

# Uma Proposta de Modelagem Técnico-Econômica para o Planejamento Estratégico de Sistemas de Acesso

Marcos A. DeSousa<sup>1,2</sup>, Joana Machado<sup>1</sup>,  
Raul V. Ribeiro<sup>1</sup> e Carlos M. F. Carlson<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Sistemas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação,  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Endereço: Rua Albert Einstein, N. 400, Caixa Postal 6101, CEP=13083-970, Campinas - SP – Brasil.  
e-mail : [masousa@densis.fee.unicamp.br](mailto:masousa@densis.fee.unicamp.br)

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás – UCG.

<sup>3</sup> Departamento de Ciência da Computação, Universidade Estadual de São Paulo – IBILCE / UNESP.

**Resumo** – Este artigo apresenta uma proposta de modelagem técnico-econômica para o planejamento estratégico de sistemas de acesso. Os principais componentes de custo e receita são identificados e um modelo é desenvolvido para determinar a configuração da rede (serviços, tecnologias, etc) que maximize a receita esperada pelo operador do sistema. Resultados de experimentos computacionais são apresentados e discutidos.

**Palavras-Chave** – Sistemas de Acesso, Planejamento Estratégico, Modelagem Matemática.

**Abstract** – This paper presents a proposal of techno-economic modeling for the strategic planning of the access systems. Major components of costs and revenues are identified and a model is developed to determine the network configuration (services, technologies, etc.) which maximize the expected revenue by system operator. Results of computational experiments are presented and discussed.

**Index Terms** – Access Systems, Strategic Planning, Mathematical Modeling.

## I. INTRODUÇÃO

As mudanças no setor das telecomunicações levam as empresas operadoras a assumirem novas posturas em todas as suas áreas de atuação, inclusive no que diz respeito ao planejamento da expansão do sistema. Com a perspectiva de um ambiente de competição, o foco de atenção transfere-se do investimento a mínimo custo [1][2] para a necessidade de implantar soluções que signifiquem garantia de participação no mercado e receitas compensadoras.

Isto traz novas preocupações para a etapa de planejamento. Por um lado, é possível haver seletividade no atendimento da demanda, o que significa dizer que as demandas potencialmente mais lucrativas serão prioritárias. Por outro lado, existe a variedade de serviços a oferecer, cada qual gerando receita diferenciada, e eventualmente exigindo equipamentos, topologias e meios de transmissão específicos. A limitação orçamentária, naturalmente, é outro fator a ser previsto, pois nem sempre é possível implantar todos os sistemas necessários ao atendimento pleno da demanda.

Portanto, fabricantes de equipamentos e operadoras de serviços precisam estar preparados para estes novos desafios, tanto do ponto de vista tecnológico quanto mercadológico. Considerando-se a complexidade e a abrangência dessa tarefa, torna-se conveniente que se utilizem ferramentas de apoio à decisão, baseadas em modelos matemáticos.

Neste trabalho, propõe-se um modelo matemático para ajudar no planejamento do sistema de acesso, em particular para a rede de alimentação do sistema de acesso fixo e/ou para a infra-estrutura do sistema de acesso celular. Ele reflete o ambiente de competição entre as tecnologias e os serviços. O dimensionamento da rede é feito com o objetivo de se obter a maior receita possível dos serviços oferecidos, respeitando as demandas previstas, topologias de rede, capacidades e custos das tecnologias candidatas. Facilidades existentes, como dutos e cabos, também são incluídos como participantes do processo de decisão.

A seção II indica as principais exigências atribuídas a um serviço de telecomunicações e algumas das tecnologias de transmissão que podem ser adotadas no sistema de acesso narrowband e broadband. As implicações econômicas e a descrição detalhada do modelo são apresentadas na seção III. A seção IV documenta uma aplicação da metodologia. Finalmente, a seção V conclui o artigo e apresenta algumas propostas de trabalhos futuros.

## II. SERVIÇOS E DIVERSIDADE TECNOLÓGICA

Um serviço de telecomunicações pode ser definido como: "um conjunto de funções oferecidas a um usuário por um fornecedor, para satisfazer uma necessidade específica de telecomunicações" [3]. Para oferecer um serviço, as empresas operadoras precisam estar atentas às seguintes especificações: velocidade (ou taxa) de transmissão, o tipo de tráfego, a qualidade da conexão exigida, a penetração (aceitação) na área em estudo, entre outras.

Grande parte das metodologias de planejamento procura agrupar os serviços, colocando-os em conjuntos bem definidos, os quais exigem diferentes tipos de conexão. Uma classificação conveniente [4][5] considera quatro perfis de usuário: VOZ (*Telefonia Convencional*), RDSI (*Rede Digital*

de *Serviços Integrados*), FLR (*Faixa Larga Residencial*) e FLC (*Faixa Larga Comercial*). Vale salientar que esse elenco de serviços não é único, podendo ser modificado sem influenciar o desempenho do modelo.

Atualmente, existem diversas tecnologias de transmissão que podem ser utilizadas no sistema de acesso (fixo ou móvel). Elas são capazes de suportar vários tipos de serviço. Dentre elas, podemos destacar: xDSL (*Digital Subscriber Line*); FITL (*Fiber-in-the-Loop*), onde os equipamentos de transmissão podem ter a tecnologia SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) e/ou ATM (*Asynchronous Transfer Mode*); modem ópticos; e enlaces via rádio. A escolha da tecnologia depende de suas especificações técnicas, do tipo de rede a ser planejada e dos objetivos da empresa operadora.

### III. ASPECTOS ECONÔMICOS E DESCRIÇÃO DO MODELO

Quando se pensa em receita, algumas considerações são necessárias. Inicialmente, é preciso lembrar que a diferentes serviços associam-se distintos valores de tarifação, que pode ser baseada em um valor fixo (mensal, por exemplo, como uma assinatura) ou então depender do tempo efetivo de utilização do serviço. Às vezes, uma combinação das duas formas é usada. Por outro lado, a receita pode ser distribuída ao longo do período de tempo analisado. Neste caso, comparações com o custo fazem mais sentido quando colocadas em uma mesma unidade de medida, como por exemplo, o “valor presente” ou algum tipo de “fluxo de caixa” [6]. Assim, um problema que envolve maximização de receita tem, portanto, diferentes interpretações [7]. Neste trabalho adotamos o critério de “*Maximização de Receita Respeitando um Limitante de Orçamento*”. No modelo, a receita representa a parcela fixa da tarifa cobrada pelo oferecimento do serviço.

#### A. Representação Gráfica do Sistema de Acesso

A modelagem proposta pode ser aplicada tanto para a sistema de acesso fixo quanto para a infra-estrutura do sistema celular (segmento *Estação Rádio Base – ERB* ↔ *Central de Comutação e Controle – CCC*).

Em função das previsões de demanda para os serviços, assume-se que a evolução tecnológica acontece para um único estágio de planejamento. Os assinantes podem ligar-se a apenas uma *Central de Comutação (CC)*.

Esse comportamento da demanda e a disposição física da rede sugerem o uso de grafos [8] para a sua representação. Para o planejamento em que consideramos a presença de uma rede metálica instalada, esta representação para cada *Nó de Acesso i* pode ser conforme a Figura 1. Nesta representação são considerados os seguintes elementos:

–*Nós Artificiais de Serviço*: assume-se que as demandas por cada serviço ( $d_1$ – $d_n$ ) já são conhecidas. Para cada serviço existe um nó associado ( $SV_{01}$ – $SV_n$ ), que é ligado a todos os *Nós de Acesso i* através de *Arcos de Escoamento* das demandas por esse serviço. Existe a necessidade de que as demandas apresentadas aos *Nós Artificiais de Serviço* tenham a mesma unidade de medida, por exemplo: número de assinantes.

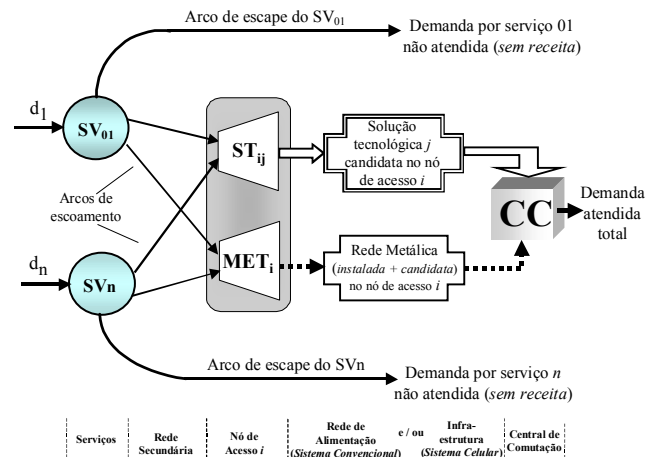


Figura 1. Representação do sistema de acesso.

–*Nós de Acesso*: representam pontos intermediários entre o usuário do sistema e a CC. O *Estágio Remoto (ER)* no sistema de acesso fixo e a *ERB* no sistema celular são alguns exemplos. Eles funcionam como pontos de concentração, reunindo a demanda proveniente dos *Nós Artificiais de Serviço*. Cada *Nó de Acesso i* pode ser dividido em dois, um representando o acesso através da *Rede Metálica (Met<sub>i</sub>)* e outro o acesso através da *Solução Tecnológica Candidata j (ST<sub>ij</sub>)*. Assim, é possível “enxergar” a rede metálica instalada, possibilitando também a sua expansão. No grafo, os *Nós de Acesso* funcionam como nós de passagem.

–*Nó de Comutação*: este nó está fisicamente associado à central de comutação do sistema (*Estação Telefônica – ET*, no sistema fixo e *Central de Comutação e Controle – CCC*, no sistema celular). Toda a demanda efetivamente atendida pelo sistema é encaminhada a esse nó.

–*Demanda Atendida Total*: representa a demanda efetivamente atendida pelo sistema. Devido ao limite de orçamento, ela pode ser inferior à soma das demandas previstas nos *Nós Artificiais de Serviço*.

–*Arcos de Escoamento*: representam os arcos que ligam todos os *Nós Artificiais de Serviço (SV<sub>01</sub>–SV<sub>n</sub>)* a todos os *Nós de Acesso i (Met<sub>i</sub> + ST<sub>ij</sub>)*. O fluxo de demanda escoado por estes arcos é utilizado tanto para contabilizar a receita gerada por cada um dos serviços oferecidos, quanto para controlar (se necessário) os gastos com a implantação da *Rede Secundária*. A maximização do fluxo nestes arcos para todos os serviços é o principal objetivo do modelo de otimização. O controle no atendimento das demandas exige que os *Arcos de Escoamento* sejam capacitados.

–*Arcos de Escape*: devido a um limite de orçamento, algumas demandas de certos serviços podem não ser atendidas. Por isso, *Arcos de Escape* são previstos para contabilizar esta demanda não atendida e garantir o balanço de fluxo nos *Nós Artificiais de Serviço*. A demanda escoada por estes arcos não é revertida em receita.

–*Rede Metálica*: este segmento do grafo é utilizado para representar tanto a rede metálica já *Instalada* quanto a *Candidata*. A *Instalada* garante o reconhecimento da infra-estrutura disponível no sistema, tais como cabos e dutos;

enquanto a *Candidata* representa os componentes necessários para a expansão em rede metálica. A fim de suportar também os serviços faixa-larga, este dimensionamento pode ser feito utilizando-se os modems da tecnologia xDSL.

–*Solução Tecnológica Candidata*: representa as diversas tecnologias possíveis de serem utilizadas no planejamento do sistema, exceto a solução xDSL (candidata em conjunto com a rede metálica). Na aplicação do modelo haverá a necessidade de se adaptá-lo às características próprias de cada tecnologia. Esta adaptação pode significar a utilização de nós artificiais e/ou variáveis de decisão específicas para a alocação e dimensionamento de equipamentos, por exemplo: modelagem de anéis SDH [2].

–*Rede Secundária*: permite o cálculo do custo associado aos equipamentos a serem disponibilizados nas instalações do usuário. Seu dimensionamento é realizado em função da demanda individual de cada serviço e da solução tecnológica candidata, o que em certas tecnologias exige considerações quanto ao dimensionamento dos equipamentos a serem alocados no *Nó de Acesso*. No sistema de acesso fixo, a rede secundária física (cabos) pode ser assumida como existente (sem custo) ou ter seu custo calculado a partir de valores médios. No sistema celular, a rede secundária pode ser associada à interface aérea da rede.

### B. Modelagem Matemática

O modelo matemático é um problema de *Programação Linear Inteira Mista com Variáveis 0-1*, que utiliza a abordagem nó-arco. As variáveis de decisão referem-se ao valor do fluxo nos arcos e à alocação (ou não) e dimensionamento de facilidades (equipamentos de transmissão, cabos ópticos e metálicos, infra-estrutura) instaláveis em cada arco (ou nó) para o atendimento dos serviços. Apresenta a seguinte formulação:

$$\text{Maximizar } R(\mathbf{y}) = \sum_{(s,i) \in A_E} r_{si} Y_{si} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{(i,j) \in A_{ST}} \sum_{n \in N_{STij}} (\phi_{ij}^{X_{eq},n} + \phi_{ij}^{X_{r},n} l_{ij}) X_{ijn} + \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_M} \sum_{p \in C_M} \phi_{ij}^{M,p} M_{ijp} + \sum_{(s,i) \in A_E} \phi_{si} Y_{si} \leq L$$

$$\sum_{i \in I-I_S} Y_{si} + Y_{esc_s} = d_s, \quad \forall s \in I_S \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J_1} Y_{ij} - \sum_{j \in J_2-I_S} Y_{ji} - \sum_{s \in I_S} fc_s \cdot Y_{si} = 0, \quad \forall i \in I-I_S \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N_{STij}} cap_{ij}^{X,n} X_{ijn} \geq Y_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A_{ST} \quad (5)$$

$$\sum_{p \in C_M} cap_{ij}^{M,p} M_{ijp} \geq Y_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A_M \quad (6)$$

Onde:

$R(\mathbf{y})$  : receita total dos serviços oferecidos;

$A_E$  : conjunto de arcos artificiais (*arcos de escoamento*) que conectam os nós artificiais de serviço aos nós de acesso;

$Y_{si}$  : variável real não-negativa associada ao fluxo de demanda escoado pelo arco  $(s, i) \in A_E$ ;

$r_{si}$  : receita unitária do serviço  $s$  oferecido ao nó de acesso  $i$ ;

$A_{ST}$  : conjunto de arcos que podem receber como candidata a solução tecnológica  $X$ ;

$N_{STij}$  : conjunto de soluções tecnológicas candidatas no arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$X_{ijn}$  : variável binária associada à implantação da solução tecnológica  $X$ , do tipo  $n$ , candidata no arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$\phi_{ij}^{X_{eq},n}$  : custo associado à implantação dos equipamentos da solução tecnológica  $X$ , do tipo  $n$ , candidata no arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$\phi_{ij}^{X_r,n}$  : custo (por unidade de comprimento) associado à implantação da infra-estrutura (cabos e dutos) da solução tecnológica  $X$ , do tipo  $n$ , candidata no arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$l_{ij}$  : comprimento do arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$A_M$  : conjunto de arcos que podem receber cabos metálicos;

$C_M$  : conjunto de modularidades de cabos metálicos (novos);

$M_{ijp}$  : variável binária associada à instalação do cabo metálico de modularidade  $p$ , candidato no arco  $(i, j) \in A_M$ ;

$\phi_{ij}^{M,p}$  : custo associado à implantação do cabo metálico  $M$ , de modularidade  $p$ , candidato no arco  $(i, j) \in A_M$ ;

$\phi_{si}$  : custo da rede secundária para a disponibilização do serviço do tipo  $s$  para o nó de acesso  $i$ , usando o arco  $(s, i) \in A_E$ ;

$L$  : limitante de orçamento;

$I$  : conjunto de todos os nós do grafo, exceto o nó da CC;

$I_S$  : conjunto dos nós artificiais de serviço;

$J_1$  : conjunto de nós  $j$  diretamente conectados ao nó  $i$ , por arcos emanando de  $i$  para  $j$ ;

$J_2$  : conjunto de nós  $j$  diretamente conectados ao nó  $i$ , por arcos emanando de  $j$  para  $i$ ;

$Y_{esc_s}$  : variável real não-negativa associada à demanda não atendida do serviço  $s$  (fluxo através de um *Arco de Escape*);

$d_s$  : demanda total do serviço  $s$ , entrando na rede pelo nó  $s \in I_S$ ;

$Y_{ij}$  : variável real não-negativa associada ao fluxo de demanda escoado pelo arco  $(i, j)$ ;

$fc_s$  : fator de conversão de taxa de transmissão do serviço  $s$ ;

$cap_{ij}^{X,n}$  : capacidade da solução tecnológica  $X$ , do tipo  $n$ , candidata no arco  $(i, j) \in A_{ST}$ ;

$cap_{ij}^{M,p}$  : capacidade do cabo metálico  $M$ , de modularidade  $p$ , candidato (ou instalado) no arco  $(i, j) \in A_M$ ;

Os principais componentes do modelo matemático são:

- *Função Objetivo* (1): é a receita total, a ser maximizada.
- *Restrição de Limite de Orçamento* (2): assegura que o custo total de alocação e dimensionamento dos equipamentos e infra-estrutura não ultrapasse o orçamento previsto. A primeira parcela da inequação refere-se ao custo de implantação da solução tecnológica X, a segunda aos custos com expansão em rede metálica e a última ao custo da rede secundária para a oferta dos serviços.
- *Restrições de Satisfação de Demanda* (3) e (4): garantem o balanço de fluxo em todos os nós do grafo, exceto para o nó da CC, por ser uma equação redundante [8]. A restrição sobre o orçamento significa que parte da demanda pode não ser atendida. Por isso, são utilizados os *Arcos de Escape*. Devido à diversidade encontrada nas taxas de transmissão dos serviços, pode ser necessário utilizar alguns coeficientes de conversão ( $fc_s$ ) na matriz de incidência.
- *Restrições Técnicas de Capacidade* (5) e (6): ocorrem em cada arco previsto pelo planejador, assegurando que a soma das capacidades dos equipamentos instalados seja superior ao fluxo escoado pelo arco.
- *Restrições Adicionais*: gerenciam o atendimento dos serviços (*item C*). Outras restrições podem modelar também topologias e aspectos de segurança da rede, bem como funcionalidades e privilégios de alguns equipamentos.

C. Controle de Atendimento dos Serviços

A fim de assegurar preferências de atendimento, e ter um melhor controle da demanda a ser atendida, há a necessidade de se colocar limites para os fluxos a serem escoados pelos arcos do grafo. Este controle pode ser feito de duas maneiras:

- *Controle de Demanda por Nó de Acesso*

Este procedimento é útil quando se deseja controlar a demanda a ser atendida em cada *Nó de Acesso*, individualmente. Este controle é possível atribuindo-se limites aos *Arcos de Escoamento*. A Figura 2 apresenta esta configuração de atendimento para um serviço *s* em um *Nó de Acesso i*. A garantia de que o atendimento estará entre a demanda mínima ( $dmin_{si}$ ) e máxima ( $dmax_{si}$ ) é assegurada limitando-se a soma das demandas atendidas pela rede metálica ( $Met_i$ ) e solução tecnológica ( $ST_{ij}$ ), em cada *Nó de Acesso i*. Nesta configuração, mesmo que um serviço não seja "rentável", garante-se, obrigatoriamente, o seu atendimento mínimo em cada região da rede atendida por um *Nó de Acesso*. Este controle torna-se interessante diante de contratos administrativos que exigem garantias de atendimento para uma determinada área ou um cliente em especial.

- *Controle de Demanda por Serviço*

Este procedimento é utilizado quando se deseja garantir o atendimento do serviço, independente do *Nó de Acesso*. A demanda máxima prevista para cada *Nó de Acesso* ( $dmax_{si}$ ) continua sendo controlada através dos *Arcos de Escoamento*. Já o atendimento mínimo deixa de ser gerenciado por *Nó de Acesso* e passa a ser assegurado apenas por serviço ( $dmin_s$ ), através da adoção de limites no *Arco de Escape*. A Figura 3 mostra este controle para um serviço *s*, bem como a forma de

atendimento deste serviço em um *Nó de Acesso i*. A restrição no *Arco de Escape* define os limites para a demanda não atendida ( $Yesc_s$ ), a qual atingirá no máximo a diferença entre a demanda total prevista ( $d_s$ ) e a demanda mínima a ser atendida ( $dmin_s$ ), garantindo o atendimento da demanda mínima para o serviço *s*. Neste contexto, como o objetivo do modelo é maximizar a receita gerada pelos serviços oferecidos, continua havendo a possibilidade de se escolher os *Nós de Acesso* mais "rentáveis", porém com a liberdade de inclusive excluir (deixar de atender) os *Nós de Acesso* menos "rentáveis", fato proibido no *Controle de Demanda por Nó de Acesso*.

D. Adaptações para Minimização de Custo

Na abordagem de minimização de custo tem-se como objetivo principal dimensionar o sistema de acesso da forma mais barata possível para atender uma demanda fixa pré-estabelecida. Para que o modelo de maximização de receita seja capaz de realizar o dimensionamento nestas circunstâncias são necessárias pequenas adaptações:

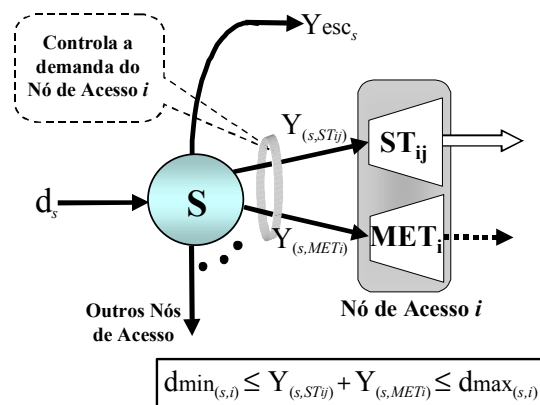


Figura 2. Controle de demanda por nó de acesso.

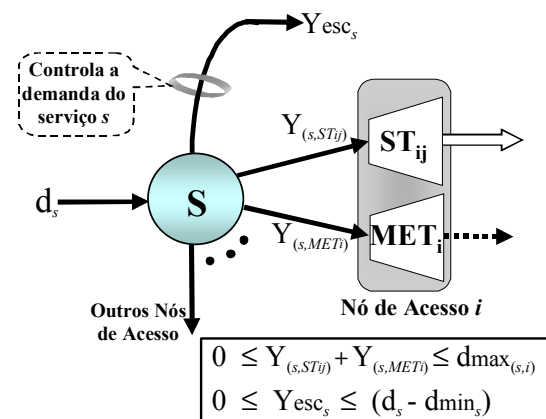


Figura 3. Controle de demanda por serviço.

- A função objetivo (1) deve ser substituída pela restrição (2). Esta expressão continua contabilizando os custos com a rede a ser implantada, porém com o objetivo de escolher a mais barata, e não mais aquela que respeite um orçamento;

- As restrições de satisfação de demanda (3) e (4) e as restrições técnicas de capacidade (5) e (6) continuam as mesmas, sem nenhuma modificação;

- Uma vez que toda a demanda apresentada aos *Nós Artificiais de Serviço* deve ser atendida, basta proibir o fluxo desta demanda nos *Arcos de Escape* de cada serviço ( $Y_{esc_s}=0$ ). O mesmo pode ser feito para qualquer outro nível de atendimento de demanda.

#### IV. APLICAÇÃO

Cenários de planejamento para a infra-estrutura do sistema celular foram estudados com o objetivo de avaliar o desempenho do modelo. Todos os experimentos computacionais foram programados em uma máquina Sun Workstation Ultra-1 com sistema operacional SunOS 5.7. As instâncias foram geradas em linguagem C e resolvidas com o solver CPLEX [9]. Uma aplicação preliminar da metodologia, para o sistema de acesso fixo, que avalia as tecnologias xDSL e SDH, pode ser vista em DeSousa [10].

##### A. Dados Gerais

A Figura 4 mostra a rede exemplo, com 1 CCC e 15 ERBs (nós de acesso do sistema celular). Ela é capaz de oferecer dois perfis de serviço, um que exige canais de transmissão a 64 kbps e outro a 144 kbps, ambos simétricos e com comutação por circuito. As previsões de demanda (total), em número de canais, são: 387 para o serviço 01 e 237 para o serviço 02.

Três tecnologias de transmissão foram consideradas como candidatas: modems HDSL, modems ópticos e enlaces via rádio. A distância máxima considerada para um enlace HDSL é de 4 km. A Tabela 1 apresenta as capacidades (em canais E1) e os custos de equipamentos/infra-estrutura para cada tecnologia. A receita unitária e o atendimento mínimo obrigatório, para cada serviço, também são listados na Tabela 1. O custo do sistema HDSL é adotado como referência.

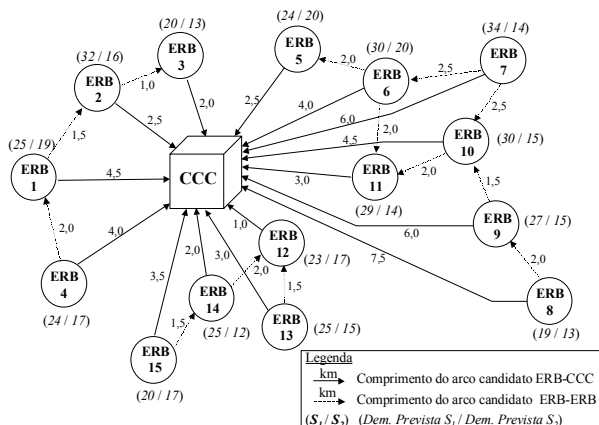


Figura 4. Rede analisada.

TABELA 1  
INFORMAÇÕES DE TECNOLOGIAS E SERVIÇOS.

Sistema Candidato	Custos					
	Equipamentos				Infra-estrutura (km)	
	1xE1	2xE1	4xE1	8xE1	Dutos	Cabos
HDSL	1,00	-	-	-	4,17	4,30
Óptico	1,00	1,50	1,75	2,00	5,00	3,80
Rádio	-	8,50	13,50	20,00	0	0
Atendimento Mínimo (%)					50	
Receita Unitária					0,2	

##### B. Análise Técnico-econômica Utilizando o Controle de Demanda por ERB

Nesta análise, foi respeitado o atendimento mínimo em cada ERB, controlando os limites de demanda por célula. Consideramos, para a rede da Figura 4, que apenas os dutos dos sistemas HDSL e dos modems ópticos já estavam instalados. Nestas condições, é necessário um orçamento de 175,6 para atender toda a demanda prevista.

A medida que um limite de orçamento é imposto, a solução se modifica, com o objetivo de obter a receita máxima da rede. As possíveis alterações de uma instância para outra são causadas, principalmente, pela forma de atendimento dos serviços e a tecnologia adotada. A Tabela 2 lista os resultados para diferentes valores de orçamento. As receitas geradas e as configurações de atendimento são apresentadas como valores gerais, mas podem ser facilmente detalhadas, como, por exemplo, receita por serviço, custo por tecnologia e tecnologia/hierarquia por enlace escolhido.

Para os dados considerados, podemos observar que os sistemas de modems ópticos são predominantes em todas as instâncias. Embora tenhamos reduções de orçamento, a relação receita/custo mantém-se estável.

A configuração da rede para a previsão de investimento de 85% do orçamento total pode ser vista na Figura 5. Seis ERBs (1, 3, 6, 7, 8 e 11) tiveram perda de demanda. Podemos observar também que as maiores perdas de receita ocorreram na ERB 11, onde o atendimento ficou próximo do mínimo obrigatório.

TABELA 2  
SOLUÇÕES PARA O CONTROLE DE DEMANDA POR ERB.

	Previsão de Orçamento (porcentagem do total 175,6)				
	100%	95%	90%	85%	80%
<b>Receita Gerada</b>	86,10	85,39	83,68	77,24	71,69
<b>Número de Canais não Atendidos</b>					
Serviço 1	0	0	0	21,50	24,50
Serviço 2	0	3,55	12,11	33,56	59,78
<b>Receita / Custo</b>	0,49	0,51	0,53	0,52	0,51
<b>Sistemas Escolhidos (x E1)</b>					
HDSL	0	0	0	0	0
Óptico(1/2/4/8)	1/0/4/8	0/0/3/9	0/0/2/8	0/0/5/5	0/0/3/9
Rádio(2/4/8)	1/3/0	0/3/0	0/5/0	3/2/0	1/2/0

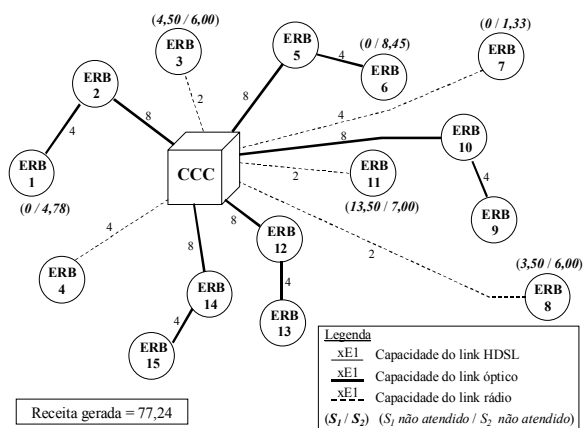


Figura 5. Configuração da rede com 85% do orçamento.

### C. Análise Técnico-econômica Utilizando o Controle de Demanda por Serviço

Nesta análise, foi respeitado o atendimento mínimo por serviço, controlando os limites de demanda na área total atendida pela CCC. São consideradas as mesmas condições de rede instalada e serviços previstos do cenário anterior. O orçamento necessário para atender toda a demanda continua sendo 175,6.

A rede foi dimensionada para diferentes previsões de orçamento. Os resultados são listados na Tabela 3. À medida que o orçamento se distancia do total o corte de demanda aumenta. O serviço 1 é quem sofre as maiores perdas. Para as previsões de orçamento mais pessimistas, temos, inclusive, a escolha de não se alocar algumas ERBs. A ERB 8 é a que se apresenta menos atrativa. Em termos econômicos, pode-se observar que, caso tenhamos uma redução de 50% no orçamento, a receita fica penalizada em 40%, enquanto a relação receita/custo tem um aumento de 20% (de 0,49 para 0,59).

TABELA 3  
SOLUÇÕES PARA O CONTROLE DE DEMANDA POR SERVIÇO.

	Previsão de Orçamento (porcentagem do total 175,6)				
	90%	80%	70%	60%	50%
<b>Receita Gerada</b>	83,68	76,58	68,39	61,84	51,63
<b>Número de Canais não Atendidos</b>					
Serviço 1	0	19,00	66,00	95,00	134,00
Serviço 2	12,11	38,11	55,56	73,78	105,33
<b>ERBs não Alocadas</b>	–	8	3-8-9	1-7-8-9	4-7-8-9-10
<b>Receita Perdida</b>	2,42	9,52	17,71	24,26	34,47
<b>Receita / Custo</b>	0,53	0,54	0,56	0,59	0,59
<b>Sistemas Escolhidos (x E1)</b>					
HDSL	0	0	0	0	0
Óptico(1/2/4/8)	0/0/2/8	0/0/3/10	0/0/3/7	0/0/3/7	0/0/3/7
Rádio(2/4/8)	0/5/0	1/1/0	0/2/0	0/1/0	0/0/0

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe uma metodologia de planejamento para o sistema de acesso fixo e/ou móvel. Os principais componentes de custo e receita são identificados e um modelo é desenvolvido para determinar a configuração de rede que maximize a receita esperada pelo operador do sistema. A modelagem permite a competição entre tecnologias e garante seletividade no atendimento dos serviços.

Relatamos e discutimos os resultados da aplicação da metodologia no planejamento da infra-estrutura de um sistema celular com 15 ERBs, capaz de oferecer dois perfis de serviço. Foram avaliadas três tecnologias de transmissão: modems HDSL, modems ópticos e enlaces via rádio. Os cenários analisados permitiram verificar a viabilidade técnico-econômica do sistema em função da disponibilidade orçamentária da operadora.

Estamos estudando a adaptação do modelo para contemplar a dependência entre a penetração do serviço e a sua receita unitária. Estamos analisando também propostas de resolução do modelo baseadas em heurísticas, como por exemplo, algoritmos genéticos/meméticos [11][12].

## REFERÊNCIAS

- [1] S. Dravida et al., "Narrowband and Broadband Infrastructure Design for Wireless Networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 72-78, May 1998.
- [2] C. M. F. Carlson, J.R.F. Formigoni e H.M.F. Tavares, "Dealing with Fuzzy Costs in Telecommunications Networks Design", *Procs. of the FUZZ-IEEE 1998*, vol. I, pp. 634-639, May 1998.
- [3] M. Sexton and A. Reid, *Broadband Networking – ATM, SDH and Sonet*, Ed. Artech House, Boston-London, 1997.
- [4] M. A. DeSousa, J. T. Machado, R.V. Ribeiro and C. M. F. Carlson, "Risk Evaluation in Broadband Telecommunications Planning Under Services' Imprecise Penetration – A Fuzzy Approach", *Procs. of the FUZZ-IEEE 2001*, vol. II, p#136, Melbourne -AU, December 2001.
- [5] L. A. Ims, K. Stordahl and B. T. Olsen, "Risk Analysis of Residential Broadband Upgrade in a Competitive and Changing Market", *IEEE Communications Magazine*, pp. 96-103, June 1997.
- [6] H. Hirschfeld, *Engenharia Econômica e Análise de Custos*, Ed. Atlas, São Paulo, 1998.
- [7] C. M. F. Carlson et al., "Designing Multi-Service Access Networks under Imprecise Budget Constraints", *Procs. of the 8<sup>th</sup> International Conference on Telecommunication Systems – Modeling and Analysis*, pp. 600-609, 2000.
- [8] M. S. Bazaraa, J.J. Jarvis and H.D. Sherali, *Linear Programming and Network Flows*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York, 1990.
- [9] CPLEX Optimization. Inc., *Using the CPLEX Callable Library*, 1994.
- [10] M. A. DeSousa et al., "Planejamento da Rede de Acesso Orientado à Maximização de Receitas", *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, p. 389-394, Setembro 1999.
- [11] T. Back, D. B. Fogel and Z. Michalewicz (eds.), *Evolutionary Computation 1: Algorithms and Operators*, Institute of Physics Publishing, 2000.
- [12] J. T. Machado, M. A. DeSousa, R. V. Ribeiro e C. M. F. Carlson, "A Genetic Approach to Equipment Allocation and Topology Choice in Wireless Multi-service Networks", *Procs. of the International Conference on Computer, Communications and Control Technologies-CCCT'03* (aceito para publicação), Agosto 2003.