

# PROJETO DO CANAL DE RETORNO PARA REDES HFC

Marcelo Melo da Costa  
mmc@amazon.com.br

João Crisóstomo W. A. Costa  
jweyl@ufpa.br

Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal do Pará  
Caixa Postal 479 CEP 66075-110 Belém - Pará - Brasil

## RESUMO

As empresas de TV a cabo atualmente estão implementando redes para a distribuição dos sinais do tipo HFC (híbrida fibra-cabo coaxial). A grande dificuldade enfrentada por essas empresas é a transmissão de sinais no sentido *upstream*, ou seja, do assinante ao *headend*. Em vista disso, este trabalho apresenta um projeto de canal de retorno para redes HFC.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, acredita-se que o futuro da indústria de TV a cabo dependa da capacidade da mesma em explorar os benefícios disponibilizados pelo canal de retorno. Existem vários motivos para isso, mas o principal deve-se ao fato de que novos serviços de comunicação estão surgindo, tais como Internet, videoconferência, jogos interativos e telefonia via cabo, e dentre eles, muitos necessitam de banda larga e redes de tráfego bidirecional. Aliado ao baixíssimo crescimento dos serviços de transmissão de vídeo e à crescente concorrência de provedoras de serviços similares, chegou-se à conclusão de que é imprescindível a disponibilização de serviços interativos na rede de TV a cabo.

As primeiras redes de TV a cabo utilizavam integralmente cabeamento do tipo coaxial em sua construção. Com o desenvolvimento da tecnologia de fibras ópticas, as redes passaram a empregar cabos ópticos em seus troncos, em substituição aos cabos coaxiais, proporcionando maior qualidade aos sinais transmitidos. Porém, a distribuição dos sinais entre os troncos e os assinantes continuou a ser feita através dos cabos coaxiais. Surgia então a arquitetura HFC.

As redes HFC assemelham-se às redes de telefonia celular, pois sua área de cobertura é dividida em áreas menores, denominadas de células. Essa divisão possibilita o reuso do espectro de frequências, aumentando portanto a capacidade de tráfego da rede. Como a largura de banda disponível para o canal de retorno é bastante limitada, é de fundamental importância o reuso do espectro disponível da maneira mais eficiente possível.

## 2. CARACTERÍSTICAS DAS REDES HFC

### 2.1 Elementos

A Figura 1 mostra o diagrama simplificado de uma rede de TV a cabo HFC, identificando seus três componentes: o *headend*, a planta de distribuição HFC e a unidade de assinante (UA). Vale ressaltar que todos os componentes da rede, como amplificadores, *taps*, *splitters*, entre outros, são bidirecionais.

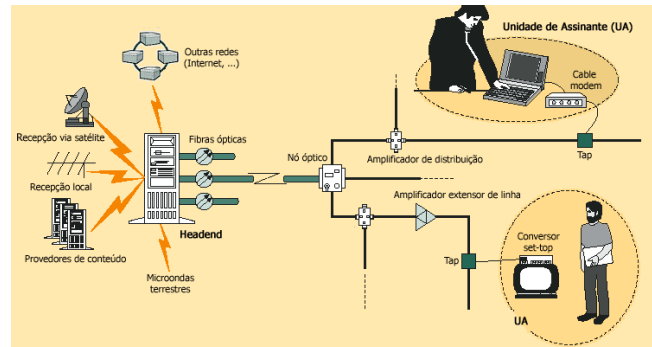


Figura 1. Elementos de uma rede de TV a cabo do tipo HFC

### 2.2 Canal de Retorno

Para começar a disponibilizar serviços interativos aos assinantes, as empresas de TV a cabo primeiramente precisaram resolver um problema: como receber dados dos assinantes utilizando uma rede que tinha sido inicialmente desenvolvida apenas para a transmissão *downstream* e *broadcasting* de sinais analógicos de TV? A solução encontrada foi a utilização da limitada faixa de retorno já existente (5-40 MHz).

Deve haver um cuidado muito grande quanto à degradação da relação portadora-ruído no tráfego *upstream*. Há diversas formas de degradação da mesma, porém duas podem ser destacadas. A primeira é ocasionada pela própria arquitetura da rede HFC, que faz com que os sinais *upstream* se combinem à medida em que viajam dos assinantes ao *headend*, criando um gargalo de ruído. A segunda forma é através da alta incidência de ruído de ingresso na faixa de frequências utilizada pelo canal de retorno.

## 3. ORIENTAÇÕES PARA O PROJETO

Para a elaboração de um projeto de canal de retorno para uma rede HFC, alguns pontos chave precisam ser definidos, tais como a divisão do espectro de frequências entre os serviços disponibilizados e a alocação de potência para os mesmos.

### 3.1 Estimativa de Tráfego

O dimensionamento dos nós de fibra óptica consiste na determinação do número de residências ou unidades de assinante que serão atendidas por cada uma das células associadas aos nós ópticos. O número de casas por nó, HPN, pode ser calculado através da equação (1)

$$HPN = \frac{(\text{bps/Hz}) \times (\text{BW})}{(\text{bps/usuário}) \times (\text{Ass/célula}) \times (\text{Ass Simultâneos})} \quad (1)$$

onde bps/Hz é a eficiência de banda do tipo de modulação utilizado, BW é a largura de faixa, bps/usuário é a taxa de transmissão por usuário, Ass/célula representa a relação entre o número de assinantes e o total de residências englobadas por célula e Ass Simultâneos representa a relação entre o número de assinantes do serviço que estão conectados simultaneamente e o total de assinantes. A equação (1) deve ser aplicada a todos os serviços que utilizam o canal de retorno para permitir a identificação de qual deles possui requisitos mais rígidos quanto ao número máximo de residências que podem ser atendidas por uma única célula.

### 3.2 Distribuição da Potência de RF

Antes do advento da tecnologia de fibras e lasers transmissores ópticos, os operadores de TV a cabo sempre consideraram que os limites impostos para o nível de potência de RF que poderia ser alocado à planta coaxial eram determinados pelas distorções no sistema. Por distorções entende-se aqueles efeitos indesejáveis causados por batimentos de segunda e terceira ordem que podem quantificados pelos parâmetros de distorção CSO e CTB.

Com uso da tecnologia óptica nas redes de TV a cabo, percebeu-se que as distorções poderiam ainda ser consideradas como fator crítico para a limitação de potência de RF na planta, mas apenas para o canal *forward* e para alguns casos específicos, como a determinação do número máximo de amplificadores de RF em cascata. Nas atuais redes HFC, o nível máximo de potência de RF é determinado pelo nível máximo de entrada no qual o laser transmissor opera sem *clipping*, tanto para o canal de retorno quanto para o canal *forward*.

O valor ótimo de potência de RF para a operação da planta do canal de retorno pode ser encontrado pela consideração de dois critérios limitantes: ele não deve ser tão alto a ponto de causar *clipping* no laser transmissor, mas deve ser alto o suficiente para obter um bom valor de relação portadora-ruído.

De posse do valor de potência que pode ser aplicado ao laser transmissor, deve-se encontrar uma maneira de como dividir essa potência entre os serviços disponíveis. Uma solução prática de distribuição é dividir toda a potência disponível igualmente por toda a largura de faixa do canal de retorno. Dessa maneira, será obtida uma densidade de potência por unidade de frequência (dBmV/Hz) igual para todas as aplicações.

A taxa de Potência-por-Hz pode ser calculada pela equação (2)

$$\text{Potência-por-Hz} = \text{Potência laser} - 10 \cdot \text{Log}(\text{BW}) \quad (2)$$

onde a largura de faixa BW deve ser dada em Hz. Esse método apresenta muitas vantagens, sendo a principal delas o fato de que menor quantidade de potência é disponibilizada para canais estreitos, que estão sujeitos a menores níveis de ruído de ingresso. Para canais mais largos, sujeitos a um maior nível ruído de ingresso, a potência destinada é maior.

### 3.3 Alinhamento da Rede

Ao realizar-se o alinhamento do canal de retorno de uma rede HFC, procura-se obter os melhores níveis de potência de RF nos quais os componentes do mesmo devem operar. Para um alinhamento eficiente, deve-se seguir o critério do ganho unitário. Esse critério significa, na prática, que a diferença entre o nível de potência de entrada entre dois amplificadores ou entre um amplificador e o nó óptico é sempre de 0 dB.

## 4. PROJETO

### 4.1 Serviços Disponibilizados

No projeto do canal de retorno da rede de TV a cabo bidirecional que será elaborado no restante deste trabalho, procurou-se disponibilizar alguns dos novos serviços interativos que podem atualmente prover uma razoável rentabilidade às empresas operadoras de TV a cabo. Em vista disso, os serviços escolhidos foram: comunicação de dados via *cable modem*; os serviços implementados pelos conversores *set-top*; e PCS via cabo.

Devido ao número de serviços interativos oferecidos, e na conseqüente taxa elevada de utilização do espectro de retorno, as células da rede considerada nesse projeto não podem ter grandes dimensões, pois caso contrário, o risco de saturação precoce das mesmas será alto. Por isso, o valor base para o número de residências por célula escolhido, HPN, foi de 500.

### 4.2 Definição das Larguras de Faixa e dos Níveis de Transmissão de Cada Serviço

Nessa etapa do projeto, deve-se calcular o valor máximo possível para a densidade de potência na saída do transmissor para cada um dos serviços disponibilizados.

Para o *cable modem*, alguns dos padrões estabelecidos pelo DOCSIS[1] foram seguidos. Dessa forma, considerou-se modulação do tipo 16QAM, que juntamente com uma taxa de transmissão por usuário de 256 kbps, resulta em uma largura de faixa de 3,2 MHz. Considerando como nível máximo de transmissão 58 dBmV, encontrou-se para a densidade de potência na saída dos transmissores dos *cable modems* o valor de -7 dBmV/Hz.

Para o conversor *set-top* deste projeto, foram consideradas características comuns a vários tipos de equipamentos de diversos fabricantes. Dessa forma, foram adotados largura de faixa de 1 MHz e nível máximo de transmissão de 55 dBmV, o que resulta em uma densidade de potência de -9 dBmV/Hz na saída dos conversores.

Finalmente para o PCS, foram considerados modulação dos sinais do tipo QPSK e taxa de transmissão por usuário de 256 kbps, o que resultou em uma largura de faixa de 2 MHz. O nível máximo de transmissão adotado foi de 50 dBmV, resultando em uma densidade de potência de -13 dBmV/Hz na saída dos transmissores.

O próximo passo é estimar o valor das perdas entre o transmissor localizado na residência do assinante e a entrada do nó. Para auxiliar nessa tarefa, foi utilizada a Tabela 1, que ilustra os

diversos tipos de perdas encontrados em uma planta de canal de retorno e seus respectivos valores.

Descrição	Caso típico (dB)	Pior caso (dB)	Observações
<b>Cabeamento &amp; componentes passivos</b>			
Cabeamento e <i>splitters</i> internos à residência	4,3	8,7	@ 40 MHz.
Cabo <i>drop</i>	1,4	4,2	@ 40 MHz.
<i>Tap</i> & cabo alimentador	20	27	
<b>Subtotal</b>	25,7	39,9	
<b>Variações na planta</b>			
Equalização ineficiente	1	2	
Efeitos da temperatura	3	6	
Inexatidão no alinhamento	0	1	
<b>Subtotal</b>	4	8	
<b>Total</b>	<b>≅30</b>	<b>≅49</b>	

**Tabela 1.** Valores estimados para os diversos tipos de perdas existentes entre os transmissores dos assinantes e o nó em um canal de retorno de uma rede HFC.

É claro que para a avaliação da funcionalidade de um projeto, deve-se considerar valores próximos àqueles que representam o pior caso. Por isso, nesse projeto, foi considerado um total de perdas de 48 dB entre transmissor e nó para o *cable modem* e o conversor *set-top*. Já para o PCS via cabo, foi considerado que as antenas estão conectadas ao cabo através de acopladores direcionais de 12 dB, que com a adição de 3 dB referentes à outras perdas, perfazem um total de 15 dB de perdas para este serviço. Dessa forma, encontrou-se os valores para as densidades de potência na entrada do nó de cada um dos serviços. Esses valores estão ilustrados na Tabela 2.

	Cable modem	Conversor set-top	PCS
Nível máximo de transmissão (dBmV)	58	55	50
Largura de faixa (MHz)	3,2	1	2
Densidade de potência de transmissão (dBmV)	-7	-5	-13
Atenuação total (dB)	48	48	15
Densidade de potência na entrada do nó (dBmV)	-55	-53	-28
Densidade de potência na entrada do nó se os demais serviços utilizarem a mesma densidade de potência (dBmV)	20,4	22,4	47,4

**Tabela 2.** Valores calculados para a densidade de potência de cada um dos serviços na entrada do nó.

Pelos dados mostrados na Tabela 2, chega-se à conclusão de que o *cable modem* é o serviço com nível de transmissão mais baixo. Como ele já está operando com nível de transmissão máximo, não é possível aumentar a densidade de potência para o mesmo. Por isso, para manter a densidade de potência constante para todos os serviços, os conversores *set-top* e as antenas PCS terão que operar com níveis de transmissão abaixo de seus valores máximos para disponibilizarem a mesma densidade de potência que os *cable modems*, ou seja, -55 dBmV/Hz na entrada do nó. Dessa forma, o nível de transmissão dos conversores terá que ser diminuído em 2 dB (o nível de transmissão passa a ser de 53 dBmV) e o nível de transmissão para o PCS terá que ser reduzido a 23 dBmV (uma queda de 27 dB em relação ao nível máximo possível).

Caso os valores de potência de RF encontrados não sejam satisfatórios para atender aos requisitos de relação portadora-ruído quando colocados em prática, pode-se indicar como sugestão nesse projeto a adição de um amplificador imediatamente após o *splitter* que combina os sinais provenientes do *cable modem* e o conversor *set-top*, localizado na residência do assinante, de modo a reduzir o montante de perdas para os *cable modems* e os conversores. Por exemplo, se for colocado um amplificador de 10 dB após o *splitter*, a densidade de potência na entrada do nó aumentará também de 10 dB e passará a ser de -45 dBmV/Hz. Dessa forma, os transmissores das antenas PCS poderão operar com nível de 33 dBmV. À primeira vista, a idéia da adição de novos amplificadores parece terrível, pois surgirão novos gastos com a aquisição dos mesmos. Mas, se um estudo detalhado da planta for realizado, será constatado que apenas uma pequena parcela de assinantes, que são aqueles que se enquadram no grupo dos que apresentam alto valor de perdas, necessitarão da instalação desses amplificadores adicionais.

A Tabela 3 reproduz todas as informações importantes acerca das características dos serviços considerando as duas hipóteses apresentadas: originalmente, sem nenhuma alteração e após a

instalação de amplificadores adicionais em série aos *splitters* nas residências que apresentam alto valor de perdas entre os transmissores e a entrada do nó.

	1. Original			2. Com Amps Adicionais		
	CM	CST	PCS	CM	CST	PCS
Nível máximo de transmissão (dBmV)	58			58		
Largura de faixa (MHz)	3,2			3,2		
Densidade de potência de transmissão (dBmV/Hz)	-7			-7		
Atenuação máxima (dB)	48			38		
Densidade de potência na entrada do nó (dBmV/Hz)	-55	-55	-55	-45	-45	-45
Atenuação máxima (dB)		48	15		38	15
Densidade de potência de transmissão (dBmV/Hz)		-7	-40		3	-30
Largura de faixa (MHz)		1	2		1	2
Nível de transmissão (dBmV)		53	23		53	33
Nível de potência total na entrada do nó (dBmV)		20,4			30,4	

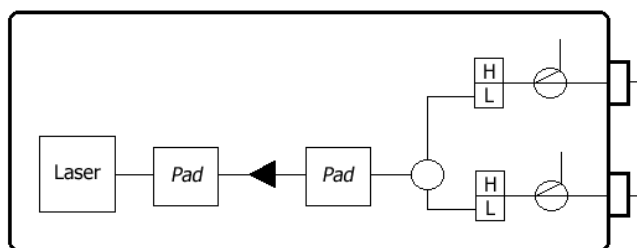
**Tabela 3.** Características dos serviços disponibilizados antes e após a adição de amplificadores

Daqui por diante, será considerada a adoção da segunda hipótese para o projeto.

O nível de potência total na entrada do nó foi calculado considerando a utilização de toda a potência disponível na totalidade da faixa de retorno. Como nesse caso apenas parte da largura de faixa do canal de retorno foi utilizada, uma parcela de potência está reservada para serviços que venham a ser disponibilizados num futuro próximo. Por exemplo, considerando a segunda hipótese mostrada pela Tabela 3, a potência total que está sendo realmente utilizada pelos serviços vale apenas 22,9 dBmV na entrada do nó. Para os outros serviços futuros, estão reservados cerca de 29,6 dBmV.

### 4.3 Otimização dos Níveis no Nó

Após a determinação do nível máximo de potência na entrada do nó, é necessário analisar a estrutura interna do mesmo, para que esse nível seja adequado ao nível de entrada ótimo do laser transmissor, especificado pelo seu fabricante. Deve-se evitar valores acima do nível ótimo para não causar o efeito de *clipping*, mas também deve-se evitar valores muito baixos, para garantir valores satisfatórios de relação portadora-ruído. Para realizar essa análise, será considerado um nó de duas portas cuja estrutura interna é mostrada pela Figura 2. O laser transmissor considerado no projeto possui nível ótimo de entrada de 45 dBmV.



**Figura 2.** Estrutura interna simplificada de um nó de duas portas relativa ao canal de retorno

Para a realização das correções no nível de potência na entrada do nó, de modo que este nível ao ser somado ao ganho do amplificador não ultrapasse o nível ótimo na entrada do laser transmissor, pode ser instalado em série ao amplificador híbrido de retorno um *pad*, que nada mais é que um atenuador de valor fixo. Entretanto, vale ressaltar que nem sempre a inclusão de *pads* é necessária.

Nesse projeto, o sinal chega à entrada do diplexador com nível de 30,4 dBmV. Após passar pelo mesmo e pelo *splitter*, o sinal chega à entrada do amplificador com nível de aproximadamente 26 dBmV considerando perdas de 4,5 dB no diplexador e no *splitter*. Para um amplificador de 25 dB, um *pad* de 6 dB será necessário entre o mesmo e a entrada do laser transmissor.

Entretanto, uma análise mais criteriosa deve ser feita. O nível de potência de 30,4 dBmV representa o valor mais baixo possível na entrada do nó, caso a faixa de retorno estivesse integralmente ocupada. Certamente a grande maioria dos outros valores possíveis será maior que 30,4 dBmV. Por isso, deve ser garantida uma margem suficiente entre o valor mais baixo e o valor típico na entrada do laser transmissor de modo que este não seja levado a operar com altos níveis de potência provocando assim o efeito de *clipping*. Dessa forma, será adicionado um *pad* com valor de atenuação maior que aquele definido na análise feita no parágrafo anterior, para que assim sinais com nível de potência acima de 30,4 dBmV na entrada do nó não provoquem o efeito de *clipping* no laser transmissor. O valor escolhido foi de 10 dB. A Tabela 4 mostra todas as informações relativas aos níveis de potência no nó que serão considerados no projeto.

	CM	CTS	PCS
Nível total na entrada do nó (dBmV)	30,4		
Nível do serviço na entrada do nó (dBmV)	20	15	18
Nível do serviço na entrada do laser (dBmV)	30,5	25,5	28,5
Nível total na entrada do laser (dBmV)	41		
Densidade de potência na entrada do laser (dBmV/Hz)	-34,5		

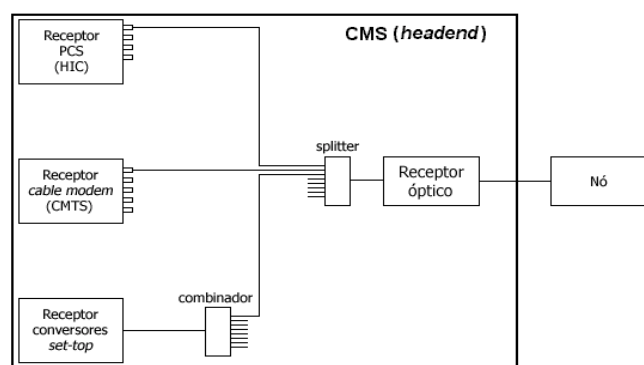
**Tabela 4.** Níveis de potência no nó óptico

#### 4.4 Distribuição dos Sinais no Headend

Após a transmissão via fibra óptica, os sinais provenientes do nó chegam ao receptor óptico localizado no *headend* para posterior separação e distribuição aos demoduladores responsáveis por cada um dos serviços. Entre o receptor óptico e esses demoduladores, ainda são contabilizadas perdas devido a utilização de cabos coaxiais, *splitters* e, dependendo do serviço, equipamentos responsáveis por novas combinações.

Cada receptor responsável por um serviço específico possui um valor ótimo para o nível de potência em sua entrada. Nessa etapa do projeto, é necessário assegurar que o nível de potência proveniente do receptor óptico atenda esse requisito de potência na entrada do receptor de cada serviço. Essa atividade assemelha-se àquela que foi realizada para garantir o valor ótimo na entrada do laser transmissor localizado no nó óptico, onde decidiu-se pela inclusão ou não de *pads* após os amplificadores.

Neste projeto, foi considerado um receptor óptico cujo nível máximo de saída vale 40 dBmV, quando o nível de transmissor é máximo (45 dBmV) para um enlace óptico de 4 dB (aproximadamente 10 km considerando comprimento de onda de operação de 1310 nm). Portanto, o enlace óptico entre o nó e o *headend* representa uma atenuação de 5 dB. Após a recepção, a potência do sinal recebido precisa ser dividida entre os receptores individuais responsáveis por cada serviço. Essa divisão é realizada por um *fan-out splitter*, e a ele está associada uma perda de 11 dB, considerando um equipamento de 8 saídas, mais a perda nos cabos coaxiais. Para os conversores *set-top*, que combinam os sinais de vários nós, uma perda adicional deve ser incluída devido a essa nova combinação. Considerando um combinador de 8 entradas, 11 dB de perdas são acrescidos. A Figura 3 ilustra o trajeto do sinal no interior do *headend*.



**Figura 3.** Distribuição do sinal no *headend*.

Após essas separações e combinações, é necessário checar se os níveis de cada serviço atendem aos requisitos dos receptores individuais para o nível ótimo de entrada. Foi definido arbitrariamente que os níveis ótimos dos receptores responsáveis pelo *cable modem* e pelo conversor *set-top* são ambos iguais a 12 dBmV. Para o receptor responsável pelo sistema PCS, foi definido que o nível ótimo vale 20 dBmV. Os resultados obtidos, considerando essas hipóteses, são mostrados na Tabela 5. Será feita a análise desses resultados para o *cable modem*.

Neste projeto, os sinais provenientes dos *cable modems* chegam à entrada do laser transmissor do nó óptico com diferenças de até 8 dB entre seus níveis, considerando como limites o valor típico e o valor do pior caso. Consequentemente, esses sinais, ao emergirem no receptor óptico do *headend*, podem ter os mesmos 8 dB de diferença entre seus níveis. Portanto, é necessário que a margem dinâmica relacionada ao nível de entrada do CMTS (receptor do serviço de *cable modem*) seja pelo menos próxima de 8 dB.

O valor de 25,6 dBmV é o nível mínimo possível para um sinal de *cable modem* na saída do receptor óptico do *headend*. Ao passar pelo *fan-out splitter* e pelo cabeamento adicional do *headend*, este sinal chega à entrada do CMTS com nível de 9,6 dBmV. Por isso, uma amplificação de pelo menos 2,6 dB é necessária para que o nível ótimo de 12 dBmV seja alcançado na entrada do receptor. Porém, deve ser considerado que sinais com níveis de até 8 dB acima disso podem ser fornecidos na saída do receptor óptico. Por isso, se for considerada que a margem dinâmica do CMTS vale  $\pm 4$  dB em torno de seu nível ótimo de 12 dBmV, a instalação de um *pad* de 1,6 dB é mais conveniente.

Deve-se fazer a análise dos níveis do conversores *set-top* de maneira semelhante à análise feita para os *cable modems*. Já para o PCS, será assumido que os níveis dos sinais recebidos pelas antenas são equalizados de tal maneira que não haja diferença significativa entre os seus níveis na saída do receptor óptico. Esta condição tem sido proposta para sistemas PCS integrados por *backbones* ópticos [4]. Dessa forma, neste projeto, os níveis dos sinais PCS na saída do receptor óptico serão sempre de 28,5 dBmV, ou valores muito próximos.

	CM	CST	PCS
Nível na saída do receptor óptico (dBmV)	36		
Largura de faixa (MHz)	3,2	1	2
Densidade de potência na saída do receptor óptico (dBmV/Hz)	-39,4	-39,4	-39,4
Nível do serviço na saída do receptor óptico (dBmV)	25,6	20,6	23,6
Perdas no cabeamento entre o receptor óptico e o <i>fan-out splitter</i>	2	2	2

(dB)			
Perdas no <i>fan-out splitter</i> (dB)	11	11	11
Perdas no cabeamento entre o <i>fan-out splitter</i> e o combinador (dB)	-	2	-
Perdas no combinador (dB)	-	11	-
Perdas no cabeamento entre o combinador ou o <i>fan-out splitter</i> e o receptor do serviço (dB)	3	2	3
Nível na entrada do receptor do serviço (dBmV)	9,6	-3,4	7,6
Nível necessário na entrada do receptor do serviço (dBmV)	12 ± 4	12 ± 4	20
Ganho necessário (dB)	-1,6 ( <i>pad</i> )	15,4	12,4

**Tabela 5.** Valores das perdas ocorridas no *headend*.

É importante assegurar que o nível do sinal de cada serviço jamais decaia a valores abaixo de 5 dBmV, pois valores abaixo disso degradam a relação portadora-ruído. Para o *cable modem* e o PCS, o nível do sinal nunca chegará próximo desse limite. Entretanto, como pode-se notar pela Tabela 5, na saída no *fan-out splitter*, o nível do conversor *set-top* é de 11,6 dBmV. Logo, o ganho de 15,4 dB, ou parte dele deve ser imediatamente adicionado, antes do sinal ser combinado com os sinais provenientes dos demais nós, a fim de evitar a degradação da relação portadora-ruído.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi elaborado um projeto do canal de retorno de uma rede HFC utilizada por empresas de TV a cabo, onde foram disponibilizados aos assinantes os serviços implementados pelos *cable modems* e conversores *set-top* e o PCS.

Quanto ao projeto do canal de retorno, foi enfatizada a distribuição de potência entre os serviços. O método utilizado para essa distribuição foi o da densidade de potência constante por todo o espectro do canal de retorno. Esse método apresentou muitas vantagens para o dimensionamento dos componentes da planta de distribuição da rede e do *headend*. Entretanto, ficou claro que para o dimensionamento desses componentes de maneira mais exata, é necessário analisar os níveis de potência de cada serviço separadamente, uma vez que na prática, um sinal do canal de retorno não possui densidade de potência constante em toda a sua largura de faixa.

Outro aspecto notado diz respeito às diferenças encontradas entre os níveis de potência dos sinais de um mesmo serviço. Tais diferenças ocorrem devido às perdas entre assinante e nó óptico, que podem assumir valores bastante diferentes entre si, dependendo das características do cabeamento e dos componentes passivos utilizados entre assinante e nó óptico. A consequência direta disso é a necessidade de margens dinâmicas

elevadas para o nível de recepção na entrada de alguns componentes da rede.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications – Radio Frequency.  
<http://www.cablemodem.com/specifications.html>
- [2] Lima, C. R. “Sistemas de TV a Cabo por Fibras Ópticas”. Anais do TELEMÓ’96, 1996.
- [3] Raskin, D. e Stoneback, D. “Broadband Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable TV Networks”. Prentice Hall, 1998.
- [4] Tonguz, O. K. E Jung, H. “Personal Communications Access Using Subcarrier Multiplexed Optical Links”. Journal of Light Technology, Vol. 14, nº 6, 1996.
- [5] Way, W. I. “Broadband Hybrid Fiber/Coax Access System Technologies”. Academic Press, 1999.