

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

GABRIELA KOCHANOWSKI DE MÉO

## **VECTORING**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

GABRIELA KOCHANOWSKI DE MÉO

## **VECTORIZING**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Foronda

CURITIBA

2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIELA KOCHANOWSKI DE MÉO

### VECTORING

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 4 de setembro de 2014, como requisito parcial para obtenção do título de **Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações**, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Luis Carlos Vieira  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

---

Prof. Esp. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Kleber Nabas  
UTFPR

---

Prof. Lincoln Herbert  
UTFPR

---

Prof. Dr. Augusto Foronda  
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais que sempre me incentivaram e prestaram apoio durante todo este período.

Ao professor Augusto Foronda pela orientação neste trabalho.

Aos amigos e colegas de curso pela ajuda e cumplicidade.

A todos os professores do curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações que contribuíram para minha formação.

## RESUMO

MÉO, Gabriela Kochanowski de. **Vectoring**. 2014. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2014.

Este trabalho sugere a implementação da tecnologia *Vectoring* para uma empresa prestadora de serviços de telefonia. Esta tecnologia foi desenvolvida para eliminar o ruído *crosstalk* entre os fios de cobre em cabos telefônicos, problema que afeta os serviços das linhas VDSL entregues aos clientes da prestadora. Foram realizados testes no laboratório da própria empresa, primeiro sem o *Vectoring* e depois com a tecnologia para análises de melhorias. Para isso fez-se necessário a identificação da arquitetura atual e o levantamento bibliográfico dos princípios de rede. O objetivo deste estudo é mostrar os benefícios da tecnologia *Vectoring*, com a finalidade de aumentar a capacidade de atendimento de clientes e a qualidade do serviço entregue.

**Palavras chave:** Vectoring. Crosstalk. Princípios de rede.

## ABSTRACT

MÉO, Gabriela Kochanowski de. *Vectoring*. 2014. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2014.

This work suggests the implementation of Vectoring technology to a company that provides telephone services. This technology was developed to eliminate the crosstalk noise between the wires of copper telephone cables, a problem that affects the service delivered to customers VDSL lines that provider. Tests were performed on the company itself, first without and then with the Vectoring technology to improve laboratory analyzes. For this it was necessary to identify the current architecture and literature survey of networking principles. The aim of this study is to show the benefits of Vectoring technology, in order to increase the capacity of customer service and quality of service delivered.

**Keywords:** Vectoring. Crosstalk. Networking principles.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 - RUÍDO CROSSTALK .....  | 20 |
| FIGURA 2 - CROSSTALK NEXT .....   | 21 |
| FIGURA 3 - CROSSTALK FEXT .....   | 22 |
| FIGURA 4 - RUÍDO FEXT E NEXT .....  | 23 |
| FIGURA 5 - VECTORED LINES .....   | 24 |
| FIGURA 6 - CABLE CHANNEL MATRIX .....   | 24 |
| FIGURA 7 - ARQUITETURA ATUAL DA EMPRESA .....   | 25 |
| FIGURA 8 - COGE .....   | 27 |
| FIGURA 9 - BARRAMENTO CONTROLADORA PRINCIPAL .....  | 27 |
| FIGURA 10 - BARRAMENTO CONTROLADORA RESERVA .....   | 28 |
| FIGURA 11 - PLACA SUVD .....  | 28 |
| FIGURA 12 - DSLAM .....   | 29 |
| FIGURA 13 - BUNDLE SIP .....  | 29 |
| FIGURA 14 - HG .....  | 30 |
| FIGURA 15 - TOPOLOGIA PROPOSTA .....  | 31 |
| FIGURA 16 - DSLAM COM VECT1 .....   | 32 |
| FIGURA 17 - BUNDLE SIP COM VECT1 .....  | 32 |
| FIGURA 18 - CABO VECT1 .....  | 33 |
| FIGURA 19 - IMAGEM CABO VECT1 COM AS PLACAS .....   | 33 |
| FIGURA 20 - CENÁRIO DE TESTES .....   | 35 |
| FIGURA 21 - GRÁFICO <i>DOWSTREAM</i> CABO 400 METROS .....                                  | 42 |
| FIGURA 22 - GRÁFICO <i>UPSTREAM</i> CABO 400 METROS .....                                   | 42 |
| FIGURA 23 - GRÁFICO <i>DOWSTREAM</i> CABO 600 METROS .....                                  | 44 |
| FIGURA 24 - GRÁFICO <i>UPSTREAM</i> CABO 600 METROS .....                                   | 44 |
| FIGURA 25 - RESULTADO <i>DOWSTREAM</i> SNR SEM E COM <i>VECTORING</i> CABO 400 METROS ..... | 49 |
| FIGURA 26 - RESULTADO <i>DOWSTREAM</i> SNR SEM E COM <i>VECTORING</i> CABO 600 METROS ..... | 49 |
| FIGURA 27 - <i>UPSTREAM</i> SNR SEM E COM <i>VECTORING</i> CABO 400 METROS ..               | 50 |
| FIGURA 28 - <i>UPSTREAM</i> SNR SEM E COM <i>VECTORING</i> CABO 600 METROS ..               | 50 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| QUADRO 1 – MATERIAIS UTILIZADOS NOS TESTES.....               | 36 |
| QUADRO 2 – RESULTADOS SEM VECTORING CABO 400 METROS .....     | 38 |
| QUADRO 3 – RESULTADOS SEM VECTORING CABO 600 METROS .....     | 39 |
| QUADRO 4 – RESULTADOS COM VECTORING CABO 400 METROS .....     | 40 |
| QUADRO 5 – RESULTADOS COM VECTORING CABO 600 METROS .....     | 41 |
| QUADRO 6 – RESULTADO GERAL TAXA SINCRONISMO.....              | 45 |
| QUADRO 7 – RESULTADOS SNR SEM VECTORING CABO 400 METROS ..... | 47 |
| QUADRO 8 – RESULTADOS SNR SEM VECTORING CABO 600 METROS ..... | 47 |
| QUADRO 9 – RESULTADOS SNR COM VECTORING CABO 400 METROS.....  | 48 |
| QUADRO 10 – RESULTADOS SNR COM VECTORING CABO 600 METROS..... | 48 |



## LISTA DE SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| ADSL  | Asymmetric Digital Subscriber Line         |
| ATM   | Asynchronous Transfer Mode                 |
| ATU-C | ADSL Terminal Unit Central Office          |
| ATU-R | ADSL Terminal Unit Remote                  |
| B-RAS | Broadband Remote Access Server             |
| DSL   | Digital Subscriber Line                    |
| DSLAM | Digital Subscriber Line Access Multiplexer |
| FDD   | Frequency Division Duplex                  |
| FEXT  | Far End Crosstalk                          |
| IP    | Internet Protocol                          |
| ISDN  | Integrated Services Digital Network        |
| ITU-T | Telecommunication Standardization Sector   |
| ITU-T | Telecommunication Standardization Sector   |
| NEXT  | Near End Crosstalk                         |
| POTS  | Plain Old Telephone Service                |
| PSTN  | Public Switched Telephone Network          |
| RDSI  | Rede Digital de Serviços Integrados        |
| QAM   | Quadrature Amplitude Modulation            |
| VDSL  | Very High Speed Digital Subscriber Line    |
| VLAN  | Virtual Local Area Network                 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                       | <b>12</b> |
| 1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....                    | 13        |
| 1.1.1 PROBLEMA.....                              | 13        |
| 1.1.2 JUSTIFICATIVA.....                         | 13        |
| 1.2. OBJETIVO.....                               | 14        |
| 1.2.1 OBJETIVO GERAL.....                        | 14        |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                 | 14        |
| 1.2.3 METODOLOGIA.....                           | 14        |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....            | <b>16</b> |
| 2.1 A ORIGEM DA TELEFONIA.....                   | 16        |
| 2.2 TECNOLOGIAS DSL.....                         | 16        |
| 2.3 MODEM.....                                   | 17        |
| 2.4 DSLAM.....                                   | 18        |
| 2.5 BRAS.....                                    | 18        |
| 2.6 LINK E1.....                                 | 19        |
| 2.7 CABOS DE FIO DE COBRE.....                   | 19        |
| 2.8 CROSSTALK.....                               | 20        |
| 2.8.1 NEXT.....                                  | 21        |
| 2.8.2 FEXT.....                                  | 21        |
| 2.9 VECTORING.....                               | 22        |
| 2.10 ARQUITETURA ATUAL DA EMPRESA.....           | 25        |
| 2.11 ARQUITETURA PROPOSTA PARA A EMPRESA.....    | 31        |
| <b>3. TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO</b> ..... | <b>35</b> |
| 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....                    | 36        |
| 3.2 TAXA DE SINCRONISMO.....                     | 36        |
| 3.3 TAXA SNR.....                                | 46        |
| <b>4. CONCLUSÃO</b> .....                        | <b>52</b> |
| <b>REFERENCIAS</b> .....                         | <b>53</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O ruído em sistemas de comunicações é um problema que empresas de telecomunicações vêm tentando amenizar há bastante tempo. Em sistemas DSL (*Digital Subscriber Line*), o *crosstalk* é um dos limitadores desta tecnologia, causando transtornos para operadoras e usuários (PANTOJA, 2011).

*Crosstalk* é um fenômeno eletromagnético bidirecional indesejável, causador de interferências mútuas, que ocorre em cabos telefônicos ou cabos de redes de computadores densamente empacotados, causado por acoplamentos de origem capacitiva e indutiva. (SOUZA, 2004).

A tecnologia DSL surgiu com a necessidade dos consumidores por acesso à Internet. O avanço das redes de fibra óptica fez com que as operadoras de telefonia buscassem maiores taxas de transmissão para oferecer aos seus usuários para se manterem no mercado bastante competitivo. A criação do VDSL2 (*Very-High-Speed Digital Subscriber Lines 2*) representa esta tentativa de manter a tecnologia ainda bastante competitiva, com a faixa de frequência se estendendo até 30 MHz e prometendo até 100 Mbps em um tráfego simétrico para pequenos enlaces (até 1500 m). (PANTOJA, 2011).

Hoje as taxas de 100Mbps do padrão VDSL2 somente são possíveis quando as linhas são muito curtas e sem quaisquer outros assinantes. Com o aumento do número de assinantes em um feixe de cabos a vantagem técnica de transmissão VDSL2 não pode ser aproveitada. A interferência entre cada um dos cabos, restringe a taxa de transmissão de dados.

A placa controladora *vectoring* foi desenvolvida para remover a maior parte da interferência no feixe de cabos em transmissão VDSL2. Ela elimina o *crosstalk*, aumenta a taxa de dados e reduz variação de taxas de dados atingíveis no cabo. A tecnologia de cancelamento de *crosstalk* é chamada de *vectoring*, definido em recomendação ITU-T G.993.5 (também conhecido como G.vector). Ela permite conexões super rápidas comparáveis aos das instalações de fibra com a vantagem de ser mais econômica do que qualquer investimento FTTH (*fiber-to-the-home*). Esta tecnologia é um marco importante para o acesso a banda larga e abre muitas oportunidades para novos serviços.

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho proposto compreende o estudo de uma nova tecnologia a ser implementada em uma empresa de telecomunicações que oferece serviços de voz, dados e TV.

Essa tecnologia tem como objetivo eliminar o ruído de *crosstalk* em linhas VDSL para poder aumentar a oferta de serviços de banda larga e a quantidade de usuários em uma área de cobertura maior.

### 1.1.1 PROBLEMA

Atualmente os serviços de dados oferecidos pela empresa apresentam perdas de velocidades nas taxas de transmissão aos usuários devido ao *crosstalk*. Devido a esta interferência, a quantidade de usuários e o serviço de banda larga ficam limitados. Hoje, usuários com banda larga acima de 50Mbit/s utilizam fibra óptica, tecnologia que possui alto custo para a empresa.

### 1.1.2 JUSTIFICATIVA

Com o avanço tecnológico e a concorrência no mercado entre as empresas de telecomunicações, as operadoras procuram trazer serviços cada vez mais atrativos para os usuários. Com a utilização do *vectoring* uma nova velocidade de banda larga poderá ser oferecida utilizando VDSL, mais barato que a fibra óptica.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Implantar a tecnologia *vectoring* em uma empresa de telecomunicações para melhorar a entrega dos serviços de dados e proporcionar sua expansão no mercado.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar testes em laboratório com a nova tecnologia;
- Evidenciar os ganhos de velocidade e alcance dos serviços de dados com a nova tecnologia apresentada;
- Adequar a planta para a nova tecnologia proposta;
- Realizar um comparativo da estrutura utilizada pela empresa atualmente e a nova tecnologia;
- Analisar os custos da nova tecnologia a ser implantada.

### 1.2.3 METODOLOGIA

O trabalho proposto compreende um estudo de uma nova tecnologia a ser implementada em uma empresa de telecomunicações. Para tal, serão realizados testes com equipamentos já utilizados pela empresa, primeiro sem a tecnologia *vectoring* e depois utilizando a mesma para análise comparativa. Estes testes serão realizados em laboratório disponibilizado pela própria empresa.

Será realizado também um levantamento bibliográfico das tecnologias abordadas, onde serão estudados os princípios de redes convencionais, redes convergentes e *VoIP*. Será apresentado a estrutura atual da empresa com a nova

tecnologia aplicada e a análise dos resultados obtidos para viabilizar a implementação da tecnologia *vectoring* na organização.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A ORIGEM DA TELEFONIA

A origem da telefonia se deu com a invenção do telefone por Alexander Graham Bell em 1876. Uma consequência de experiências com um dispositivo para enviar vários sinais telegráficos sobre um único fio. Com o passar do tempo a rede de telefonia passou a ganhar forma e o serviço ponto-a-ponto de curta distância se transformou na rede que conhecemos hoje, que permite a comunicação no mundo inteiro, a PSTN (*Public Switched Telephone Network*), conhecida também como POTS (*Plain Old Telephone Service*) (GOLDEN, 2004).

Com o passar do tempo, houve a necessidade de um sistema de comutação, pois a quantidade de usuários foi crescendo e as ligações ponto-a-ponto não estavam conseguindo atender a quantidade de conexões solicitadas. Surgiu então a central telefônica, dispositivo que comanda e comuta as ligações, reduzindo assim as várias fiações para interligar os usuários. O sistema telefônico foi projetado para atender entre as frequências de 300 e 3,4kHz, que garante 85% da inteligibilidade das palavras, utilizando cabos metálicos trançados entre a central telefônica e o assinante. Com a utilização da rede telefônica para outros serviços, como o de dados, fez-se necessário a utilização de bandas passantes superiores a 3,4kHz e o acréscimo de novas tecnologias (SIZENANDO, 2006).

### 2.2 TECNOLOGIAS DSL

A tecnologia DSL (*Digital Subscriber Line*) foi desenvolvida para prover serviços de dados de alta velocidade utilizando a infra-estrutura já existente da telefonia. Existem várias tecnologias que compõem a família DSL. A forma mais implantada desta tecnologia é a ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), capaz de proporcionar taxas de até 8 Mbit/s de dados *downstream* (fluxo de informação de um provedor de serviço para um assinante) e até 896 kbit/s *upstream* (fluxo de

informação de um assinante para um provedor de serviços). O espectro do sinal ADSL começa em torno de 25 kHz. Para separar os dois serviços, ADSL e POTS, é necessário um aparelho chamado *splitter* (filtro que separa sinais de dados e voz), possibilitando a utilização de mais de uma frequência na linha telefônica (GOLDEN, 2004).

Após o desenvolvimento do serviço ADSL, com recomendação pela ITU-T (*International Telecommunication Union*), ITU G.992.1, foram realizadas uma série de aperfeiçoamentos para aumentar o desempenho da tecnologia conhecida como ADSL2, ITU G.992.3 e ITU G.992.4. Melhorias tais como aumento na taxa de bits e distância do enlace, ajuste adaptativo de taxa de bits, novas facilidades de diagnóstico e modalidade *stand-by* para o controle do uso de energia. Uma especificação adicional baseado em ADSL2 foi realizada, ADSL2+ que trouxe melhorias adicionais como aumento na largura de banda e taxa de bits *dowstream* conseguindo taxas de até 20 Mbit/s em linhas telefônicas com distâncias de até 1,5 km (TELECO, 2013).

A tecnologia VDSL (*Very High Speed Digital Subscriber Line*) é uma extensão da família ADSL que proporciona maior velocidade e desempenho de aplicações existentes na Internet como vídeo conferência e ensino a distância (GOLDEN, 2004). Segundo a recomendação ITU-T G.993.1, esta tecnologia suporta transmissão de dados bidirecional com taxas de até 200 Mbit/s. Permite serviços de taxas de dados assimétricos, com taxas de bits diferentes para *dowstream* e *upstream*, previsto para distâncias longas e serviços simétricos, com taxas de bits iguais, para distâncias curtas. O VDSL, em grande parte está concentrada no uso FDD (*Frequency Division Duplex*), sem sobreposição de transmissão entre *dowstream* e *upstream*, devido as larguras de bandas elevadas (ITU-T, 2013).

### 2.3 MODEM

O modem também chamado de ATU-R (*ADSL Terminal Unit Remote*) é um equipamento que realiza a interface entre os equipamentos do usuário e a rede elétrica de distribuição. Responsável pelo tratamento analógico e digital do sinal



elétrico possui características como modo *duplex* e *half-duplex*, separação de canais por meio de técnicas de cancelamento de eco, QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) para cada canal com transmissão síncrona, codificação para sinalizar todas as taxas de dados. (ITU-T, 2013).

## 2.4 DSLAM

O DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) idealmente integrado como uma interface de transmissão de alta capacidade é uma tecnologia utilizada para multiplexação de vários usuários com conexões de alta velocidade permitindo a redução de conexões entre o modem e a central. Também chamado de ATU-C (*ADSL Terminal Unit Central Office*) concentra o sinal de várias linhas em uma só para conectá-las a um link de acesso a internet. O DSLAM pode ser ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ou Ethernet. O DSLAM ATM utiliza Switches ATM responsáveis por agrupar vários DSLAM's ao BRAS utilizando placas que são interligadas por fibras até o DSLAM. Os DSLAM Ethernet são equipamentos concentrados através dos Switches IP utilizando VLANs (*Virtual Local Area Network*). Os DSLAM Ethernet são mais implementados pelas operadoras devido a maior facilidade em configurar e custos bastante reduzidos (COMUNICAÇÕES, 2013).

## 2.5 B-RAS

O B-RAS (*Broadband Remote Access Server*) é um equipamento de acesso a redes DSL que funciona como agregador para tráfego de assinantes. Fornece encerramento de sessão e funções de gestão de assinantes como autenticação, autorização e atribuição de endereço IP (AGILENT, 2013).

## 2.6 LINK E1

Os troncos digitais apresentam sistema de direcionamento de ligações simples e inteligente permitindo que as ligações cheguem ao atendente que estiver disponível. Os troncos digitais possuem protocolos de meio de transmissão conhecidos como E1 e T1. O protocolo T1 é bastante utilizado nos Estados Unidos, enquanto o E1 é o protocolo padrão utilizado no Brasil e Europa. O E1 conhecido como Link E1 ou Enlace Digital é entregue com par trançado, possui 32 canais com velocidade de 64 kbps, sendo 30 canais de transmissão e recepção de chamadas e 1 canal para sincronismo e 1 para sinalização. O E1 pode transmitir tipos de sinalização chamado CAS ou ISDN. A sinalização CAS (*Channel Associated Signaling*) codifica as informações em grupos de 4 bits, dois para transmissão e 2 para recepção. A sinalização ISDN (*Integrated Services Digital Network*) ou RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados) pode transmitir voz, dados, vídeo, aplicações, tudo no mesmo meio de transmissão (KOFRE, 2013).

## 2.7 CABOS DE FIO DE COBRE

Os cabos de pares trançados utilizados para a transmissão de voz e dados são formados por vários *binders*. Os *binders* são formados por vários pares de fio de cobre agrupados em quantidades que variam de 20 a 100. A transmissão de dados ou voz gera corrente elétrica, fazendo ao seu redor gerar um campo magnético. A blindagem existente no cabo não é suficiente para impedir que este campo magnético interfira nos pares vizinhos. O *crosstalk* é o ruído causado pela interferência entre os fios de cobre.

## 2.8 CROSSTALK

O comprometimento dominante dos sistemas DSL é causado pela interferência resultante de acoplamento eletromagnético entre pares vizinhos de fio de cobre trançados, ruído chamado de *crosstalk*. Na Figura 1, segue imagem de como o ruído afeta os pares de fio de cobre.

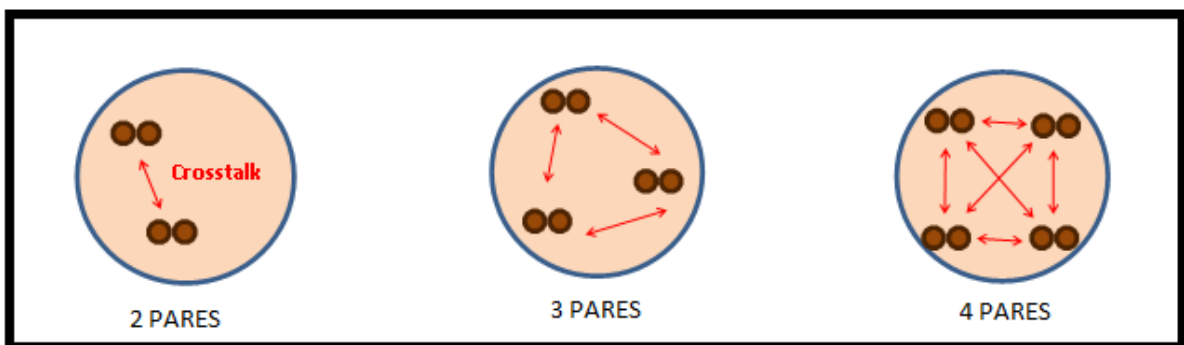


FIGURA 1: RUÍDO *CROSSTALK*

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

Os sinais elétricos em um par trançado geram um pequeno campo eletromagnético que circunda o par e induz um sinal elétrico nos pares vizinhos conduzindo a um sinal indesejado nesses outros pares. O *crosstalk* é o principal fator que limita a taxa de transmissão e do alcance de serviço. Quanto maior a frequência e a distância, maior o ruído (WANZELER, 2011).

O *crosstalk* pode ser NEXT (*Near End Crosstalk*), que são interferências que ocorrem na direção oposta do usuário e o FEXT (*Far End Crosstalk*), interferências que ocorrem na mesma direção do usuário. Quanto maior o nível de frequência do DSL e maior quantidade de pares trançados no cabo, maior a potência do ruído (PANTOJA, 2011).

### 2.8.1 NEXT

É a maior interferência para sistemas que compartilham a mesma banda de frequência para *upstream* e *downstream*. O NEXT, como pode ser visto na Figura 2, é percebido pelo cabo receptor localizado na mesma extremidade do cabo transmissor. Para evitar o NEXT, utilizam-se diferentes bandas de frequência pra *upstream* e *downstream*, *self-NEXT*. Porém, os sistemas ainda precisam lidar com o NEXT gerados de outros tipos de sistemas que transmitem na mesma banda de frequência. Este tipo de ruído ocorre em transmissões simétricas (Golden, 2004).

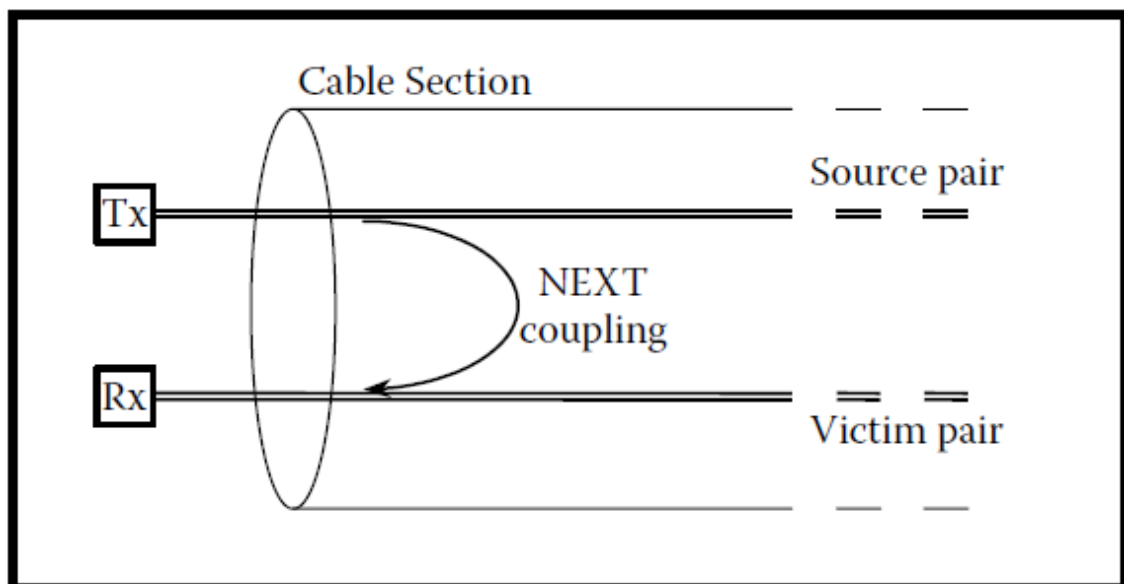


FIGURA 2: CROSSTALK NEXT

FONTE: GOLDEN (2004)

### 2.8.2 FEXT

No ruído FEXT, o cabo transmissor é a fonte do ruído detectado pelo receptor. Apesar do ruído ser atenuado ao atravessar totalmente o cabo, a tecnologia VDSL utiliza enlaces muito curtos, fazendo com que o ruído prejudique a

transmissão. O FEXT pode ocorrer em transmissões simétricas e assimétricas. Na Figura 3, segue imagem de como funciona o FEXT (GOLDEN, 2004).

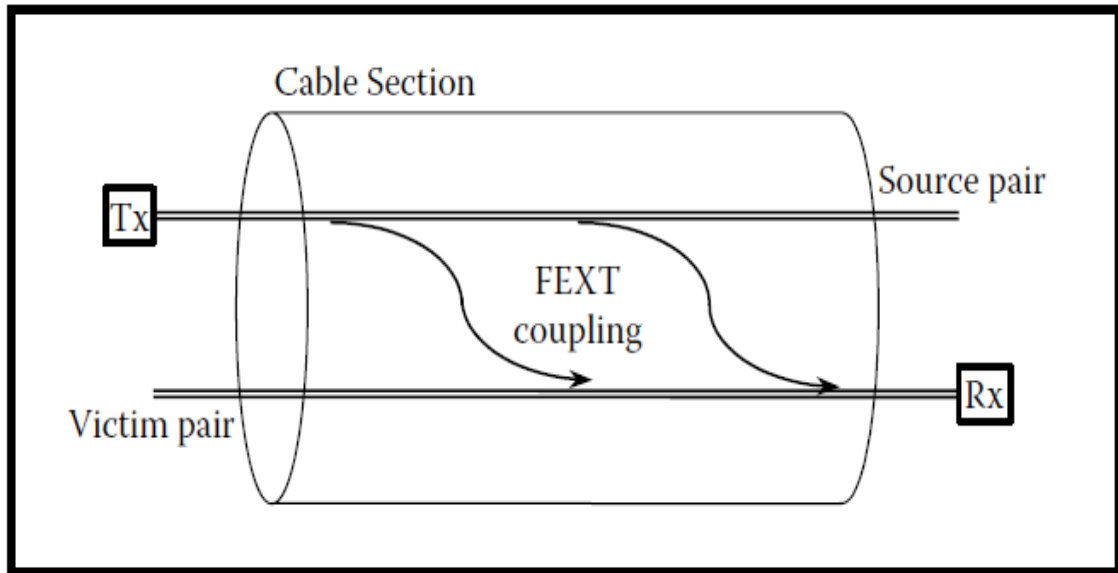


FIGURA 3: CROSSTALK FEXT

FONTE: GOLDEN (2004)

## 2.9 VECTORING

O *Vectoring* é um método de transmissão que emprega a coordenação dos sinais de linha para a redução de níveis de *crosstalk* e melhoria de desempenho na mesma. O grau de melhoria depende das características do canal, podendo ser para um único usuário ou em benefício de vários. A recomendação ITU-T G.993.5 é limitada ao *crosstalk FEXT*, cancelamento nas direções *dowstream* e *upstream*. Ela define um único método de cancelamento de *self-FEXT*, onde o ruído gerado por um grupo de emissores-receptores *near-end* ao interferir com emissores-receptores *far-end* do mesmo grupo é cancelado. Este cancelamento entre transceptores VDSL, não precisam necessariamente ter o mesmo perfil. Esta técnica é eficaz em comprimentos de cabos curtos, menores que 1km. Ganhos máximos são alcançados quando o sistema de cancelamento *self-FEXT* possui acesso a todos os pares de fio

do cabo. Na Figura 4 segue imagem do ruído NEXT e FEXT atuando nas linhas dos usuários (*BROADBAND*, 2012).

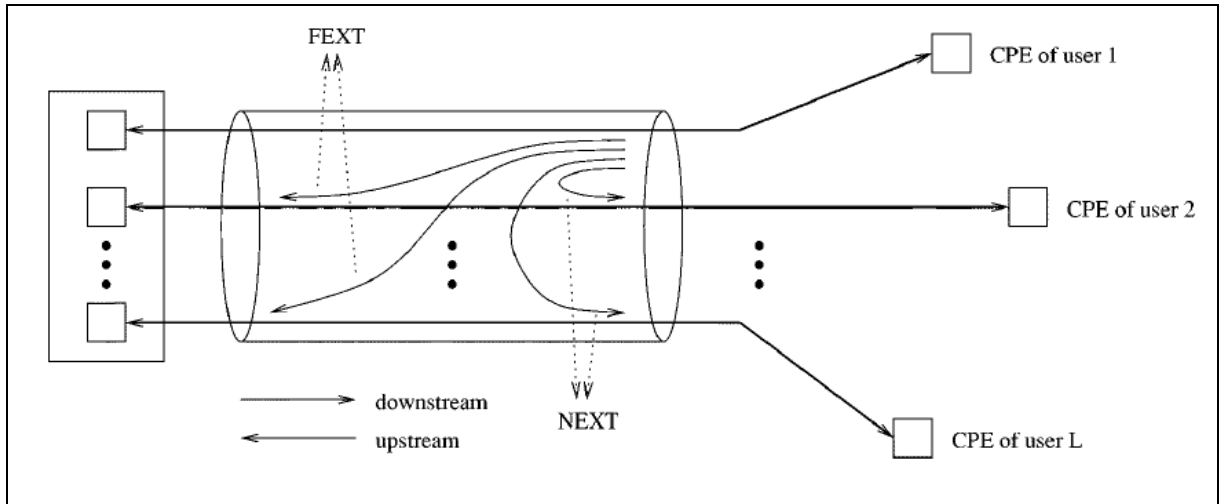


FIGURA 4: RUÍDO FEXT E NEXT

FONTE: *BROADBAND* (2012)

A gama de implantação para qualquer linha DSL depende do comprimento do lacete e do ruído no cabo. O *loop* de atenuação aumenta diretamente com o aumento da frequência e do comprimento do cabo. Como resultado, a largura de banda utilizável diminui. Além da perda de sinal, outra causa principal da redução da largura de banda é o *crosstalk*, *NEXT* e *FEXT*. Geralmente o acoplamento *NEXT* é mais grave que o *FEXT*. No entanto, uma vez que as linhas *VDSL* utilizem bandas de frequências separadas para *upstream* e *downstream*, as mesmas nunca se sobrepõem sobre todos os pares de fio de cobre para que não ocorra *self-NEXT* semelhante de sinais no cabo. Devido a isso para *VDSL* o *self-NEXT* é o ruído dominante. Na Figura 5, segue imagem do *vectoring* atuando nas linhas de cobre.

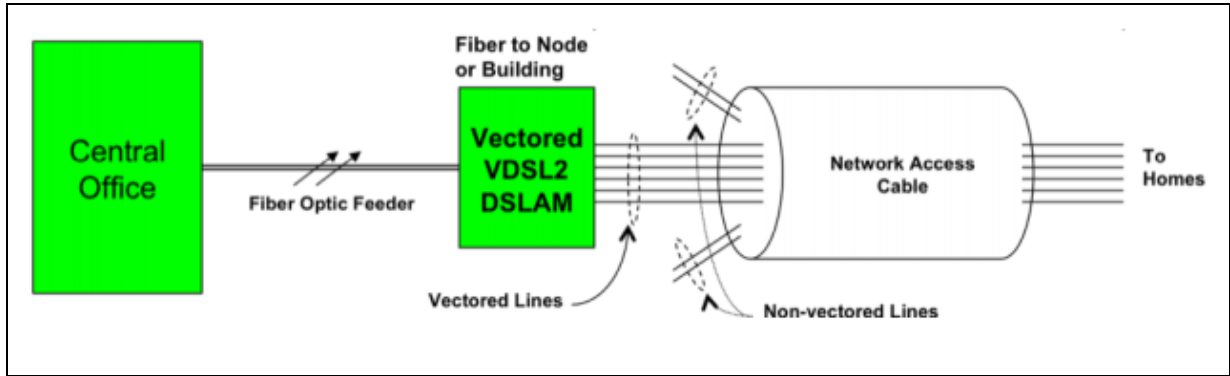


FIGURA 5: VECTORED LINES

FONTE: BROADBAND (2012)

Os níveis de ruído FEXT entre os pares de fio de cobre variam de par para par e de frequência para frequência como pode ser visto na Figura 6. Cada linha do cabo interfere no desempenho VDSL utilizado pelo mesmo. Se o cabo é alimentado com apenas sinais VDSL de um DSLAM e o *crosstalk* entre os pares de fio de cobre conhecidos nas frequências do VDSL, então a transmissão de sinais VDSL provenientes do DSLAM podem ser controlados e processados de modo a cancelar o ruído injetado (BROADBAND, 2012).

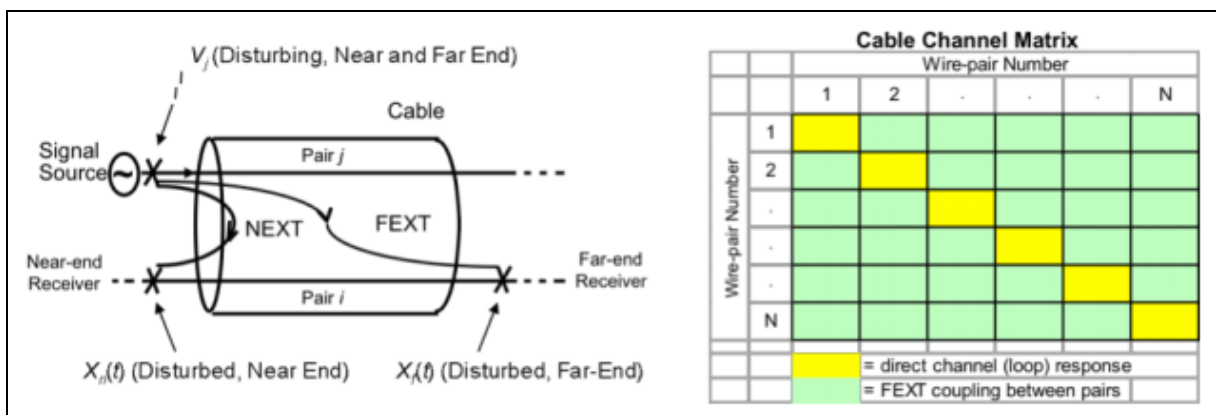


FIGURA 6: CABLE CHANNEL MATRIX

FONTE: BROADBAND (2012)

Para linhas relativamente curtas e sistemas de alta largura de banda como VDSL o *self-FEXT* é o fator limitação para a taxa de dados *downstream*. A

Recomendação ITU-T G.993.2 define a pré-codificação de multilinhas no *Access Node* para mitigar o FEXT em *dowstream*, com base em pré-subtração ou pré-compensação de FEXT. Para cada linha em um grupo *vectoring* inclui-se um pré-codificador. Sobre este grupo os pré-codificadores de cada linha, constitui o cancelamento FEXT (BROADBAND, 2012).

## 2.10 ARQUITETURA ATUAL DA EMPRESA

Atualmente a arquitetura utilizada pela empresa fornece serviço de voz sobre IP utilizando VLAN . Na Figura 7 a topologia da empresa é exemplificada:

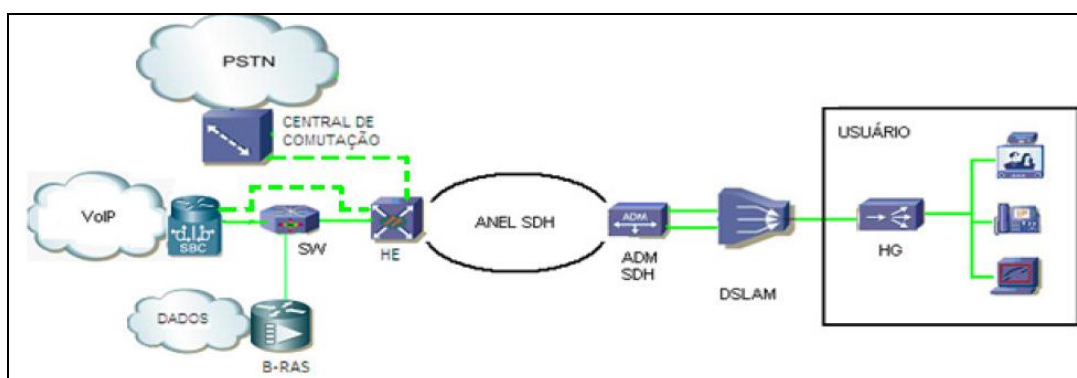


FIGURA 7: ARQUITETURA ATUAL DA EMPRESA

FONTE: COVALSKI (2012)

Para o funcionamento da rede, serão detalhados todos os equipamentos utilizados:

- **CENTRAL TDM:** A central TDM é responsável pela entrega dos serviços à rede pública, através da comutação por circuitos.
- **VOIP:** A rede VOIP é dividida em *Call Feature Server*, responsável pela entrega dos serviços de telefonia para as linhas VOIP, e *Session Border Controller* (SBC), ponto da rede onde passa todo o fluxo de sinalização. O SBC é responsável



pela segurança e garantia da qualidade dos serviços de Voz sobre IP (VOIP) e outros serviços de multimídia.

- **SWITCH AGREGADOR:** O *switch* agregador é responsável por encaminhar a terminação do tráfego IPoE (*Internet Protocol over Ethernet*) para seu autenticador e com a rede NGN, para o tráfego VOIP SIP. Também possui conexão com o B-RAS para terminação do tráfego PPPoE (*Point to Point Protocol Over Ethernet*).
- **TERMINAL DE REDE ÓPTICA:** O terminal de rede óptica ou *Headend* é o agregador de sistemas ópticos de alta capacidade Ethernet.
- **SDH-ADM:** O SDH-ADM é o multiplexador que entrega serviços Ethernet .
- **DSLAM:** O DSLAM possui a função de concentrar e distribuir o tráfego de voz e dados. Com capacidade de até 512 assinantes, estes equipamentos estão distribuídos em vários pontos do Brasil em armários de rua, podendo conter de um até quatro DSLAM's. Cada equipamento possui vinte e um *slots* (cada *slot* representa a posição em que a placa fica inserida dentro do DSLAM), sendo dezoito slots para unidades de serviço e um para controladora. As unidades controladoras são responsáveis pelo controle, sincronismo e *uplink* do DSLAM. Chamadas de *Control Unit for Ten Gigabit Ethernet*, todos os DSLAM possuem uma segunda controladora de redundância. A primeira fica localizada no *slot* onze e a segunda no *slot* treze. Na Figura 8, a imagem da controladora COGE.



FIGURA 8: COGE

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

O DSLAM possui um duplo barramento, o primeiro interligando todos os *slots* do sub-bastidor ao slot 11 (controladora principal) e o segundo interligando todos os *slots* do sub-bastidor ao slot 13 (controladora reserva). A comunicação entre cada slot e a unidade controladora é realizada de forma independente, a uma taxa de 1Gbps, como pode ser visto na Figura 9 e Figura 10. A capacidade de cada barramento é de 20Gbps.

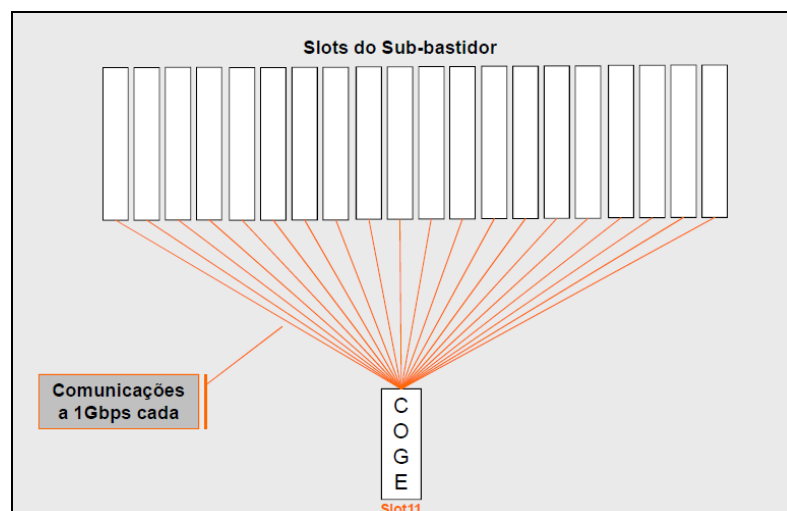


FIGURA 9: BARRAMENTO CONTROLADORA PRINCIPAL

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

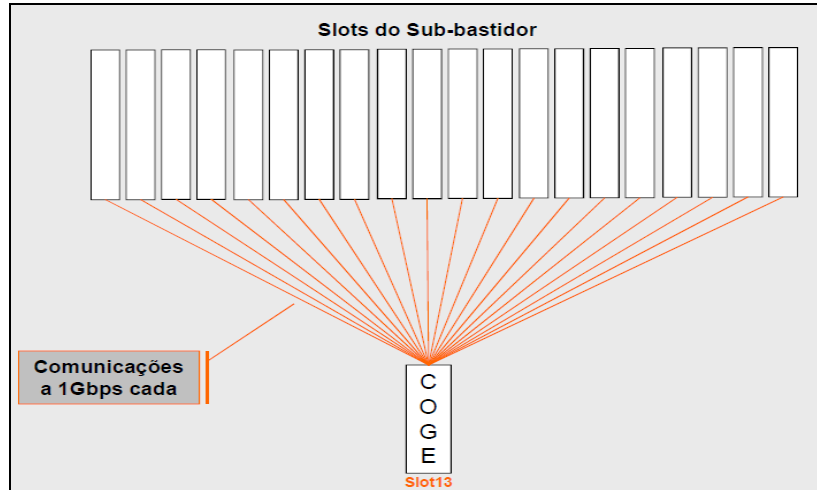


FIGURA 10: BARRAMENTO CONTROLADORA RESERVA  
 FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

Atualmente os DSLAM's estão equipados com placas de voz e dados. As placas de dados oferecem serviços ADSL e VDSL, chamadas de *fallback*, ou seja, podem operar tanto como ADSL ou como VDSL, depende do serviço que o usuário adquire. Cada placa comporta quarenta e oito portas.

- ▣ Nome: **SUVD** (Service Unit VDSL2)
- ▣ Função:  
Disponibilizar 48 portas de assinantes VDSL2
- ▣ Slots onde pode ser instalado:  
1 - 10, 12, 14 - 21

FIGURA 11: PLACA SUVD  
 FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

O DSLAM oferece serviço *triple play*, ou seja, realiza o transporte de dados, banda larga e voz em uma mesma interface física. Para a entrega desses serviços é utilizado o *home gateway* no cliente final. Na Figura 12, segue imagem do DSLAM.



FIGURA 12: DSLAM

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

Na figura 13 é apresentada a disposição das placas nos *slots* dentro do DSLAN:

| SLOT1 | SLOT2 | SLOT3 | SLOT4 | SLOT5 | SLOT6 | SLOT7 | SLOT8 | SLOT9 | SLOT10 | SLOT11 | SLOT12 | SLOT13 | SLOT14 | SLOT15    | SLOT16    | SLOT17    | SLOT18    | SLOT19    | SLOT20    | SLOT21    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11  | COGES  | SUV11  | COGES  | SUV11  | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO |

FIGURA 13: BUNDLE SIP

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

- HG: O *Home Gateway* é um modem responsável pelo roteamento dos serviços de *internet* e VOIP. O HG também pode suportar Wi-Fi. Segue abaixo Figura 14 com a imagem do HG utilizado pela empresa.



FIGURA 14: HG

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2013)

- CIRCUITO VIRTUAL PERMANENTE: Os circuitos virtuais permanentes provêm conexões não dedicadas por um meio comum realizados através da multiplexação de uma ligação física, para que possa ser compartilhada por múltiplas transmissões de dados.
- APARELHO TELEFÔNICO: Utilizado tanto telefone analógico como telefone IP.
- REDE METÁLICA E ÓPTICA: A rede metálica utilizada é aérea, através dos postes de energia, e também subterrânea, passa por galerias do subsolo. Formada por cabos com pares de fio de cobre, interligam o DSLAM até o cliente. A rede de fibra óptica fisicamente está cabeada como a metálica. Utilizadas para suportar todo tráfego de dados, voz e imagem.

## 2.11 ARQUITETURA PROPOSTA PARA A EMPRESA

A rede proposta tem o objetivo de minimizar o ruído causado pelo *crosstalk* nos cabos metálicos. Para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos pela prestadora, a mesma foi atrás de uma tecnologia chamada VECT1 que será inserida dentro do DSLAM com as demais placas já existentes como mostra a Figura 15:

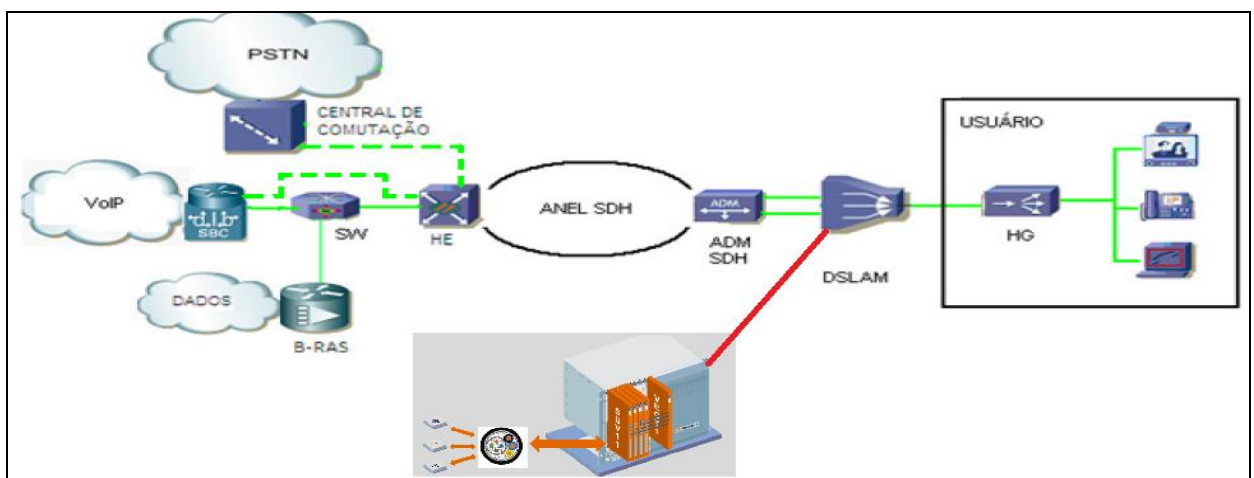


FIGURA 15: TOPOLOGIA PROPOSTA  
 FONTE: ADAPTADO COVALSKI (2012)

Para a nova topologia, a arquitetura utilizada pela empresa continuará sendo a mesma. A única mudança será do DSLAM que irá suportar a placa VECT1. Esta placa pode atuar em até 192 linhas VDSL. Ela é capaz de atuar em conjunto com até quatro placas SUV11 como mostra a Figura 16.

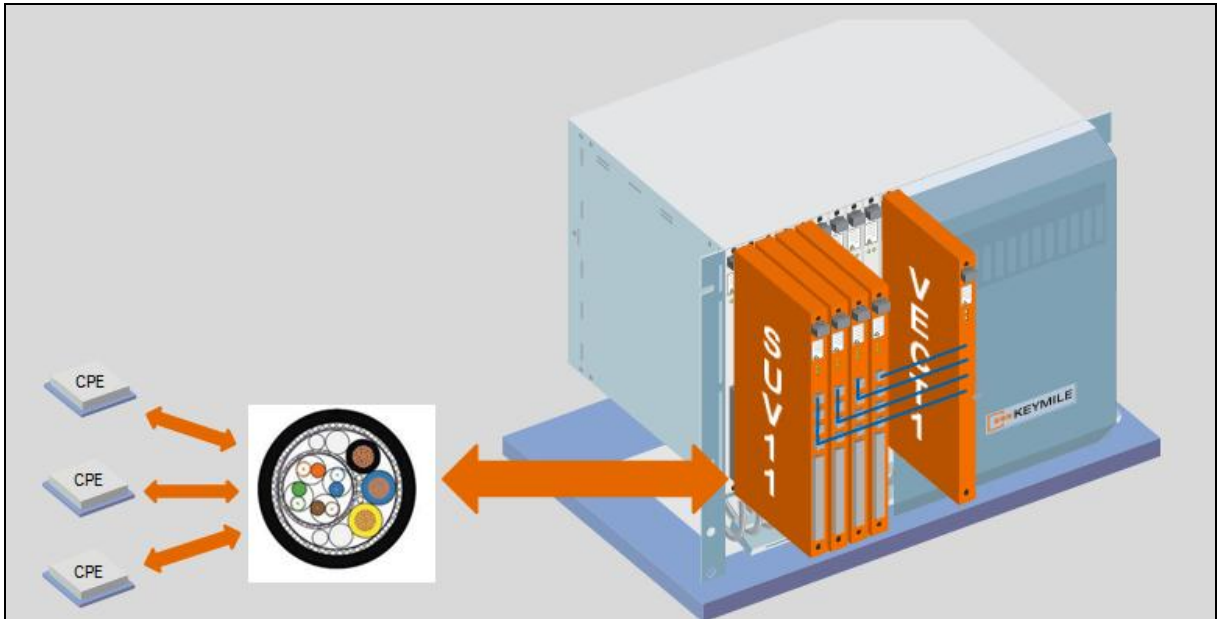


FIGURA 16: DSLAM COM VECT1

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

Os *shelves* serão equipados com três placas VECT1, podendo atuar em um total de 768 usuários. Na Figura 17 é demonstrado os *slots* que serão inseridas as placas VECT1.

| SLOT1 | SLOT2 | SLOT3 | SLOT4 | SLOT5 | SLOT6 | SLOT7 | SLOT8 | SLOT9 | SLOT10 | SLOT11 | SLOT12 | SLOT13 | SLOT14 | SLOT15 | SLOT16 | SLOT17 | SLOT18    | SLOT19    | SLOT20    | SLOT21    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SUV11 | SUV11 | VECT1 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | SUV11 | VECT1 | SUV11 | SUV11  | COGIE3 | SUV11  | COGIE3 | SUV11  | VECT1  | SUV11  | SUV11  | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO | RESERVADO |

FIGURA 17: BUNDLE SIP COM VECT1

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

Para realizar a conexão da placa VECT1 com a placa SUV11 é necessário a utilização do cabo específico para a placa, sendo ela capaz de realizar *vectoring* em 16 portas VDSL, com capacidade de 40Gbps. Na Figura 18 a imagem de um cabo e na Figura 19 o cabo conectado no DSLAM.



FIGURA 18: CABO VECT1

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)



FIGURA 19: IMAGEM CABO VECT1 COM AS PLACAS

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)



Para que o VECT1 funcione o modem VDSL também deve suportar a tecnologia *vectoring*. Caso o modem não suporte *vectoring*, não haverá perda de serviço, porém não haverá redução de ruído na linha do usuário, ou seja, o ruído nesta linha não será eliminado. A placa VECT1 opera independentemente, não sendo necessário configuração na mesma.

### 3 TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO

O *Vectoring* (ITU-T G.993.5) foi desenvolvido para reduzir *crosstalk*, atuando com uma tecnologia de cancelamento de ruído. Foi desenvolvida uma unidade chamada VECT1, que atua em conjunto com a SUV11. Serão verificadas as máximas taxas de sincronismo sobre linhas “vectorizadas” e o SNR (Signal-to-Noise Ratio) das mesmas. A Figura 20 mostra o cenário criado para a realização dos testes com os equipamentos.

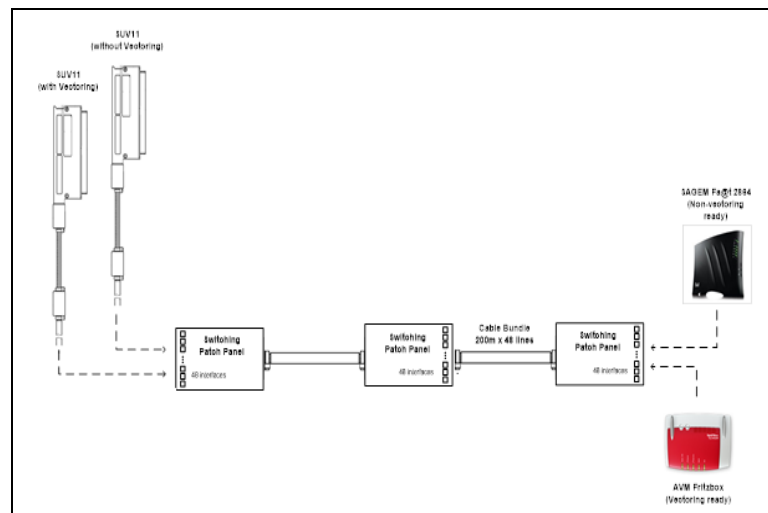


FIGURA 20: CENÁRIO DOS TESTES

FONTE: ADAPTADO KEYMILE (2014)

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Na tabela da Figura 21 estão detalhados os materiais utilizados em laboratório. Os mesmos foram disponibilizados pela empresa.

| EQUIPAMENTO | DESCRIÇÃO                             | QUANTIDADE |
|-------------|---------------------------------------|------------|
| DSLAM       | COGE3                                 | 1          |
|             | SUV11 (com vectoring)                 | 1          |
|             | SUV11 (sem vectoring)                 | 1          |
|             | VECT1                                 | 1          |
|             | MG 25x0 (chassis)                     | 1          |
| CPE         | AVM Fritzbox (vectoring habilitado)   | 48         |
|             | F@ST 2764 GV (vectoring desabilitado) | 1          |

QUADRO 1 - MATERIAIS UTILIZADOS NOS TESTES

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

### 3.2 TAXA DE SINCRONISMO

O teste foi dividido em duas partes. Na primeira, habilitamos o *vectoring* e aplicamos o perfil de porta do *vectoring* (SNR *Target* 6 dB) e então coletamos os valores de *current downstream* e *upstream line rate* das 48 linhas. Na segunda parte, desabilitamos o *vectoring* e aplicamos o perfil com os mesmos parâmetros de SNR utilizado no *vectoring* (SNR *Target* 6 dB). Coletamos novamente os valores de *current downstream* e *upstream line rate* das 48 linhas. As distancias utilizadas nos testes foram de 400 e 600 metros. O perfil de velocidade da porta foi configurado para 110000 Kbps de *downstream* e 55000 Mbps de *upstream*. O perfil de porta que é usado em campo possui *target* SNR igual à 6 dB, sendo mínimo 0 dB e máximo 9 dB. Utilizaremos para os ensaios em laboratório *target* SNR igual a 6 dB, sendo mínimo 3 dB e máximo 9 dB.

Testes com e sem *vectoring* 400 e 600 metros:

1. Desabilitar o *Vectoring* na unidade VECT1;
2. Conectar um modem em uma linha com a distância de 400 metros;
3. Verificar o valor de *current downstream* e *upstream line rate*;
4. Desconectar o modem;
5. Conectar dois modems em uma linha com a distância de 400 metros;
6. Verificar o valor de *current downstream* e *upstream line rate*;
7. Desconectar os modems;
8. Repetir esta operação, inserindo gradativamente os modems, até completar as 48 linhas.

| Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) | Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1                       | 100000                             | 31324                            | 25                      | 79397                              | 26063                            |
| 2                       | 100000                             | 37348                            | 26                      | 78676                              | 25708                            |
| 3                       | 99575                              | 36115                            | 27                      | 78787                              | 25721                            |
| 4                       | 97755                              | 36851                            | 28                      | 78895                              | 25736                            |
| 5                       | 98204                              | 36929                            | 29                      | 78738                              | 25649                            |
| 6                       | 98503                              | 37337                            | 30                      | 79163                              | 25900                            |
| 7                       | 98717                              | 37294                            | 31                      | 79222                              | 25845                            |
| 8                       | 98651                              | 37156                            | 32                      | 79650                              | 25895                            |
| 9                       | 97026                              | 35942                            | 33                      | 79937                              | 25976                            |
| 10                      | 94390                              | 34469                            | 34                      | 79991                              | 25889                            |
| 11                      | 94219                              | 34254                            | 35                      | 80053                              | 25979                            |
| 12                      | 93764                              | 33949                            | 36                      | 80311                              | 26084                            |
| 13                      | 92138                              | 32799                            | 37                      | 80113                              | 26033                            |
| 14                      | 90908                              | 32301                            | 38                      | 80164                              | 26130                            |
| 15                      | 84994                              | 29083                            | 39                      | 79784                              | 26006                            |
| 16                      | 83834                              | 28076                            | 40                      | 79943                              | 26084                            |
| 17                      | 82420                              | 27395                            | 41                      | 79583                              | 25964                            |
| 18                      | 82846                              | 27604                            | 42                      | 79041                              | 25692                            |
| 19                      | 82767                              | 27463                            | 43                      | 78846                              | 25677                            |
| 20                      | 82048                              | 27160                            | 44                      | 78613                              | 25580                            |
| 21                      | 81153                              | 26745                            | 45                      | 78425                              | 25530                            |
| 22                      | 81196                              | 26715                            | 46                      | 78198                              | 25477                            |
| 23                      | 81032                              | 26661                            | 47                      | 77736                              | 25326                            |
| 24                      | 79893                              | 26266                            | 48                      | 77302                              | 25156                            |

QUADRO 2 - RESULTADOS SEM VECTORING CABO DE 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) | Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1                       | 79376                              | 19340                            | 25                      | 67109                              | 21754                            |
| 2                       | 79906                              | 24674                            | 26                      | 66636                              | 21257                            |
| 3                       | 77631                              | 24052                            | 27                      | 66126                              | 20880                            |
| 4                       | 78080                              | 25134                            | 28                      | 65823                              | 20692                            |
| 5                       | 78944                              | 26343                            | 29                      | 65933                              | 20575                            |
| 6                       | 76436                              | 26095                            | 30                      | 65491                              | 20586                            |
| 7                       | 76775                              | 26213                            | 31                      | 65328                              | 20420                            |
| 8                       | 76170                              | 26288                            | 32                      | 65651                              | 20340                            |
| 9                       | 76336                              | 25720                            | 33                      | 65961                              | 20352                            |
| 10                      | 76105                              | 25656                            | 34                      | 66262                              | 20279                            |
| 11                      | 76239                              | 25758                            | 35                      | 66145                              | 20374                            |
| 12                      | 75744                              | 25427                            | 36                      | 66412                              | 20550                            |
| 13                      | 74185                              | 24772                            | 37                      | 66596                              | 20623                            |
| 14                      | 73794                              | 24873                            | 38                      | 66478                              | 20695                            |
| 15                      | 72790                              | 24277                            | 39                      | 66486                              | 20698                            |
| 16                      | 71971                              | 23599                            | 40                      | 66323                              | 20657                            |
| 17                      | 70838                              | 23121                            | 41                      | 66238                              | 20608                            |
| 18                      | 70104                              | 23103                            | 42                      | 65893                              | 20447                            |
| 19                      | 69681                              | 22771                            | 43                      | 65415                              | 20374                            |
| 20                      | 69500                              | 22702                            | 44                      | 65505                              | 20412                            |
| 21                      | 69072                              | 22340                            | 45                      | 65282                              | 20355                            |
| 22                      | 68488                              | 22057                            | 46                      | 65304                              | 20381                            |
| 23                      | 68464                              | 22084                            | 47                      | 64703                              | 20180                            |
| 24                      | 67493                              | 21862                            | 48                      | 64420                              | 20126                            |

QUADRO 3 - RESULTADOS SEM VECTORING CABO DE 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) | Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1                       | 91892                              | 28356                            | 25                      | 97199                              | 34407                            |
| 2                       | 95946                              | 34604                            | 26                      | 96998                              | 34115                            |
| 3                       | 96997                              | 34435                            | 27                      | 96902                              | 33847                            |
| 4                       | 97748                              | 35378                            | 28                      | 96779                              | 33641                            |
| 5                       | 98198                              | 36050                            | 29                      | 93262                              | 32502                            |
| 6                       | 98252                              | 36620                            | 30                      | 96502                              | 33533                            |
| 7                       | 98502                              | 37027                            | 31                      | 96413                              | 33353                            |
| 8                       | 98370                              | 37268                            | 32                      | 96525                              | 33144                            |
| 9                       | 98551                              | 36633                            | 33                      | 96497                              | 32978                            |
| 10                      | 98696                              | 36478                            | 34                      | 96481                              | 32789                            |
| 11                      | 98815                              | 36611                            | 35                      | 96152                              | 32912                            |
| 12                      | 98602                              | 36397                            | 36                      | 96043                              | 33007                            |
| 13                      | 98203                              | 36304                            | 37                      | 96129                              | 33010                            |
| 14                      | 97965                              | 36397                            | 38                      | 95990                              | 33109                            |
| 15                      | 98101                              | 36010                            | 39                      | 95990                              | 33194                            |
| 16                      | 97997                              | 35342                            | 40                      | 95963                              | 33181                            |
| 17                      | 97542                              | 34921                            | 41                      | 95970                              | 33147                            |
| 18                      | 97574                              | 35164                            | 42                      | 95949                              | 33060                            |
| 19                      | 97244                              | 34737                            | 43                      | 95928                              | 33128                            |
| 20                      | 97214                              | 34584                            | 44                      | 96021                              | 33193                            |
| 21                      | 96947                              | 34235                            | 45                      | 95618                              | 33126                            |
| 22                      | 97086                              | 34360                            | 46                      | 95604                              | 33166                            |
| 23                      | 97149                              | 34486                            | 47                      | 95550                              | 33156                            |
| 24                      | 97268                              | 34532                            | 48                      | 95314                              | 33112                            |

QUADRO 4 - RESULTADOS COM VECTORING CABO 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) | Número de linhas ativas | Current Line Rate Downstream (bps) | Current Line Rate Upstream (bps) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1                       | 64600                              | 14080                            | 25                      | 69849                              | 20881                            |
| 2                       | 69098                              | 19424                            | 26                      | 70003                              | 20657                            |
| 3                       | 67963                              | 18953                            | 27                      | 70142                              | 20456                            |
| 4                       | 69000                              | 20223                            | 28                      | 70021                              | 20276                            |
| 5                       | 69839                              | 21230                            | 29                      | 70139                              | 20110                            |
| 6                       | 69274                              | 21640                            | 30                      | 70108                              | 20312                            |
| 7                       | 70189                              | 22143                            | 31                      | 69919                              | 20138                            |
| 8                       | 70303                              | 22658                            | 32                      | 69994                              | 19931                            |
| 9                       | 70667                              | 21997                            | 33                      | 70226                              | 19834                            |
| 10                      | 70533                              | 21786                            | 34                      | 70379                              | 19687                            |
| 11                      | 71016                              | 22184                            | 35                      | 70311                              | 19888                            |
| 12                      | 70638                              | 21923                            | 36                      | 70476                              | 20067                            |
| 13                      | 70349                              | 22054                            | 37                      | 70616                              | 20187                            |
| 14                      | 70233                              | 22557                            | 38                      | 70694                              | 20350                            |
| 15                      | 70480                              | 22256                            | 39                      | 70994                              | 20542                            |
| 16                      | 70198                              | 21671                            | 40                      | 70938                              | 20560                            |
| 17                      | 70137                              | 21299                            | 41                      | 71097                              | 20543                            |
| 18                      | 70086                              | 21536                            | 42                      | 71231                              | 20502                            |
| 19                      | 69671                              | 21145                            | 43                      | 71269                              | 20634                            |
| 20                      | 69803                              | 20989                            | 44                      | 71387                              | 20689                            |
| 21                      | 69808                              | 20672                            | 45                      | 71358                              | 20686                            |
| 22                      | 70024                              | 20723                            | 46                      | 71501                              | 20793                            |
| 23                      | 70019                              | 20857                            | 47                      | 71425                              | 20776                            |
| 24                      | 70110                              | 20968                            | 48                      | 71314                              | 20733                            |

QUADRO 5 - RESULTADOS COM VECTORING CABO 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA



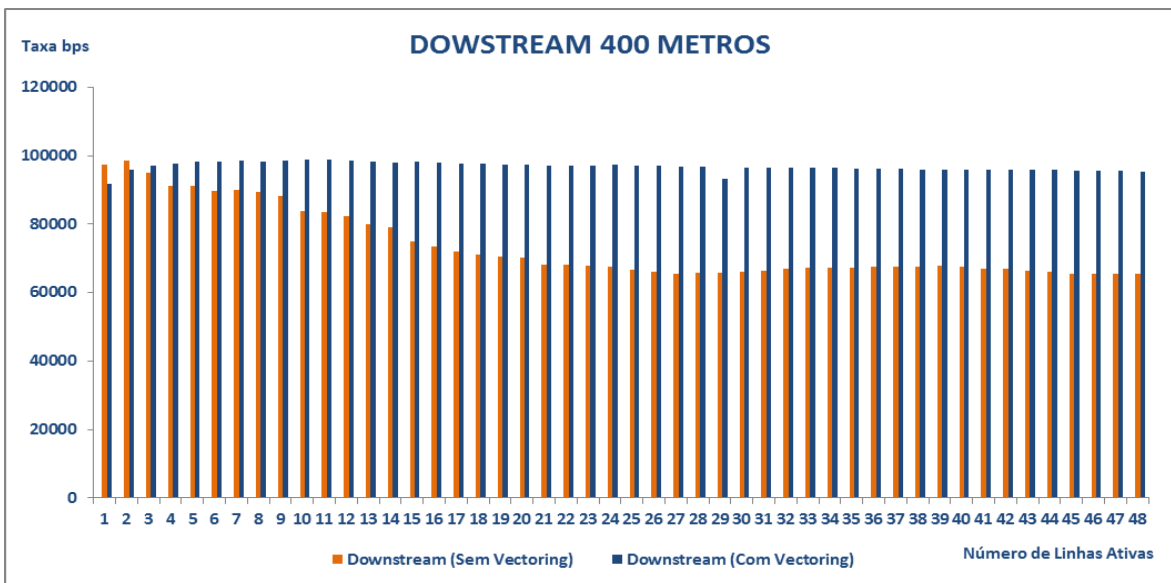


FIGURA 21: GRÁFICO *DOWSTREAM* CABO 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

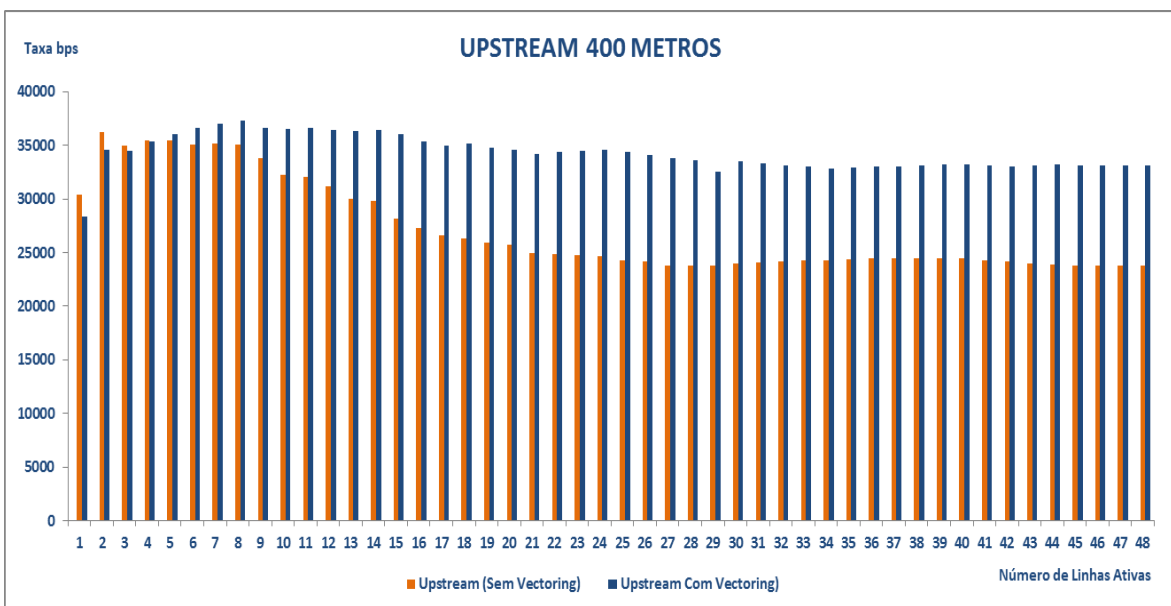


FIGURA 22: GRÁFICO *UPSTREAM* CABO 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Para distâncias curtas pode-se observar na FIGURA 21 e FIGURA 22 que o ganho com a utilização da tecnologia *vectoring* foi bastante significativa. Com a distância de 400 metros, a taxa de *bits* média *downstream* em linhas que possuem o perfil de campo aplicado foi de 73753 Mbps, enquanto a linha com o *vectoring* apresentou média de 96805 Mbps. O ganho de uma linha vectorizada

foi de 21% sobre uma linha comum. Nota-se que a partir do vigésimo modem, as taxas de *bits* estabilizaram. Também pode-se observar um ganho nas taxas de *bits upstream* em que a média em linhas comuns foi de 27184 Mbps e para linhas vectorizadas 34265 Mbps. O ganho para este caso de uma linha vectorizado sobre uma linha comum foi de 13%.

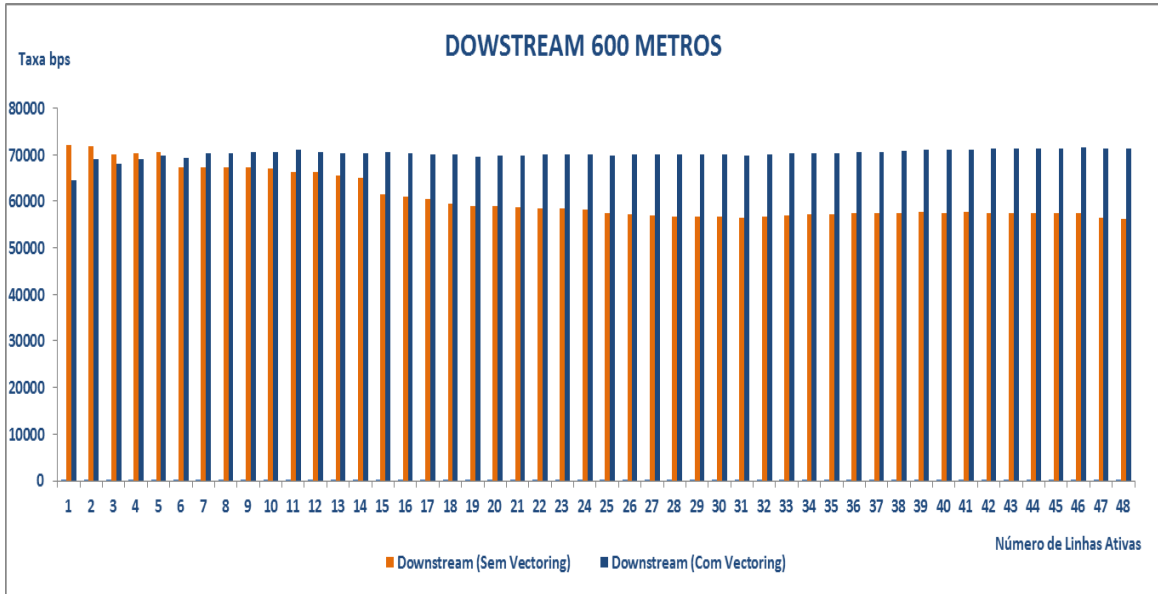


FIGURA 23: GRÁFICO *DOWSTREAM* CABO 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

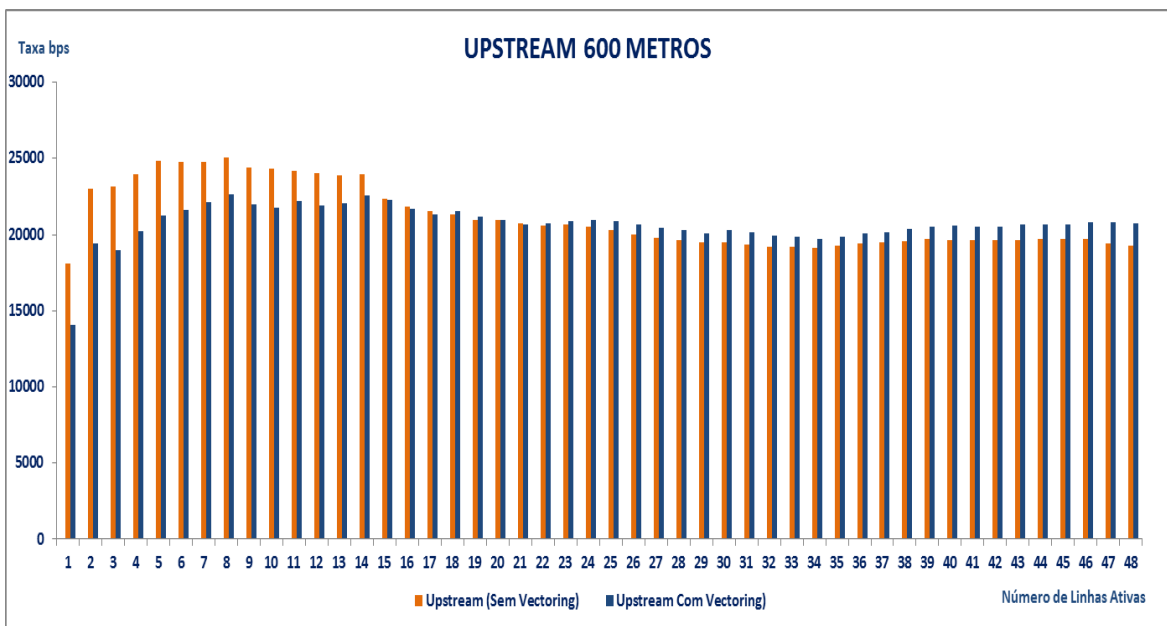


FIGURA 24: GRÁFICO *UPSTREAM* CABO 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Como pode ser visto na FIGURA 23 e FIGURA 24, o resultado para linhas com 600 metros não foi tão efetivo. A taxa de *bits* média *dowstream* em linhas comuns foi de 60826 Mbps, para linhas vectorizadas 70196 Mbps. O ganho de uma linha vectorizada foi de 9% sobre uma linha comum. A taxa de *bits* média de

*upstream* para uma linha comum foi de 21117 Mbps, enquanto para as linhas vectorizadas 20712 Mbps, não houve nenhum ganho.

Na TABELA 10 é possível verificar o resultado geral dos testes realizados. Nesta tabela consta a média da taxa de sincronismo medido para as distâncias de 400 e 600 metros:

| COMPRIMENTO<br>CABO | TAXA<br>VELOCIDADE<br>CONFIGURADA | TESTES LINHAS |              | TRÁFEGO DE<br>DADOS |
|---------------------|-----------------------------------|---------------|--------------|---------------------|
|                     |                                   | COMUM         | VECTORIZADAS |                     |
| 400 METROS          | 110000 Mbs                        | 73753 Mbps    | 96805 Mbps   | <i>Dowstream</i>    |
| 600 METROS          | 110000 Mbs                        | 60826 Mbps    | 70196 Mbps   |                     |
| 400 METROS          | 55000 Mbs                         | 27184 Mbps    | 34265 Mbps   | <i>Upstream</i>     |
| 600 METROS          | 55000 Mbs                         | 21117 Mbps    | 20712 Mbps   |                     |

QUADRO 6 - RESULTADO GERAL - MÉDIA TAXA SINCRONISMO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

### 3.4 SNR

Este teste foi dividido em duas partes como o teste anterior. Na primeira, coletamos os valores de SNR *downstream* e *upstream* de 48 linhas, com o *Vectoring* desabilitado. Em seguida, coletamos os valores de SNR *downstream* e *upstream* de 48 linhas, com o *Vectoring* habilitado. Por fim, comparando os resultados de uma linha sem e com *Vectoring*. Os testes foram realizados nas distancias de 400 e 600 metros.

| Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream | Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream |
|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------|
| 1                       | 5,1            | 5,7          | 25                      | 1,8            | 4,8          |
| 2                       | 5,2            | 5,7          | 26                      | 1,8            | 4,8          |
| 3                       | 2,8            | 4,6          | 27                      | 1,7            | 4,7          |
| 4                       | 3,7            | 5,3          | 28                      | 1,7            | 4,7          |
| 5                       | 3,2            | 5            | 29                      | 1,6            | 4,6          |
| 6                       | 2,9            | 4,8          | 30                      | 1,7            | 4,6          |
| 7                       | 2,7            | 4,6          | 31                      | 1,7            | 4,6          |
| 8                       | 2,4            | 4,2          | 32                      | 1,7            | 4,6          |
| 9                       | 2,3            | 4,1          | 33                      | 1,7            | 4,6          |
| 10                      | 2,1            | 4,1          | 34                      | 1,7            | 4,6          |
| 11                      | 2              | 3,9          | 35                      | 1,6            | 4,6          |
| 12                      | 2              | 4,1          | 36                      | 1,6            | 4,6          |
| 13                      | 1,7            | 4,1          | 37                      | 1,6            | 4,6          |
| 14                      | 1,7            | 4            | 38                      | 1,6            | 4,6          |
| 15                      | 2,3            | 4,8          | 39                      | 1,7            | 4,6          |
| 16                      | 2,3            | 5,1          | 40                      | 1,6            | 4,6          |
| 17                      | 2              | 5            | 41                      | 1,7            | 4,6          |
| 18                      | 1,9            | 4,9          | 42                      | 1,7            | 4,7          |
| 19                      | 1,8            | 4,8          | 43                      | 1,7            | 4,7          |
| 20                      | 1,7            | 4,7          | 44                      | 1,6            | 4,7          |
| 21                      | 1,8            | 4,7          | 45                      | 1,5            | 4,5          |
| 22                      | 1,6            | 4,7          | 46                      | 1,5            | 4,5          |
| 23                      | 1,7            | 4,7          | 47                      | 1,7            | 4,6          |
| 24                      | 1,9            | 4,9          | 48                      | 1,7            | 4,7          |

QUADRO 7 - RESULTADO SNR SEM VECTORING CABO DE 400 METROS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream | Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream |
|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------|
| 1                       | 3,5            | 5,4          | 25                      | 1,9            | 4,8          |
| 2                       | 2,7            | 5,2          | 26                      | 2              | 5            |
| 3                       | 2,6            | 5,5          | 27                      | 2,1            | 5            |
| 4                       | 2,5            | 5,3          | 28                      | 1,9            | 4,9          |
| 5                       | 2,4            | 5,2          | 29                      | 2              | 4,9          |
| 6                       | 2,3            | 5,4          | 30                      | 2              | 4,9          |
| 7                       | 2,2            | 5            | 31                      | 2              | 4,8          |
| 8                       | 2,3            | 5            | 32                      | 2              | 4,8          |
| 9                       | 2,1            | 4,9          | 33                      | 2              | 4,8          |
| 10                      | 2              | 4,8          | 34                      | 2              | 4,8          |
| 11                      | 2              | 4,7          | 35                      | 2              | 4,9          |
| 12                      | 2              | 4,8          | 36                      | 2              | 4,8          |
| 13                      | 2              | 5            | 37                      | 2              | 4,8          |
| 14                      | 2              | 4,9          | 38                      | 2              | 4,8          |
| 15                      | 2,2            | 5,2          | 39                      | 2              | 4,8          |
| 16                      | 2,1            | 5,2          | 40                      | 2              | 4,8          |
| 17                      | 2,1            | 5,1          | 41                      | 2              | 4,8          |
| 18                      | 2,1            | 5            | 42                      | 2,1            | 4,8          |
| 19                      | 2              | 4,9          | 43                      | 2,2            | 4,8          |
| 20                      | 1,8            | 4,8          | 44                      | 2,2            | 4,7          |
| 21                      | 2              | 4,9          | 45                      | 2,2            | 4,7          |
| 22                      | 1,9            | 5            | 46                      | 2,1            | 4,7          |
| 23                      | 1,9            | 4,9          | 47                      | 2,2            | 4,7          |
| 24                      | 1,9            | 4,8          | 48                      | 2,2            | 4,6          |

QUADRO 8 - RESULTADO SNR SEM VECTORING CABO DE 600 METROS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream | Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream |
|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------|
| 1                       | 6,7            | 5,4          | 25                      | 7,2            | 5,4          |
| 2                       | 7,2            | 5,2          | 26                      | 7,2            | 5,4          |
| 3                       | 7,1            | 5,2          | 27                      | 7,2            | 5,4          |
| 4                       | 7,2            | 5,3          | 28                      | 7,3            | 5,4          |
| 5                       | 7,5            | 5,4          | 29                      | 7,3            | 5,4          |
| 6                       | 7,3            | 5,4          | 30                      | 7,3            | 5,5          |
| 7                       | 7,4            | 5,4          | 31                      | 7,3            | 5,5          |
| 8                       | 7,3            | 5,4          | 32                      | 7,3            | 5,5          |
| 9                       | 7,5            | 5,4          | 33                      | 7,3            | 5,5          |
| 10                      | 7,6            | 5,3          | 34                      | 7,3            | 5,5          |
| 11                      | 7,7            | 5,2          | 35                      | 7,3            | 5,5          |
| 12                      | 7              | 5,2          | 36                      | 7,3            | 5,5          |
| 13                      | 6,9            | 5,2          | 37                      | 7,3            | 5,5          |
| 14                      | 7,6            | 5,2          | 38                      | 7,3            | 5,5          |
| 15                      | 6,9            | 5,2          | 39                      | 7,3            | 5,5          |
| 16                      | 7              | 5,2          | 40                      | 7,3            | 5,5          |
| 17                      | 7,1            | 5,2          | 41                      | 7,3            | 5,5          |
| 18                      | 7,1            | 5,2          | 42                      | 7,4            | 5,5          |
| 19                      | 7,1            | 5,2          | 43                      | 7,4            | 5,5          |
| 20                      | 7,1            | 5,2          | 44                      | 7,4            | 5,5          |
| 21                      | 7,1            | 5,3          | 45                      | 7,4            | 5,5          |
| 22                      | 7,2            | 5,3          | 46                      | 7,5            | 5,5          |
| 23                      | 7,1            | 5,3          | 47                      | 7,5            | 5,5          |
| 24                      | 7,2            | 5,4          | 48                      | 7,5            | 5,5          |

QUADRO 9 - RESULTADO SNR COM VECTORING PARA DE 400 METROS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

| Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream | Número de linhas ativas | SNR Downstream | SNR Upstream |
|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------|
| 1                       | 6,6            | 6,4          | 25                      | 7,1            | 6,1          |
| 2                       | 6,4            | 6,2          | 26                      | 7,1            | 6,1          |
| 3                       | 6,6            | 6,1          | 27                      | 7,1            | 6            |
| 4                       | 6,4            | 6,1          | 28                      | 7,1            | 6            |
| 5                       | 6,4            | 6,1          | 29                      | 7              | 6            |
| 6                       | 6,4            | 6            | 30                      | 7              | 5,9          |
| 7                       | 6,4            | 5,9          | 31                      | 7              | 5,9          |
| 8                       | 6,4            | 5,9          | 32                      | 7              | 6            |
| 9                       | 6,5            | 5,8          | 33                      | 7              | 5,9          |
| 10                      | 7              | 6,1          | 34                      | 7              | 5,9          |
| 11                      | 7              | 6,1          | 35                      | 7              | 5,9          |
| 12                      | 7              | 6,1          | 36                      | 7              | 5,9          |
| 13                      | 7              | 6,1          | 37                      | 7              | 5,8          |
| 14                      | 7              | 6,1          | 38                      | 7              | 5,8          |
| 15                      | 7,1            | 6            | 39                      | 7              | 5,8          |
| 16                      | 7              | 6            | 40                      | 7              | 5,8          |
| 17                      | 7              | 6            | 41                      | 7              | 5,8          |
| 18                      | 7              | 6            | 42                      | 7              | 5,8          |
| 19                      | 7              | 6            | 43                      | 7              | 5,7          |
| 20                      | 7              | 6            | 44                      | 7              | 5,8          |
| 21                      | 7,1            | 6            | 45                      | 7              | 5,8          |
| 22                      | 7,1            | 6,1          | 46                      | 7              | 5,8          |
| 23                      | 7,1            | 6,1          | 47                      | 7              | 5,8          |
| 24                      | 7,1            | 6,1          | 48                      | 7              | 5,8          |

QUADRO 10 - RESULTADO SNR COM VECTORING CABO DE 600 METROS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

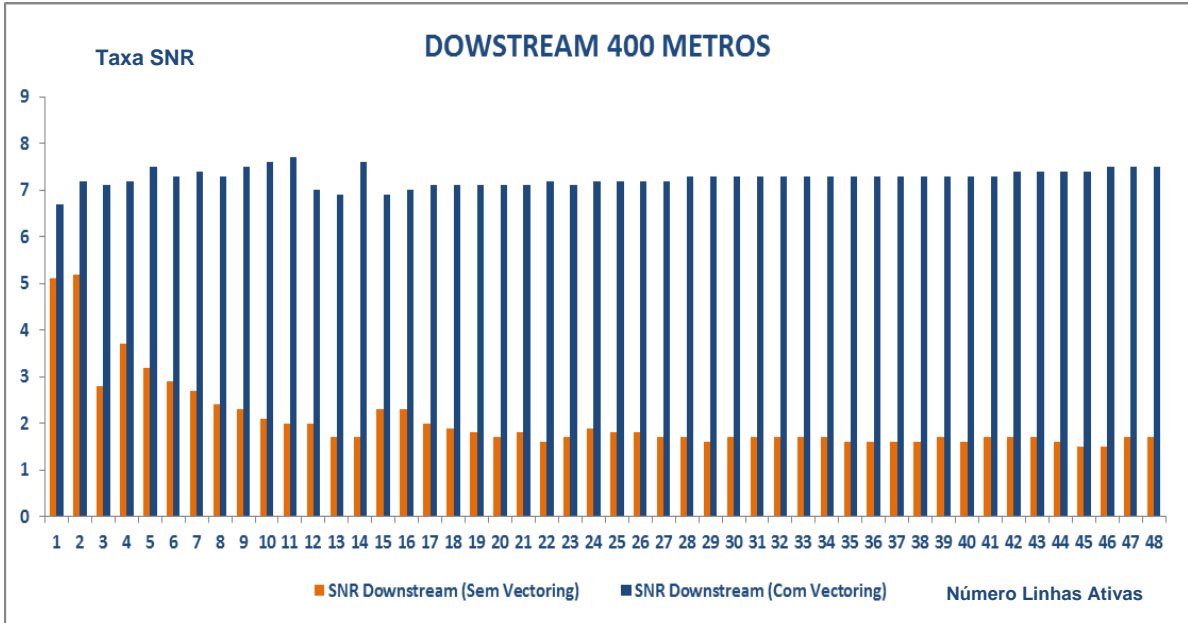


FIGURA 25: GRÁFICO COM RESULTADO DOWSTREAM SNR SEM E COM VECTORING CABO 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

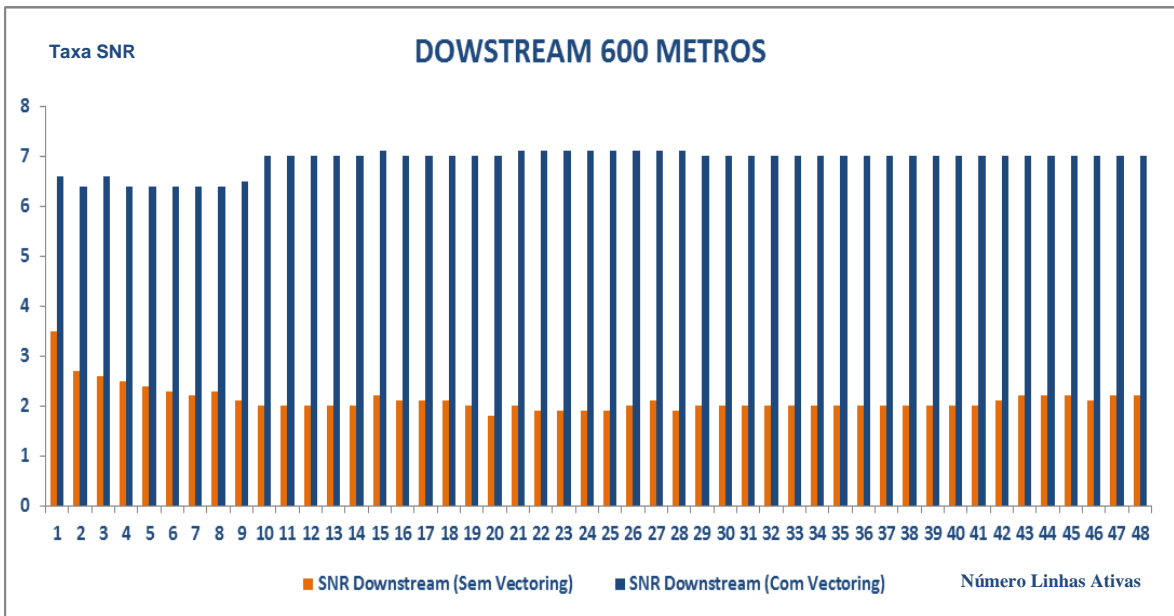


FIGURA 26: GRÁFICO COM RESULTADO DOWSTREAM SNR SEM E COM VECTORING CABO 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA



É possível observar, tanto na FIGURA 25 como na FIGURA 26 que o sinal ruído diminuiu consideravelmente com o uso do *vectoring*.

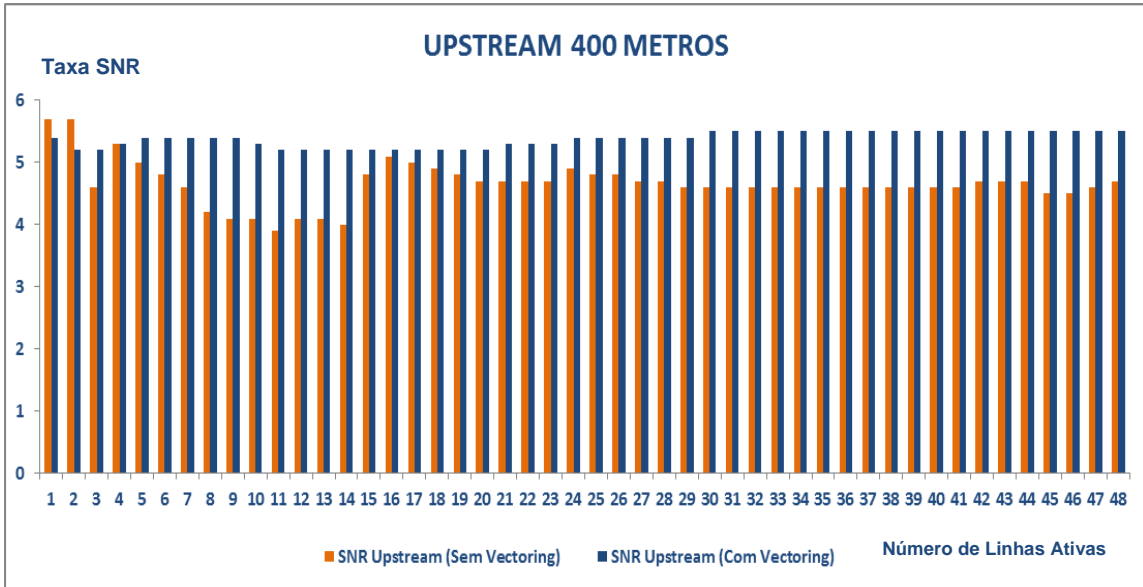


FIGURA 27: *UPSTREAM* SNR SEM E COM *VECTORING* CABO 400 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

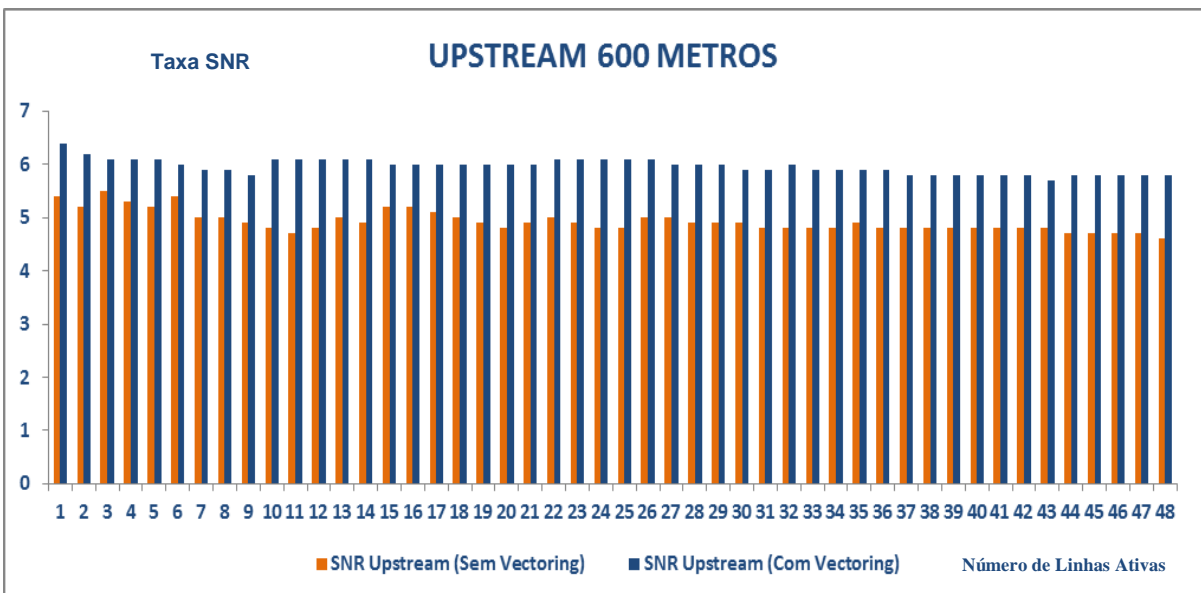


FIGURA 28: *UPSTREAM* SNR SEM E COM *VECTORING* CABO 600 METROS  
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Na FIGURA 27 e FIGURA 28 nota-se que o ganho foi um pouco menor comparado com os testes realizados com a distância de 400 metros. Ainda assim, todas as 48 linhas mantiveram uma estabilidade maior quando conectadas ao *vectoring*.

#### 4 CONCLUSÃO

Conforme esperado, nos resultados com o *vectoring* existe uma melhora na qualidade da linha VDSL comparando com uma linha comum. Porém esta melhora ainda não justifica o custo para a prestadora. Devido ao alto custo para a implementação da mesma, cerca de R\$30.000,00 por DSLAM, esta tecnologia encontra-se inviável. Nos testes, a taxa de *bits downstream*, teve um ganho médio de 10 Mbps para distâncias de 600 metros e nenhum ganho para taxas de *bits upstream*. Nos resultados dos testes de SRN (Sinal Ruído) nota-se uma significável estabilidade da linha. Em um cenário com *vectoring* todas as 48 linhas permaneceram em torno de 6 dB, já no cenário sem *vectoring*, todas as 48 linhas estavam tentando atingir o que foi configurado como *target 2dB*.

## REFERÊNCIAS

AGILENT, Technologies. "Understanding DSLAM and BRAS Access Devices"  
<<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-4766EN.pdf>> Acesso em 20/11/13.

BROADBAND, Forum. "MR-257, An Overview of G.993.5 Vectoring – 2012".  
Disponível em:  
<<http://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/MR-257.pdf>>.  
Acesso em 14/03/2014.

COMUNICAÇÕES, Ministério das. "Soluções Técnicas Globais e Locais"  
<[www.mc.gov.br/.../auditorias/.../1551-solucoes-tecnicas-globais-e-locais](http://www.mc.gov.br/.../auditorias/.../1551-solucoes-tecnicas-globais-e-locais)> Acesso  
em 20/11/13

COVALSKI, Karina. Ribeiro, Leandro Henrique de Castro. Major, Wilson de Souza.  
Otimização de Infraestrutura de Rede de Telecomunicações. (Tecnologia em  
Sistemas de Telecomunicações) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
2012.

GOLDEN, P., Dedieu, H., & Jacobsen, K. S. "Fundamentals of DSL Technology" (1  
ed.). Auerbach Publications, 2004.

ITU-T, Recommendation ITU-T G.993.2, Very high speed digital subscriber line  
transceivers 2 (VDSL2). Disponível em:  
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.2-201112-I/en>> Acesso em 16/11/13.

ITU-T, Recommendation ITU-T V.34 Data Communication Over The Telephone  
Network, Disponível em:  
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-V.34-199802-I/en>> Acesso em 16/11/13.

KEYMILE, Company. Disponível em: <<http://www.keymile.com/en/home>>. Acesso em  
10/01/14.

KOFRE, Soluções em Telecomunicações. “Transporte de Troncos Digitais E1, ISDN ou CAS”

<<http://www.kofre.com.br/solucoes/solucoes-de-telefonia-ip/transporte-de-troncos-digitais-e1-isdn-ou-cas>> Acesso em 20/11/13

PANTOJA, Ramon Villar Monte Palma. Reconhecimento de Padrões de Ruído em redes VDSL2 usando Máquinas de Vetor de Suporte. Monografia (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2011. Disponível em: <<http://www.lea.ufpa.br/producaocientifica/TCC/tcc-ramon.pdf>>. Acesso em 18/08/13.

SIZENANDO, Fred. Telefonia Básica. Apostila (Departamento de Engenharia Elétrica, Sistemas de Telecomunicações I) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006. Disponível em:

<[http://www.dee.ufrn.br/telefonia\\_basica\\_FINAL.pdf](http://www.dee.ufrn.br/telefonia_basica_FINAL.pdf)>. Acesso em 15/11/13

SOUZA, Fernando Villamarim de. Identificação e Mitigação de Crosstalk nas Redes de Acesso VDSL. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004. Disponível em:

<[http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngEletrica\\_SouzaFV\\_1r.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngEletrica_SouzaFV_1r.pdf)>. Acesso em 18/08/13.

TELECO, Tutoriais Banda Larga, ADSL2. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialadsl2/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialadsl2/pagina_1.asp)> Acesso em 11/11/13.

TELECO, Tutoriais Banda Larga, DSL. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdsl/default.asp>>. Acesso em 11/11/13.

WANZELER, José Edicleiton Silva. Análise Bayesiana para Identificação do Crosstalk em Sistemas DSL. (Engenharia da Computação) – Universidade Federal do Pará, 2011.