1.F.3.2 (Aprovisionamento) do eTOM.

---

<sup>10</sup> Descrição conforme padrão ITU-T G.957 para interfaces de curto alcance STM-1 operando na janela de 1310nm (G.957, 2006).

### 3.5 - TEORIA DE GRAFOS

Uma rede pode ser representada por um grafo  $G = (V,E)$ , onde  $V$  é um número finito de nós ou vértices, e  $E$  é um conjunto de pares de nós denominados arestas ou arcos. Um arco do nó  $i$  para um nó  $j$  é representado pela notação  $(i,j)$ . Quando os arcos são ordenados, o tráfego pode ser transportado apenas no sentido da orientação e o grafo é denominado orientado ou dígrafo. Quando não há ordenação dos arcos, o tráfego pode ser transportado em ambos sentidos e o grafo é denominado não orientado.

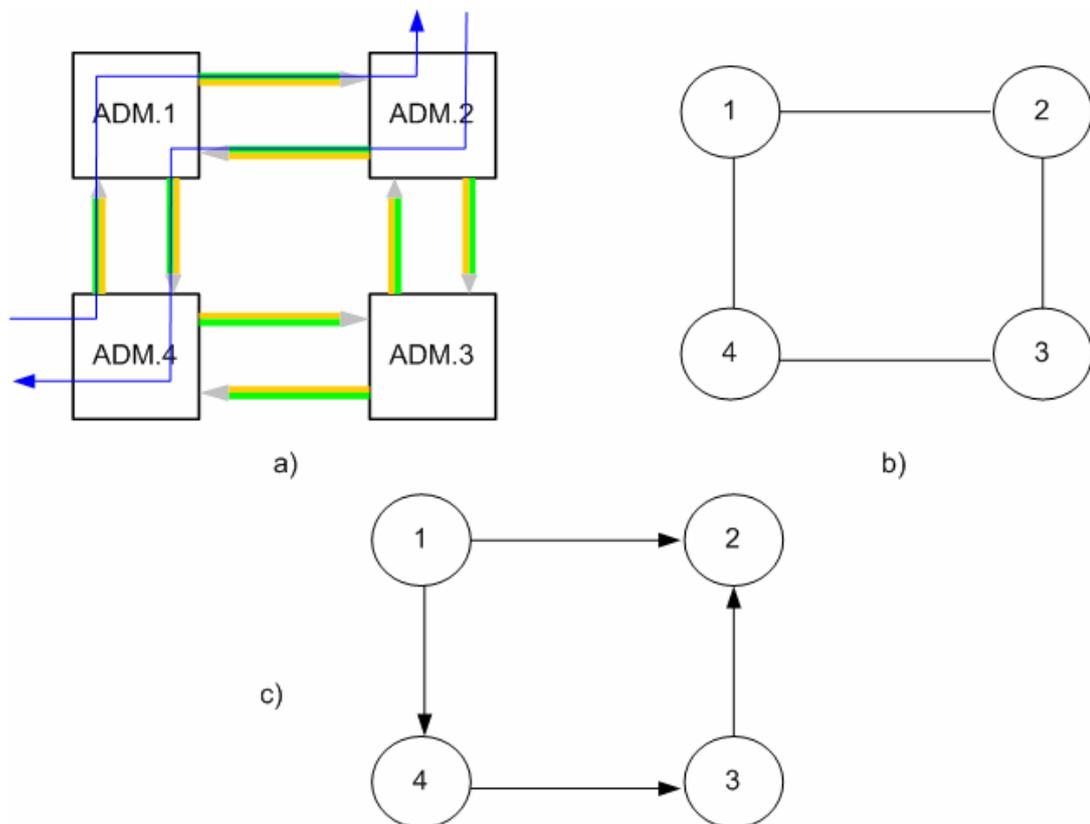


Figura 3.26 – a) Representação de um anel SDH; b) Representação deste anel por um grafo não orientado; c) Exemplo de um dígrafo

Algumas definições importantes (TAN, 2002) relativas à grafos serão apresentados abaixo:

- O grau de um nó é o número de links incidentes neste nó;
- Um percurso em um grafo  $G=(V,E)$  é uma seqüência de nós  $w=\{v1, v2, v3, \dots,vk\}$ ,  $k > 1$ , de tal forma que  $(j, j+1) \in E$ ,  $j = 1, 2, \dots, k-1$ . As arestas também são consideradas parte do percurso;
- O percurso é dito fechado caso  $v1 = vk$  e  $k > 1$ ;
- Um percurso sem nenhum nó repetido é denominado caminho;

- Um nó  $s$  é dito conectado à um nó  $t$  se o nó  $s$  tem um caminho ao nó  $t$  pelo grafo. Este caminho é denominado caminho  $(s, t)$ ;
- Um grafo com pesos atribuídos a arcos ou nós é denominado ponderado;
- O comprimento de um caminho é número de links ou, no caso de grafos ponderados, a soma dos pesos de um caminho;
- Um caminho  $(s,t)$  é denominado de caminho mais curto se não existir nenhum outro caminho entre estes vértices com comprimento menor que este;
- O diâmetro de um grafo é definido pelo maior caminho mais curto entre qualquer par de nós do grafo;
- A profundidade de um nó ou altura da árvore até este nó é definida como sua distância em número de vértices até a origem;
- Um grafo é dito conectado se existir um caminho entre qualquer par de nós,  $s$  e  $t$ ;
- Um vértice é denominado “folha” quando se encontra na fronteira de análise e não se conhecem seus sucessores. No caso do nó não possuir sucessores será um vértice “folha” do grafo.

O problema a ser resolvido nesta dissertação pode ser descrito da seguinte forma:

- “Dado um grafo ponderado não orientado qualquer, e definida a origem e o destino de um circuito, escolher o caminho mais curto para este circuito neste grafo”;
- Vários circuitos poderão ter seu caminho computado sequencialmente em um tempo de resposta razoável. Atualmente, o estabelecimento de alguns circuitos podem levar horas para ser computado, portanto um tempo menor que um minuto por circuito é razoável;
- Cada circuito a ser roteado irá enxergar o grafo de uma maneira diferente pois seus pesos serão alterados conforme roteamento/re-roteamento de circuitos analisados nas interações anteriores;

Primeiramente é importante estudar em qual classe de problema, polinomial (P) ou não-determinístico polinomial (NP), este se encaixa. A classe P contém os problemas cuja complexidade no pior caso é polinomial. Inclui soluções  $\log n$  pois seu valor é menor que  $n$  e portanto não é pior que uma polinomial. A classe NP compreende todos os problemas tais que exista uma justificativa à uma solução particular e que esta possa ser validada por um algoritmo polinomial no tamanho da entrada (SILVA, 2007).

O problema de caminho mais curto pode ser resolvido pelo algoritmo de *Dijkstra* em tempo  $O(n^2)$ , onde  $n$  é o número total de vértices do grafo (tamanho da entrada), no pior caso. Ou seja, o problema é polinomial e portanto pertence à classe P (SILVA, 2007).

Uma vez definido o problema podemos buscar um algoritmo para resolvê-lo. A escolha de um algoritmo é baseada em três critérios básicos:

- Completude que define se o algoritmo sempre encontra uma solução quando existe alguma;
- Complexidade que corresponde ao tempo computacional gasto para encontrar uma solução;
- Qualidade que define se o algoritmo encontra sempre a solução ótima quando existem outras soluções.

A Tabela 3.1 compara os esquemas de busca em grafos utilizando a notação Big-O, onde  $V$  corresponde à quantidade de vértices do grafo e  $E$  à quantidade de arcos do grafo, para representar as respectivas complexidades computacionais. No caso de roteamentos dentro da rede SDH, o número de vértices a serem explorados para se alcançar a solução é consideravelmente menor que o número de vértices do grafo da rede a ser analisada, o que confere vantagem em complexidade computacional ao método de *Dijkstra* com fila de prioridade.

Tabela 3.1 – Comparação de esquemas de busca em grafos

<b>Algoritmo</b>	<b>Completude</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Complexidade</b>
BFS	SIM	SIM	$O( V  +  E )$
DFS	NÃO	NÃO	$O( V  +  E )$
<i>Dijkstra</i> com Fila de Prioridade	SIM	SIM	$O( E  \cdot \text{Log }  V )$
A*	<i>Depende da Heurística</i>	<i>Depende da Heurística</i>	<i>Depende da Heurística</i>
Ganancioso	SIM	NÃO	<i>Depende da Heurística</i>

O problema de busca de um caminho mínimo num grafo, conforme exemplos da Tabela 3.1, pode ser classificado em busca não informada e busca informada ou heurística. Os principais métodos para resolução da busca não informada são busca em:

- Largura (*Breadth First Search* – BFS);
- Profundidade (*Depth First Search* – DFS);
- Profundidade Limitado;
- Profundidade Iterativo.

As estratégias de busca informada diferem das estratégias de busca não informada por acrescentarem um dado a mais na determinação da ordem de expansão dos nós durante o processo de busca. Este dado é chamada de função de avaliação e consiste em uma forma de mensurar a probabilidade de um nó convergir para uma solução baseado em seu estado corrente. Esta medida de probabilidade pode ser dada por uma função  $h(n)$  que mede a estimativa de um dado nó atingir o estado objetivo partindo do estado deste nó, ou seja, o quanto falta para atingir o destino. Outra medida que pode ser dada pela função  $g(n)$ , onde  $g(n)$  mede o custo do caminho percorrido do nó de origem até o nó avaliado.

As estratégias mais conhecidas de busca informada são a busca “gananciosa” (*greedy search*), que utiliza somente a estimativa do nó como função de avaliação, a busca A\* (*A\* search*) que utiliza a soma da estimativa do nó com seu custo para definir esta avaliação e o algoritmo de *Dijkstra* que usa somente o custo do nó como função avaliação. Em geral, tais estratégias são variações da busca em profundidade. A diferença consiste em determinar de qual nó folha da fronteira do espaço de estados se deve continuar a busca - geralmente o nó que possui menor avaliação.

Neste trabalho será utilizado o algoritmo de *Dijkstra* para garantir que a solução ótima seja alcançada com uma adequada complexidade computacional. Adicionalmente, as novas tecnologias em malha para rede de transporte utilizam tal algoritmo para restauração do tráfego.

A seguir serão detalhados os algoritmos de busca citados e algumas variações para um melhor entendimento do assunto.

### 3.5.1 - Busca em Largura

A busca em largura (ou busca em amplitude) é um algoritmo de procura de árvore usado para realizar uma busca ou travessia numa árvore ou grafo. Intuitivamente, se começa pelo nó raiz e explora todos os nós vizinhos. Então, para cada um desses nós mais próximos, são explorados os seus nós vizinhos inexplorados e assim por diante, até que se encontre o alvo da busca (Figura 3.27). Em outras palavras, somente após a expansão de todos os nós pertencentes ao mesmo nível de profundidade na árvore de busca é que os nós do próximo nível serão expandidos. Ele não utiliza uma heurística e por esta razão pode ser classificado como um algoritmo de “força bruta”, do ponto de vista de recursos computacionais.

Caso existam diversas soluções, uma busca em largura no espaço de estados sempre encontra a melhor solução possível sendo classificada como completa por encontrar um caminho que leva a solução e ótima caso o custo do caminho for uma função decrescente da profundidade de um nó.

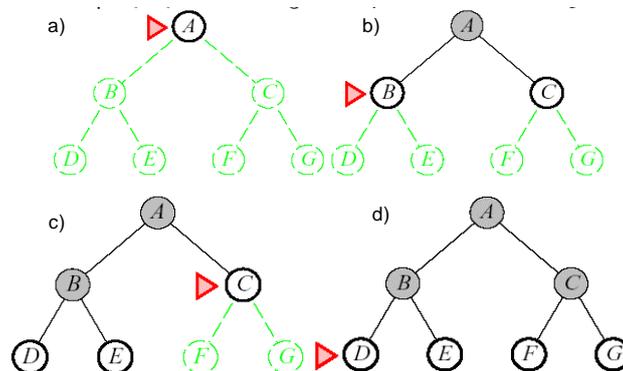


Figura 3.27 – Exemplo da busca em largura (CHAIMOWICZ, 2006)

### 3.5.2 - Busca em Profundidade

Nessa estratégia de busca, um dos nós do nível mais profundo da árvore sempre é expandido. Somente quando a busca atinge um nó cujos filhos possuem estados que já foram expandidos outrora é que a busca expandirá algum dos nós pertencentes aos níveis acima deste, processo este conhecido como *backtrack*. A Figura 3.28 ilustra essa estratégia de busca. Uma forma de garantir esta ordem de expansão é adicionar os nós filhos que serão expandidos em uma pilha, onde o primeiro nó removido será o primeiro filho gerado

de onde a busca continua aprofundando-se até não mais ser possível retirar da pilha um nó cujo estado seja correspondente ao estado objetivo.

Problemas que possuem muitas soluções, resolvidos com a busca em profundidade, tendem a convergir mais rápido que a busca em largura devido a possibilidade de procurar uma solução explorando apenas uma pequena parte do espaço de estados.

Porém, como sempre aprofunda em um determinado ramo da árvore de busca, pode ocorrer de existir uma melhor solução nos ramos que possuem menor profundidade na árvore de busca e que dificilmente serão explorados. Por esta razão as soluções encontradas pela busca em profundidade, na maioria das vezes, não são soluções ótimas.

Outro problema consiste na possibilidade do método de busca fazer uma escolha não muito boa de forma que a busca continue sempre aprofundando sem retornar para os ramos de menor profundidade mesmo que uma solução exista em outra região do espaço de estados levando a uma *busca infinita*.

As características anteriormente citadas fazem com que a busca em profundidade seja um método mais econômico em termos de requerimento de tempo e memória, porém não se trata de uma estratégia ótima ou completa podendo encontrar soluções de custo elevado ou simplesmente não encontrar solução, mesmo se existir alguma.

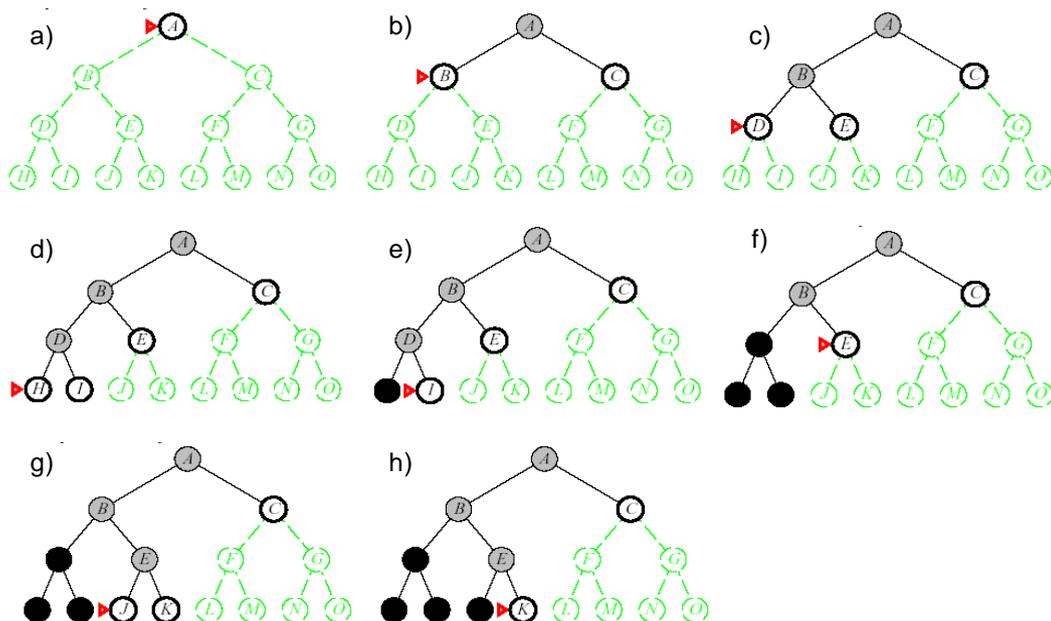


Figura 3.28 – Exemplo da busca em profundidade (CHAIMOWICZ, 2006)

### **3.5.3 - Busca em Profundidade Limitada**

Essa estratégia de busca possui um funcionamento semelhante ao da busca em profundidade. A diferença consiste em colocar um “corte” na profundidade máxima de um caminho na árvore de busca. Quando um nó removido da pilha estiver na máxima profundidade permitida ele não gera filhos, fazendo com que a pilha de nós não seja modificada. Assim o próximo estado a expandir é aquele contido no nó presente no topo da pilha que pertence a um nível de profundidade menor do que o nó anterior na árvore de busca. Devido ao corte imposto pela busca esta estratégia garante encontrar uma solução se ela existir dentro da profundidade limite. Porém, não é garantido que esta solução seja a melhor possível tornando este método de busca completo desde que a solução esteja dentro das restrições impostas, mas não ótimo. A complexidade de tempo e espaço são similares as complexidade da busca em profundidade padrão.

### **3.5.4 - Busca com Aprofundamento Iterativo**

Uma busca com aprofundamento iterativo (Figura 3.29) tenta encontrar a solução realizando uma busca com profundidade máxima de “Limit”. Caso não exista solução para essa profundidade, a busca é reiniciada tendo agora profundidade máxima “Limit + 1”, prosseguindo desta forma até que uma solução seja encontrada. Devido a necessidade de recomeçar a busca do primeiro nível, aumentando a profundidade limite a cada tentativa sem êxito de encontrar uma solução, a busca com aprofundamento iterativo tende a consumir muitos recursos de tempo e espaço.

Tais ordens de complexidade fazem com que o método seja muito utilizado quando o espaço de busca é muito grande e a profundidade de uma solução não é conhecida.

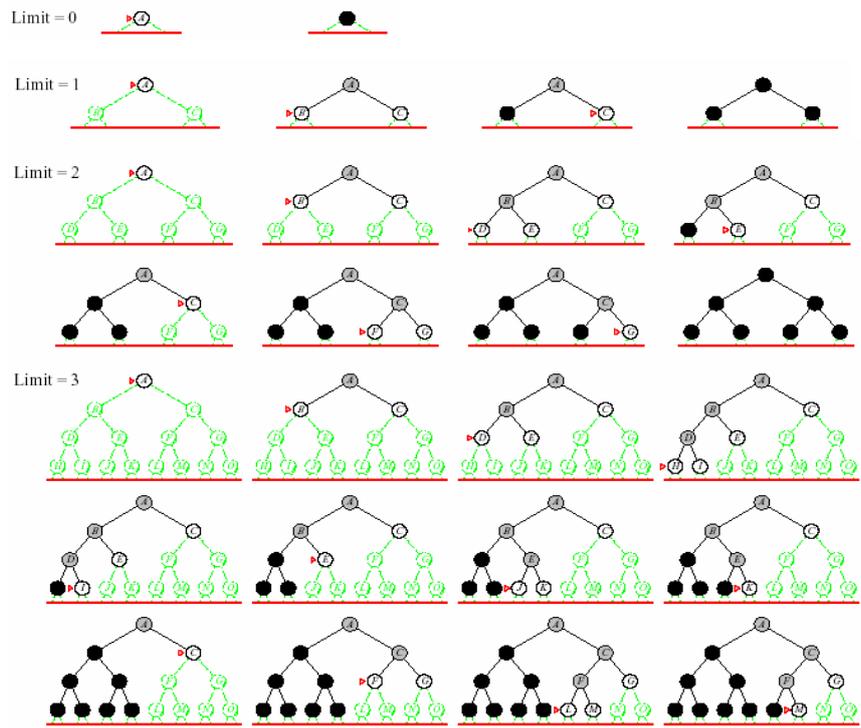


Figura 3.29 – Exemplo da busca com aprofundamento iterativo (CHAIMOWICZ, 2006)

**3.5.5 - Busca Gananciosa – Greedy Search**

Sua idéia principal é expandir o caminho pelo nó que aparenta estar mais próximo do objetivo. Utiliza a função de avaliação  $f(n) = h(n)$ , onde  $h(n)$  é a estimativa de quão longe, em termos de custo, está o nó atual do nó objetivo.

A estratégia de busca “gananciosa” (Figura 3.30) possui os mesmos defeitos de uma busca em profundidade padrão. Ela não é ótima, pois leva em consideração apenas a informação da estimativa de um nó e não o custo ou profundidade que este possui. Também não é completa, pois pode aprofundar-se em um caminho e nunca retornar para tentar outras possibilidades. Este algoritmo trabalha apenas com a estimativa da distância de um dado vértice até o destino, utilizando sempre o menor valor. No exemplo da Figura 3.30, o primeiro passo seleciona a origem, o segundo seleciona a próxima estação sucessora cuja estimativa para o destino seja a menor, no caso C. Seguindo este raciocínio no próximo passo seleciona os filhos de C e deles a menor estimativa para H, no caso G. O próximo passo alcança o destino, entretanto resulta em um caminho cuja solução não é ótima.

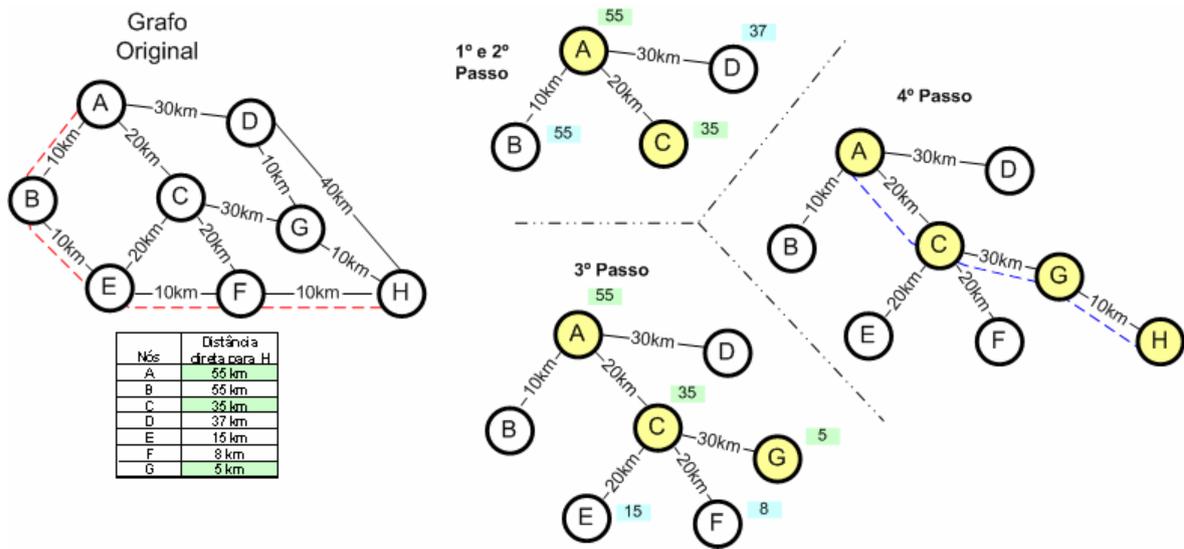


Figura 3.30 – Exemplo da busca gananciosa (Greedy Search)

### 3.5.6 - Busca de Custo Uniforme – Algoritmo de *Dijkstra*

O algoritmo proposto por Edsger W. Dijkstra para resolver o problema de menor caminho em grafos foi desenvolvido em 1956 e publicado em 1959 (Wikipedia, 2007). Utiliza a função de avaliação  $f(n) = g(n)$ , onde  $g(n)$  é o custo total do caminho já percorrido partindo da origem.

Na busca de custo uniforme, para cada nó explorado é associado o custo da função  $f(n)=g(n)$  e sempre o nó de menor custo total acumulado até o momento é escolhido para continuar a exploração. Assim, a busca de custo uniforme é similar à busca em largura, com profundidade igual ao último custo total calculado. A busca de custo uniforme também garante que uma solução seja encontrada e que esta solução será ótima, caso não haja custos negativos.

Uma maneira simples de apresentar o algoritmo de *Dijkstra* com fila de prioridade é descrita a seguir:

- Seja  $G(V,A)$  um grafo ponderado não orientado, onde  $V$  são os vértices de  $G$ , e  $A$  seus arcos;
- Acrescente o vértice “ $s$ ” (origem da busca), com peso zero, classificado como aberto e sem vértices precedentes em uma nova  $T$ ;

- Atribua um valor infinito para peso do destino “ $w$ ”;
- Enquanto houver vértice aberto em T e (vértice destino “ $d$ ” não alcançado ou houver vértice aberto com peso menor que o do destino “ $w$ ”):
  - Seja “ $k$ ” um vértice ainda aberto cuja estimativa seja a menor dentre todos os vértices abertos;
  - Feche o vértice “ $k$ ”, buscando em todo o universo de arcos A, quais os vértices que estão ligados à “ $k$ ” e que ainda não estão fechados (possíveis sucessores);
  - Caso os vértices possíveis sucessores de “ $k$ ” ainda não pertençam à tabela T, acrescente-os;
  - Para todo vértice “ $j$ ” que seja um possível sucessor de “ $k$ ” faça:
    - Some a estimativa do vértice “ $k$ ” com o custo do arco que une “ $k$ ” a “ $j$ ”;
    - Caso esta soma seja melhor que a estimativa anterior para o vértice “ $j$ ”, substitua-a e anote “ $k$ ” como precedente de “ $j$ ”;
    - Caso vértice “ $j$ ” seja o destino “ $d$ ” e “ $k$ ” seja seu precedente, atribua esta soma ao peso do destino “ $w$ ”.

A Figura 3.31 ilustra os passos para o algoritmo de *Dijkstra* encontrar o menor caminho entre os vértices “A” e “H”. No primeiro passo o vértice “A” é acrescentado na nova tabela T e é atribuído infinito ao peso do destino “ $w$ ”. No segundo passo é escolhido o vértice “A” como menor vértice aberto do universo T e os nós “B”, “C” e “D” são acrescentados à tabela T com nó “A” como precedente e peso correspondente à soma do peso do predecessor (“A”) com o peso do arco que interliga estes nós. Nó “A” é fechado. No terceiro passo é escolhido o vértice “B” como menor vértice aberto do universo T e segue a mesma lógica anterior. No sexto passo, o destino “H” é alcançado e é atribuído o peso de 70 ao peso do destino “ $w$ ”. Entretanto como existe ainda vértice aberto “F” com custo menor que “ $w$ ”, o algoritmo continua até que o destino seja alcançado e não exista vértices abertos com peso menor que “ $w$ ”.

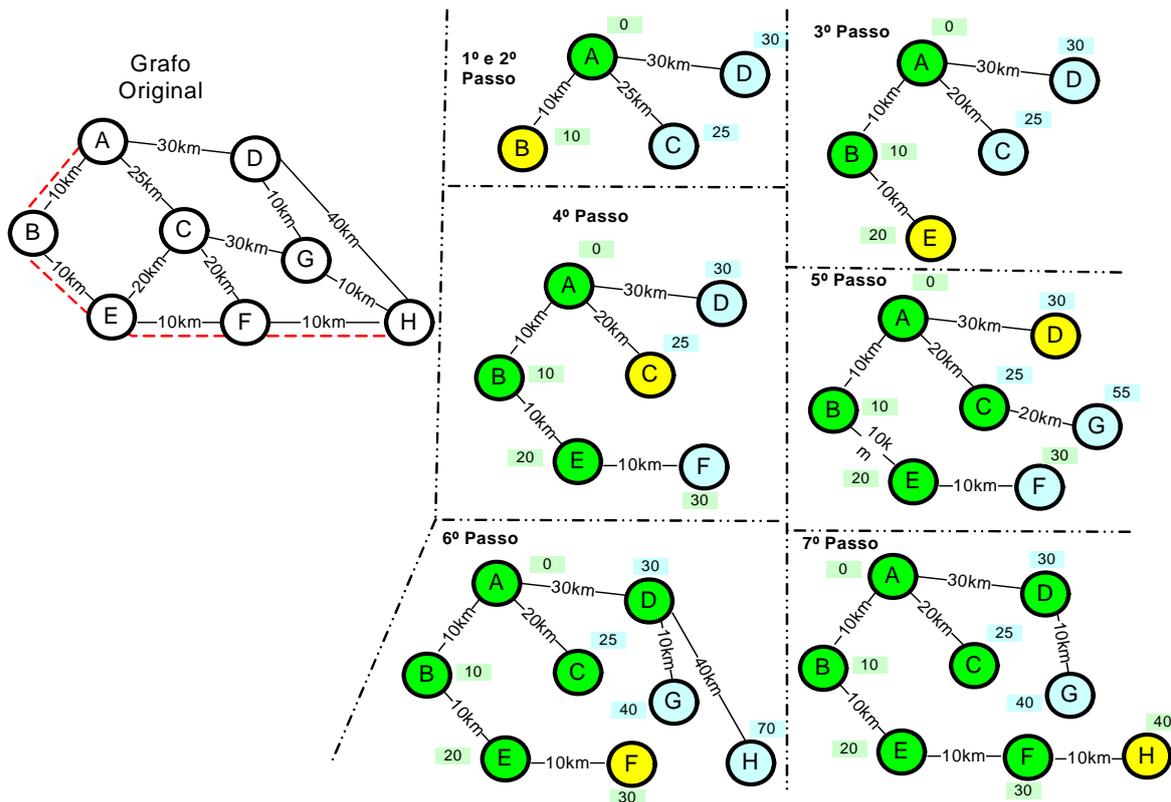


Figura 3.31 – Exemplo do algoritmo de *Dijkstra*

### 3.5.7 - Algoritmo A\*

Este algoritmo foi descrito pela primeira vez em 1968 por Peter Hart, Nils Nilsson, e Bertram Raphael (Wikipedia, 2007). Utiliza a função de avaliação  $f(n) = g(n) + h(n)$ , onde  $g(n)$  é o custo total do caminho já percorrido partindo da origem e  $h(n)$  é a estimativa de distância para se alcançar o destino partindo do nó avaliado. Observando esta função pode-se notar que o Algoritmo de *Dijkstra* e o método de busca gananciosa são particularidades deste algoritmo, ou seja, respectivamente  $h(n)=0$  e  $g(n)=0$ .

O algoritmo A\* percorre um grafo eficientemente, de acordo com a heurística escolhida. Se a heurística for “boa”, então a busca é eficiente; se a heurística for “ruim”, embora encontre um caminho, esta busca irá tomar mais tempo que o normalmente necessário e possivelmente encontrará um caminho sub-ótimo (CHOSSET, 2005). Uma heurística otimista, ou admissível, é sempre menor ou igual ao caminho ótimo do nó atual ao nó destino.

## **4 - DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS**

Serão adotados basicamente três passos na metodologia deste trabalho. O primeiro será a proposta de um sistema de informações para tratar da rede de transporte. O segundo será a coleta de informações sobre a rede existente de sistemas de gerência SDH. Estes primeiros passos serão pautados pelo modelamento de processos proposto no eTOM. O último passo será a aplicação de algoritmos de re-roteamento dos circuitos que ocupem mais arcos e interligações da rede SDH buscando a otimização da rede. Esta metodologia é construtivista, ou seja, o resultado final depende do desenvolvimento das etapas anteriores.

### **4.1 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA REDE DE TRANSPORTE**

A otimização de recursos é um resultado colhido do trabalho de organização, análise e tratamento de inúmeras informações.

A organização em si das informações da rede de transporte já permite ganhos, pois torna visual e quase óbvias algumas oportunidades de otimização, viabilizando intervenções precisas e conseqüentemente menos onerosas. Trata-se de um esforço preventivo normalmente mais produtivo que um esforço reativo. Dias (DIAS, 2002) chama a atenção para este assunto quando diz que as empresas têm muitos dados, mas poucas informações. Ele apresenta a conclusão de que as operadoras terão de se voltar para o uso adequado dos dados que coletam e tratam, transformando-os em “informação” e com mais algum trabalho transformá-los em “informação inteligente”.

A administração de redes de transporte, sem ferramentas de OSS, é extremamente dependente dos recursos humanos. Uma ferramenta conforme a proposta neste trabalho, busca diminuir esta dependência assumindo parte do conhecimento da rede e tornando-o disponível de forma uniforme para toda a empresa. Como exemplo, deve permitir que as regras de engenharia de composição dos equipamentos sejam cadastradas na base de dados e estejam disponíveis para usuários que necessitem instalar interfaces específicas em sub-bastidores com posições de placas disponíveis. Nesta situação, caso o usuário não tenha certeza das regras de engenharia, pode utilizar o conhecimento cadastrado na base de dados

para decidir qual posição vaga deve ser utilizada. A própria base deve restringir a escolha de placas específicas para posições pré-definidas.

Neste trabalho, pretende-se demonstrar a viabilidade de execução e os ganhos agregados por uma ferramenta computacional adequada. O objetivo é evoluir o processo de administração do ciclo de vida da rede para uma Gestão Integrada de Rede (GeIR) conforme Figura 4.1 e Figura 4.2.

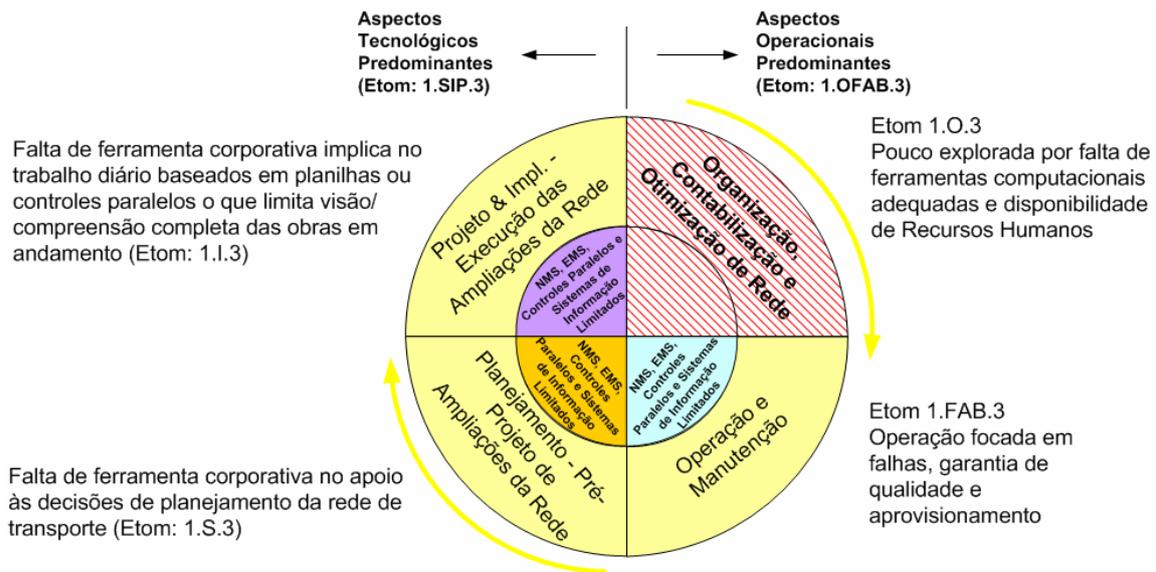


Figura 4.1 – Administração do ciclo de vida da rede sem ferramentas computacionais adequadas

Os maiores desafios para esta evolução são a ausência de um sistema integrado para gestão da rede de transporte (ferramenta computacional adequada) e a falta de recursos humanos dedicados para padronização, organização e otimização da rede existente.

O protótipo de sistema de informações, base deste trabalho, foi desenvolvido com aplicativos ACCESS e VISIO da Microsoft. O primeiro sendo a base de dados única, onde toda a informação da rede de transporte necessária para este trabalho foi modelada e carregada e o segundo para representar graficamente conjuntos de dados selecionado pela base de dados. Assim sendo, o núcleo deste sistema de informação está na base de dados única e o VISIO agrega valor pela versatilidade na representação gráfica das informações.

Conforme Figura 4.2 o sistema de gerenciamento de rede (NMS) e de elemento de rede (EMS) também são utilizados como sistemas de informações. Entretanto, como são proprietários, nenhum desenvolvimento foi feito nestas bases.

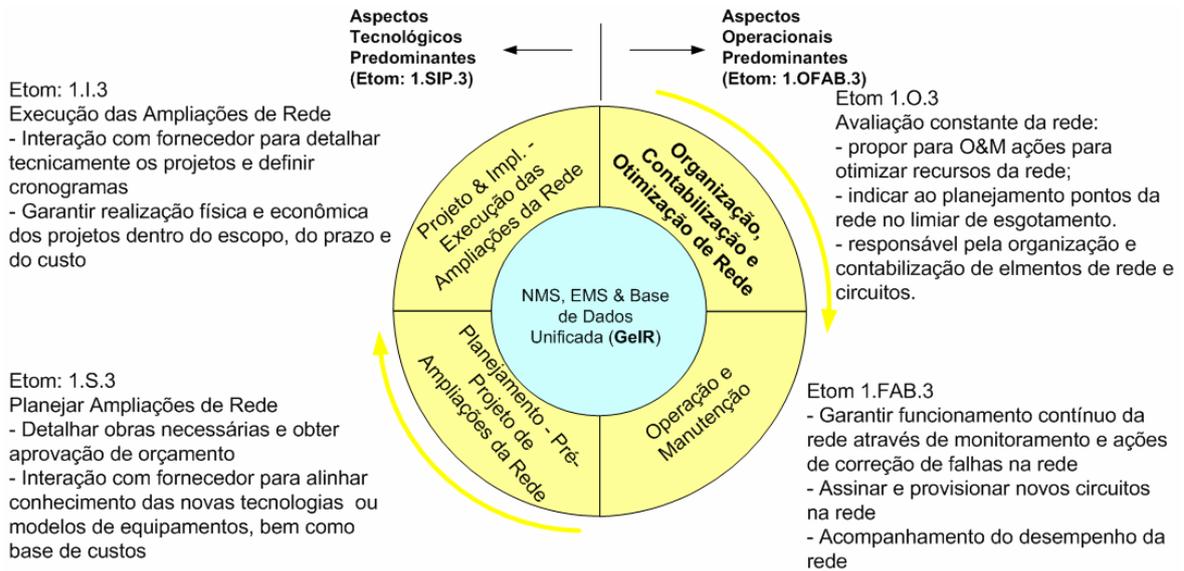


Figura 4.2 – Administração do ciclo de vida da rede com ferramenta GeIR

A base de dados do sistema de informações proposta neste trabalho será organizada, em termos gerais, na seguinte forma: estações de telecomunicações contêm equipamentos que contêm sub-equipamentos, que contêm posições de placas, que contêm placas, que contêm interfaces. Estas últimas interligadas formam topologias que compõem a rede de transporte. As interligações físicas devem ainda ser abertas nas camadas de vias de alta ordem e de vias de baixa ordem.

Esta representação da rede, por chegar a nível lógico da rede, será denominada “representação detalhada” e permite o modelamento transparente da rede de transporte, indicada por Mazzini como um dos itens desejáveis de um sistema OSS (MAZZINI *et al*, 2003). Uma representação “caixa preta” é mais prática para sistemas PDH, que não oferecem tanta flexibilidade de configuração e interligação de equipamentos quanto as rede SDH. Assim sendo, para estes casos seria suficiente e prático a seguinte proposta: estações de telecomunicações contêm equipamentos que estão interligados formando topologias que compõe a rede de transporte.

Como em qualquer sistema de informações, deve-se buscar a confiabilidade das informações, sua unicidade, padronização e praticidade a fim de agregar valor ao processo de administração do ciclo de vida de uma rede de transporte.

Neste sentido as estações de telecomunicações, que correspondem à ambientes devidamente preparados para instalação de equipamentos, foram identificadas de forma padronizada e única. A esta entidade, para rede de transporte, é de suma importância a associação de suas coordenadas geográficas. Adicionalmente a informação do estado à qual pertence, assim como a região dentro deste estado é importante para simplificar a administração desta rede (Figura 4.3). Com as informações de coordenadas, estado e região é que este sistema de informações permite visualizar e tratar redes de transporte altamente complexas sob diversos prismas, como por exemplo:

- Distribuição de capacidade da rede geograficamente;
- Identificação de oportunidades de aprimorar a capacidade de contingenciamento da rede;
- Visualizar apenas a região de interesse;
- O roteamento de tráfego cujo interesse está dentro de um região limitada é consideravelmente mais simples e rápido que o roteamento considerando toda a rede.

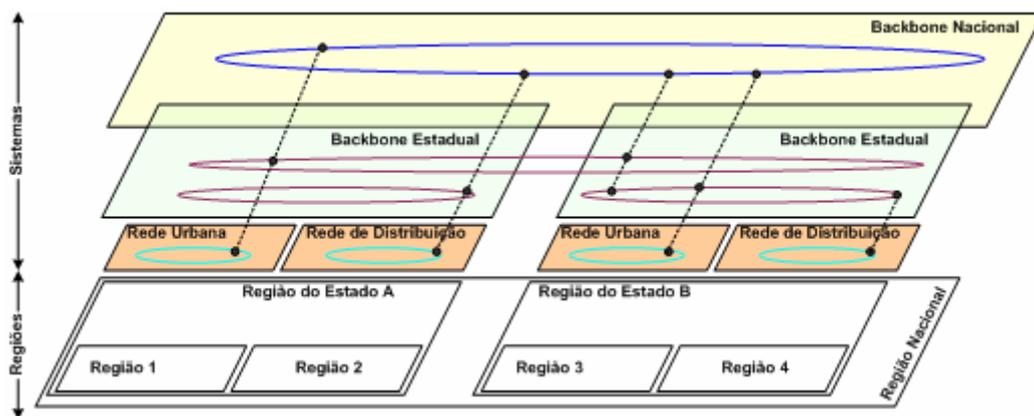


Figura 4.3 – Relacionamento entre regiões e sistemas

As topologias também foram identificadas de forma padronizada e única. Adicionalmente foram classificadas pelo sistema ou camada a qual pertencem (Figura 4.3), capacidade ou taxa de transmissão, tipo de proteção e tipo da topologia (anel, malha, barramento, enlaces).

A “representação detalhada” proposta neste trabalho organizada em sistemas e regiões está alinhada com a estruturação do eTOM, pois permite:

- O entendimento das capacidades existentes, através de representações da rede existente sob diversos prismas e com vários níveis de abstração (Grupo de processos eTOM: 1.S.3.1);
- O conhecimento dos produtos e serviços oferecidos pelos fornecedores e parceiros. Como exemplo, permite o cadastramento das regras de engenharia dos equipamentos identificando limitações de *back-planes*, número de interfaces, restrições de tipos de placas por *slot*. Este nível de conhecimento auxilia na compreensão do processo de evolução dos equipamentos do fornecedor ou parceiro e conseqüentemente permite passos corretos na evolução da própria rede (Grupo de processos eTOM: 1.S.3.1);
- Vinculação de listas de preços do fornecedor ou parceiro com recursos a serem planejados através de códigos do fornecedor, de modo que alterações contratuais possam ser rapidamente avaliadas (Grupo de processos eTOM: 1.I.3.1);
- Planejamento da implantação dos recursos (Grupo de processos eTOM: 1.I.3.1);
- Desenvolver propostas de evolução ou inserção de novas tecnologias de forma mais aderente a realidade da rede (Grupo de processos eTOM: 1.P.3.1).

Robertazzi (ROBERTAZZI, 1998) defende o uso de ferramentas apropriadas de visualização para administrar redes de telecomunicações. A seguir serão descritas diversas formas de visualizações que um sistema de informações, com o objetivo de gerir uma rede de transporte, deve permitir.

Para uma rede de alta complexidade (mais de 1.000 elementos e mais de 10.000 interligações) a visualização georeferenciada é indispensável. A Figura 4.4 ilustra um exemplo de diagrama georeferenciado da ferramenta proposta neste trabalho onde a cor dos arcos indica a capacidade e o texto associado indica a topologia a qual pertence. Entretanto, cada arco é um objeto com todos os atributos da base de dados que podem ser consultados conforme Figura 4.5.

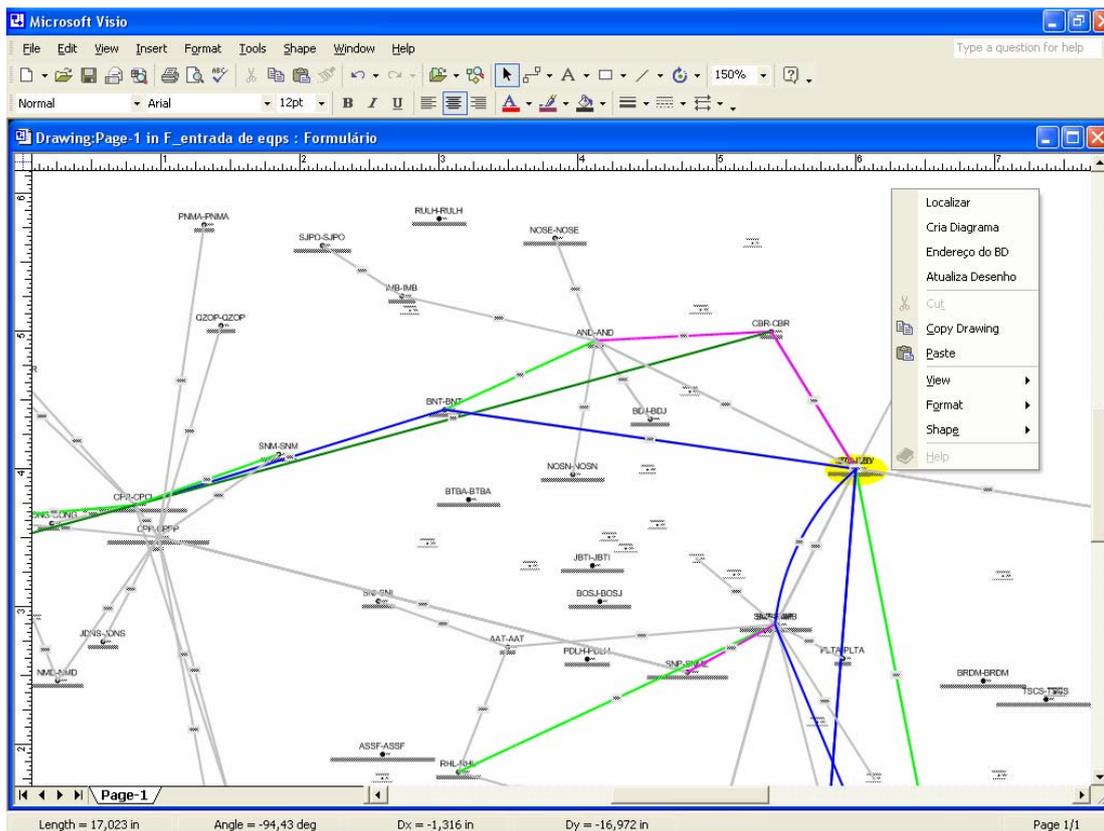


Figura 4.4 – Diagrama georeferenciado indicando capacidades e topologias

A estruturação de informações proposta na Figura 4.3 permite grande flexibilidade para gerar diagramas georeferenciados. Como exemplo, permite avaliar apenas sistemas de um *backbone* Estadual, ou apenas sistemas urbanos de uma região específica, ou apenas a situação do *backbone* Nacional em um ou mais Estados, indicando capacidades ou níveis de ocupação. Este tipo de visualização permite a otimização de investimentos e de tempo, pois viabiliza enxergar várias possibilidades de solução para um problema da rede. Na falta de um sistema deste tipo, a principal informação para estudo de solução é apenas o modo de atendimento atual. A distribuição de capacidade ao redor da estação problemática pode levar algum tempo até ser mapeada, tempo este que está cada vez mais escasso. Esta falta de informação instantânea pode levar a decisões mais onerosas de investimento do que decisões tomadas com um maior número de informações.

Outra visualização importante é a de ocupação de vias. A ocupação de vias de alta ordem de uma rede SDH é um ponto crítico na administração de redes de transporte, pois é através da análise destas informações que são identificados pontos de esgotamento da rede

e planejadas expansões. Desta forma, a visualização destas informações também é indispensável (Figura 4.5 e Figura 4.6).

Como exemplo de otimização viabilizada, pode ser citada a reorganização do tráfego de um anel, conforme trabalho de Amorim (AMORIM, 2006), apenas com as informações visuais. Adicionalmente podem ser identificados circuitos de alta ordem, que pelo seu descritivo, não possuem interesse de tráfego no anel, indicando problema de roteamento.

Uma outra oportunidade de otimização é a de desonerar investimento quando do esgotamento de um anel. Nesta situação, utilizando esta visualização com a georeferenciada, ao invés de substituir todo o anel, algumas vezes é possível identificar um ou mais nós de peso (alto tráfego) que podem ser retirados do anel e migrados para uma outra topologia.

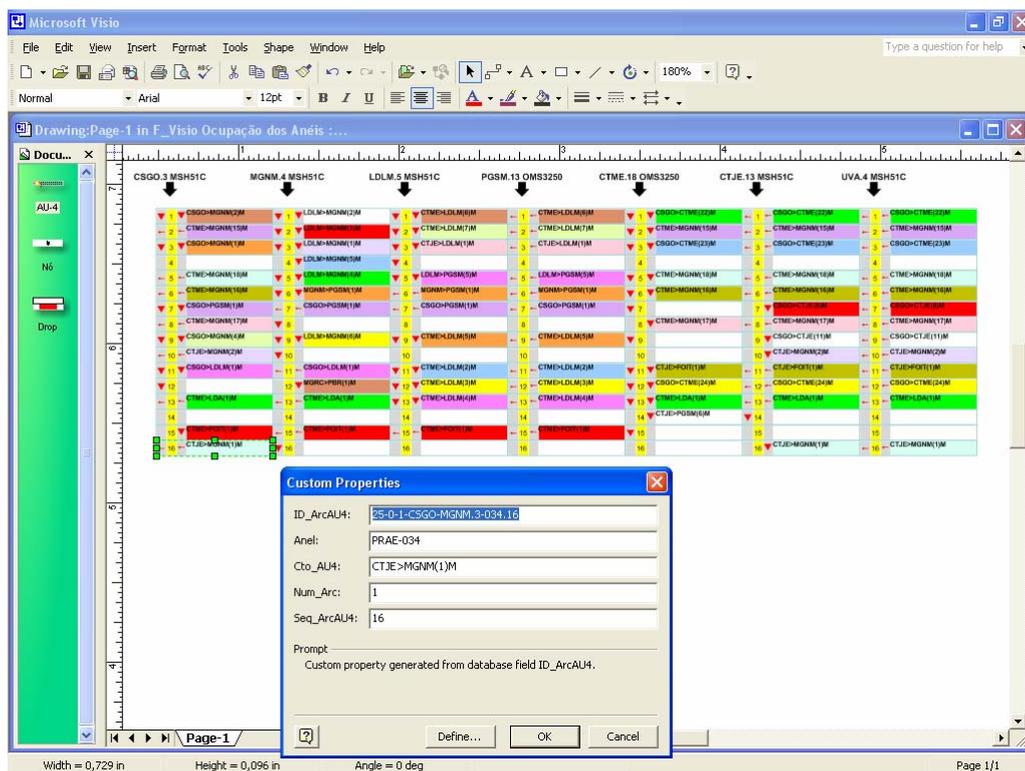


Figura 4.5 – Diagrama de ocupação de um anel SDH MSP-Ring a 4 fibras

Para se chegar neste nível de detalhe em uma base única, as informações de posição de interface por equipamento, suas interligações e das topologias associadas são indispensáveis.

A Gestão Integrada de Recursos proposta neste trabalho traz grandes oportunidades de otimização, entretanto são difíceis de serem mensuradas. Uma oportunidade que pode ser mesurada e que é explorada neste estudo é a reorganização das vias de alta ordem da rede SDH. Como exemplo o circuito (“CTME->FOIT”) da 15ª via entre os equipamentos de “CSGO” e “PGSM” potencialmente pode ser otimizado pois visa alcançar a estação de “CTME”, que é a próxima estação depois de “PGSM” neste anel. Entretanto, em “PGSM” este circuito é crossconectado (conectado entre seções de multiplexação distintas pela matriz do elemento) para outro anel antes de chegar a seu destino, indicando possível mal roteamento.

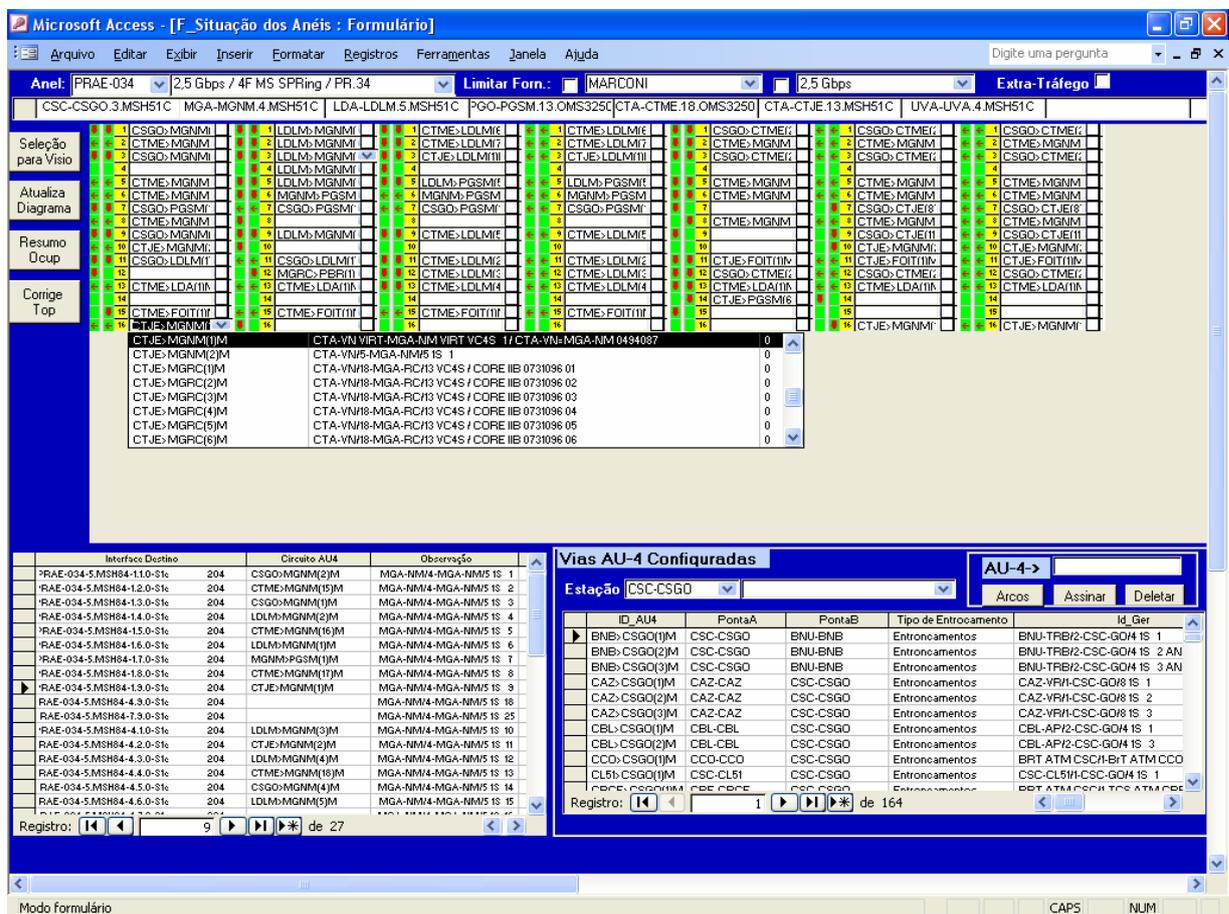


Figura 4.6 – Visão da ocupação de um anel SDH MSP-Ring a 4 fibras pela base de dados

Com o aumento da complexidade das redes de transporte, onde um único elemento de rede pode pertencer à dezenas de anéis, a simples visualização gráfica de um anel pode ser inviável. Uma ferramenta para GeIR deve suprir esta limitação dos sistemas de gerência.

É importante salientar que a Figura 4.6 apresenta um nível de abstração comum na administração de redes de transporte. Os regeneradores, por não possuir capacidade de conexão cruzada, não são representados. Entretanto, esta abstração subtrai ao operador uma noção mais precisa de qual o caminho físico o anel está percorrendo e de distâncias entre estações. O roteamento computacional previsto neste trabalho pode considerar estes regeneradores na composição dos pesos dos arcos.

Adicionalmente, este modo de visualização, onde vários circuitos de alta ordem podem ser observados simultaneamente em diversos arcos de um anel, não é encontrado em sistemas de gerência de rede (NMS). Normalmente estes sistemas possuem grandes limitações e falta de flexibilidade na representação simultânea de diversas informações. Neste sentido, este modo de visualização agrega grande valor na administração e otimização de recursos de uma rede de transporte.

Uma terceira visualização, que também é indispensável para uma administração eficiente da rede de transporte, é a de diagramas topológicos. Esta representação permite visualizar interligações de equipamentos na mesma estação, o que é inviável em diagramas georeferenciados. Adicionalmente é esta representação que melhor atende aos grupos de processos 1.S.3.1 e 1.I.3.2 do eTOM, pois permite a visualização de um plano de obras, sua conferência e entrega para operação.



inventário, que é a dificuldade da entrada de dados e sua manutenção atualizada, seja vencida com um menor consumo de tempo e de pessoas.

Os sistemas de gerência são as ferramentas básicas de operação e administração de uma rede de transporte e por esta razão podem ser classificados como fonte primária de informação. Este fato torna crítico e obrigatório a padronização das informações destes sistemas. Assim, é esta padronização que viabiliza e facilita a vinculação destas fontes primárias de dados com o sistema de gestão integrada da rede.

Os principais dados a serem coletados são:

- Elementos de rede;
- Equipação dos elementos de rede;
- Interligação dos elementos de rede;
- Circuitos;
- Roteamento dos circuitos.

Os relatórios obtidos dos sistemas de gerência no formato “.txt” foram tratados por macros desenvolvidas em VISIAL BASIC para aplicativos WORD e ACCESS. O objetivo é traduzir as informações dos relatórios de gerência para o modelo de informações da base de dados única. O processo de obtenção de informações e seu tratamento neste trabalho pode ser considerado “artesanal”, no sentido de que não é ágil o suficiente. Como exemplo de limitações deste processo “artesanal”, alguns relatórios dos sistemas de gerência possuem limites de registros (no caso deste trabalho 1.000 por consulta), obrigando o usuário a retirar diversos relatórios para depois uni-los em um único arquivo. Um meio de incrementar este processo é a utilização de interfaces comerciais de exportação de dados dos sistemas de gerência que podem disponibilizar informações em formatos mais estruturados (por exemplo XML<sup>11</sup>) através de uma única requisição.

A seguir serão exemplificados alguns dos arquivos tratados na elaboração deste trabalho.

---

<sup>11</sup> XML ou Extended Markup Language é um padrão para estruturação e troca de informações proposta pelo W3 Consortium, que possibilita especificar a forma dos dados no documento, além de permitir definições semânticas (Wikipedia, 2007).

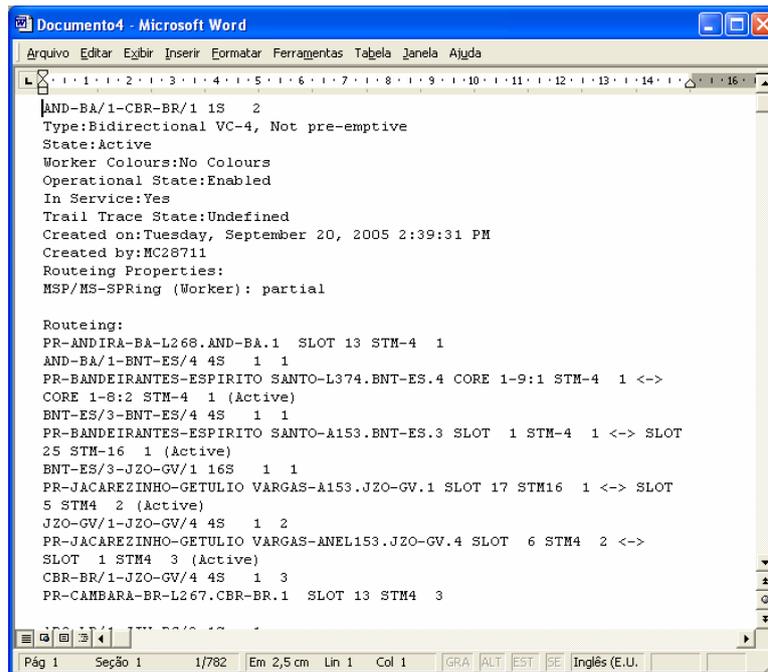


Figura 4.8 – Exemplo de relatório de roteamento de vias de alta ordem

A Figura 4.8 exemplifica o relatório de vias de alta ordem tratado nesta dissertação. Este relatório corresponde exatamente ao formato retirado de um sistema de gerência sem tratamento de informações. Cabe salientar o tamanho do arquivo (782 páginas do documento) e a falta de delimitador único entre informações relevantes. Em alguns casos a informação é separada por caractere “:”, em outros por caractere “.” e muitos separados por espaço simples. Desta forma, uma ferramenta de exportação que gere arquivos mais estruturados agrega grande valor no processo de coleta e tratamento das informações.

A Figura 4.9 exemplifica a reorganização das informações do arquivo original. Neste exemplo a sumarização das informações, através do relacionamento com informações padronizadas da base de dados, sintetiza de forma considerável o volume de dados. O documento com 782 páginas (45.951 linhas) foi reduzido para 6.283 registros.

ID_AU4	PontaA	PontaB	Circuito	ID_Equipamento	sub	slot	sslot	via	sub1	slot1	sslot1	via1
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	AND-AND.MA.SO.1	1	13	0	1	0	0	0	0
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	BNT-BNT.MA.SO.4	1	9	1	1	18	2	1	1
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	BNT-BNT.MA.SO.3	1	1	0	1	1	25	0	1
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	JZO-JZO.MA.SO.1	1	17	0	1	1	5	0	2
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	JZO-JZO.MA.SO.4	1	6	0	2	1	1	0	3
AND:CBR(2)M	AND-AND	CBR-CBR	AND-BA/1-CBR-BR/1S 2	CBR-CBR.MA.SO.1	1	13	0	3	0	0	0	0

Registro: 1387 de 6283

Figura 4.9 – Exemplo de relatório de roteamento de vias de alta ordem tratado

Em suma, a coleta e o tratamento de informações dos sistemas de gerência são indispensáveis para uma ferramenta de gestão integrada da rede. Para maximizar os resultados deste procedimento é fundamental a manutenção de padrões de nomenclaturas e identificações tanto no sistema de gerência, quanto nos sistema de gestão integrada da rede. O uso de ferramentas desenvolvidas pelos próprios fornecedores para exportação de dados dos sistemas de gerência é altamente recomendável, uma vez que disponibiliza informações mais estruturadas e de forma completa.

### 4.3 - ROTEAMENTO COM FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Para executar esta função, associada ao grupo de processos 1.F.3.2 do eTOM, a proposta deste trabalho é utilizar o algoritmo de *Dijkstra* como uma forma flexível e ágil de se obter resultados consideráveis.

Sem uma ferramenta computacional, um operador de rede pode levar horas para selecionar um caminho disponível, pois além de buscar o menor caminho, ainda deve verificar a disponibilidade de vias (ver Figura 4.5 ou Figura 4.6).

Esta ferramenta foi desenvolvida segundo o seguinte algoritmo:

- Para cada um dos circuitos a serem roteados;
- Se circuito é existente, as vias utilizadas devem ser liberadas;
- Definir escopo do grafo (nós e arcos), dadas as condições iniciais de contorno (ex. limitações ou não de regiões e camadas, apenas arcos com vias disponíveis);
- Aplicar algoritmo de *Dijkstra*;
- Se houve sucesso em alcançar o destino e custo do caminho é menor que o original, associar circuito às vias disponíveis do caminho escolhido.
- Se foi possível associar o circuito às vias disponíveis sem *Time-Slot Interchange* (TSI), rotar próximo circuito;
- Caso contrário, desconsiderar vias selecionadas dos arcos de anéis onde não foi possível associar o circuito e aplicar novamente o algoritmo de *Dijkstra*.
- Caso análise seja esgotada e novo caminho não seja encontrado, re-estabelecer caminho original.

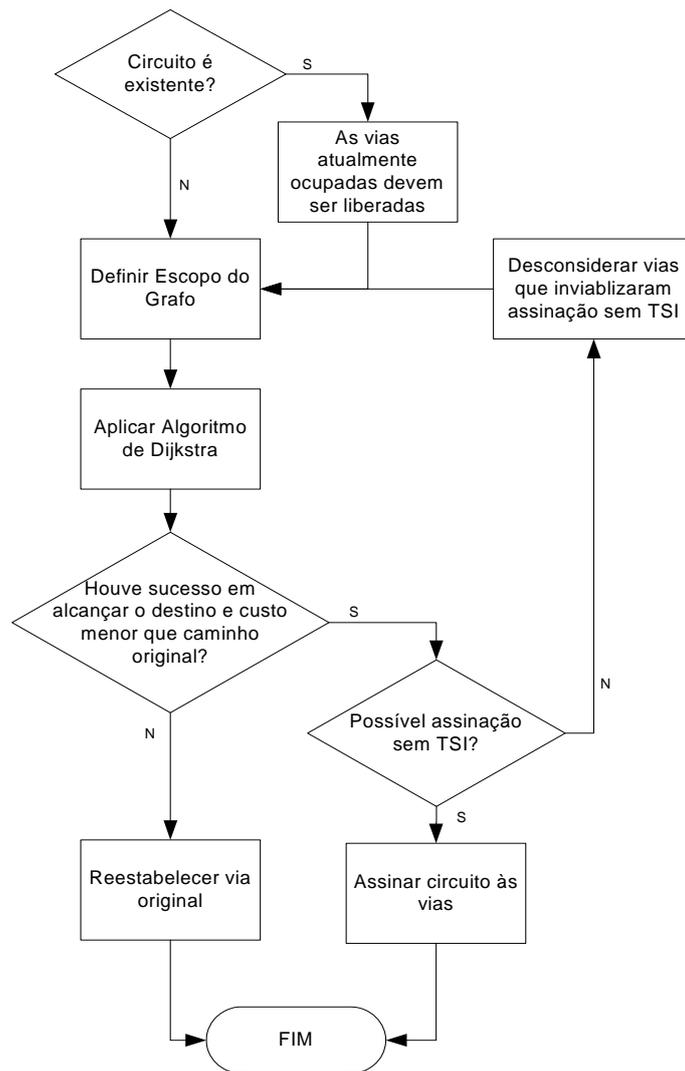


Figura 4.10– Fluxograma do algoritmo aplicado no roteamento de cada circuito

Para a rede testada neste trabalho, este algoritmo apresentou um tempo médio de 4 segundos para computar o caminho de cada circuito de alta ordem. Esta atividade realizada por um operador do NOC pode levar horas dependendo da complexidade do provisionamento, ou seja, do número de anéis e das opções disponíveis para roteamento deste circuito.

A rede estadual do Paraná analisada neste trabalho pode ser descrita pelos seguintes números:

- 1.014 circuitos/caminhos estruturados de alta ordem em anéis 2,5Gbps e 10Gbps;

- 33 anéis SDH (2,5 Gbps e 10 Gbps), contendo 458 equipamentos, 195 seções de multiplexação de anéis/barramentos, 274 interligações de equipamentos intra-estação e 2.960 vias de alta ordem;
- Os circuitos/caminhos estruturados de alta ordem ocupam originalmente 1.755 vias de alta ordem em arcos de anéis SDH e 1.435 vias em interligações entre equipamentos.

Desta rede foram selecionados os circuitos que ocupam mais de 5 arcos e interconexões de equipamentos, o que resultou num universo de 153 circuitos. Para cada um destes circuitos foi aplicado o algoritmo descrito acima. Como resultado, houve ganho de 105 vias de alta ordem em anéis/barramentos ( $105/1755 = 6\%$ ) e 33 interconexões ( $33/1435 = 2,3\%$ ).

É importante esclarecer que grande parte dos circuitos cujo re-roteamento apresentou ganho não necessariamente foram roteados incorretamente quando da sua ativação. Situações de esgotamento de facilidades e/ou a criação de novas rotas implicaram no fato de que o roteamento originalmente viável, em uma nova realidade da rede, pôde ser melhorado.

A Figura 4.11 ilustra o re-roteamento realizado pela ferramenta. Esta figura também representa os vários modos como os equipamentos são interconectados, sendo que todas estas interligações devem ser consideradas para compor o caminho final do circuito roteado. O ADM.8 pertence simultaneamente a dois anéis distintos, já o tráfego do anel B para o anel A pode ser roteado entre os elementos ADM.4 e ADM.7 destes anéis, ou pode ser roteado entre os elementos ADM.3 e ADM.5 via conexão cruzada no DXC.

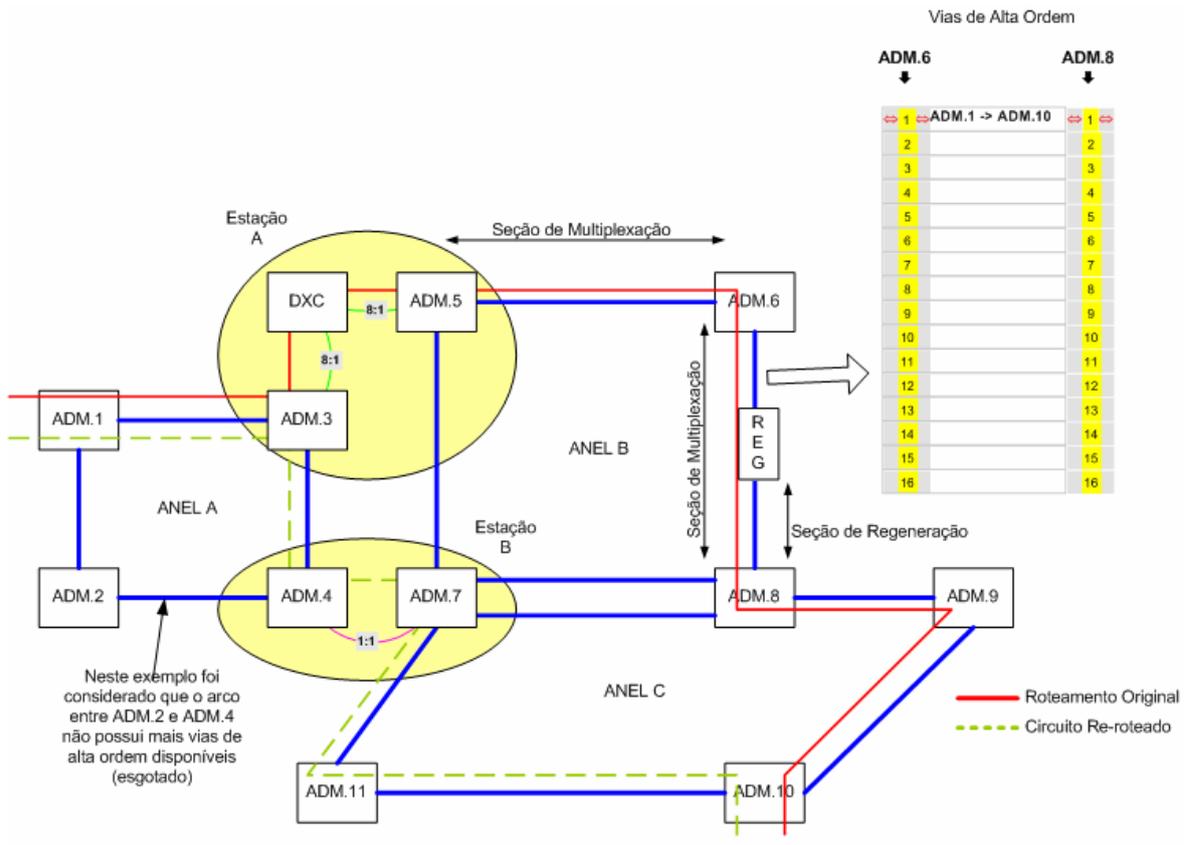


Figura 4.11 – Exemplo de Re-roteamento proposto neste trabalho

A Figura 4.12 ilustra o grafo equivalente à rede da Figura 4.11. Foi utilizado peso unitário para toda seção de multiplexação com vias disponíveis. Seções totalmente ocupadas foram desconsideradas na computação do grafo. Apesar de ter utilizado peso unitário, esta ferramenta está apta utilizar outros pesos, como por exemplo:

- Considerando seções de multiplexação e regeneração;
- Considerando taxa de ocupação dos arcos;
- Utilizando distâncias ópticas ou georeferenciadas.

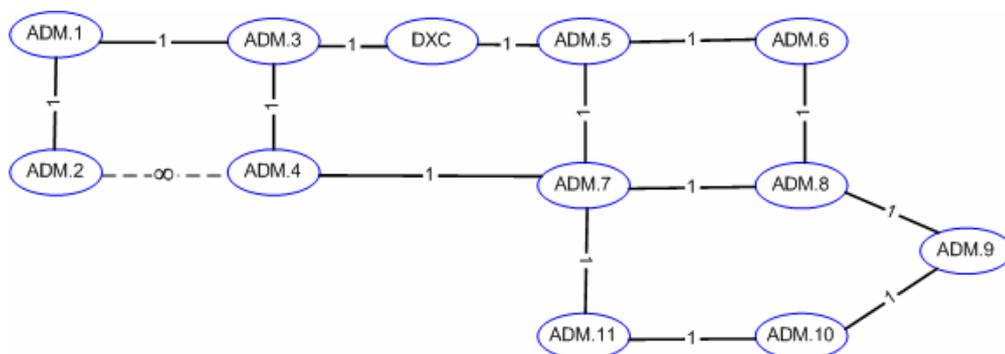


Figura 4.12 – Grafo resultante do exemplo de re-roteamento

A Figura 4.13 ilustra a interface pela qual o usuário pode selecionar os circuitos a serem re-roteados, executar o re-roteamento e avaliar os resultados obtidos.

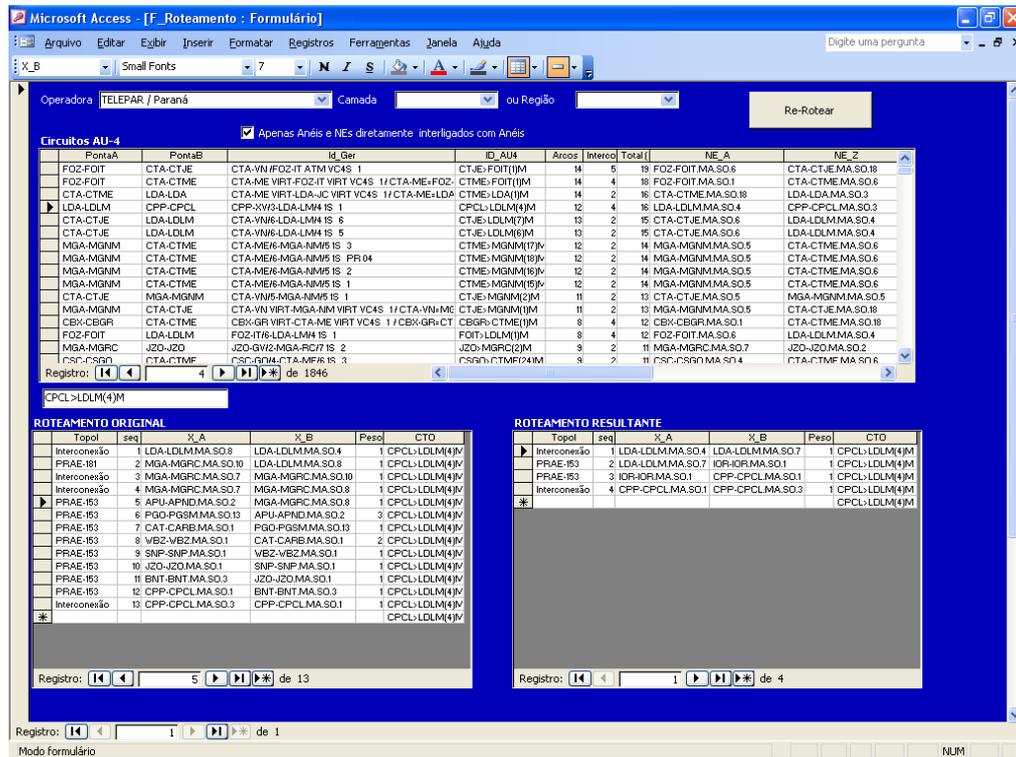


Figura 4.13– Exemplo de Re-roteamento proposto neste trabalho

Para facilitar a reconfiguração da rede sem necessidade de intervenção física, as terminações dos circuitos foram mantidas, ou seja, para cada circuito foi mapeado seu equipamento de origem e seu equipamento de destino. A ferramenta permite que o operador, caso identifique uma alteração de terminação de equipamento que compense o transtorno operacional, simule seu re-roteamento alterando suas terminações.

## 5 - ESTUDO DE CASO E DISCUSSÕES

Com o intuito de mensurar o ganho obtido, serão utilizados os valores de referência praticados pela Oi (Antiga TELEMAR) (Figura 5.1). Estas informações são públicas e disponíveis no site da empresa, onde: SL é o acrônimo de SuperLocal e esta associado a circuitos dentro de um mesmo município ou região metropolitana; REG é o acrônimo de circuitos dentro de uma mesma região ou unidade da federação; e NAC é o acrônimo de circuitos entre regiões distintas que não se encaixam nas descrições anteriores. As colunas I, II, III e IV representam o porte das localidades envolvidas, sendo I para capitais, II para grandes cidades, III para cidades de porte médio e IV para as demais localidades.

Cabe salientar que trata-se apenas de uma aproximação teórica, uma vez que a rede e os circuitos tratados encontram-se na área da Brasil Telecom e os preços estão relacionados aos serviços prestados pela Oi. Nesta aproximação o serviço da Oi que mais se aproxima à ponderação utilizada no algoritmo de *Dijkstra*, e que representa os ganhos obtidos, é o serviço 155M SL-II cujo preço de referência é de R\$ 13.853,46.

O ganho obtido com o re-roteamento dos circuitos de uma unidade da federação foi de 105 vias de alta ordem equivalentes aos circuitos 155Mbps SL-II da Figura 5.1. Assim sendo, o ganho equivalente pode ser traduzido em um potencial de receita adicional de R\$ 1.454.613,30 ao mês, ou R\$ 17.455.359,60 ao ano. Cabe salientar que o valor do serviço 155Mbps SL-II, corresponde à um valor de “atacado” e com o maior desconto por tempo de fidelidade. Caso o ganho seja utilizado para atender circuitos de “varejo” (E1) o potencial de receita adicional pode ser consideravelmente maior. Como exemplo, utilizando o menor valor de EILD (Exploração Industrial de Linhas Dedicadas) de 2Mbps (E1) da OI (OI EILD, 2006) que corresponde à R\$ 1.524,00 para circuitos urbanos de degrau local em grandes cidades, o ganho potencial de receita adicional seria de R\$120.957.120,00 ao ano (105 vias x 63 E1s/via x 12 meses x R\$1.524,00/mês). O próximo degrau equivale a um circuito 2Mbps em um distância de 50km ao custo de R\$ 2.514,9.

Os custos de mão de obra para re-roteamento, organização e padronização dos circuitos não deve alcançar R\$ 60.000,00 ao mês (Equivalente ao custo total de 6 pessoas à R\$

10.000,00). Já os custos de desenvolvimento/contração de sistema para Gestão Integrada da Rede de Transporte assim como das interfaces de exportação, dependendo da estratégia da operadora, podem alcançar ordem de dezenas de milhões.

A concretização destas receitas depende do nível de ocupação da rede, assim como do crescimento da demanda. Ou seja, caso a rede esteja com nível de ocupação muito baixa, os ganhos não são significativos na geração de novas receitas, entretanto permitem atender ao crescimento de demanda por um maior tempo postergando investimentos na rede. Caso a rede esteja com elevado nível de ocupação, qualquer facilidade liberada servirá para atender novas demandas gerando receitas de imediato. Adicionalmente deve haver demanda de circuitos nos trechos nos quais as vias foram disponibilizadas. Entretanto, estas demandas são razoavelmente prováveis devido às capacidades dos anéis envolvidos.

Em suma, considerando também os ganhos não mensurados, resultados positivos na ordem de dezenas de milhões ao ano são tangíveis e indicam claramente a importância da otimização de recursos através da gestão integrada de rede de transporte defendida neste trabalho.

SUPERLINK				
PREÇOS SEM IMPOSTOS - 60 MESES				
	I	II	III	IV
<b>34M</b>				
SL	5.039,33	5.760,36	7.916,69	14.405,88
REG	9.224,43	10.543,56	14.491,45	26.358,44
NAC	15.775,83	18.052,88	24.805,14	45.139,63
<b>155M</b>				
SL	11.235,10	13.853,46	19.055,02	34.615,09
REG	20.110,82	24.817,58	34.101,47	62.012,64
NAC	36.199,49	44.614,46	61.365,30	111.593,24
<b>622M</b>				
SL	29.211,26	36.030,40	49.541,53	90.057,08
REG	52.580,27	64.825,16	89.094,35	162.119,03
NAC	99.902,51	123.271,59	169.332,12	308.083,84

Figura 5.1 – Preços mensais da OI para EILD de altas taxas (OI SL, 2006)

A validação do resultado foi feita utilizando um relatório no qual para cada circuito foi detalhado o caminho original e o caminho re-roteado. O caminho original foi computado através da compilação das vias ocupadas na própria base de dados, assim como os circuitos re-roteados.

Este relatório tem o principal objetivo de comprovar o que já estava previsto no algoritmo adotado, segundo o qual, o circuito só é re-roteado caso existam meios disponíveis no

caminho escolhido. Caso contrário, a associação era desfeita e novas análises executadas. Adicionalmente, como a análise é executada circuito à circuito, e o circuito atual encontra-se roteado na rede, ao menos esta solução final é garantida.

O valor discutido acima trata-se apenas de vias de alta ordem, onde existe uma razoável preocupação com a qualidade do roteamento. Para vias de baixa ordem este ganho é consideravelmente maior, uma vez que a preocupação com a qualidade do roteamento é menor. Esta menor preocupação está relacionada ao grande volume de ativações deste tipo de circuito. Esta realidade de aprovisionamento em conjunto com pontos de esgotamento da rede, levam ao aprovisionamento de circuitos “atletas”, que percorrem distâncias consideravelmente maiores, as vezes o dobro, do que a menor distância entre origem e destino. Adicionalmente, muitas das vias de alta ordem foram estruturadas ainda quando o tráfego de voz era dominante na rede. Entretanto o tráfego de dados atualmente é maior que o da voz e não segue necessariamente o mesmo interesse de tráfego desta última. Para quantificar o grau de otimização a nível de baixa ordem (VC-12) o uso das ferramentas de exportação são praticamente indispensáveis.

Uma outra discussão relevante é se este sistema deve ser desenvolvido pela própria operadora ou se deve utilizar uma ferramenta comercial. Späth (SPÄTH, 2006) aborda esta questão indicando benefícios de cada uma. A favor de sistemas comerciais cita: não necessitar esforços de desenvolvimento (apenas para customização do sistema), ser validado por muitos usuários, facilitar comparação/discussão com parceiros que utilizam a mesma ferramenta, garantir disponibilidade de novas implementações acompanhando as tecnologias, boa documentação que garante menor tempo de inicialização de novos usuários. A favor de sistemas próprios: não necessitar taxas de licença; ser flexível, extensível e configurável; permitir o modelamento de detalhes do produto sem abri-las para terceiros; ser mais simples de integrar (por exemplo dimensionamento e simulação), conhecimento completo dos algoritmos implementados; permitir vantagens competitivas. Späth indica que a adoção de sistemas próprios é muito promissora no contexto de redes avançadas, devido ao elevado nível de customização requerida.

Considerando que o desenvolvimento deste trabalho só foi viabilizado pelo pleno domínio e acesso da base de dados, corroboramos o ponto de vista de Späth. Adicionalmente, conforme estudo do INS – *International Network Services* (BLUM, 2004), existem outras

dificuldades de sistemas comerciais que estão entre os maiores obstáculos para melhoria operacional dos NOC: o elevado custo das ferramentas/produtos; a falta de disponibilidade de ferramentas/produtos; e que produtos disponíveis não atendem a todas as necessidades.

## 6 - CONCLUSÃO

Este trabalho trás à tona um problema atual das operadoras que é gerir uma rede de transporte altamente complexa, multi-fornecedor e multi-tecnológica. São poucas as operadoras que podem dizer que estão avançadas neste assunto, até mesmo, porque ainda não há uma definição clara da padronização de interfaces entre os diversos sistemas de gerência e OSSs. Tarefa esta que continua em andamento nos diversos órgãos internacionais de padronização.

Apesar destas indefinições, este trabalho conclui que um sistema de Gestão Integrada da Rede é uma ferramenta eficaz na otimização de recursos e indica um caminho exequível para alcançá-lo.

Neste sentido recomenda:

1. A adoção de um sistema de informações (inventário) que permita administrar a rede de transporte através de uma “representação detalhada” e não como “nuvem” ou “caixa preta”;
2. O tratamento de sistemas NMS e EMS como fontes primárias de informação para as quais seja dispensada especial atenção quanto à padronização das informações, de modo a facilitar exportação de dados para sistemas OSS e verificação de inconsistências;
3. Que, caso a operadora não possua, sejam adquiridas interfaces de exportação de dados dos sistemas de gerência (EMS e NMS);
4. Que sejam desenvolvidos aplicativos para tratamento destas informações exportadas de forma à adequá-las ao sistema de inventário;
5. Que sejam disponibilizados recursos humanos dedicados principalmente à otimização, contabilização e organização dos recursos da rede. Pois apesar de ainda não inviabilizar o negócio, a falta destes recursos impede que sejam dados importantes passos na direção de uma gestão de rede em um nível de excelência;
6. Que este sistema respeite estruturação de processos da proposta do eTOM, 1.SIP.1.3 e 1.OFAB.1.3 e seus sub-níveis;
7. Que este sistema permita o relacionamento das informações de topologias e estações com informações de regiões e sistemas;

8. Que este sistema permita interfaces gráficas configuráveis para representações de diagramas georeferenciados, topológicos e de ocupação lógica da rede;
9. Aplicação do algoritmo de *Dijkstra* para re-roteamento de tráfego entre camadas como uma maneira simples e eficaz de obter resultados consideráveis;
10. O desenvolvimento próprio (*in-house*) da ferramenta proposta neste trabalho, ou a contratação de sistema equivalente com código aberto de forma a permitir customizações pela própria operadora.

Adicionalmente este trabalho apresenta um resultado quantificável na ordem de dezenas de milhões ao ano para as operadoras, o que comprova os benefícios de uma gestão integrada de rede de transporte. Também enumera outros que, apesar de difícil mensuração, possuem maior ou igual importância (redução de CAPEX devido à auxiliar no processo de tomada de decisão, aumenta agilidade no provisionamento de circuitos, diminui dependência exagerada em recursos humanos).

O tema desta dissertação pode evoluir através de estudos futuros nos seguintes tópicos:

- Aprofundar vinculação desta ferramenta à evolução dos trabalhos do TMF;
- Modelamento de programação linear para problemas específicos;
- Migração de uma arquitetura baseada em sistemas distintos (Base de Dados, Interface Gráfica e Ferramentas de Otimização) para uma arquitetura aberta e unificada com interface WEB;
- Evoluir esta ferramenta, através de integração *on-line* com sistemas de gerência de rede (NMS), para permitir provisionamento de circuitos E2E em redes multi-fornecedores e multi-tecnológicas;
- Integrar nesta ferramenta módulo de simulação que garanta representação fidedigna da operação de redes em malhas (ASON/GMPLS) de alta complexidade, indicando atrasos, tempos estimados de comutação e recursos reservas necessários para garantir continuidade dos serviços em situações de múltiplas falhas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, R. F. (2006), “Problemas de Programação Inteira em Redes Ópticas de Telecomunicações”, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 88p.
- Blum, R. (2004), “Network Industry Survey – Network Operations Center”, disponível em site do INS: <http://www.ins.com/resources/surveys/> (11/2007)
- Brownlie, M. (2003), “Transport network life-cycle modelling”, BT Technology Journal, Vol 21 No 2, 12 pág.
- Caballero, J. M. (2005), “Migration to Next Generation SDH: understanding benefits, risks and integration strategies”, Trend Communications, Berkshire, UK.
- Cassone, G., Elia, G., Gotta, D., Mola, F., Pinnola, A. (2002), “Web Performance Test and Measurement: a complete Approach”, Artigo da Telecom Itália Lab, disponível no site StickMinds:  
[www.stickyminds.com/getfile.asp?ot=XML&id=3579&fn=XDD3579filelistfilename1.pdf](http://www.stickyminds.com/getfile.asp?ot=XML&id=3579&fn=XDD3579filelistfilename1.pdf) (11/2007).
- Chaimowicz, L. (2006), “Solução de Problemas por Busca”, Material didático, Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://homepages.dcc.ufmg.br/~chaimo/cursos/agentes/Cap3.pdf> (11/2007)
- Choset, H., et all (2005), “Principles of Robot Motion: Teory, Algoritms, and Implementations”, “Appendix H. Graph Representation and Basic Search” MIT Prees, 2005.
- Cinkler, T (2002), “Telecommunications Networks and Informatics Services”, Capítulo 2.2.1, “Digital PDH and SDH Hierarchy”, Scientific Association for Infocommunications, Budapest, Hungria. Disponível online em site: <http://www.hte.hu/onlinebook.html> (11/2007).
- Convergência Digital (2007), “Brasil Telecom fecha acordo de exclusividade para manutenção da rede”, disponível em site: <http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infolid=10893&sid=8> (11/2007)
- D’Alessandro, A., Cavazzoni, C., Pagnan, P. (2006), “ASON implementation in Telecom Italia backbone network”, OIF’s 5th OIW on ASON/GMPLS Implementation in

- Carriers Networks. Disponível no site do OIForum:  
<http://www.oiforum.com/public/documents/061016-Telecom%20Italia.pdf> (11/2007)
- Detoni, A. A. (2001), “Sistema de Apoio à Decisão para Planejamento de Redes de Telecomunicações Baseado em Camadas”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 66 p.
- Dias (2002), “GIRS: Gerência Integrada de Redes e Serviços”, Acesso em 6 de outubro de 2007, disponível em Site Teleco:  
<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgirs/default.asp>
- Ellanti, M.N., Gorshe, S.S., Raman, L.G., Grover, W.D (2005), “Next Generation Transport Networks – Data, Management and Control Planes”, Springer, USA.
- Ericsson (2007), “Managed Services Impact on the Telecom Industry”, Disponível no site da Ericsson:  
[www.ericsson.com/technology/whitepapers/3115\\_Managed\\_services\\_A.pdf](http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/3115_Managed_services_A.pdf) (11/2007)
- EURESCOM (2000). “Planning of Optical Network”, vol 3 de 9, “Annex B – Overview on modeling techniques, optimization algorithms and planning tools”, disponível em Site da EURESCOM: <http://www.eurescom.de/~pub-deliverables/p700-series/p709/D3/Vol8/p709d3vol8.pdf> (11/2007)
- Foisel, H. (2007), “ASON/GMPLS Optical Control Plane Tutorial MUPBED”, Workshop no TNC2007, Copenhagem. Disponível em site do OIForum:  
<http://www.oiforum.com/public/downloads/070519-ASONGMPLS-Tutorial-01.ppt> (11/2007)
- G.707 (2000), “Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.707-200010-S/en> (11/2007)
- G.783 (2006), “Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks”, Recomendação do ITU-T, disponível no site:  
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.783-200603-I/en> (11/2007)
- G.805 (2000), “Generic functional architecture of transport networks”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.805-200003-I/en> (11/2007)
- G.841 (1998), “Types and characteristics of SDH network protection architectures”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.841-199810-I/en> (11/2007)

- G.7715 (2002), “Architecture and requirements for routing in the automatically switched optical networks”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.7715-200206-I/en> (11/2007)
- G.8080 (2006), “Architecture for the automatically switched optical network (ASON)”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8080-200606-I/en> (11/2007)
- G.957 (2006), “Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy”, Recomendação do ITU-T, disponível no site: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.957-200603-I/en> (11/2007)
- GRNET, et al (2006), “Second Review of Bandwidth on Demand Technologies”, Roma, Itália, disponível em site da GARR: [http://www.garr.it/documenti/GN2-06-206v2-DJ3-2-2-2\\_Second\\_review\\_of\\_BoD\\_related\\_Technologies.pdf](http://www.garr.it/documenti/GN2-06-206v2-DJ3-2-2-2_Second_review_of_BoD_related_Technologies.pdf) (11/2007)
- TID (2005), “Informe Anual 2004”, Telefónica Investigación and Desarrollo, Madrid, disponível no site da TID: [www.tid.es/documentos/informe\\_anual\\_tid/infanu2004.pdf](http://www.tid.es/documentos/informe_anual_tid/infanu2004.pdf) (11/2007)
- TID (2006), “Informe Anual 2005”, Telefónica Investigación and Desarrollo, Madrid, disponível no site da TID: [www.tid.es/documentos/informe\\_anual\\_tid/infanu2005.pdf](http://www.tid.es/documentos/informe_anual_tid/infanu2005.pdf) (11/2007)
- TID (2007), “Informe Anual 2006”, Telefónica Investigación and Desarrollo, Madrid, disponível no site da TID: [www.tid.es/documentos/informe\\_anual\\_tid/infanu2006.pdf](http://www.tid.es/documentos/informe_anual_tid/infanu2006.pdf) (11/2007)
- Jakab, T (2002), “Telecommunications Networks and Informatics Services”, Capítulo 4.3, “Network Planning”, Scientific Association for Infocommunications, Budapest, Hungria. Disponível online em site: <http://www.hte.hu/onlinebook.html> (11/2007).
- Jajszczyk, A. (2005), “Planning of Optical Transport Networks Layered Architecture”, China Communications, China.
- Larkin, N. (2002), “ASON AND GMPLS – The Battle of the Optical Control Plane”, Data Connection, Reino Unido. Disponível em site da Dataconnetion: [www.dataconnection.com/network/download/whitepapers/asongmpls.pdf](http://www.dataconnection.com/network/download/whitepapers/asongmpls.pdf) (11/2007)
- Lehr, G. and Zeuner, B. (2007), “ASON Current Status of Standardization Work”, Deutsche Telecom. Disponível em site da IST-MUPBED: [http://www.ist-mupbed.org/ECOC07/pdfs/Georg-ECOC-Workshop\\_ASON\\_V02.pdf](http://www.ist-mupbed.org/ECOC07/pdfs/Georg-ECOC-Workshop_ASON_V02.pdf) (11/2007)
- M.3010 (2002), “Principles for a telecommunications management network”, ITU-T. Disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3010/en> (11/2007)

- M.3400 (2000), “TMN management functions”, Recomendação do ITU-T. Disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3400/en> (11/2007)
- M.3050.1 (2007), “Enhanced Telecom Operations Map (eTOM) – The business process framework”, Recomendação do ITU-T. Disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3050.1-200703-I/en> (11/2007)
- M.3050.2 (2004), “Enhanced Telecommunications Operations Map - Process decompositions and descriptions”, Recomendação do ITU-T. Disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3050.2-200406-S/en> (11/2007)
- M.3050.Sup3, (2004), “eTOM to M.3040 Mapping”, Suplemento 3, Acesso em 6 de outubro de 2007, disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3050-200405-I!Sup3/en> (11/2007)
- Machado, L.F.C (1996), “Mapeamento de Pequena Ordem na Hierarquia Digital Síncrona”, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, SP, 155p.
- Marcus, J. (2006), “Telecom Infrastructure Services”, Disponível em site da CurrentAnalysis:  
<http://www.currentanalysis.com/markets/sa/files/CurrentAnalysis-TIS-MA693.pdf>  
 (11/2007)
- Mazzini, A., Norris, R., Vila, G. (2003), “OSS Integration: Multi-Vendor, Multi-Technology EMS-NMS Interfaces”, Alcatel Telecommunications Review, Artigo disponível em site da Alcatel:  
[http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/pdf/ATR2003Q3/T0309-OSS\\_Integration-EN.pdf](http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/pdf/ATR2003Q3/T0309-OSS_Integration-EN.pdf) (11/2007)
- Nokia (2005), “Managed Services for Operators – Options and Approaches on Outsourcing”, Nokia-Siemens. Disponível no site da NOKIA:  
[http://www.nokia.com/NOKIA\\_COM\\_1/Operators/Sidebars\\_new\\_concept/Downloads\\_Managed\\_Services/Nokia\\_Managed\\_Services\\_White\\_Paper.pdf](http://www.nokia.com/NOKIA_COM_1/Operators/Sidebars_new_concept/Downloads_Managed_Services/Nokia_Managed_Services_White_Paper.pdf) (11/2007)
- Oi SL (2006), “Superlink 2006”, Portifólio de Serviços Superlink, disponível no site da Oi:  
[http://www.novaoi.com.br/ArquivosEstaticos/NovaOi/docs/Superlink\\_Portfolio%202006%20V1.0\\_OI\\_.pdf](http://www.novaoi.com.br/ArquivosEstaticos/NovaOi/docs/Superlink_Portfolio%202006%20V1.0_OI_.pdf) (11/2007)
- Oi EILD (2006), “EILD Padrão 2006”, Portifólio de Serviços EILD, disponível no site da Oi:  
[http://www.novaoi.com.br/ArquivosEstaticos/NovaOi/docs/EILD%20Padrao\\_Portfolio%202006%20V1.0\\_OI\\_.pdf](http://www.novaoi.com.br/ArquivosEstaticos/NovaOi/docs/EILD%20Padrao_Portfolio%202006%20V1.0_OI_.pdf) (11/2007)

- OSS/J Product Team (2006), “The OSS Through Java™ API Roadmap”, disponível no site OSSJ: [http://www.ossj.org/downloads/docs/wp\\_ossj\\_api\\_roadmap.pdf](http://www.ossj.org/downloads/docs/wp_ossj_api_roadmap.pdf) (11/2007)
- Robertazzi, T. G. (1998). “Planning Telecommunications Networks”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.
- Samba, A. (2006), “Modeling and Simulation Tools for Emerging Telecommunication Networks Needs, Trends, Challenges and Solutions” , Capítulo 8, “A Network Management Framework for Emerging Telecommunications Networks”, Springerlink, pág. 179-200.
- Shima, W.T. (2007), “O desmonte do sistema setorial de inovação em telecomunicações no Brasil e o surgimento de um novo arranjo institucional”, Revista de Economía Política de las Tecnologías de la Información y Comunicación, vol. IX, n. 2, 16 páginas.
- Silva, E. (2007), “Uma introdução à Teoria do NP-Completo”, Material didático, Departamento de Computação - Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <http://www.decom.ufop.br/prof/elton/cic210/cap5.pdf> (11/2007)
- Sims, T. (2006). “Designing Optical Transmission Networks - Principles and Approaches”, Apresentação realizada no evento “Practical Optical Networking”, Londres. Disponível em JANET: <http://www.ja.net/services/events/calendar/2006/optical-networking/Verizon.pdf> (11/2007)
- Späth, J. (2006). “Flexible tool-based approach for multi-layer transport network modeling”, Apresentação realizada no Workshop OFC 2006. Disponível no site do OFC: <http://www.ofcnfoec.org/materials/06CatF-Spaeth.pdf> (11/2007)
- Schwartz, S. (2003), “What’s in your network?”, Artigo disponível em: <http://www.arkipelago.ca/PressCoverage/Billing%20World%20Article.pdf> (11/2007)
- Tan, T. A. (2002), “Multi-Ring SDH Network Design Over Optical Mesh Networks”, Dissertação de Mestrado, BILKENT UNIVERSITY,
- TMF (2005), “Bridging the GAP – CBE Extensions for MTNM: Harmonizing OSS/J and Transport Technologies”, disponível no site TMF: <http://www.tmforum.org/WhitePapers/BridgingtheGAPCBE/31143/article.html> (11/2007)
- Vieira, A.H.G. (2005), “Histórico das Telecomunicações – Uma visão do Brasil”, Disponível em Site Teleco: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialeletronica/Default.asp> (11/2007)

X.700 (1992), “Management framework for Open Systems Interconnection (OSI) for CCITT applications”, Recomendação do ITU-T. Disponível no site ITU-T: <http://www.itu.int/rec/T-REC-X.700/en> (11/2007)

Wikipedia (2007). Disponível em: <http://pt.wikipedia.org> (11/2007)

Yongxing, J. (2007), “Leading Edge – Three Challenges for Transmission Network Management”, Artigo disponível no site da Huawei: <http://www.huawei.com/publications/view.do?id=2439&cid=4803&pid=61> (11/2007)