

Interconexão de ERBs em um SMC – Um MILP para alocação e dimensionamento de enlaces SDH

Marcos. A. DeSousa, Fábio. J.C. Souza, Flávio H.T. Vieira, Victor H.T. Costa e Emerson S. Campos

Resumo—A demanda crescente de usuários por serviços banda larga influencia diretamente a capacidade de atendimento dos SMC. Uma das principais estratégias de mercado adotadas pelas operadoras SMC, para atualizar a capacidade da sua rede de interconexão de ERBs, tem sido alugar os enlaces de transmissão de outras operadoras. Este aporte tecnológico pode ser garantido com as tecnologias SDH e fibra ótica. Este trabalho apresenta um estudo de caso para o dimensionamento da rede de interconexão ERBs-CCC em um SMC. O estudo utiliza como suporte no processo decisório um Modelo de Programação Linear Inteira Mista (MILP).

Palavras-Chave— Sistema móvel celular, Sistemas SDH, Otimização.

Abstract—The increasing demand from users for broadband services directly influences the attendance capacity of SMC. One of the main marketing strategies adopted by SMC operators, to upgrade the capacity of its BTS interconnection network has been renting the transmission links from other carriers. This technological support can be provided with the SDH technologies and optical fiber. This paper presents a case study for the design of BTS-MS-C interconnection network in a SMC. The study uses as support in decision-making a Mixed Integer Linear Programming Model (MILP).

Keywords— Cellular system, SDH System, Optimization.

I. INTRODUÇÃO

O mercado de comunicação móvel celular no Brasil está em constante desenvolvimento. Os sistemas móveis celulares (SMC) estão sendo implantados progressivamente pelas operadoras de acordo com a demanda de usuários. A promessa é oferecer vários tipos de serviços, privilegiando, inclusive, os de acesso banda larga à Internet. A unidade móvel evolui para plataformas multimídia com capacidade de acesso a múltiplos serviços de dados [1]. Essas tecnologias são oferecidas por operadoras de telefonia por meio de contratos de prestação de serviços, que podem contemplar o fornecimento de tecnologia para a viabilização do produto final e/ou a comercialização de equipamentos. Por outro lado, o cliente pode fazer a sua escolha de acordo com as suas necessidades. Menor preço e maior velocidade de transmissão são algumas condições a serem avaliadas.

À medida que se aumenta a variedade de serviços, em geral, aumenta-se também a indefinição sobre a quantidade de usuários que os serviços podem atingir. Esta indefinição pode influenciar, de forma significativa, a configuração de atendimento das Estações Rádio Base – ERBs (*Base Transceiver Station – BTS*). Dimensionar os equipamentos destes sistemas de forma otimizada torna-se uma tarefa relevante, uma vez que estimar a demanda é um procedimento complexo e de resultados nem sempre satisfatórios.

Em um SMC, as ERBs devem estar conectadas com a Central de Controle e Comutação – CCC (*Mobile Switching Center - MSC*) para trafegar dados de gerência e enviar e/ou receber dados de usuário. Portanto, o crescimento de demanda obriga a rede de interconexão ERBs-CCC estar em constante atualização na sua capacidade de transmissão.

Uma das principais estratégias de mercado entre as empresas operadoras de serviços de comunicação móvel celular, para tentar acompanhar as mudanças tecnológicas para a sua rede de interconexão ERBs-CCC, é alugar os seus enlaces de empresas operadoras de telefonia fixa.

Por outro lado, as empresas de telefonia fixa enxergam esta necessidade das operadoras SMC como uma nova oportunidade de mercado. A implantação de uma rede cabeada costuma ser bastante onerosa e demorada. Consequentemente, o dimensionamento destas redes acaba sendo feito de forma a permitir atualizações tecnológicas, preferencialmente nas extremidades (nós de acesso e/ou de comutação), evitando modificações no cabeamento. Este plano de negócios pode ser amparado pela rede de transporte WDM – *Wavelength Division Multiplexing* (Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda), pelas interfaces de transmissão SDH – *Synchronous Digital Hierarchy* (Hierarquia Digital Síncrona) e Ethernet, e pelo cabeamento ótico [2].

A comercialização dos serviços pelas operadoras SMC precisa levar em consideração estes aspectos mercadológicos. O porte dos problemas, a velocidade das transformações e as inúmeras possibilidades a analisar exigem metodologias de planejamento consistentes, flexíveis (suportando diferentes cenários) e apoiadas em ferramentas computacionais. Os valores significativos geralmente envolvidos neste tipo de situação tornam desejável o uso de modelos matemáticos de otimização. Exemplos de trabalhos que utilizam modelos de otimização para avaliar o problema de alocação de recursos em redes *wireless* podem ser encontrados em [3][4][5][6][7].

Neste artigo é realizado um estudo de caso com um modelo de Programação Linear Inteira Mista (*Mixed Integer Linear Problem – MILP*) [8], implementado para auxiliar no planejamento de SMC. Em particular, são avaliados a alocação e o dimensionamento de *links* de transmissão para o problema de interconexão de ERBs com a CCC. Aluguel de *links* SDH é o cenário estudado. São adotados como referência para o desenvolvimento deste estudo os modelos matemáticos propostos em [9][10]. A avaliação é feita a partir do ponto de vista da operadora SMC, que deseja alugar os *links* de transmissão SDH.

Este trabalho está dividido conforme se segue. A seção 2 apresenta os principais elementos de um sistema de comunicação móvel celular. A configuração da tecnologia SDH para a oferta de *links* de interconexão de ERBs com a CCC é descrita na seção 3. A seção 4 mostra o modelo de programação linear inteira mista, utilizado como ferramenta de

^{1,2}Marcos A. DeSousa, ¹Fábio J. C. de Souza, ¹Flávio H. T. Vieira, ¹Victor H.T. Costa e ¹Emerson S. Campos.

¹Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia-GO, Brasil.

²Departamento de Engenharia (ENG), Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GOÍÁS), Goiânia-GO, Brasil.

E-mails: marcos@emc.ufg.br, fabio_jr91@hotmail.com, flavio@emc.ufg.br, victor@vcosta.com.br e inec4@terra.com.br.

apoio na tomada de decisão. O estudo de caso realizado encontra-se na seção 5. E, por fim, a seção 6 é dedicada aos comentários finais.

II. O SISTEMA MÓVEL CELULAR - SMC

A finalidade de um sistema de comunicação móvel celular é permitir a comunicação entre duas Estações Móveis (EM) ou entre EM e as redes fixas de telefonia e Internet.

A. Elementos do Sistema

Uma rede móvel celular é composta dos elementos básicos indicados na Figura 1 [1][2], onde:

Central de Comutação e Controle (CCC) – Mobile Switching Center (MSC)

A CCC é o “coração” do sistema, sendo basicamente um computador de alta capacidade de processamento, que utiliza *software* projetado para endereçar aplicações específicas de telecomunicações. A CCC é responsável pelo processamento das chamadas, monitoração, tarifação, conexão com outros sistemas de telecomunicações, entre outros.

Estação Rádio Base (ERB) – Base Transceiver Station (BTS)

O termo “Estação Rádio Base” é utilizado para nomear um conjunto de equipamentos que realiza a interface aérea entre o assinante e o sistema. O equipamento de rádio tem potência limitada, o que define a sua área geográfica de atendimento, chamada de célula. Para garantir o acesso ao usuário, a ERB é composta de fontes de energia, sistemas de emergência (baterias e grupos geradores), sistema de controle da estação, transceptores de rádio frequência, amplificadores de potência e sistema irradiante.

Estação Móvel (EM) – Mobile Station (MS)

A estação móvel é um equipamento de rádio que é formado por uma unidade transceptora que transmite e recebe o sinal de RF (radiofrequência). As unidades móveis têm potência limitada e são fabricadas de acordo com o padrão de acesso do sistema. Atualmente, podem ter agendas, organizadores de compromissos, *palmtops*, máquina fotográfica, reprodutores de vídeo, entre outros.

Rede de Interconexão ERBs-CCC

A interconexão entre as ERBs e a CCC é realizada através de *links* de canais E1 (sistema de transmissão bidirecional com taxa básica de 2,048Mbps). Dependendo da localização das ERBs em relação à CCC e da demanda de usuários prevista para ser atendida em cada ERB, os canais E1 que serão utilizados para a interconexão podem ser implantados pela própria operadora SMC ou serem alugados de outra operadora de telecomunicações que já possua infraestrutura de rede nas áreas a serem cobertas pelas ERBs.

B. Dimensionamento do Sistema

Dimensionar o SMC não é uma tarefa trivial. Para facilitar, o planejamento costuma ser realizado em três etapas:

- **Comutação:** dimensionamento da CCC – gerência, capacidade de atendimento e conexões com outros sistemas de telecomunicações são algumas das respostas a serem obtidas;
- **Radiofrequência:** define interface aérea, localização de ERBs, potência de transmissão de cada ERB, área de cobertura, quantidade de canais necessários, tipos de antenas e suas alturas;
- **Infraestrutura:** escolhe a tecnologia e a capacidade dos equipamentos de transmissão a serem utilizados na interconexão das ERBs com a CCC.

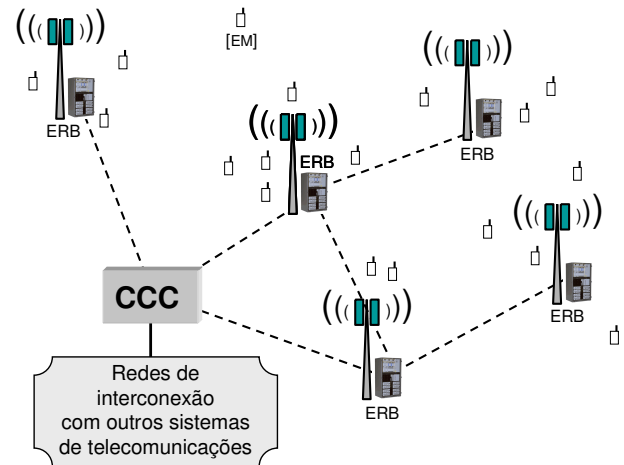


Fig. 1. Elementos de um sistema móvel celular.

O dimensionamento da infraestrutura é um processo que deve ser realizado de forma sequencial ao dimensionamento da radiofrequência. Os dados sobre a localização das ERBs, por exemplo, são usados como dados iniciais ou de entrada para o planejamento da infraestrutura que, conseqüentemente, deve ser capaz de escoar o tráfego de usuários de cada célula (ERB) até a CCC. A modelagem matemática para o planejamento estratégico da infraestrutura de interconexão entre ERBs, e destas com a CCC, é parte integrante deste trabalho.

III. TECNOLOGIAS PARA A INTERCONEXÃO ERBs-CCC

Para os sistemas 2,5G, a solução tecnológica mais utilizada para interconectar ERBs com ERBs e ERBs com a CCC tem sido os sistemas SDH, transmitindo sobre fibra ótica. Outras soluções também podem ser encontradas no mercado, tais como: *modems* SHDSL (*Symmetric high-speed digital subscriber line* ou Linha Digital Simétrica de Assinante de Alta Velocidade) [11] e rádio microondas [12].

Para os sistemas 3G e, mais recentemente, para os sistemas 4G, devido, principalmente, ao alto volume de tráfego de dados na rede, as interfaces SDH estão sendo migradas para interfaces Ethernet.

A. Modem Óptico

A solução tecnológica considerada neste trabalho é a SDH. Levando em consideração a constituição modular e o sistema de gerenciamento, os sistemas SDH podem ser classificados em várias versões de capacidade, como por exemplo, 16xE1, 21xE1, 42xE1, 63xE1 ou 252xE1, nas configurações 1+0, ou seja, sem reserva de *link* e 1+1 com reserva de *link*. A sua capacidade pode ser ampliada com a adição de novos módulos, mesmo com o equipamento estando em operação.

A Figura 2 mostra a utilização de sistemas SDH no processo de interconexão entre ERBs e a CCC, em sistemas móveis celulares. Essa interconexão pode ser feita adotando ligações ponto-a-ponto, nas topologias estrela simples, dupla estrela, rota ou anel. A figura representa o cenário mercadológico avaliado neste trabalho, em que a operadora SMC pretende interligar as suas ERBs com a CCC por meio de *links* alugados de outra operadora de rede. A possibilidade de aluguel de rede existe devido à modularidade dos sistemas SDH. Existindo folga no seu sistema, abre oportunidade para a operadora de rede disponibilizar *links* para outras operadoras. Especificações técnicas mais detalhadas sobre os equipamentos e as interfaces SDH podem ser encontradas em [13].

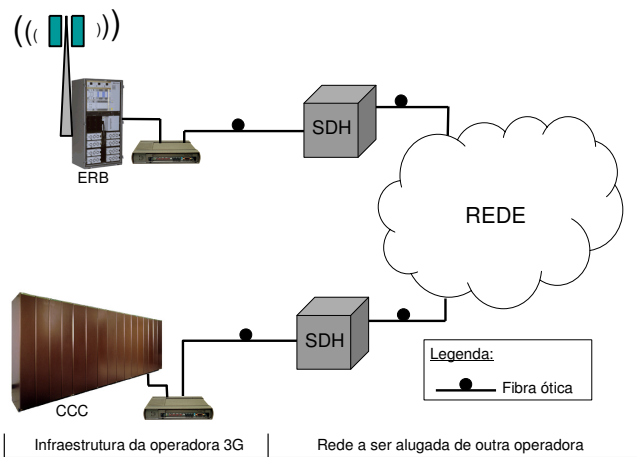


Fig. 2. Interconexão ERBs-CCC utilizando sistemas SDH.

IV. O MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O objetivo é alocar e dimensionar os *links* de transmissão SDH na rede de interconexão de ERBs e ao mesmo tempo buscar uma solução economicamente mais viável. A demanda a ser atendida em cada célula (ERB), o comprimento dos enlaces, as rotas alternativas para escoamento de demanda e as limitações de modularidade (capacidade) dos equipamentos SDH também fazem parte do processo de decisão. A estrutura de custos adotada no modelo considera os custos de aluguel de *links*. Este custo é dividido em duas parcelas: uma de acordo com a capacidade do *link* SDH requerido, a outra em função do comprimento do enlace.

A. Representação da Rede

A área geográfica de uma cidade de médio a grande porte é dividida em células. Cada célula recebe uma ERB que deve necessariamente estar conectada a CCC por meio de *links* de uma operadora de rede SDH. Os principais elementos desta representação são:

Nós de ERBs

Os nós de ERBs são pontos concentradores e geradores de demanda (em canais E1) para o atendimento da ERB local. Estes nós devem estar fisicamente associados a um equipamento de transmissão SDH. Cada nó é identificado pelo número da ERB, por exemplo, o nó ERB[*i*] está associado a uma ERB qualquer de número [*i*] e o nó CCC está associado a uma única CCC. Esta modelagem também pode ser generalizada para um número maior de nós de CCC.

Os nós ERB[*i*] devem escoar toda a demanda gerada ou recebida de outros nós de ERB, de forma que toda demanda prevista para ser atendida pelo SMC chegue até a CCC.

Arcos de Escoamento de Demanda

Os arcos de escoamento que ligam todos os nós de ERB entre si e a CCC são definidos por índices [*i, j*], que representam respectivamente as ERB de origem [*i*] e destino [*j*]. O fluxo de demanda escoado por estes arcos é utilizado para definir a capacidade dos *links* de transmissão a serem alugados da operadora de rede SDH.

Embora a tecnologia SDH permita a implementação da topologia de atendimento em anel, a modelagem desenvolvida aqui contempla duas possibilidades de atendimento para os arcos de escoamento:

- **Arcos diretos:** arcos [*i, j*] que ligam individualmente todas as ERBs à CCC;

- **Arcos indiretos:** arcos [*i, j*] que ligam as ERBs entre si, formando assim rotas alternativas de atendimento.

Links Candidatos

O fluxo de demanda escoado pelos arcos da rede é utilizado para garantir o atendimento das necessidades de demanda da empresa contratante. O menor custo total de aluguel é o objetivo principal do modelo de otimização. Este custo depende da capacidade do *link* escolhido e das tarifas cobradas pelo aluguel dos sistemas de transmissão SDH e da rede ótica, os quais são diretamente influenciados pelo fluxo de demanda nestes arcos de escoamento. O estudo considera a tecnologia SDH utilizando o modo de transmissão STM-1 (*Synchronous Transport Module level – 1*), com taxa de transmissão de 155,52 Mbps, com quatro possibilidades de configuração de atendimento [13]: 16xE1, 21xE1, 42xE1 e 63xE1.

B. Formulação Matemática

O modelo matemático utilizado é um problema de Programação Linear (binária) Inteira Mista (MILP) que utiliza a abordagem nó-arco [8]. As variáveis de decisão do problema se referem a:

- Valor de fluxo de demanda escoado pelo arco: representado por Y_{ij} , onde Y indica a quantidade de canais E1 escoada pelo arco que liga a ERB [*i*] à ERB [*j*] ou à CCC [*j*].
- Escolha (ou não) do arco para o escoamento da demanda prevista: representada por X_{ijn} , onde o valor de X (1 ou 0) indica se o *link* SDH de capacidade [*n*] é ou não alocado no arco que liga a ERB [*i*] à ERB [*j*] ou à CCC [*j*].

-**Função Objetivo:** A função objetivo se refere ao custo mínimo gerado pelo aluguel da rede de interconexão SDH. É calculada somando os custos de aluguel com os enlaces escolhidos para o escoamento da demanda, dos nós de ERB até o nó de CCC.

$$\text{Min} \sum_{[i,j] \in A_e} \sum_{[n] \in O_{SDH}} (c_n + r.l_{ij}) X_{ijn} \quad (1)$$

Onde:

A_e : conjunto de arcos de escoamento de demanda (diretos+indiretos), que ligam os nós de ERB [*i*] aos nós de ERB [*j*] ou ao nó de CCC [*j*];

O_{SDH} : conjunto de modularidades (capacidades) dos *links* SDH candidatos nos arcos [*i, j*] $\in A_e$;

c_n : custo de aluguel do sistema de transmissão SDH de capacidade [*n*] $\in O_{SDH}$;

l_{ij} : comprimento do arco [*i, j*] $\in A_e$;

r : custo de ocupação de rede ótica (por km);

X_{ijn} : variável binária que representa a escolha do *link* SDH de capacidade [*n*] candidato no arco [*i, j*] $\in A_e$.

-**Restrições de satisfação de demanda:** as restrições de satisfação de demanda garantem o balanço de fluxo de demanda em todos os nós do grafo (ERBs), exceto para o nó da CCC, por ser uma equação redundante.

$$\sum_{[k,i] \in A_e} Y_{ki} - \sum_{[j,k] \in A_e} Y_{jk} = d_k \quad \forall k \in O_{ERB} \quad (2)$$

Onde:

O_{ERB} : conjunto de todos os nós de ERB da rede;

Y_{ki} : variável real que representa o fluxo de demanda atendido pelo arco [*k, i*] $\in A_e$, com a demanda saindo do nó [*k*] e chegando em [*i*];

Y_{jk} : variável real que representa o fluxo de demanda atendido pelo arco [*j, k*] $\in A_e$, com a demanda saindo do nó [*j*] e chegando em [*k*];

d_k : demanda prevista, em canais E1, para ser atendida em cada nó $[k] \in O_{ERB}$;

-Restrições de capacidade técnica para a tecnologia SDH: as restrições de capacidade ocorrem em cada arco previsto pelo planejador para escoar a demanda das ERBs. Esta restrição assegura que a capacidade do link SDH escolhido seja capaz de atender a demanda escoada pelo arco.

$$\sum_{[n] \in O_{ERB}} Cap_{ij}^n X_{ijn} \geq Y_{ij}, \forall [i, j] \in A_e \quad (3)$$

Onde:

Cap_{ij}^n : capacidade do link SDH de modularidade $[n]$ candidato no $[i, j] \in A_e$;
 Y_{ij} : variável real que representa o fluxo de demanda atendido pelo arco $[i, j] \in A_e$.

V. ESTUDO DE CASO

A. Dados Gerais

O estudo é feito para uma rede composta por 30 ERBs, que necessitam de conexão com uma CCC. As ERBs podem ser interconectadas com a CCC com enlaces diretos ou através de rotas alternativas obtidas através dos arcos candidatados para escoar o tráfego entre as ERBs.

A candidatura de possíveis rotas alternativas necessita de conhecimento prévio da rede, de forma a se evitar que um nó que nunca será escolhido para fazer parte de uma rota seja candidatado e aumente o número de variáveis a serem analisadas.

A Figura 3 apresenta a rede candidata. São apresentadas as seguintes informações: a demanda prevista para ser atendida em cada ERB (em canais E1) e o comprimento dos 30 arcos diretos ERB-CCC e dos 26 arcos indiretos ERB-ERB, possíveis de serem escolhidos.

A tecnologia de transmissão considerada é a SDH. O custo de aluguel (em valor relativo ao link de 16xE1) e a capacidade dos equipamentos candidatos são admitidos como sendo conhecidos e estão indicados na Tabela I. A capacidade de atendimento de cada link é dada em canais E1, onde 16xE1 representa dezesseis canais de transmissão de 2,048 Mbps. O custo de ocupação da rede ótica também é considerado como conhecido e vale, em valor relativo, 0,05/km.

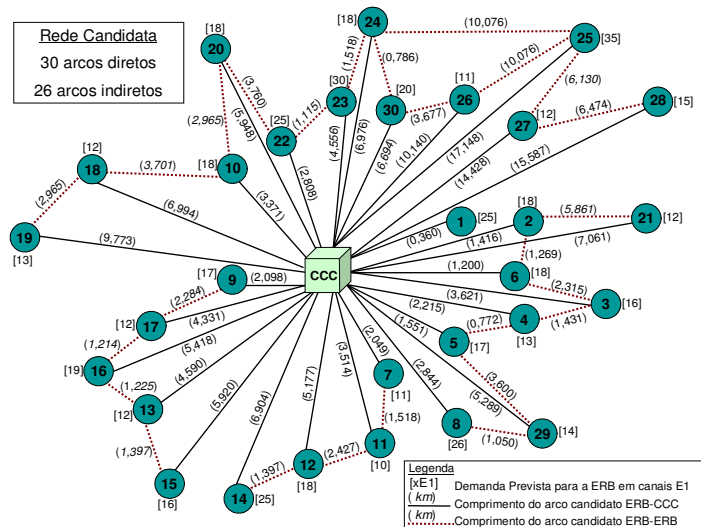


Fig. 3. Rede candidata com 30 ERBs e 56 arcos.

TABELA I. CAPACIDADES E CUSTOS DE ALUGUEL DOS LINKS SDH

Link SDH	Capacidade (em canais E1)	Custo
Link16	16	1,0
Link21	21	1,3
Link42	42	2,2
Link63	63	3,0

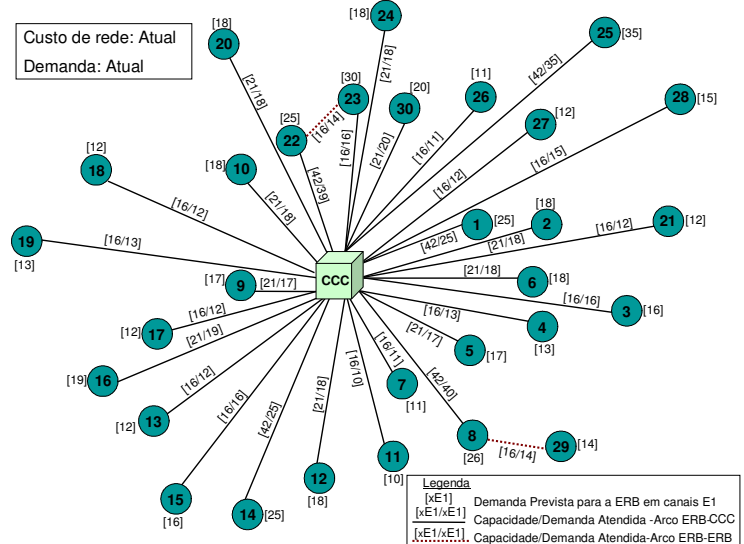


Fig. 4. Topologia da rede a ser alugada para o Cenário 1.

B. Cenários Avaliados

Os cenários escolhidos para a realização das simulações computacionais têm como objetivo avaliar a configuração da rede a ser alugada para diferentes situações de demanda e custo. Em destaque tem-se:

- **Cenário 1:** a rede é avaliada para valores atuais de demanda (Figura 3) e de custo de ocupação de rede;
- **Cenário 2:** verifica o comportamento da rede diante do crescimento da demanda prevista. O custo de ocupação de rede ótica é mantido fixo;
- **Cenário 3:** avalia o impacto de se aumentar o custo de ocupação da rede ótica. A demanda considerada é a atual, conforme os valores indicados na Figura 3.

C. Análise dos Resultados

Para a simulação computacional foram utilizados os seguintes recursos: linguagem de programação matemática AMPL® [14] para a elaboração do modelo matemático, e o pacote de otimização CPLEX® [15], ambos manipulados em microcomputadores no ambiente Windows XP®. O tempo computacional para avaliação de cada cenário não ultrapassou 2 segundos de processamento. Evidenciando a aplicabilidade do modelo para cenários com mais de uma CCC e/ou com um número maior de ERBs.

Cenário 1

A partir da definição dos dados de entrada para o modelo de otimização, ele foi simulado em busca da configuração que apresentasse o menor custo de aluguel de rede, respeitando o balanço de fluxo de demanda nos nós de ERB e a capacidade dos links alocados em cada arco.

A topologia da rede a ser alugada para atender a demanda prevista na Figura 3 é a indicada na Figura 4. O custo total de aluguel para esta rede é de 48,342. A Figura 4 indica a capacidade de cada arco escolhido, bem como a demanda escoada pelo mesmo. O dimensionamento dos enlaces

privilegiou o atendimento através de arcos que ligam as ERBs diretamente com a CCC, condição que inibiu a escolha de *links* de capacidade 63xE1. Pode-se observar que apenas duas ERBs foram atendidas por rotas alternativas, cada uma com uma capacidade de 16xE1. Devido à modularidade dos sistemas SDH, outro ponto importante a ser considerado é a folga existente na rede escolhida, que é de 138xE1.

Cenário 2

Este cenário avalia o impacto que o crescimento da demanda prevista para ser atendida em cada ERB causa no custo e na topologia da rede a ser alugada. Os custos de aluguel de *links* são mantidos fixos e iguais aos do cenário anterior. Os resultados estão resumidos na Tabela II. São indicados: o custo de aluguel da rede, o número de arcos diretos e indiretos, a quantidade de *links* escolhidos dentro de cada modularidade SDH e a folga existente na rede em canais E1.

As mudanças de topologia são evidentes. O número de arcos indiretos apresenta um crescimento considerável a partir de 20% de aumento na demanda. Este comportamento na topologia mostra que para demandas mais elevadas, a configuração de atendimento das ERBs por rota alternativa é atrativa. Para os valores mais elevados de demanda ocorre uma melhor otimização no carregamento dos *links* de maior capacidade, principalmente para os de 42xE1. Este comportamento justifica a condição de menor folga na rede (105xE1), quando a topologia escolhida muda de 2 para 7 arcos indiretos.

Cenário 3

Neste cenário é verificada a influência do custo de ocupação da rede (custo de aluguel de rede ótica – valor relativo), conforme valores indicados na Tabela III. O custo de aluguel de *links* e os valores de demanda prevista são os mesmos do Cenário 1. Os resultados mostram que um custo de ocupação de rede mais elevado exige a escolha de rotas alternativas com a utilização de uma quantidade maior de *links* de 42xE1 e de 63xE1, sem aumento na demanda atendida. Isto gera uma folga maior na rede a ser contratada, além de um custo mais elevado.

TABELA II. ATENDIMENTO X AUMENTO DE DEMANDA (CENÁRIO 2)

Dem. (%)	Custo Total	Arcos Diretos	Arcos Indiretos	L16	L21	L42	L63	Folga
0	48,342	29	2	16	10	5	0	138
5	49,299	30	0	12	12	6	0	134
10	50,175	29	1	11	12	7	0	117
15	51,207	28	2	10	12	8	0	106
20	56,040	27	7	18	6	10	0	105
25	59,177	26	8	14	6	12	2	138
30	59,307	25	7	12	6	13	1	132

TABELA III. ATENDIMENTO X ALUGUEL REDE ÓTICA (CENÁRIO 3)

Custo rede	Custo Total	Arcos Diretos	Arcos Indiretos	L16	L21	L42	L63	Folga
0,05	48,342	29	2	16	10	5	0	138
0,10	56,672	26	4	15	10	5	0	117
0,15	63,810	25	6	15	9	5	2	155
0,20	70,230	23	7	11	10	7	2	164

VI. CONCLUSÃO

O mercado de comunicação móvel celular mostra-se competitivo e tem levado as operadoras do setor a buscar novas formas de planejar suas redes, minimizando os custos e maximizando as receitas. A transmissão de dados, em velocidades crescentes, tem sido cada vez mais o alvo de

interesse por parte das operadoras. A capacidade de atendimento da infraestrutura de interconexão de ERBs em um sistema móvel celular deve estar em constante atualização. A possibilidade de aluguel de rede é uma alternativa que também deve ser avaliada pela operadora do sistema.

Este trabalho apresentou uma proposta de planejamento estratégico orientado à minimização de custos de aluguel para a infraestrutura de interconexão de ERBs em um sistema móvel celular. O dimensionamento dos *links* de transmissão SDH da rede é a atividade mais explorada. A rede é vista como um grafo, e a modelagem é traduzida como um problema de programação linear inteira mista, o qual obedece a restrições técnicas de demanda e capacidade.

Os cenários estudados permitiram ao planejador avaliar o comportamento da rede para várias situações encontradas no mercado de aluguel de rede para provimento de serviços. Os resultados mostram que a topologia de atendimento da rede é altamente influenciada pela variação nos valores de demanda prevista e pelos custos de aluguel e de ocupação de rede.

A ferramenta computacional utilizada apresenta-se, portanto, como um facilitador para o processo de decisão durante o dimensionamento e a avaliação de risco no planejamento da infraestrutura de interconexão de ERBs em um sistema móvel celular. Adaptações no modelo de otimização, para contemplar, também, a interface Ethernet, já estão sendo avaliadas e implementadas computacionalmente.

REFERÊNCIAS

- [1] M.S. Alencar, *Telefonia Celular Digital*, Ed. Érica, 2004.
- [2] P.J.E. Jeszensky, *Sistemas Telefônicos*, Ed. Manole, Barueri-SP, 2004.
- [3] A.N. Rouskas, A.A. Kikilis e S.S. Ratsiatos, A game theoretical formulation of integrated admission control and pricing in wireless networks, *European Journal of Operational Research*, Vol. 191, n. 3, pp.1175-1188, 2008.
- [4] A.A. Gaivoronski e J. Zoric, Evaluation and design of business models for collaborative provision of advanced mobile data services: a portfolio theory approach, *Procs. of the 9th INFORMS Telecommunications Conference*, College Park, Maryland, USA, 2008.
- [5] N. Bolia e V. Kulkarni, Index policies for resource allocation in wireless networks. *Procs. of the 9th INFORMS Telecommunications Conference*, College Park, Maryland, USA, 2008.
- [6] N. Kasap, H. Aytug e S.S. Erenguc, Provider selection and task allocation issues in networks with different QoS levels and all you can send pricing, *Decision Support Systems*, Vol. 43, issue 2, pp. 375-389, 2007.
- [7] D. Niyato e E. Hossain, A queuing-theoretic and optimization-based model for radio resource management in IEEE 802.16 broadband wireless networks, *IEEE Transactions on Computer*, Vol. 55, n. 11, pp.1473-1488, 2006.
- [8] M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis e H.D. Sherali, *Linear Programming and Network Flows*, 2a ed., Wiley, New York, 1990.
- [9] M.A. DeSousa, F.H.T. Vieira, C.M.F. Carlson, B.H.P. Gonçalves, e V.H.T. Costa. Sistema de Apoio à Decisão MILP-Fuzzy para o Planejamento de Redes de Acesso em Telecomunicações. *Meta-heurísticas em Pesquisa Operacional*, por H.S. Lopes, L.C.A. Rodrigues, M.T.A. Steiner (Eds.). Ed. Omnipax, pp. 401-417, 2013.
- [10] M.T.L. DosSantos, B.Q. DeOliveira, M.A. DeSousa, e C.S. Costa, Um Modelo de Suporte a Decisão para a Avaliação Técnico-Econômica de Contratos de Serviços Corporativos de Telecomunicações Mediante Dados Incertos, *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Automática*, Bonito-MS, 2010.
- [11] Digitel - *Especificações Técnicas de Modems SHDSL*. Website do fabricante: <http://www.digitel.com.br/pt/produtos>, 2013.
- [12] Ericsson -. *Especificações Técnicas de Sistemas de Rádio Microondas*. <http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/microwave-networks>, Website do fabricante, 2013.
- [13] AsGa - *Especificações Técnicas de Modems Ópticos*. Website do fabricante: <http://www.asga.com.br/produtos.html>, 2013.
- [14] R. Fourer, D.M. Gay e B.W. Kernighan, *AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming*, 2a Edição, 2002.
- [15] Cplex, *ILOG CPLEX - Manual do Usuário*, Versão 6.5.