

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

**Roberto Pereira da Mata**

**Arquitetura de rede de dados para intertravamentos  
microprocessados**

Comparação entre redes da linha 8 e redes Padrão  
Simulação da rede do segundo domínio da linha 8.

SÃO PAULO  
2016

**Roberto Pereira da Mata**

**Arquitetura de rede de dados para intertravamentos  
microprocessados**

Comparação entre redes da linha 8 e redes Padrão

Simulação da rede do segundo domínio da linha 8.

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à escolha Politécnica da  
Universidade de São Paulo para o  
curso de Especialização em Tecnologia  
Metro-Ferroviária.

Area de Concentração:  
Tecnologia Metro-Ferroviária.

Orientador: Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa

SÃO PAULO  
2016

## **Agradecimentos**

À Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, CPTM, e à Secretaria dos Transportes Metropolitanos, STM, sem as quais este curso não ocorreria;

Aos Mestres e Doutores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelos conhecimentos transmitidos;

Aos colegas de curso, pelos momentos de parceria e solidariedade;

Aos nossos familiares, pelo apoio e compreensão em todos os momentos;

Às pessoas, que direta ou indiretamente, auxiliaram-nos no decorrer deste trabalho: Marcelo Rodovalho e Maria Cristina de Oliveira.

A Ana Carolina Saccardo por todos os momentos, suporte e amor.

## **Resumo**

A proposta deste trabalho é um estudo da rede de comunicação do sistema de intertravamento microprocessado da sinalização da linha 08 - CPTM, que possibilita a comunicação do sistema de sinalização de campo com o Centro de Controle Operacional, CCO e vice-versa. Sendo essa denominada de Rede Privada de Sinalização.

Também será simulada esta rede, por meio do simulador de rede Packet tracer, e será detalhado o funcionamento do segundo domínio da rede.

Por fim, o trabalho apresenta seus resultados dos cálculos, simulações e testes reais com rede. Em seguida, demonstra as formas como o simulador executa suas rotinas, demonstrando os métodos de simulação utilizados, o comportamento esperado para cada arquitetura e quais sequências para possibilitar simulações de redes de dados.

O trabalho apresenta as diferenças entre os resultados reais, os calculados e os simulados pelos softwares. Apontando nas conclusões as limitações e o uso recomendado do software de simulação, para aprendizado de programação de redes de comunicações e não para testes de desempenho com vários componentes. Para testes envolvendo dois elementos de rede, os resultados se aproximam dos reais e nos demais testes os valores divergem, como explicado nos capítulos seguintes.

## **Palavras-chave:.**

EIGRP, Sinalização, Rede de dados, IP, Cisco Packet Tracer, simulação de redes IPs.

## **Abstract**

The purpose of this work is a study of microprocessor interlocking system communication network of the signaling line 08 - CPTM, which enables communication of the field of signaling system with the Operational Control Center, CCO, and vice versa. This being called Private Network Signaling.

It will also be simulated this network through the packet network simulator tracer with the detailing of second domain,

Finally, the paper presents the results of calculations, simulations and actual tests with network. It also demonstrates the ways in which the simulator executes its routines, demonstrating the simulation methods used, the expected behavior for each architecture and which sequences to enable simulation of data networks.

The work presents the differences between the actual results, calculated and simulation by software. Pointing the findings limitations and recommended use of simulation software for communications networks programming learning and not for performance testing with various components. For tests involving two network elements, the results are close to the real and the other tests the values differ, as explained in sequent chapters.

## **Key words:**

EIGRP, Signaling, Network, IP, Cisco Packet Tracer, IP Network Simulator.

## **Lista de ilustrações**

FIGURA 1: DADOS OPERACIONAIS DA LINHA 08 - DIAMANTE DA CPTM	4
FIGURA 2: LINHA 08-DIAMANTE COM DIVISÃO DE MUNICÍPIOS.	4
FIGURA 3: DOMÍNIO LAPA	10
FIGURA 4: COMUNICAÇÃO MAINS COM O SERVIDOR CCO	11
FIGURA 5: COMUNICAÇÃO MAINS COM O VOC	12
FIGURA 6: TROCA DE PACOTE ENTRE A ESTAÇÃO A E ESTAÇÃO B	14
FIGURA 7: REDUNDÂNCIA DA REDE 1 E REDE 2	15
FIGURA 8: ARQUITETURA DE REDE EM ANEL.	19
FIGURA 11: ARQUITETURA EM ANEL COM OS RESPECTIVOS IP'S	21
FIGURA 12: INTERLIGAÇÃO ENTRE VOC E MAIN DE BFU	23
FIGURA 13: INTERLIGAÇÃO ENTRE VOC E MAIN DE JPR	24
FIGURA 14: INTERLIGAÇÃO ENTRE VOC E MAIN DE DMO	24
FIGURA 16: TELA DE CAPTURA DO COMANDO PING	31
FIGURA 17: EXEMPLO TABELA DE CÁLCULOS.	50
FIGURA 18: EXEMPLO RESULTADO DE SIMULAÇÕES.	52

## Lista de Gráficos

GRÁFICO 1: QUANTIDADES DE PESSOAS TRANSPORTADAS CONSIDERANDO O INTERVALO DE TRENS.	5
GRÁFICO 2: IMPACTO NA QUANTIDADE DE PESSOAS TRANSPORTADAS PARA FALHAS EM LINHAS DE CINCO MINUTOS;	6
GRÁFICO 3: IMPACTO PARA FALHAS COM HEADWAY DE TRÊS MINUTOS	6
GRÁFICO 4: TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – OSASCO – PACOTES PING	34
GRÁFICO 5: TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – OSASCO – ARQUIVOS 1,12MB E 2,24MB	35
GRÁFICO 6: TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – PAL – PACOTES PING	36
GRÁFICO 7 TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – PAL – ARQUIVOS 1,12MB E 2,24MB	36
GRÁFICO 8: TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – ILE – PACOTES PING	37
GRÁFICO 9: TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – ILE – ARQUIVOS 1,12MB E 2,24MB	38
GRÁFICO 10; TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – PPAL – PACOTES PING	38
GRÁFICO 11;TEÓRICO X SIMULADO – REDE EM ANEL – PPAL – ARQUIVOS 1,12MB E 2,24MB	39

## **Lista de Tabelas**

TABELA 1: LISTA DE COMPONENTES PRIMEIRO E DE SEGUNDO DOMÍNIO.....	16
TABELA 2: LISTA DE COMPONENTES TERCEIRO E QUARTO DOMÍNIO..	17

## Lista de Siglas

AJO	Estação de Antônio João
BFU	Estação Barra Funda
BRU	Estação de Barueri
Cat 5	Categoria de cabo de redes para velocidades de 100Mbps
CBTO	Communications-Based Train Control
CCO	Centro de controle operacional.
CDV	Circuito de via
CPB	Estação de Carapicuíba
CSA	Estação de Comandante Sampaio
DMO	Estação Domingos de Moraes
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing
FTP	File transfer protocol
Gbps	Giga bit per second
GMC	Estação de General Miguel Costa.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
ILE	Estação Imperatriz Leopoldina
IP	Internet Protocol
IPV	Estação de Itapevi
JDR	Estação de Jandira
JPR	Estação Júlio Prestes
LAB	Estação Lapa linha 8
Main	Equipamento de campo para controle de ferrovias.
Main BFU	Equipamento de campo para controle de ferrovias de Barra funda
MB	MegaByte
Mb	Megabit
Mbps	Mega bit per second
Mpps	Mega packets per second
OSA	Estação de Osasco
OSI	Open systems Protocol
PAL	Estação Presidente Altino
Pc	Computador Portátil
PCL	Posto de Comando Local
Ping	Linha de comando de plataforma Windows
PPAL	Pátio Presidente Altino
RPS	Rede Privada de Sinalização
STE	Estação de Santa Teresinha.
SW	Switch
UDP	User Datagram Protocol

VOC	Vital object control
VOC ATP	Vital object control Automatic train protection
VOC ATP BFU	Vital object control Automatic train protection (Controlador de objeto vital de estação de Barra funda
VOC BFU	Vital object control of Barra Funda (controlador de Objeto Vital da estação de Barra Funda)
MTU	Maior taxa de transmissão
GIG	Interface Gigabit Ethernet

## **Glossário**

Circuito de via	Segmento de via férrea para ocupação para composições metro ferroviárias
Host	Equipamento pertencente a rede de dados.
Intertravamento	Equipamento de sinalização para controle de ferrovia com logica vital.
Main	Equipamento de sinalização para comunicação, controle e alinhamento de rotas.
Máquina de Chave	Equipamento de via de sinalização para mudança de rotas.
Sniffer	Programa ou equipamento que intercepta pacotes numa rede
String	Sequência de caracteres em Bits
VOC	Equipamento de sinalização para controle de via férrea
VOC ATP	Equipamento de sinalização para controle e proteção de trens

## Sumário

Introdução.....	1
1   Objetivos.....	2
1.1   Motivação e Argumentação.....	3
2   Sinalização.....	8
2.1   Main.....	8
2.2   VOC.....	9
2.3   VOC ATP.....	9
2.4   Rede Privada da Sinalização .....	10
2.5   Tamanho dos pacotes de comunicação .....	12
2.6   Camadas de protocolos.....	13
2.7   Redundância de comunicação .....	15
3   Distribuição dos componentes e Hardware de rede .....	16
4   Rede em Anel .....	19
4.1   Endereçamento IP das redes .....	21
5   Velocidade teórica das redes.....	22
5.1   Cálculo de tempos mínimos de propagação .....	23
5.2   Cálculos das variáveis Ts1, Ts2, RT, Tg.....	25
5.3   Rede Anel.....	26
5.4   Tabela de simulação .....	29
6   Simulação .....	30
6.1   Software .....	30
6.2   Testes entre VOC e Main .....	31
7   Resultados dos testes e simulações.....	33
7.1   Site de Osasco.....	34

7.2	Presidente Altino .....	35
7.3	Imperatriz Leopoldina .....	37
7.4	Pátio de Presidente Altino .....	38
8	Resultados e considerações finais.....	40
8.1	Cisco Packet Tracer .....	40
8.2	Resultados .....	42
9	Referências Bibliográficas e Eletrônicas .....	44
9.1	Livros.....	44
9.2	Lei.....	44
9.3	Sites .....	44
9.4	Artigos, normas e documentos técnicos.....	45
10	Anexo .....	48
10.1	Anexo I - Tabela de Endereçamento de Rede. ....	48
10.2	Anexo II Tabela de endereçamento dos Switches. ....	49
10.3	Anexo III Cálculos em formato de planilhas .....	50
10.4	Anexo IV – Resultados das simulações .....	52

## Introdução

Vinculada à Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, CPTM, foi criada a partir de autorização prevista pela Lei nº 7.861, de 28 de maio de 1992<sup>1</sup>. Na qual previa que a nova Companhia passaria a assumir os sistemas de trens da Região Metropolitana de São Paulo, RMSP. Substituindo a Companhia Brasileira de Trens Urbanos (Superintendência de Trens Urbanos de São Paulo STU/SP), CBTU, e a Ferrovia Paulista S/A, Fepasa. Cujo objetivo seria de assegurar a continuidade e melhoria dos serviços. Em 1994, a CPTM começou a operar as Linhas 7-Rubi e 10-Turquesa (antigas A e D) e 11-Coral e 12-Safira (antigas E e F), que pertenciam à CBTU. Em 1996, passou a controlar os serviços da Fepasa, com as Linhas 8-Diamante e 9-Esmeralda (antigas B e C)<sup>2</sup>.

Em seu primeiro ano de operação, a Companhia registrou 800 mil usuários/dia. Em suas duas décadas de história, ela vem passando por um processo de revitalização, modernização e expansão. Em 2014, a CPTM alcançou a marca de três milhões de usuários transportados por dia útil. Constatando um considerável crescimento três vezes maior que o começo de sua operação, em 94<sup>2</sup>.

Desde sua criação, a CPTM experimentou uma série de transformações para aprimorar a qualidade de seus serviços e as mudanças se refletiram em um novo conceito de relacionamento com seus usuários, comunidade e acionistas. Por meio de ações efetivas de cunhos operacional, de manutenção, comunicação com usuários e, principalmente, cultural, de inserção social e de acessibilidade.

Em 2008, para acompanhar o crescimento de usuários, a Companhia decidiu iniciar o processo de modernização das linhas oriundas da Fepasa, destinando uma grande reforma de sistemas de energia na linha 9-Esmeralda e de sistemas de sinalização e controle na linha 8-Diamante. Envolvendo a substituição de intertravamento, sinalização de alto desempenho CBTC (Communications Based Train Control – em tradução livre controle de trens

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1992/lei-7861-28.05.1992.html>

<sup>2</sup> CPTM: “Nossa história”. Disponível em: <http://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/Nossa-Historia.aspx>

baseado em comunicação) e uma rede de comunicação de alta confiabilidade e capacidade.

O CBTC utiliza uma comunicação de rede ponto a ponto para o sistema de sinalização. Essa rede interliga as estações e locais técnicos com o Centro de Controle Operacional, CCO, de forma redundante e confiável. Tais características que o sistema possui são o principal objetivo deste trabalho: saber realmente como a rede de comunicação se comporta na realidade, verificando as especificações e parâmetros, se estão dentro do resultado esperado pelo sistema e pela própria CPTM. Por se tratar de uma nova tecnologia empregada na Companhia, necessita de estudos e conhecimentos para que, se necessário, possa-se sugerir alguma modificação na concepção atual da rede ou o melhoramento dessa na aplicação onde está empregada.

O processo de implantação de sistemas na CPTM é afetado pela forma como seus produtos são desenvolvidos, seja pela divisão de lotes das contratações, lacunas em projetos básicos ou mesmo por características não normatizadas pelos inúmeros sistemas, desta forma a rede de dados da linha 8 é um projeto de know how exclusivo do fornecedor de sinalização devido ao formato do empreendimento como um todo, então este trabalho apresenta seus objetivos a seguir e objetiva atuar nestas lacunas mencionadas na introdução.

## **1 Objetivos**

Analisar a rede de comunicações de alta confiabilidade e capacidade da linha 8-Diamante.

Os aspectos a serem analisados serão: arquitetura; desempenho e possibilidade de integração entre demais sistemas; análise com demais arquiteturas de redes de dados destinadas às aplicações semelhantes de automação.

Comparar a velocidade da rede dado, como é influenciada pela arquitetura de rede detalhando o segundo domínio. Verificar a possibilidade do

uso da rede dados para transporte de dados não provenientes dos sistemas de sinalização.

## **1.1 Motivação e Argumentação**

A arquitetura da rede de dados da sinalização da linha 8-Diamante requer análise de sua capacidade de funcionamento, a fim de apontar seu comportamento com seus sistemas principais e como os demais sistemas que a utilizam são afetados. Analisando também como a rede se comporta em condições de falhas.

A principal função dessa rede é a comunicação entre domínios de sinalização e o CCO. Propiciando, assim, a implantação do novo sistema de sinalização, que reduzirá o intervalo entre trens na linha 8-Diamante de seis minutos para três minutos. Traduzindo, então, ao usuário da CPTM em um aumento da capacidade de transporte da linha de 20 mil pessoas sentido/hora para 40 mil pessoas sentido/hora. O que torna a linha muito mais confortável e veloz.

A rede também é a base para troca do sistema de intertravamento tradicional por circuitos de via para o sistema mais avançado atualmente, baseado em comunicação de dados, CBTC.

O CBTC é um sistema de sinalização metroferroviário inteiramente baseado em comunicações, em que as composições e os equipamentos de controle conversam por uma rede complexa de dados, envolvendo sistemas de rádio telecomunicações e sistema de comunicações com fibras óptica. A fim de garantir que as composições transitam de forma segura e eficiente na linha férrea.

Graças à capacidade constante de troca de dados, o CBTC permite formas de regulação avançada de linha, possibilitando adiantar ou atrasar trens em tempo real e ideal para enfrentar linhas com alta variação no número de usuários. O sistema também permite ajustar a potência elétrica - utilizada para locomoção dos trens, com o objetivo de economizar energia ou em uma situação de emergência. Por exemplo, uma subestação de energia fora do

sistema, que geraria a necessidade de ter um limite de energia. Assim, o sistema reduziria automaticamente a quantidade de trens necessários para que a operação pudesse utilizar no carrossel, sem comprometer uma possível queda de energia ou uma multa por utilizar energia acima da demanda.

Como característica principal nesses sistemas de sinalização é a comunicação constante entre as partes envolvidas em caso de falha na comunicação, os sistemas iniciam tratativas de segurança, com redução de velocidades, aumento nos intervalos entre trens, chegando à parada total.

O relatório de dados básicos operacionais, emitido pela operação da CPTM, aponta o atual intervalo entre trens da linha 08, a oferta de lugares e a quantidade de pessoas que efetivamente fazem uso da linha. Como pode ser visto na Figura 1:

Intervalo entre trens	Oferta de lugares por hora	Quantidade de pessoas.
5 minutos	24.432	24.312

Figura 1: Dados operacionais da linha 08 - Diamante da CPTM

Tal linha interliga as estações Júlio Prestes à Amador Bueno, dividindo-se em dois trechos: Júlio Prestes à Itapevi e Itapevi à Amador Bueno. Passando por seis municípios (São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Barueri, Jandira e Itapevi), conforme Figura 2. Possui uma extensão de 41 quilômetros de trilhos de bitola larga, sendo que em algumas regiões há ainda o trilho de bitola métrica, utilizado pelos trens de carga. Ela possui transferência para a linha 09-Esmeralda da CPTM, nas estações de Osasco e Presidente Altino, e com as linhas 07-Rubi da CPTM 03-Vermelha do Metrô, na estação da Barra Funda.

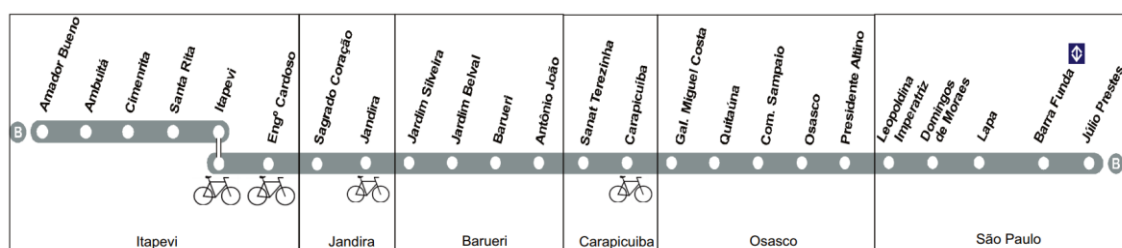


Figura 2: Linha 08-Diamante com divisão de municípios.

No primeiro trecho (Júlio Prestes – Itapevi), a linha 08 oferece 296 viagens durante um dia útil, sem que ocorra um problema que venha a prejudicar a operação e que comprometa o headway. Já a segunda parte (Itapevi - Amador Bueno), proporciona 83 viagens. Também há um loop interno entre Júlio Prestes e Barueri, ativo somente no horário de pico pela manhã, que ocorre das 06h00 às 09h00, com 44 viagens.

A frota dessa linha é composta por somente um tipo de composição: o trem série 8000. Cujas capacidade é de transportar 2036 pessoas por viagem. O cruzamento entre os intervalos, entre trens e a quantidade de lugares disponíveis por composição resulta no Gráfico 1, abaixo. Para ilustrar melhor a realidade, os dados demonstram a capacidade de transporte de uma linha com intervalos entre trens de cinco minutos comparada com uma linha com intervalos de três minutos.

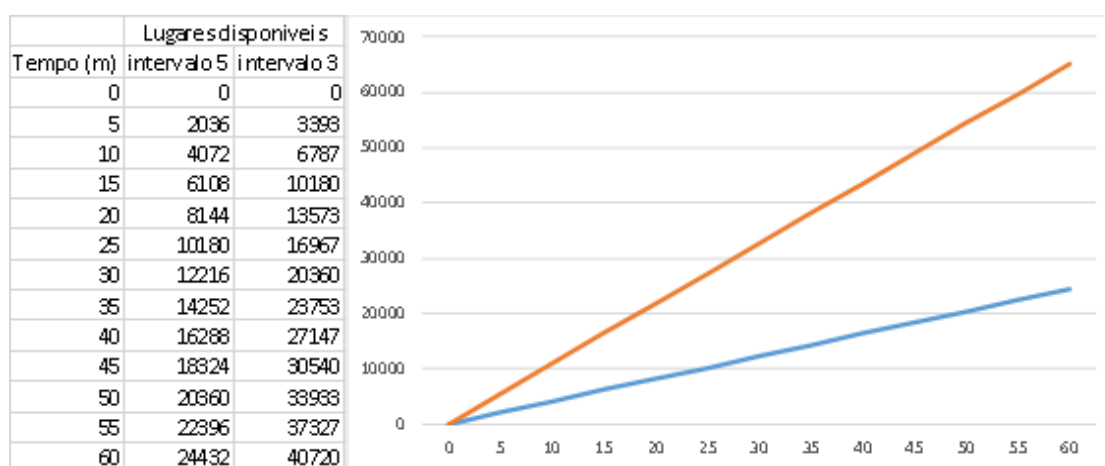


GRÁFICO 1: Quantidades de pessoas transportadas considerando o intervalo de trens.

Quanto menor o intervalo entre trens, maior será o impacto da paralisação em uma linha. Em seguida, o Gráfico 2 apresenta linhas com cinco minutos de intervalo entre trens, sendo paralisadas por 10 minutos.

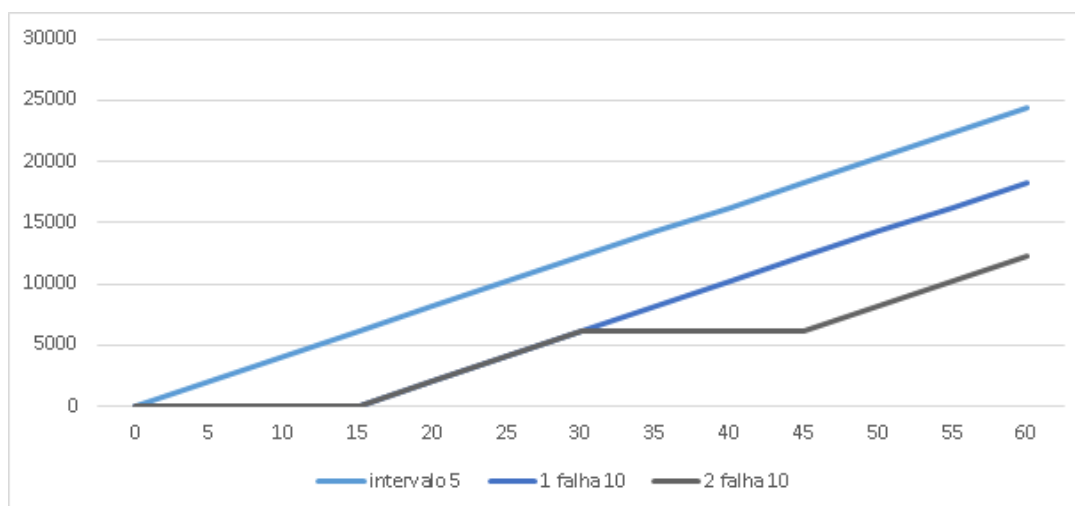


GRÁFICO 2: Impacto na quantidade de pessoas transportadas para falhas em linhas de cinco minutos;

Já no Gráfico 3, os dados demonstram o impacto de paralisações de 10 minutos em linhas com intervalo entre trens de três minutos:

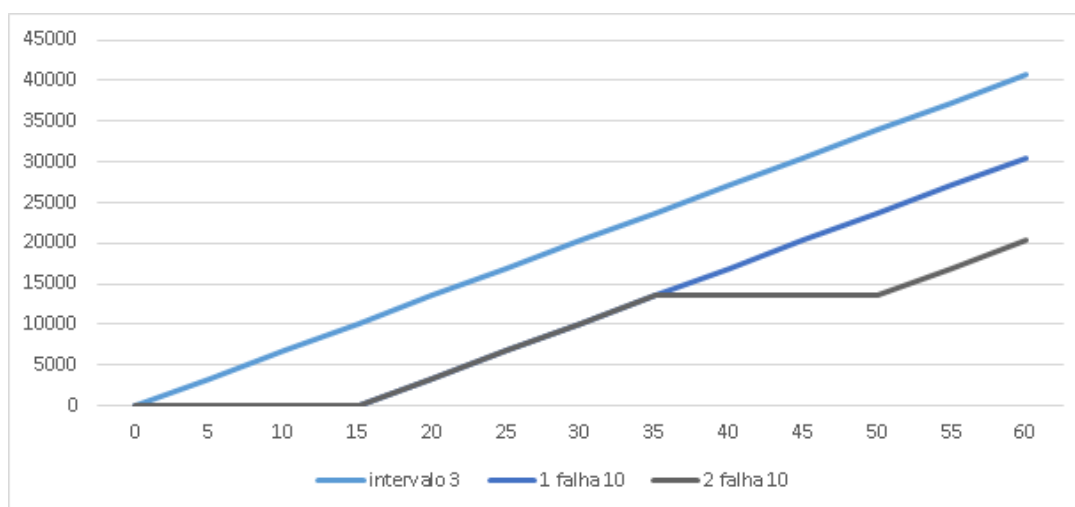


GRÁFICO 3: Impacto para falhas com headway de três minutos

Por mais que os gráficos apontem que o impacto nas linhas, em porcentual, é o mesmo (de 50%). Contudo, há um salto no impacto de pessoas, de 12 mil para 20 mil usuários por hora.

Desta forma, fica claro que quanto maior for o desempenho da linha, maior é a necessidade que todo sistema opere sem interrupções ou degradações. Sendo que a rede tem uma importância especial, pois interliga todos os sistemas que devem trabalhar.

Tão importante quanto a operação sem interrupção e degradação é a capacidade de manter o sistema funcionando durante toda a sua vida útil. A rede de sinalização em foco depende exclusivamente de um protocolo dedicado de roteamento automático, impedindo a compatibilização com novos sistemas e com equipamentos que não constam com esta funcionalidade.

## 2 Sinalização

O sistema de sinalização da linha 08 é constituído em grande parte por lógica microprocessada. A região que permanece com a lógica a relé é o trecho entre as estações Imperatriz Leopoldina e Osasco, com cerca de quatro quilômetros. O sistema de sinalização coleta as informações dos objetos de campo, geralmente relés do tipo vital, instalados ao longo da via férrea. Essas informações são transmitidas para os “cérebros” do sistema, que realizam lógicas de sinalização e automação dos sistemas, como verificação do bloqueio de uma determinada rota e codificação para o bordo do trem de forma segura.

Tais “cérebros” são denominados de intertravamento eletrônico, em uma mistura de homenagem aos antigos sistemas de controle ferroviário feitos por lógica de intertravamento a relés e eletrônica moderna. Comunica-se com seus respectivos vizinhos até que a informação esteja presente no centro de controle operacional. Esses dados são encaminhados através de uma rede física de fibra ótica do tipo Ethernet/IP de alta confiabilidade.

A rede na qual analisaremos será a privada de sinalização, RPS, que interconecta os sistemas de intertravamento de campo da sinalização com o centro de controle. Ela possui equipamentos de comunicação duplicados e a topologia acompanha o anel físico, que será detalhado no capítulo 6.1.

A arquitetura utilizada pela rede RPS, neste fornecimento do sistema de sinalização, compreende três tipos de equipamentos essenciais, sendo eles:

- Main;
- VOC;
- VOC ATP.

### Main

O Main é o concentrador de informações do intertravamento vital, comunicando-se com os controladores vitais de objeto Vital Object Controller, VOC, e Vital Object Controle Automatic Train Protection, VOC ATP,

executando as rotinas locais de automação e segurança. Também é responsável pelo envio de informações ao Servidor do CCO.

## **2.2 VOC**

O VOC é responsável pela lógica de campo da sinalização. O equipamento tem a função de manter a distância segura entre trens, controlar os equipamentos de mudança de via, permitir o trânsito das composições nos trechos determinados e controle de sinais de via.

Por ser montado em lógica vital, toda condição de operação do equipamento é desenvolvida para que o sistema sempre se comporte em falha segura. Ou seja, em qualquer condição de falha, anomalia ou comportamento estranho das entradas, o sistema sempre encaminha para uma condição segura, saindo de interrupções de trechos até a parada completa dos trens.

A falta de comunicação com o Main leva o sistema a uma condição chamada de rota padrão, na qual toda a sinalização se alinha na rota normal da linha. Obviamente, mais condições de segurança são tratadas nesse evento, mas elas não fazem parte do escopo dessa análise.

## **2.3 VOC ATP**

O VOC ATP é um controlador de objeto vital para o sistema de proteção de trens a partir da comunicação das informações recebidas pelo Main. O VOC ATP é responsável pela geração dos códigos de velocidades para as composições.

Sua concepção é de tal forma para que seja garantida a geração do código certo. Em caso de falha na comunicação com o Main, o código de velocidade do sistema desaparece e as composições também são levadas à paralisação.

## 2.4 Rede Privada da Sinalização

A linha 08 é dividida em quatro regiões macros ou domínios: Barra Funda, Osasco, Carapicuíba e Itapevi. Tais regiões recebem a informação dos VOCs vizinhos através dos Mains correspondentes. Por exemplo, o domínio de Barra Funda detém os Mains de Júlio Prestes (JPR), Barra Funda (BFU), Lapa (LAB) e Domingos de Moraes (DOM), que também estão instalados no site de Barra Funda. Cada domínio concentra as informações dos elementos, que, geralmente, estão na estação mais próxima, por exemplo, a estação da Lapa.

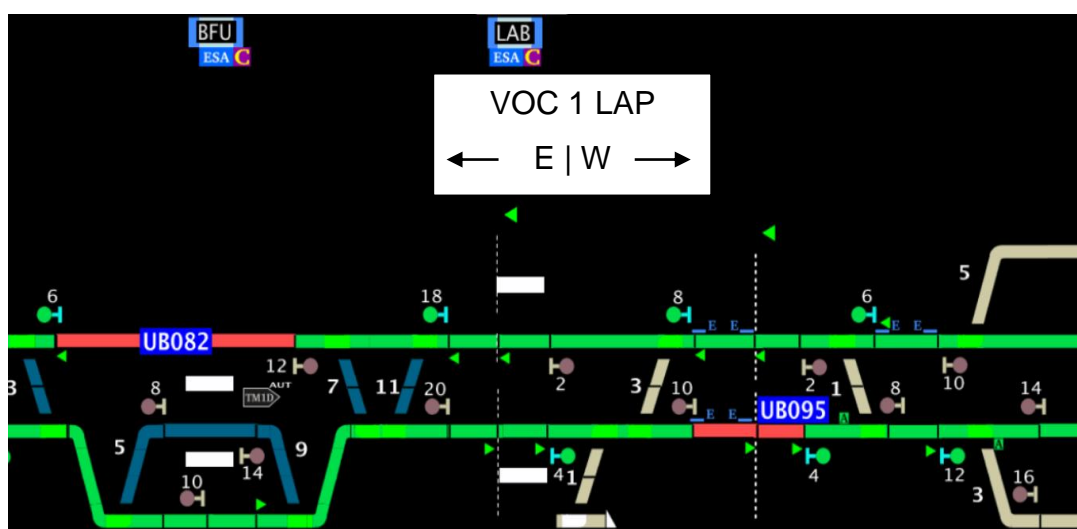


Figura 3: Domínio LAPA

Podemos observar que os circuitos de via, máquina de chave, sinais e demais elementos desse trecho estão localizados no VOC 1 da Lapa. Indicado na parte superior de desenho, onde está também a direção dos elementos Leste (E) ou Oeste (W).

De acordo com a quantidade de equipamentos em cada site, a quantidade de equipamentos do tipo VOC varia. Porém, o impacto dessa variação na quantidade de informação na comunicação é baixo.

A comunicação encaminhada dos VOCs para Main, e vice-versa, é do tipo *string* fixa. Por exemplo, o quinto e o sexto bit da *string* sempre representam a posição da máquina de chave 3B, enquanto o sétimo e o oitavo

bit os da máquina 3A. Dessa forma, a sinalização diminui a necessidade de decodificação complexa da *string*, pois não é necessário buscar o nome da máquina de chave e depois seu status na *string*, mantendo os pacotes de informação pequenos.

A comunicação realizada entre os Mains e o servidor do CCO é padrão de rede de computadores. O que significa que aqui os pacotes IPs (Internet Protocol) contemplam informações complexas sobre a ocupação dos circuitos e rotas a serem alinhadas. Cabe ressaltar que o software do servidor do CCO não é vital. Assim, ele pode encaminhar informações que serão rejeitadas pelos Mains. O Main é responsável por toda lógica de segurança da sinalização, porém somente as rotas são trabalhadas. Já o VOC é sempre o responsável pela autorização dos avanços das composições.

A figura abaixo representa a comunicação realizada pelos Mains com o servidor do CCO.

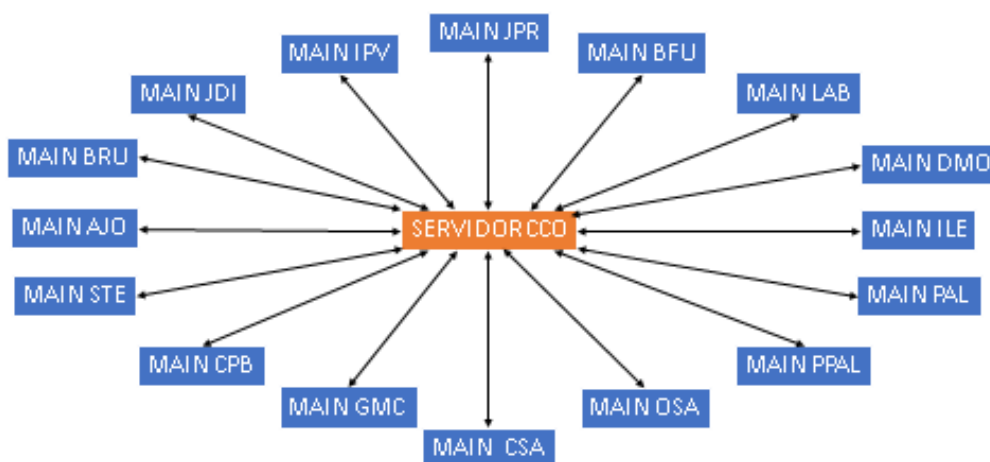


Figura 4: Comunicação Mains com o servidor CCO

Cada Main se comunica com seus respectivos VOCs e VOCs ATP, como apresentando na figura abaixo:

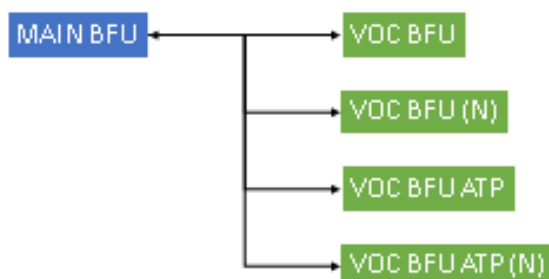


Figura 5: Comunicação Mains com o VOC

Obviamente, que as quantidades são sempre proporcionais ao tamanho e complexidade da via que se irá automatizar. Na linha 08, existem mais trechos com equipamentos de via do que com controle de código de velocidade. Dessa maneira, temos trechos que possuem um Main que controla dois VOCs e um VOC ATP entre outros arranjos.

## 2.5 Tamanho dos pacotes de comunicação

Para controlar e gerar o fluxo de dados entre VOC e Mains é usado um protocolo proprietário do fabricante do intertravamento, situado na camada de aplicação do sistema. Ou seja, o sistema trabalha todo o controle da comunicação na camada superior do modelo OSI.

Esse protocolo, por medida de segurança, gera sempre pacotes fixos de tamanho em bits, independentemente da quantidade de objetos controlados. Dessa forma, foi captado em campo que esses os pacotes têm o tamanho de 66 Kbytes e são comumente encontrados em intervalos de 0,5 segundos. Resultando em uma banda de 132 Kbps, ou 1.056 Mbps. Este tamanho foi detectado já na camada de transmissão, interceptado por um Sniffer de rede. Sendo assim, os encapsulamentos das camadas 2 e 3 já estão presentes.

Para a simulação, usamos o teste de Ping<sup>3</sup> com um ajuste no tamanho do pacote em camada 2 para 144 Bytes cada. Excepcionalmente, o software

<sup>3</sup> Disponível em: <https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc940091.aspx>

de simulação não tem uma ferramenta que permite contabilizar o tempo de propagação de pacotes menores. No intuito de saturar as redes, usamos também o transporte de arquivos de 1,12 MB e 2,24MB.

## 2.6 Camadas de protocolos

A rede IP encaminha suas informações através de camadas de protocolos, que controlam o enlace elétrico, a rede IP, a camada de transporte com os protocolos TCP e UDP e as camadas subsequentes de aplicação. A seguir, uma explicação dessas camadas e o papel dentro do processo.

A camada de enlace é a responsável pela troca de informação elétrica entre os componentes. Nela toda a informação vai estar alinhada em uma fila de bits para transmissão, controlando o tráfego de dados e fornecendo a sincronização entre os componentes.

A camada de rede, também conhecida como camada Internet, é responsável por determinar o melhor caminho por onde os pacotes devem ser transmitidos. Utiliza-se de endereços lógicos - o principal utilizado é o IP. O protocolo IP possui uma identificação lógica, que é um número de 32 bits (versão 4) ou 128 bits (versão 6), que os computadores utilizam para identificação e comunicação uns com os outros<sup>4</sup>.

Em seu livro, Tannenbaum faz uma analogia das camadas de transporte e de rede com o sistema de convencional de correio, que diz:

Uma pessoa pode deixar uma sequência de cartas internacionais em uma caixa de correio em um país e, com um pouco de sorte, a maioria delas será entregue no endereço correto no país de destino. Provavelmente, as cartas atravessarão um ou mais gateways internacionais ao longo do caminho, mas esse processo é transparente para os usuários. Além disso, o fato de cada país (ou seja, cada rede) ter seus próprios selos, tamanhos de envelope preferidos e regras de entrega fica oculto dos usuários<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Disponível em:

<http://intertemas.toledoprudente.edu.br/revista/index.php/ETIC/article/viewFile/4378/4137>

<sup>5</sup> Tanenbaum, Andrew S. **Redes de computadores**. Amsterdam (HOL), Editora Campus, 2003. Pág. 48.

Por exemplo, IP do controlador de objeto da estação Barra Funda é o 10.35.2.11, sendo do tipo IPv4. O tamanho dos pacotes que transita nesta rede varia de 66 Bytes para 1500 Bytes tipicamente. Mas técnicas de jumbo frame permitem pacotes de até 9000 Bytes. Na camada de rede também está o protocolo Internet Control Message Protocol, ICMP, que é responsável pela informação de erro ao nível IP de origem, não tendo qualquer responsabilidade sobre a correção dos mesmos<sup>6</sup>.

Para explicar o funcionamento do ICMP, imaginamos uma rede conforme figura abaixo:

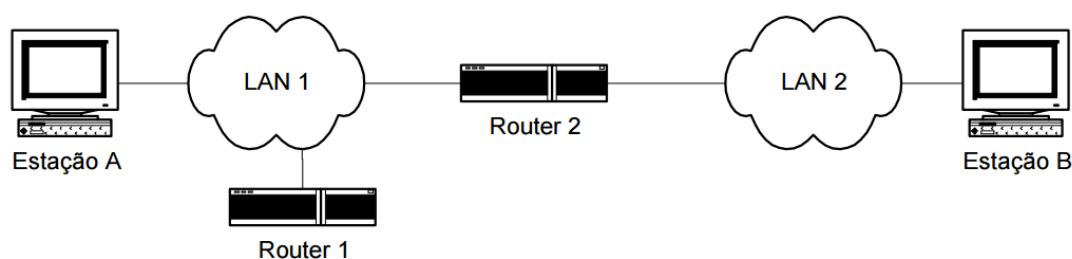


Figura 6: Troca de pacote entre a estação A e estação B

Estação A envia um pacote à estação B, por meio do Router 1. Ao chegar no Router 1, averigua-se que esse não é capaz de entregar tal pacote. Então, Router 1 envia um pacote ICMP redirect à Estação A, para avisar a necessidade de usar o Router 2 para esse efeito.

A camada de transporte é responsável pelo transporte e regulação do fluxo de informações da origem até o destino. Ela possui dois protocolos que são o User Datagram Protocol, UDP, e Transmission Control Protocol, TCP. O UDP realiza apenas a multiplexação para que várias aplicações possam acessar o sistema de comunicação de forma coerente. Enquanto o TCP faz, além da multiplexação, uma série de funções para tornar a comunicação entre origem e destino mais confiáveis. São responsabilidades desse: controle de fluxo, controle de erro, a sequenciação e a multiplexação de mensagens.

Tanenbaum ainda explica que a camada de aplicação “contém todos os protocolos de nível mais alto”<sup>7</sup>. Fazem parte desses protocolos: o de terminal

<sup>6</sup> Disponível em:

[http://www.dcc.fc.up.pt/~ssargento/aulas\\_2003\\_2004/RSD/aulas\\_teoricas/RSD\\_ICMP\\_6.pdf](http://www.dcc.fc.up.pt/~ssargento/aulas_2003_2004/RSD/aulas_teoricas/RSD_ICMP_6.pdf)

<sup>7</sup> Tanenbaum, Andrew S. **Redes de computadores**. Amsterdam (HOL), Editora Campus, 2003. Pág. 49.

virtual, Telnet; o de transferência de arquivos, FTP, e de correio eletrônico, SMTP. O Telnet tem como função conectar uma pessoa a uma máquina à distância. Assim, podemos ter um posto de comando local, em qualquer estação, para controlar a operação. O FTP permite a transferência de arquivos entre máquinas.

## 2.7 Redundância de comunicação

Na arquitetura deste tipo de intertravamento, para garantir a redundância do sistema, todos os equipamentos do tipo VOC, VOC ATP e Main contam com duas interfaces ethernet 100Mbps. Cada uma é conectada à duas redes distintas e não interligadas logicamente. Resumidamente, há duas portas ethernet em todos os VOC, VOC ATP e Main, que são eletricamente independentes do hardware dos equipamentos

O intertravamento garante que uma falha simples da rede não cause a interrupção da comunicação. Pois esse duplica a informação entre as duas redes. Ressaltamos, assim, que não existe ganho em desempenho e a análise posterior pode ser realizada com se a rede fosse única. A figura, abaixo, ilustra tal situação:



Figura 7: Redundância da rede 1 e rede 2

### 3 Distribuição dos componentes e Hardware de rede

A distribuição dos equipamentos é realizada de acordo com a quantidade necessária para o controle de domínios de sinalização. Em suma, quanto maior a quantidade de equipamentos a serem controlados, maior é a necessidade de equipamentos de controle.

A tabela 1 demonstra a quantidade de cada equipamento em cada localidade necessária para controle da linha 8, no primeiro e segundo domínio:

Local	Equipamento	Local	Equipamento
CCO Brás	Servidor CCO	ILE	VOC ILE
JPR	VOC JPR	ILE	VOC ATP ILE
JPR	VOC ATP JPR	PAL	VOC PAL
BFU	MAIN JPR	PAL	VOC ATP PAL
BFU	MAIN BFU	PPAL	MAIN PPAL
BFU	MAIN LAB	PPAL	VOC PPAL
BFU	MAIN DMO	OSA	MAIN ILE
BFU	VOC BFU	OSA	MAIN PAL
BFU	VOC ATP BFU	OSA	MAIN OSA
LAB	VOC LAB	OSA	VOC OSA
LAB	VOC ATP LAB	OSA	VOC OSA 2
DMO	VOC DMO	OSA	VOC ATP OSA
DMO	VOC ATP DMO		
DMO	VOC ATP DMO 2		

Tabela 1: LISTA DE COMPONENTES PRIMEIRO E DE SEGUNDO DOMÍNIO

A tabela 2 mostra os equipamentos presentes no terceiro e quarto domínio:

Local	Equipamento	Local	Equipamento
CSA	VOC CSA	AJO	VOC ATP AJO
CSA	VOC ATP CSA	AJO	VOC ATP AJO 2
GMC	VOC GMC	BRU	VOC BRU
GMC	VOC ATP GMC	BRU	VOC BRU 2
CPB	MAIN GMC	BRU	VOC ATP BRU
CPB	MAIN CSA	JDR	VOC JDR
CPB	MAIN CPB	JDR	VOC ATP JDR
CPB	MAIN STE	IPV	MAIN STE
CPB	VOC CPB	IPV	MAIN AJO
CPB	VOC CPB 2	IPV	MAIN BRU
CPB	VOC ATP CPB	IPV	MAIN IPV
STE	VOC ATP STE	IPV	VOC IPV
STE	VOC ATP STE 2	IPV	VOC IPV 2
		IPV	VOC ATP IPV

Tabela 2: LISTA DE COMPONENTES TERCEIRO E QUARTO DOMÍNIO

A interligação dos componentes é realizada de acordo com as redes, que serão exemplificadas no capítulo 4, com os dois tipos de equipamentos de rede, um Switch padrão e um Switch Central.

Cada local contém um Switch padrão que interliga os componentes daquele local. Já o Switch Central é utilizado somente na rede em estrela na localidade do CCO. Desta forma, as características dos Switchs são:

Switch padrão:

- 24 portas 10/100 Fast-ethernet;
- Duas portas 10/100/1000 Gigabit ethernet;
- Capacidade de roteamento de 32 Gbps;
- Capacidade de roteamento em pacotes por segundo de 38,7

Mpps

A distribuição dos equipamentos e os modelos dos Switchs é fornecida no AR3850<sup>8</sup>, documento CPTM, este trabalho detalha os testes realizados no segundo domínio, correspondente a segunda coluna da tabela 1.

---

<sup>8</sup> Consórcio diamante. Siemens Rail. **AR3850 - RELATÓRIO TÉCNICO – ENDEREÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS NA LINHA 8**. Revisão 3, São Paulo, RT-S-08-99-99-0599/6-Y00-005, 2015.

#### 4 Rede em Anel

A rede utilizada pela RPS é uma Rede em Anel, na qual cada nó está conectado mediante um dispositivo Switch de forma que o todo site tenha duas saídas, a lado leste e lado oeste, ambas conectadas com o anterior e próximo site.

No final, os sites de Itapevi e CCO Brás são interconectados fechando o anel. A informação circula no interior dele, formando uma série de enlaces ponto a ponto entre os Switchs.

A interligação entre as localidades é feita com endereços específicos em camada 2, levando ao uso de roteadores. Os Switchs estão programados para assumirem a função de roteamento. Caso contrário, fica impossível para a comunicação ocorrer entre os sites.

Consequentemente, os congestionamentos na rede ficam restritos ao site que estão, tornando esse, também, obrigatório no uso de um protocolo de roteamento, seja estático, seja dinâmico.

A figura 8 demonstra a rede da sinalização em Anel:

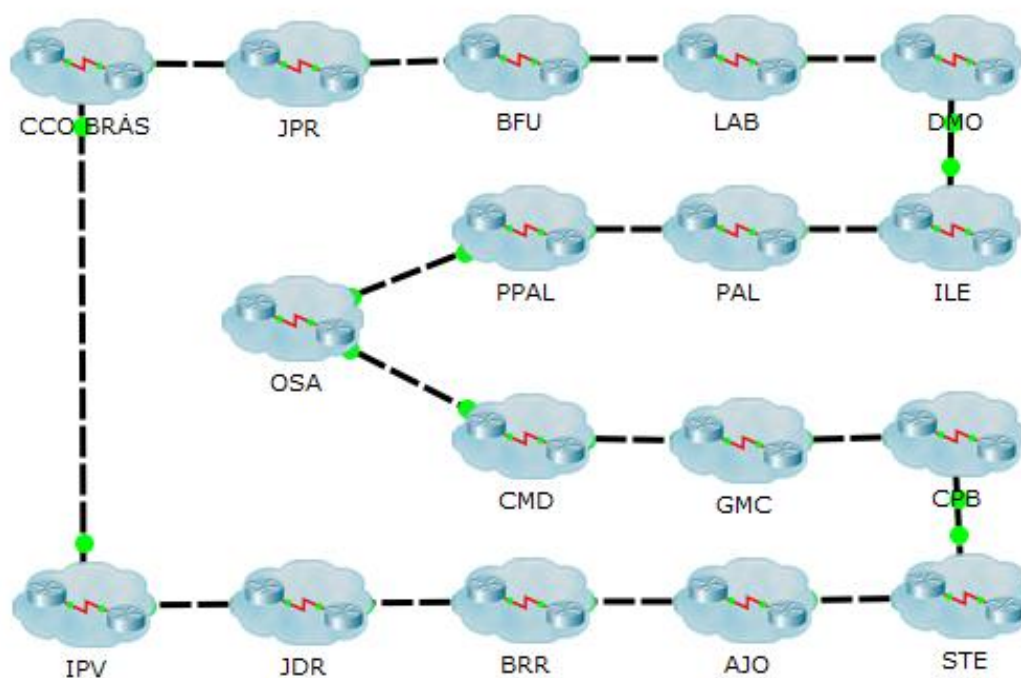


Figura 8: Arquitetura de rede em Anel.

Em cada localidade existe um Switch que concentra os equipamentos do local com duas portas de 1Gbps, interconectadas ao site anterior e posterior à localidade. Para ligação física, essa arquitetura requisita dois pares de fibras ópticas lançadas do CCO até Itapevi. Dessa maneira, o Anel apresenta duas rotas entre todos os sites.

O protocolo utilizado pela rede para roteamento é o Enhanced Interior Gateway Routing, EIGRP, uma versão superior do Interior Gateway Routing Protocol, IGRP. Ambos os protocolos são desenvolvidos pela Cisco<sup>9</sup>.

A partir de uma tabela de rotas e endereços, o EIGRP encaminha os pacotes de acordo com uma métrica. A métrica envolve parâmetros, como largura de banda, atraso, confiabilidade, carga e MTU. A forma como a métrica se comportará pode ser decidida pelo usuário, no nosso caso essa obedece ao conjunto de métricas do caminho mais rápido. O EIGRP envia apenas atualizações parciais das suas tabelas de rotas quando há uma alteração de rota e os enlaces são mantidos sob vigilância, determinando quais caminhos foram perdidos quando os enlaces são desativados, disparando rotinas para manter o acesso a todas as redes mapeadas<sup>10</sup>.

O EIGRP mantém uma cópia das tabelas de roteamento de seus vizinhos em eventos quando uma rota não é encontrada, disparando uma consulta para outros roteadores, que é propagado até que uma rota seja resolvida<sup>11</sup>.

O protocolo EIGRP da Cisco pode ser encontrado em: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html#intro>.<sup>12</sup>

---

<sup>9</sup> Expósito, J., Trujillo, V., Gamess, E.: **Easy-EIGRP: A Didactic Application for Teaching and Learning of the Enhanced Interior Gateway Routing Protocol**, Caracas (VEN),. Pág 1.

<sup>10</sup> Thorenoor, Sheela Ganesh: **Dynamic Routing Protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on Technical Background Using OPNET Modeler**. Bangalore (IND)

<sup>11</sup> Thorenoor, Sheela Ganesh: **Dynamic Routing Protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on Technical Background Using OPNET Modeler**. Bangalore (IND)

<sup>12</sup> Cisco. **Enhanced Interior Gateway Routing Protocol**. ID 16406, Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html#intro>. Acesso em: 27 março 2016

#### 4.1 Endereçamento IP das redes

A Rede em Anel, tem uma tabela de endereços particular, cada localidade tem uma rede própria. Assim como os endereços entre as localidades também possuem uma rede particular de dois endereços. A Figura 11 apresenta os sites com seus devido IPs:

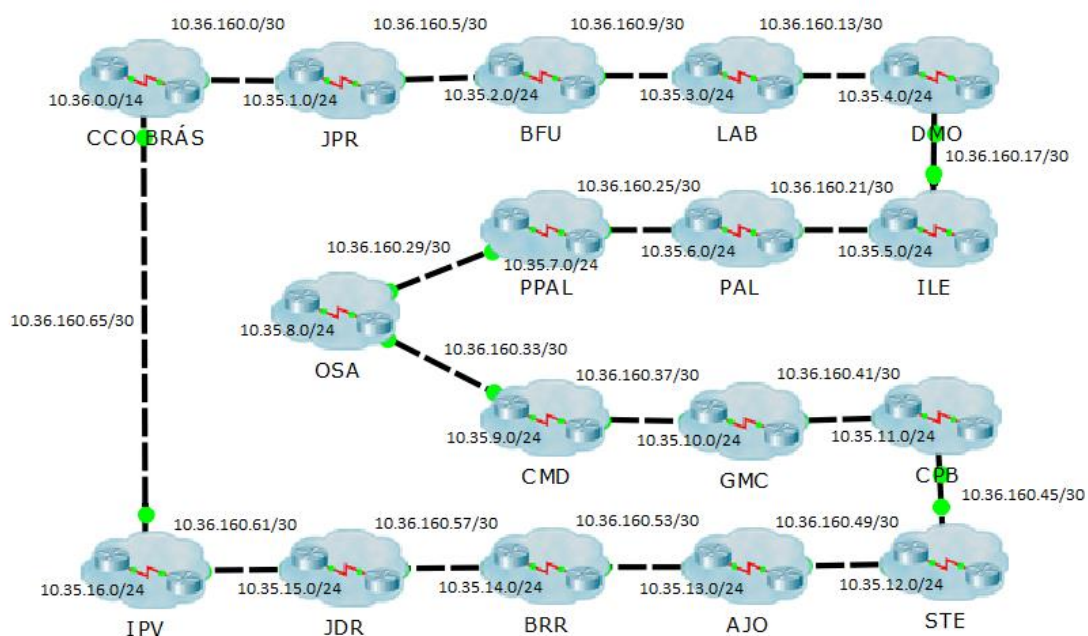


Figura 9: Arquitetura em Anel com os respectivos IP's

Nessa configuração, os Switchs assumem papéis normalmente utilizados por roteadores, para que a comunicação entre os Mains, VOC e o CCO possa ocorrer. A tabela com os respectivos endereços das redes em Anel, Barramento e Estrela de cada equipamento estão no anexo I.

## 5 Velocidade teórica das redes

A velocidade de resposta teórica das redes é calculada a partir do tempo de transporte dos pacotes da rede somado ao tempo de roteamento do Switch. O tempo de transporte total em conexões (TT) é igual ao tempo de transportes dos enlaces envolvidos (Ts) somado ao tempo de roteamento dos Switchs envolvidos.

Para facilitar os cálculos, os efeitos de aglomeração de pacotes terão tratativas lineares. Dessa forma, as curvas calculadas não mostrarão efeitos tipo dente de serra, mas apresentarão valores próximos.

O tempo de transportes dos enlaces envolvidos (Ts) é igual ao tamanho do arquivo ou do pacote dividido pela largura de banda do canal entre as portas dos equipamentos e os Switches. Representando o tempo que leva entre as portas Ethernet de dois equipamentos, a partir do momento que é entregue na camada de transporte do equipamento. Para efeito de cálculo e simulação, será desprezado o efeito do desempenho do hardware, uma situação em que não importa a velocidade da rede, os próprios componentes clientes não têm capacidade de lidar com o volume de dados e o desempenho da rede não pode ser alcançado. Também serão simplificados os modelos de entradas de dados com relação às entradas estatísticas da rede.

O tempo de roteamento do Switch (RT) é igual ao inverso do roteamento máximo de pacotes por segundo do equipamento, o que representa o tempo que o Switch leva no processo de encaminhamento dos pacotes.

São calculados três valores básicos para todas as redes, que são: tempo de propagação do pacote Ping; tempo de propagação dos arquivos 1,12MB e tempo de propagação dos arquivos 2,24MB<sup>13</sup>. Em sequência, eles foram somados usando a mesma lógica de testes do capítulo 8 e a arquitetura das redes do capítulo 4. A planilha com os resultados esperados está presente no anexo III.

---

<sup>13</sup> Bradner, S. and McQuaid, J.: **RFC:2544, Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices**. IETF (USA)

## 5.1 Cálculo de tempos mínimos de propagação

Abaixo, a Figura 12 demonstra os tempos de propagação de um pacote Ping entre VOC e Main para a região da Barra Funda:

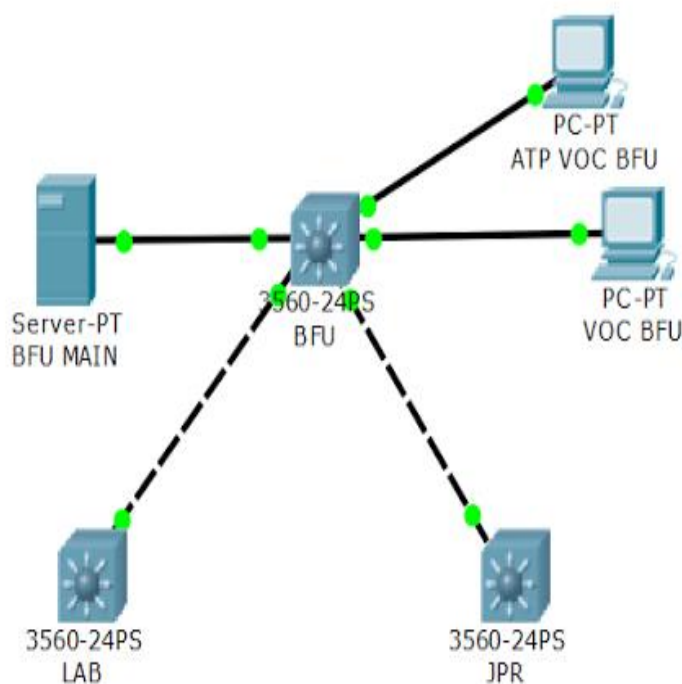


Figura 10: Interligação entre VOC e Main de BFU

Um pacote de Ping encaminhado de VOC BFU para BFU Main passa pela seguinte rota: primeiro, enlace entre VOC BFU e BFU SW a uma velocidade de 100 Mbps, deste tempo propagação temos o primeiro “ts”, o ts1. Em seguida, ao estar presente no Switch BFU, esse o encaminha para o segundo enlace, entre o Switch BFU e o BFU Main, aqui temos a parcela do RT. No segundo enlace, o pacote será transmitido, agora, entre Switch BFU e BFU Main e chamamos de ts 2.

Resultando, então, na somatória abaixo:

$$TT[VOC BFU >BFU MAIN]=ts1+RT+ts2 \quad (1)$$

A próxima figura mostra a comunicação entre VOC e Main para Júlio Prestes.

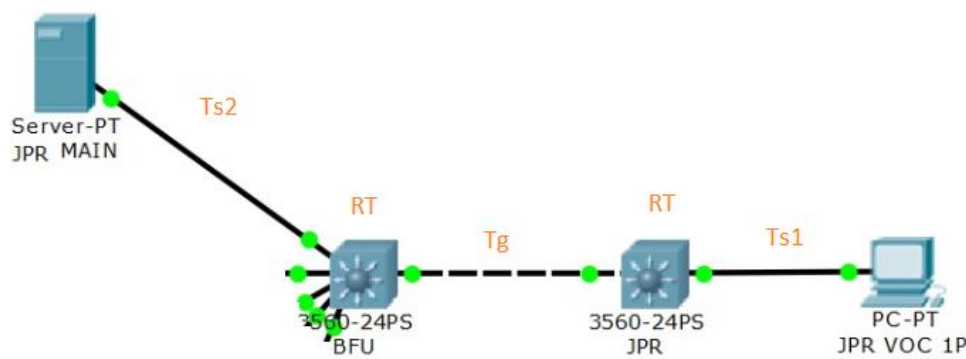


Figura 11: Interligação entre VOC e Main de JPR

Podemos aplicar a equação anterior e nota-se que serão incluídas novas variáveis de RT e TG na equação.

$$TT[VOC JPR > JPR MAIN] = ts1 + RT + ts2 + TG + RT. (2)$$

Seguindo para o próximo site, temos a seguinte arquitetura:

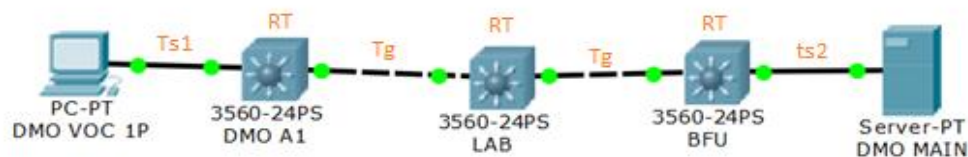


Figura 12: Interligação entre VOC e Main de DMO

Descrevendo essa nova conexão temos que:

$$TT[VOC DMO > DMO MAIN] = ts1 + RT + ts2 + TG + RT + TG + RT. (3)$$

Logo, colocando os termos TG e RT em função da adição de links gigabit e switches temos a equação final abaixo:

$$TT[VOC X > X MAIN] = ts1 + RT + ts2 + N * (TG + RT) (4)$$

Onde  $ts1 = ts2$  = tempo de propagação do pacote em interfaces 100 Mbps.

RT = tempo de roteamento do Switch.

TG = Tempo de propagação do pacote em interfaces 1000Mbps.

N = Número de switches pertencentes à transmissão subtraído de 1.

Para cálculo completo do efeito de Ping, pergunta e resposta, é necessário multiplicar a formula por 2.

Então temos:

$$TT[VOC X > X MAIN]=2*[ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)] \quad (5)$$

## 5.2 Cálculos das variáveis Ts1, Ts2, RT e Tg

As variáveis de tempo são calculadas para três instâncias diferentes: pacotes de 144 Bytes do tipo Ping; transmissão de 1,12MB e transmissão de 2,24 Mb.

Para pacote Ping:

$$Ts1[144]=144/(100/8)M \quad (6)$$

$$Ts1[144]= 11,6\mu s$$

Para os cálculos dos pacotes Ts1 e Tg nos pacotes maiores é necessário corrigir o tempo de propagação, devido à subdivisão em pacotes menores. Neste cálculo, o protocolo FTP encapsulará arquivos de 1,12MB e 2,24MB em pacotes de 1500 Bytes, com efetivo de 1450 Bytes por pacote.

Desta forma, a divisão dos arquivos em pacotes de 1500 bytes significa um aumento de 3,33% no tamanho. Resultando numa variação de 3,33% nos tempos de propagação:

$$Ts1[1,12M]=1,12MB/(100/8)*1,033$$

$$Ts1[1,12M]=92,59ms$$

$$Tg[1,12M]=1,12MB/(1000/8)*1,033$$

$$Tg[1,12M]=9,25ms$$

$$Ts1[2,24M]=2,24MB/(100/8)*1,033$$

$$Ts1[2,24M]=185,17ms$$

$$Tg[2,24M]=2,24MB/(1000/8)*1,033$$

$$Tg[2,24M]= 18,51ms$$

Convém observar que 1,12 MB e 2,24 MB devem ser convertidos para bytes, levando em consideração que nesse caso o valor das constantes K, M e G é de 1024 e não 1000.

Para o cálculo de RT é usada a seguinte formula:

$$RT = 1 / \text{Capacidade de roteamento. (7)}$$

Logo temos que, aplicando na equação:

$$RT = 1/38,7\text{Mbps} = 0.025\mu\text{s}$$

O valor de RT também é corrigido devido à quantidade de pacotes, sendo que:

$$RT2 = RT * n$$

Onde n é igual a quantidade de pacotes:

$$n[1,12] = 1,12 \text{ MB} / 1450 = 810$$

$$n[2,24] = 2,24 \text{ MB} / 1450 = 1620$$

$$RT2[1,12] = RT * n = 810 * 25\text{ps} = 20,93\mu\text{s}$$

$$RT2[2,14] = RT * n = 1620 * 25\text{ps} = 41,86\mu\text{s}$$

A partir da aplicação da fórmula 1 com as constantes requisitadas para cada tipo de transmissão temos uma forma que pode ser aplicada em todas as situações da rede.

### 5.3 Rede Anel

Todos os cálculos deste capítulo partem da equação 4.

Situação 1: VOC e Main no mesmo Switch, caso dos sites de BFU, OSA, CPB e IPV e o N será igual a zero.

Pacotes 144 Bytes:

$$TT[\text{VOC BFU} > \text{BFU MAIN}] = 2 * [ts1 + RT + ts2 + N * (TG + RT)]$$

$$TT[\text{VOC BFU} > \text{BFU}$$

$$\text{MAIN}] = 2 * [11,52\mu\text{s} + 25,84\text{ps} + 11,52\mu\text{s} + 0 * (1,15\mu\text{s} + 25,84\text{ps})]$$

$$TT[VOC\ BFU] = 46,13us$$

Arquivos 1,12 MB:

$$TT[VOC\ BFU > BFU\ MAIN]=ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)$$

$$TT[VOC\ BFU > BFU\ MAIN]=$$

$$92,58ms+20,93us+92,58ms+0*(9,25ms+20,93us)$$

$$TT[VOC\ BFU] = 185,19ms$$

Arquivos 2,24 MB:

$$TT[VOC\ BFU > BFU\ MAIN]=ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)$$

$$TT[VOC\ BFU > BFU\ MAIN]=$$

$$185,72ms+41,86us+185,72ms+0*(18,55ms+41,86us)$$

$$TT[VOC\ BFU] = 370,39ms$$

Situação 2: VOC e Main em estações diferentes do mesmo domínio. O valor de N varia de 1 a 3, sendo que os sites de JPR, LAB, STE, GMC E STE são sites com N igual a 1. Os sites de BRU, CSA, PAL e DMO têm N igual a 2 e os sites ILE e AJO têm N igual a 3.

Pacotes 144 Bytes:

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]=ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)$$

$$TT[VOC\ JPR > JPR$$

$$MAIN]=2*[11,52us+25,84ps+11,52us+1*(1,15us+25,84ps)]$$

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]= 48,49us$$

Arquivos 1,12 MB:

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]=ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)$$

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]=$$

$$92,58ms+20,93us+92,58ms+1*(9,25ms+20,93us)$$

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]= 194,37ms$$

Arquivos 2,24 MB:

$$TT[VOC\ JPR > JPR\ MAIN]=ts1+RT+ts2+N*(TG+RT)$$

$$\begin{aligned}
 TT[VOC JPR > JPR MAIN] &= \\
 185,72ms + 41,86us + 185,72ms + 1 * (18,55ms + 41,86us) \\
 TT[VOC JPR > JPR MAIN] &= 388,95ms
 \end{aligned}$$

Situação 3: Main se comunicando com o servidor no CCO.

Nesse caso, o Valor de N assume quatro valores específicos de acordo com a disposição no anel da rede. Sendo assim, N é igual a 1 para quarto domínio. É igual a 2 para o primeiro domínio. Assume valor de 6 para o terceiro domínio. Por último, o valor de 8 para o segundo domínio. Como exemplo, segue o cálculo de IPV no quarto domínio.

Pacotes 144 Bytes:

$$\begin{aligned}
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= ts1 + RT + ts2 + N * (TG + RT) \\
 TT[MAIN IPV > CCO \\
 SV] &= 2 * [11,52us + 25,84ps + 11,52us + 1 * (1,15us + 25,84ps)] \\
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= 48,49us
 \end{aligned}$$

Arquivos 1,12 MB:

$$\begin{aligned}
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= ts1 + RT + ts2 + N * (TG + RT) \\
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= \\
 92,58ms + 20,93us + 92,58ms + 1 * (9,25ms + 20,93us) \\
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= 194,47ms
 \end{aligned}$$

Arquivos 2,24 MB:

$$\begin{aligned}
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= ts1 + RT + ts2 + N * (TG + RT) \\
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= \\
 185,72ms + 41,86us + 185,72ms + 1 * (18,55ms + 41,86us) \\
 TT[MAIN IPV > CCO SV] &= 388,95ms
 \end{aligned}$$

#### **5.4 Tabela de simulação**

No intuito de descobrir como as redes se comportariam, foi realizada uma somatória dos tempos de propagação de acordo com a metodologia utilizada nos testes. Ou seja, seguindo a mesma ordem da simulação, os valores de propagação encontrados anteriormente foram somados respeitando características como:

Os VOC acessam de forma crescente os Mains, fazendo com que a capacidade de transmissão seja dividida igualmente entre os VOCs. Dessa maneira, quando o VOC BFU se comunica com seu Main, o tempo de comunicação para 1,12 MB é de 185 ms. Quando o VOC BFU e VOC ATP BFU se comunicam com o Main o tempo de comunicação para o mesmo arquivo é de 354ms. Essa característica foi considerada para a comunicação do Mains com o CCO também.

A comunicação entre os VOCs de um determinado Main não interfere no Main vizinho, devido à comutação rápida do Switch e a comunicações de circuitos dele. A partir dessas regras foram criadas as tabelas no anexo III.

## 6 Simulação

### 6.1 Software

A simulação da rede de dados foi realizada pelo software Cisco Packet Tracer, de fornecimento gratuito em licenças para estudantes. Esse apresenta um ambiente que simula equipamentos de rede, terminais PC e sistemas servidores dos padrões mais comuns em rede IPs<sup>14</sup>.

O software apresenta modelos dos Switchs iguais aos reais, o Cisco 3650, sistema de programação, plataforma Windows que o permite ser usado com maior facilidade e em um número maior de equipamentos. Dessa forma foi escolhido para uso dos testes.

Para simular os hardwares e softwares dedicados de sinalização, as redes foram construídas usando computadores como substitutos dos Componentes Main, VOC e VOC ATP. Podendo-se testar o tempo de resposta das redes.

Uma função interessante que será essencial para simular as condições mais intensas de tráfego na rede é a capacidade do software de controlar o tempo de simulação. Permitindo colocar todos os pacotes em um mesmo instante de tempo, evidenciando a capacidade dos Switchs de manejar a informação e permitindo carregar a rede com maior facilidade.

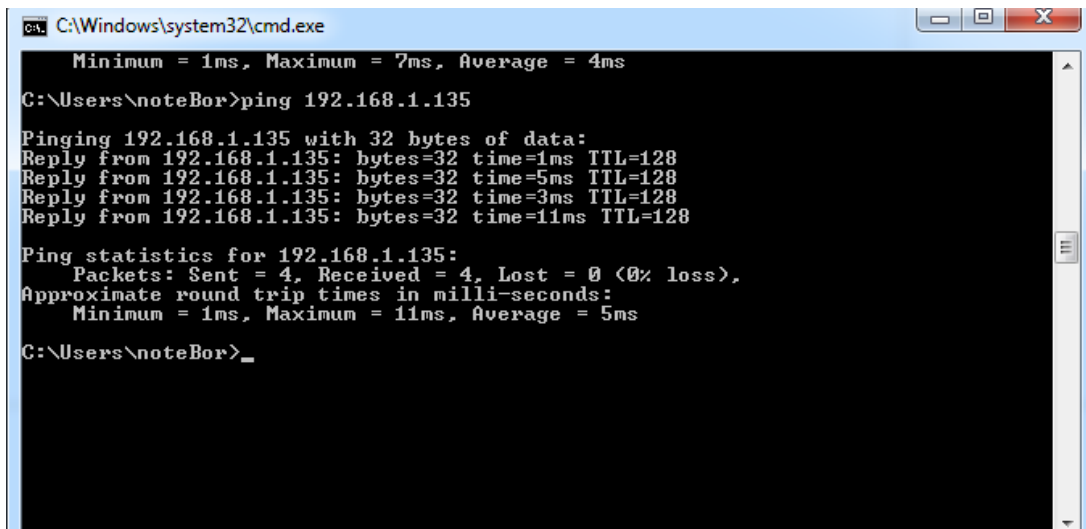
A partir dos computadores VOC e VOC ATP é executado um comando de requisição de resposta “Ping” para os computadores Main. Ao receber esses comandos, os computadores Main respondem o comando com uma mensagem de estar ativo, o tempo que tal troca de mensagens leva dos computadores originais até os computadores Main contabilizando a volta é o tempo de atraso da rede.

O tráfego normal entre esses componentes é pequeno, então, será usado o pacote de Ping razoavelmente maior que o padrão, de 144 Bytes. Por escolha dos fornecedores do aplicativo, é possível gerar pacotes menores, mas

---

<sup>14</sup> Disponível em: <http://.blogspot.com.br/2015/02/lancamento-do-cisco-packet-tracer-62.html>.

a forma de contabilização deles é mais difícil e tem que ser feita manualmente. Segue exemplo do comando Ping, utilizado para encontrar o um computador em uma rede doméstica:



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Minimum = 1ms, Maximum = 7ms, Average = 4ms
C:\Users\noteBor>ping 192.168.1.135
Pinging 192.168.1.135 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.1.135: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.135: bytes=32 time=5ms TTL=128
Reply from 192.168.1.135: bytes=32 time=3ms TTL=128
Reply from 192.168.1.135: bytes=32 time=11ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.1.135:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 11ms, Average = 5ms
C:\Users\noteBor>_

```

Figura 13: Tela de captura do comando Ping

Após esse teste, será realizado outro de saturação com os arquivos 1,12MB e 2,24MB a partir do protocolo FTP. Desse, foi criado, pelo editor de texto disponível nos computadores do software, dois arquivos: um com 1,12MB e um segundo com 2,24MB. A partir desse ponto, eles foram copiados para todos os Mains, VOCS, VOC ATP e servidor do CCO.

Os testes consistem em realizar o download e upload dos arquivos com um site e inserir demais sites em subsequência. Sendo, então, três tipos de testes: Ping; arquivo 1,12MB; arquivo 2,24 MB. Eles serão organizados como descrito capítulos seguintes e realizados nos quatro sites dos segundo domínio. Para cada teste feito são geradas 20 amostras, em que será feita uma média simples nos valores finais.

## 6.2 Testes entre VOC e Main

No primeiro momento, realizamos o teste de forma progressiva, iniciando pelo centro do segundo domínio, perfazendo a comunicação entre o VOC e

VOC ATP para o Main de cada domínio. Inserindo equipamento por equipamento até completar todos do mesmo domínio. Em seguida é alterado o site principal e as simulações são refeitas.

Os resultados dos valores de tempo de transmissão e recepção dos arquivos coletados estão apresentados no anexo IV. Este processo foi repetido para os outros três domínios da linha 08, na seguinte ordem:

Domínio 2 - OSA

1. VOC OSA, VOC 2 OSA e VOC ATP OSA;
2. VOC PAL, VOC 2 PAL e VOC ATP PAL;
3. VOC ILE, VOC 2 ILE e VOC ATP ILE.

## 7 Resultados dos testes e simulações

A apresentação dos gráficos com resultados das simulações segue a seguinte ordem para a rede em anel;

- Site de Osasco.
- Site de Presidente Altino;
- Site de Imperatriz Leopoldina;
- Site do Pátio de Presidente Altino.

Cada subtítulo apresenta os resultados para os quatros sites do segundo domínio nas comunicações VOC para Main.

As simulações são encontradas em dois gráficos, sendo que o primeiro trata do tempo de propagação dos pacotes de Ping e o segundo demonstra o tempo de propagação dos arquivos de 1,12MB e 2,24MB.

No eixo vertical estará o valor do tempo total de propagação, em segundos ou milissegundos (de acordo com a legenda do gráfico), já no eixo horizontal ficarão os equipamentos que fazem parte do teste.

Para interpretação do teste, o primeiro equipamento apresentando no eixo X representa o centro do teste. Esse é o equipamento em que se inicia o teste. Em seguida, é adicionado o próximo equipamento na linha do eixo X, resultando, então, no teste em que os dois equipamentos ficam em paralelo.

A cada novo teste é inserido mais um novo equipamento na rede em paralelo, com os testados anteriormente, até esgotarem os componentes de cada domínio para os testes de VOC para Main.

As curvas apresentadas são sempre do primeiro equipamento do gráfico, comparando com a influência dos demais equipamentos da rede. Para visualizar o comportamento dos outros equipamentos de rede, é necessário consultar o Anexo IV.

## 7.1 Site de Osasco

O gráfico 4 demonstra os resultados obtidos na simulação da Rede em Anel no segundo domínio para o site da Osasco. Nele, está apresentada a curva de tempo simulada e calculada para os tempos de resposta do OSA VOC, conforme os demais componentes do domínio são adicionados ao teste.

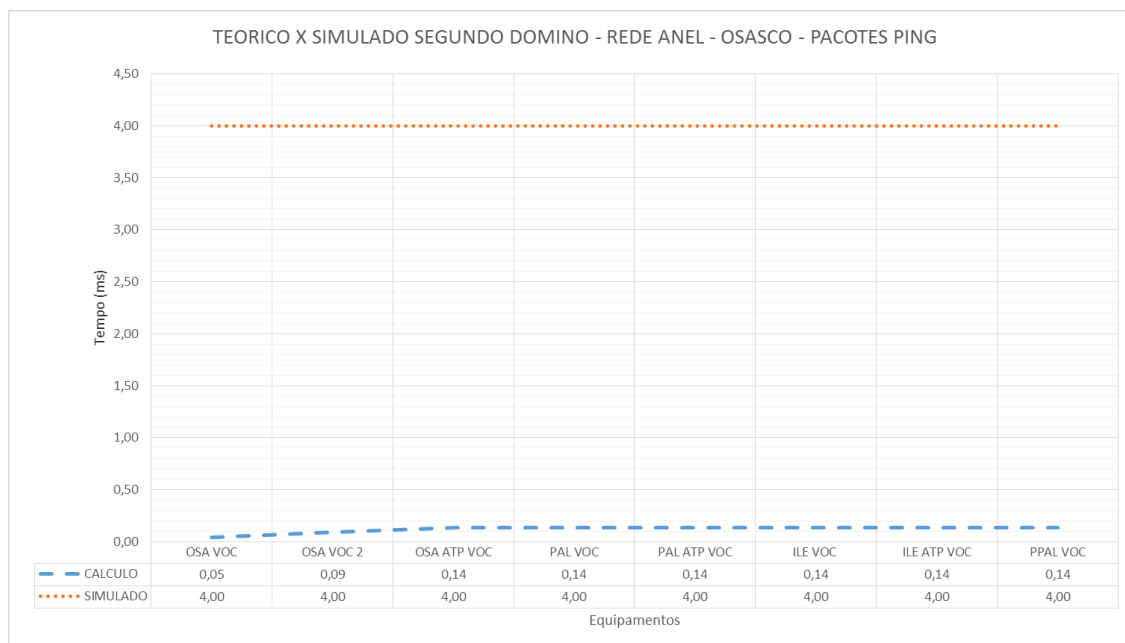


Gráfico 4: Teórico x Simulado – Rede em Anel – Osasco – Pacotes Ping

Verificamos que os valores calculados estão distantes do simulado no programa, cerca de cem vezes. Isso ocorre, porque em cada trecho da comunicação o software arredonda todo valor menor que 1ms para 1ms. Por exemplo, do VOC para o Main OSA temos um caminho do VOC OSA até o Switch OSA (1ms), do Switch OSA para Main OSA (1ms). Considerando o percurso de retorno, por se tratar de um pacote Ping, resulta em 4ms. Já o valor calculado no capítulo anterior é de 46us.

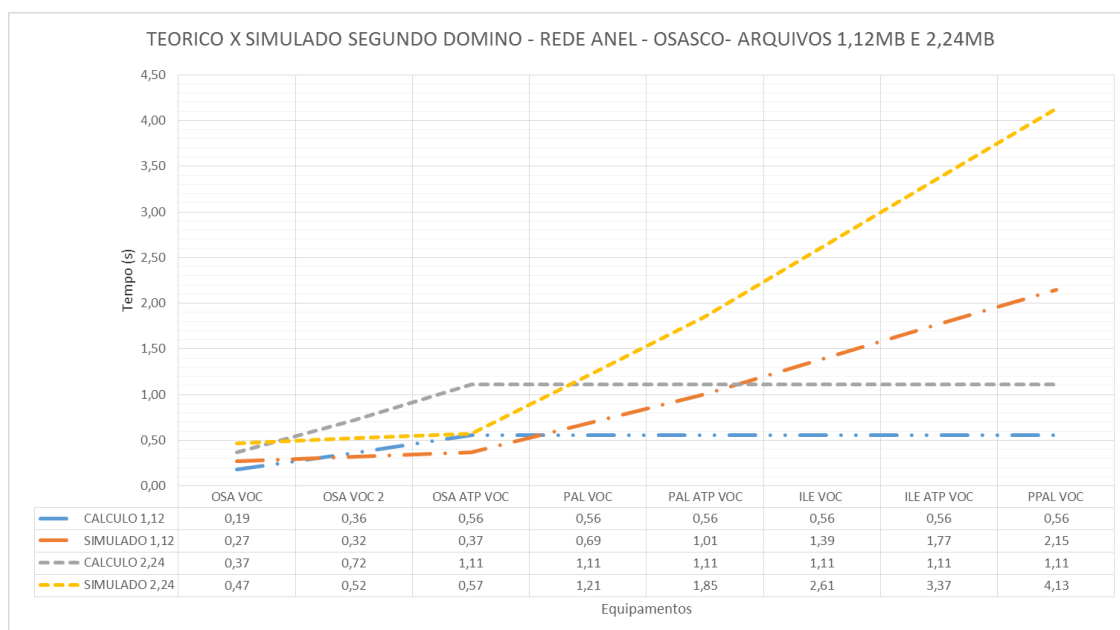


Gráfico 5: Teórico x Simulado – Rede em Anel – Osasco – Arquivos 1,12MB e 2,24MB

O gráfico 5 mostra uma constante linear que aumenta proporcionalmente com relação ao aumento de carga e hosts, fica claro também que desde que estejamos com um site só, os resultados são mais próximos do esperado.

## 7.2 Site de Presidente Altino

O gráfico 8, logo abaixo, demonstra os pacotes Ping em com presidente Altino sendo o centro da simulação, porem fica notado que o resultado em Ping é o dobro do de Osasco. Resultado direto dos maiores enlaces disponíveis entre o site de Presidente Altino e Osasco.

As mesmas características anteriores, como os resultados muito maiores que os esperados e a invariabilidade dos resultados, recorrente a forma que o software simula estão presentes.

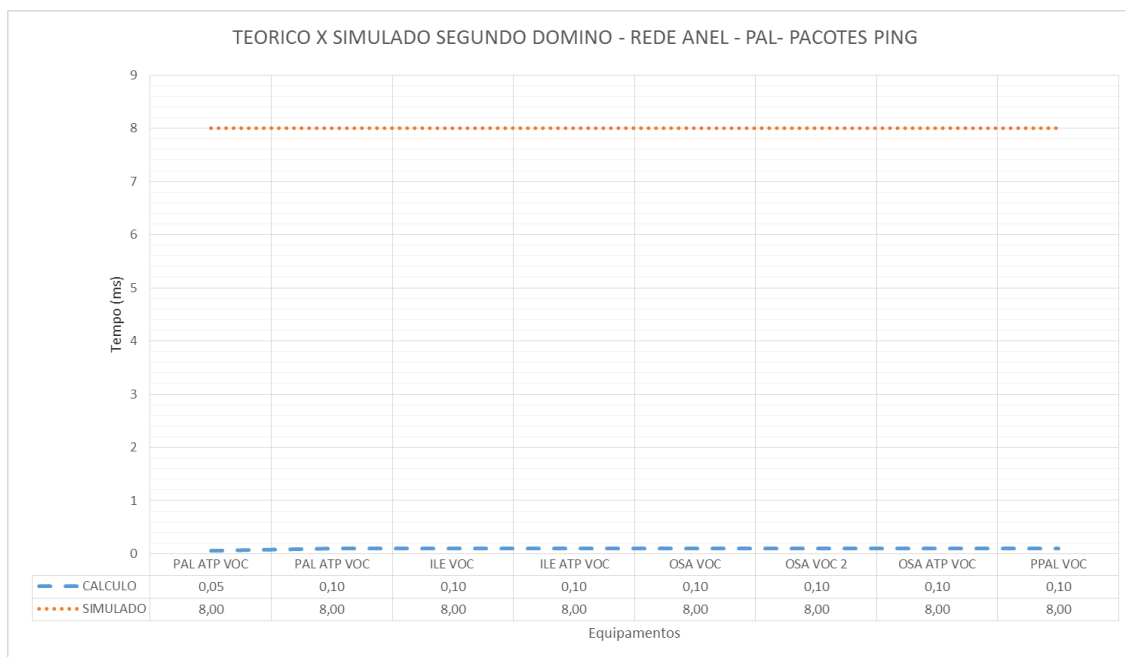


Gráfico 6: Teórico x Simulado – Rede em Anel – PAL – Pacotes Ping

O gráfico 7 apresenta a curva de resposta no tempo dos testes, sendo realizado no site de Presidente Altino, semelhante ao mostrado por sites com vizinhos que se comunicam sobre ele. A forma matemática de arredondamento para um milissegundo de passo impede velocidades maiores gerando tráfego e aqui demonstra-se que, o acesso ao próximo site, Osasco aonde se encontra o Main de Presidente Altino, é somado no tempo de propagação do sistema.

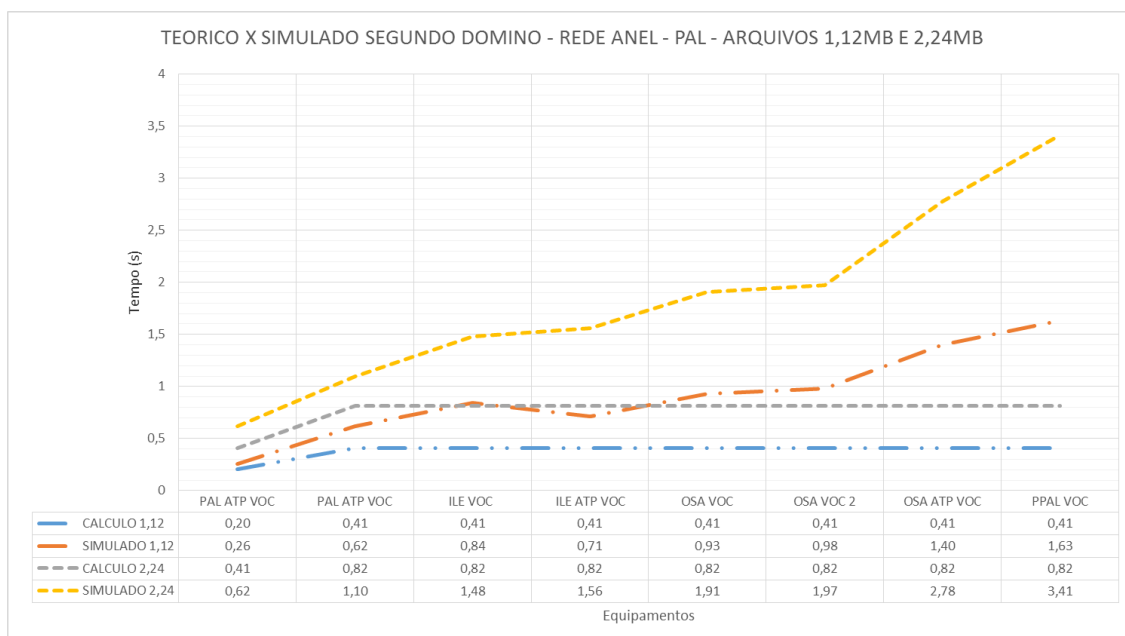


Gráfico 7 teórico x simulado – Rede em Anel – PAL – Arquivos 1,12MB e 2,24MB

### 7.3 Site de Imperatriz Leopoldina

Os gráficos 8 e 9 ilustram a simulação realizada no site de Imperatriz Leopoldina, uma das pontas deste domínio, as características visualizadas pelo Simulador continuam sendo as mesmas, o arredondamento para cima nos pacotes Ping, e o atraso exagerado de nos arquivos maiores quando dois ou mais computadores falam.

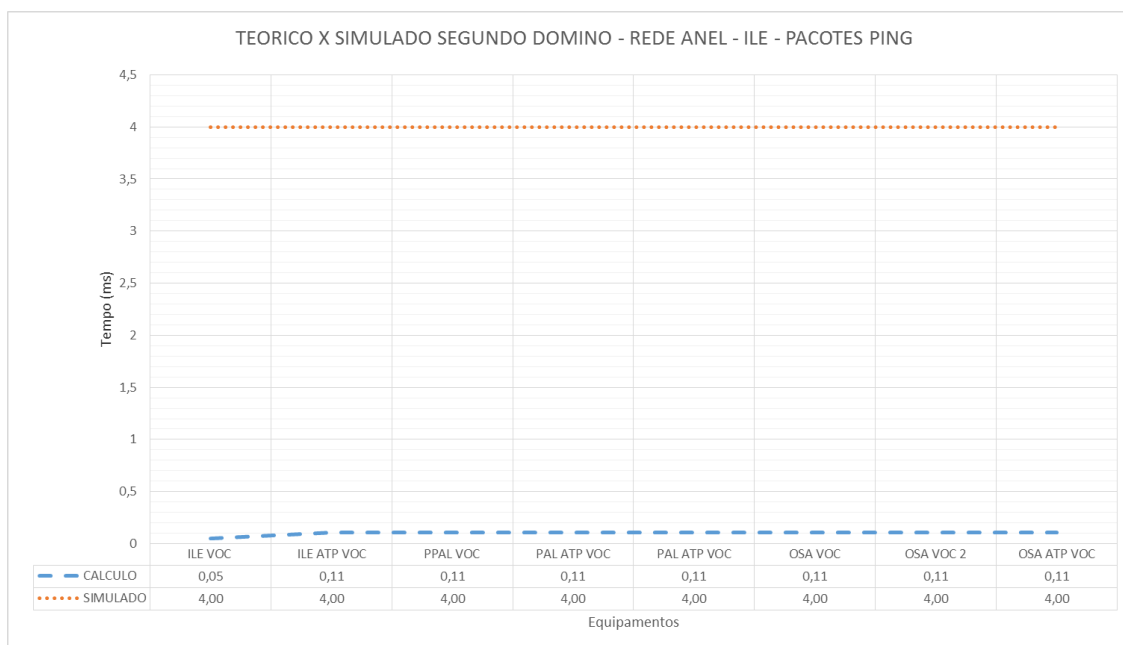


Gráfico 8: Teórico x Simulado – Rede em Anel – ILE – Pacotes Ping

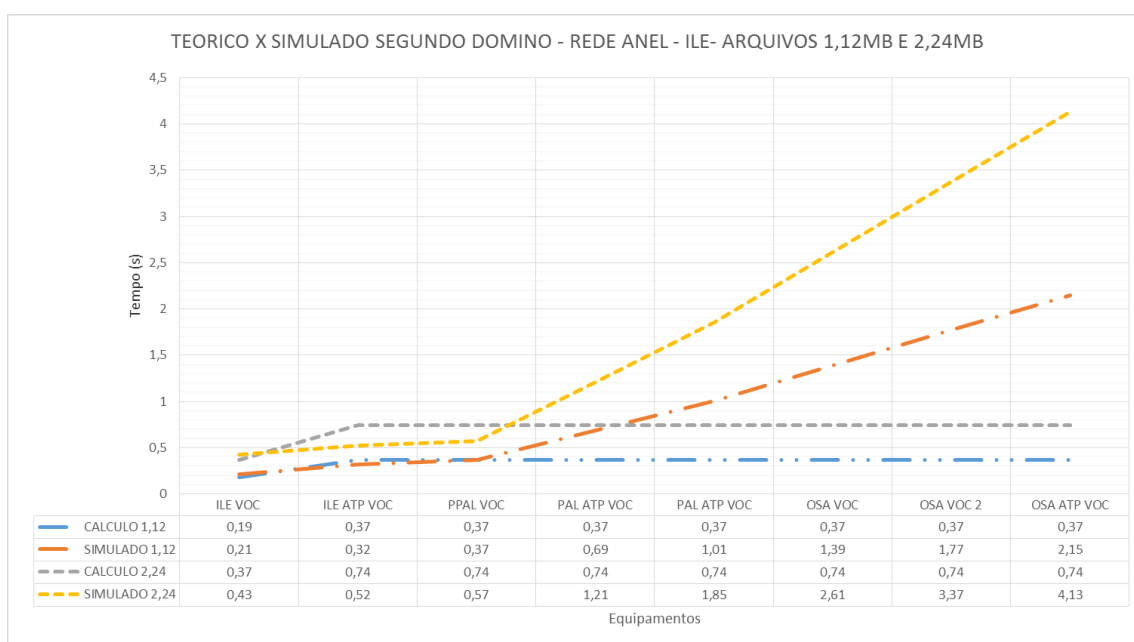


Gráfico 9: Teórico x Simulado – Rede em Anel – ILE – Arquivos 1,12MB e 2,24MB

Neste caso em particular, fica caracterizada na curva de respostas, o site de Pátio de Presidente Altino mostra pouca ou nenhuma influência na resposta para Imperatriz Leopoldina.

#### 7.4 Site do Pátio de Presidente Altino

O pátio de presidente Altino é o site mais pitoresco, sendo que poucas informações são externadas dele, mesmo assim os efeitos do método de cálculo do simulador ficam mais evidente sendo que o esperado era que a comunicação externa se impacta no interior, já que o mesmo impacta pouco na comunicação exterior como mostrado no capítulo anterior.

O Gráfico 10 expressa o tempo de resposta dos pacotes Ping, com as mesmas características visualizadas no site de Osasco, devido a Main deste site ser o único centralizado no próprio local.

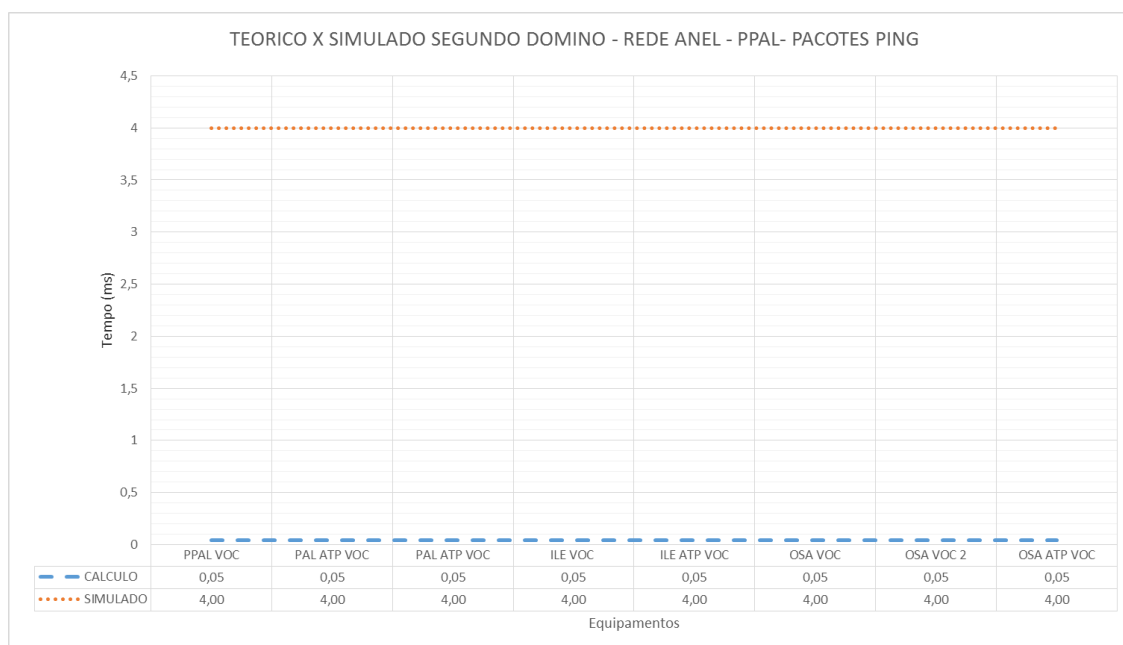


Gráfico 10: Teórico x Simulado – Rede em Anel – PPAL – Pacotes Ping

O gráfico 11 apresenta a curva de resposta para Pátio de presidente Altino, nota-se que ele é drasticamente influenciado pelas demais

comunicações. Sendo recorrente do processamento dos pacotes de 1ms, o Switch de Ppal acaba atrasando os pacotes internos.

Essa situação somente ocorre em pátio Ppal, sendo resultado da combinação de dois fatores, a interface 1 Gbps com o aglomerado de pacotes de 1ms, desta forma eles bloqueiam o site resultando nesse comportamento.

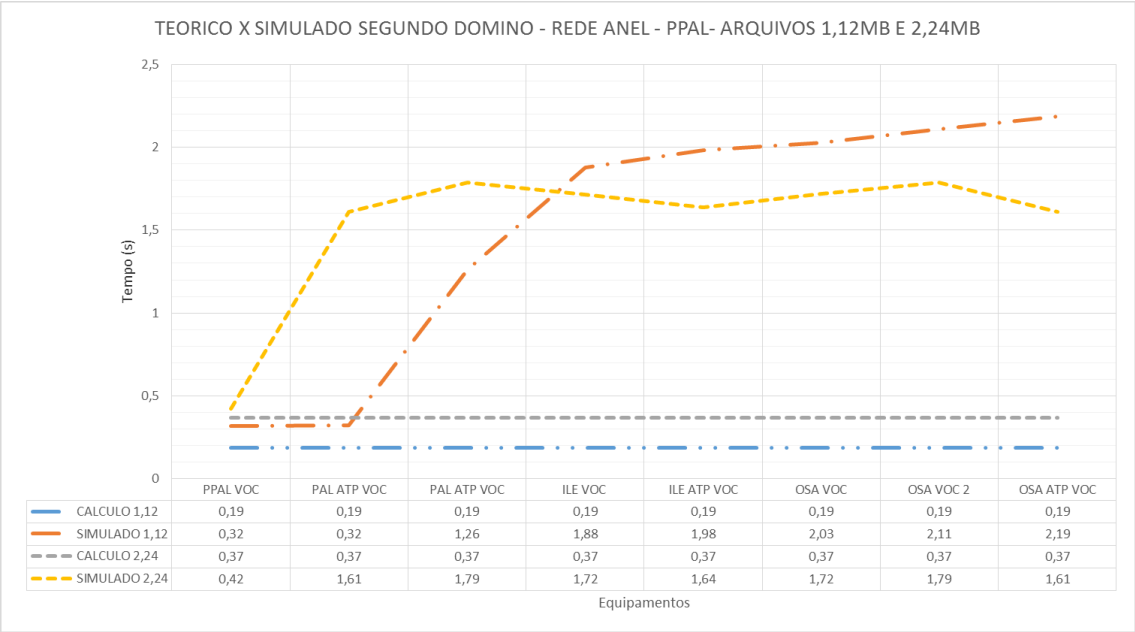


Gráfico 11: Teórico x Simulado – Rede em Anel – PPAL – Arquivos 1,12MB e 2,24MB

## **8 Resultados e considerações finais**

### **8.1 Cisco Packet Tracer**

A documentação do software Cisco Packet Tracer 6.2V descreve o programa como um simulador em tempo real<sup>15</sup>. Levando a entender que sua metodologia de simulação permite obter resultados próximos aos reais era esperado valores até 25% fora do calculado.

Em alguns casos, encontramos grandes divergências entre os valores, sendo que a tendência de aumento acontece conforme o número de host ao usar a rede no mesmo momento. O problema inicialmente cogitado seria que o modelo usado nos Switches seria incapaz de rotear os pacotes de uma rede para outra na velocidade correta. Possibilidade essa descartada pelo comportamento da Rede em Barramento, que não realiza roteamento entre redes diferentes.

Portanto, foi notado que o tempo para encaminhar as mensagens de dois hosts diferentes para um servidor dobrava. Porém, de maneira estranha, a mensagem entre quatro hosts diferentes e dois servidores - o dobro da primeira configuração - mostra um atraso. Como se os quatro hosts tivessem um só servidor. O que quer dizer que parecia que somente existia um único canal.

Como os Switches são projetados para estabelecerem conexões entre suas portas em paralelo, ganhando assim muita velocidade, se comparados com antigos hubs, que são incapazes disso, supomos que o canal Gigabit poderia estar incorretamente programado. Ou, que por questão de usar o símbolo de cabeamento metálico, seria considerado como um cabo de Cat 5 incapaz dessa velocidade.

Para eliminar a possibilidade de programação indevida dos equipamentos, foi montada uma rede pequena entre dois hosts em Gigabit, utilizando, dessa vez, fibra óptica para atingir taxas dez vezes superiores a encontrada.

A nova taxa de transmissão foi rigorosamente igual à encontrada nas redes de 100 Mbps. Modificando a velocidade das interfaces dos hosts para 10 Mbps, dez vezes mais lento que o atual. Em uma rede que leva 0,25 segundos

---

<sup>15</sup> Disponível em [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/training-events/netacad/course\\_catalog/docs/Cisco\\_PacketTracer\\_DS.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/training-events/netacad/course_catalog/docs/Cisco_PacketTracer_DS.pdf)

na transferência de arquivos de 1,12MB, o valor esperado mínimo era de 2,5 segundos. Qualquer pessoa que já tenha tentado usar uma rede de 10Mbps conhece a lentidão que tal situação representa aos padrões modernos de telecomunicações.

Sequencialmente, alterou-se ainda a fibra óptica para cabeamento e os resultados se repetiram.

Podemos chegar à conclusão, então, que o modelo matemático utilizado pela Cisco para modelar o seu simulador não leva em conta a utilização das interfaces 1Gbps ou 10 Mbps. Acabando com as condições de análise de tráfego, servindo somente para uma análise relativa para efeitos de propagação da rede, programação das interfaces e componentes. É possível encontrar resultados compatíveis em redes exclusivamente 100 Mbps dentro de padrões específicos como somente um Switch entre os hosts.

O simulador, em suma, considera a velocidade das portas somente para sincronismo entre os componentes. Em caso de velocidades serem diferentes nos hosts, a comunicação não é estabelecida, mas o tempo de propagação das informações não é computada. Um segundo ponto recortável é a precisão numérica do servidor. Quando se trata de pacotes, o simulador realiza o cálculo com base em 1ms. Da forma que um arquivo que poderia percorrer inúmeros Switchs em intervalos de tempos de milissegundos acaba desperdiçando 1ms entre todas as interfaces.

Existe uma opção no modo de simulação de “Constant Delay”, à primeira vista seria capaz de tornar esse intervalo de 1ms variável. Porém, o simulador faz saltos de 3ms a 4ms, aumentando ainda mais o valor encontrado em todos os testes. A mesma estratégia do passo de 1ms foi repetida em todos os componentes e protocolos. Na qual pudemos descobrir que em protocolos maiores, como os FTP, o programa aglomera uma série de pacotes em um pacote para ser encaminhado dentro de 1ms. Significando que, na emissão de pacotes maiores, o de 1ms contém a quantidade de pacotes que o protocolo FTP encaminharia em 1ms.

Tal construção aproxima o resultado dos pacotes FTP ao resultado real, melhor do que acontece com os pacotes pequenos. Já para os testes dentro do domínio, com dois ou três VOCs, o resultado foi próximo do calculado.

Certamente, somente foi possível testar os pacotes Ping e ter os resultados da seguinte forma: 0ms de atraso; 4ms ou valores randômicos acima de 4ms quando o “Constant Delay” é desativado.

Foi possível constatar que o Simulador oferece uma plataforma excelente para programação de redes, estudo da metodologia de programação, segregamento de tráfego, roteamento dinâmico, aprendizado sobre os protocolos das camadas 2 e 3 e entre outros. Entretanto, não é capaz de simular o que acontece nas camadas de enlace físico. O que nos leva a alguns questionamentos, como: como garantir, que usando redes IP, o funcionamento de uma rede de comunicação para sinalização ou automação de sistemas funcionará adequadamente, quando a necessidade de transferências não é o padrão das redes no sentido de computadores?

Ou, ainda, como determinar se é possível, dentro de um backbone IP, transmitir a sinalização, os canais telefônicos VOIP e tradicionais, a rede de subsistemas de energia e rede corporativa?

Fica, dessa maneira, a sugestão para um próximo trabalho, a criação de um ambiente simulador que permita que a camada física dos enlaces elétricos seja analisada, fazendo uso dos modelos de propagação de sinais com os modelos computacionais de criação de pacotes das camadas superiores.

## **8.2 Resultados**

Os resultados calculados frente aos simulados oferecem uma condição que não é possível determinar o desempenho da rede via software de simulação. Então a análise de um domínio em específico corrobora com o abordado na monografia completa, que devido a metodologia matemática do Cisco Packet Tracer os resultados muito vezes atingidos pelas simulações completas não consegue refletir a realidade da rede.

Nos pacotes menores, como por exemplo o Ping, a formula do passo do programa de um milissegundo acaba levando a contabilização diversas vezes maior quando se executa em passo a passo. Em tempo real esse tipo de

simulação é mascarado pelos próprios componentes da simulação, que apresentam valores arredondados para baixo.

No caso dos arquivos de FTP, o programa aglomera inúmeros pacotes num pacote que equivale um milissegundo, dessa forma passo de um milissegundo não causa atraso nas transferências desses arquivos, desde que os Switches consigam encaminhar sem a montagem de vila.

Um ponto relevante também é que a interface Gigabit que interliga os sites não é tratada nessa velocidade, ou seja, a possibilidade de encaminhar os dados mais rapidamente não é tratada, a velocidade da porta é tratada só como uma facilidade de programação do que uma de possibilidade de real de simulação.

Em contrapartida para a parte de programação, montagem das redes, funcionalidade didática, equipamentos, programação dos protocolos o simulador oferece uma interface desenhada para ser realista, que é extremamente importante e permite inclusive desenvolver a rede toda pelo software e exportar a programação pronta.

## 9 Referências Bibliográficas e Eletrônicas

### 9.1 Livros

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. Amsterdam (HOL), Editora Campus, 2003. Disponível em: <http://www-usr.inf.ufsm.br/~rose/Tanenbaum.pdf> . Acesso em: 27 março 2016

Empson, Scott. **CCNA Routing and Switching Portable Command Guide, 3rd Edition**. Indianapolis (USA), Cisco Press, 2013. Disponível em: [http://www.ciscopress.com/store/ccna-routing-and-switching-portable-command-guide-9781587204302?w\\_ptgrevartcl=CCNA+Routing+and+Switching+Portable+Command+Guide%3a+Enhanced+Interior+Gateway+Routing+Protocol+\(EIGRP\)\\_2101519](http://www.ciscopress.com/store/ccna-routing-and-switching-portable-command-guide-9781587204302?w_ptgrevartcl=CCNA+Routing+and+Switching+Portable+Command+Guide%3a+Enhanced+Interior+Gateway+Routing+Protocol+(EIGRP)_2101519). Acesso em: 27 março 2016

### 9.2 Lei

ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei nº 7.861, de 28 de maio de 1992**. São Paulo, SP, 1992. Autoriza o Poder Executivo a constituir a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1992/lei-7861-28.05.1992.html> Acesso em: 27 março 2016

### 9.3 Sites

CPTM, **Companhia Paulista de Trens Metropolitanos**. Disponível em: <http://www.cptm.sp.gov.br/>. Acesso em: 27 março 2016

CPTM, **Nossa história**. Disponível em: <http://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/Nossa-Historia.aspx>. Acesso em: 27 março 2016

Sargento, Susana. **Departamento de Ciência de Computadores da faculdade do porto**, notas de aula, disponível em [http://www.dcc.fc.up.pt/~ssargento/aulas\\_2003\\_2004/RSD/aulas\\_teoricas/RSD\\_ICMP\\_6.pdf](http://www.dcc.fc.up.pt/~ssargento/aulas_2003_2004/RSD/aulas_teoricas/RSD_ICMP_6.pdf). Acesso em: 27 março 2016.

Cisco Packet Tracer. **Blog Lab cisco**, disponível em <http://labcisco.blogspot.com.br/2015/02/lancamento-do-cisco-packet-tracer-62.html>. Acesso em: 27 março 2016

Cisco. **Enhanced Interior Gateway Routing Protocol**. ID 16406. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html#intro>. Acesso em: 27 março 2016.

Microsoft TechNet ; **library,TCP/IP Troubleshooting Ping**: Disponível em: <https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc940091.aspx>. Acesso em: 27 março 2016.

Cisco. **Cisco Packet Tracer Data Sheet**  
[http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/training-events/netacad/course\\_catalog/docs/Cisco\\_PacketTracer\\_DS.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/training-events/netacad/course_catalog/docs/Cisco_PacketTracer_DS.pdf)

#### 9.4 Artigos, normas e documentos técnicos

Thorenoor, Sheela Ganesh: **Dynamic Routing Protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on Technical Background Using OPNET Modeler**. Bangalore (IND). Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp&arnumber=5474509&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5473909%2F5474422%2F05474509.pdf%3Farnumber%3D5474509>. Acesso em: 27 março 2016

Expósito, J., Trujillo, V., Gamess, E.: **Easy-EIGRP: A Didactic Application for Teaching and Learning of the Enhanced Interior Gateway Routing**

**Protocol**, Caracas (VEN), Pág 1. Disponível em:

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp&arnumber=5460625&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D5460625](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp&arnumber=5460625&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5460625). Acesso em: 27 março 2016

S. Oliveira, José Giovani, Garcia, Raphael: **Comunicação de computadores e a evolução do protocolo ip**, São Paulo (BRA). Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/revista/index.php/ETIC/article/viewFile/4378/4137>. Acesso em: 27 março 2016

Consórcio diamante. Siemens Rail. **AR3850 - RELATÓRIO TÉCNICO – ENDEREÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS NA LINHA 8**. Revisão 3, São Paulo, RT-S-08-99-99-0599/6-Y00-005, 2015.

P. Dersin: **Availability of data communication networks in automated urban train systems**, St. Quen (FRA). Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=6798498&news earch=true&queryText=rail%20data%20network>. Acesso em: 27 março 2016

Hassan, M., Gamal, S., Louis, S.N., Zaki, G.F., Amer, H.H.: **Fault tolerant Ethernet network model for control and entertainment in railway**

**transportation systems**, Cairo (EGY) Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=4564640&newsear ch=true&queryText=ip%20data%20network%20for%20rail>. Acesso em: 27 março 2016

Y. Li, H. Liu , Z. **Construction plan of urban mass transit backbone transport network**, chengu (CNH) Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=5974953&newsear>

ch=true&queryText=ip%20data%20network%20for%20rail. Acesso em: 27 março 2016

J. Garstenauer, S. Počuča, : **The future of railway communications**, Munique (Ale) Disponível em:  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=5967093&queryText=ip%20network%20for%20rail&newsearch=true>. Acesso em: 27 março 2016

## 10 Anexo

### 10.1 Anexo I - Tabela de Endereçamento de Rede

O anexo I apresenta a tabela com os endereços de redes usados para cada componente de sinalização simulado nas três redes simuladas.

EQUIPAMENTO	REDE ANEL					REDE LINHA					REDE ESTRELA			
VOC JPR	10	35	1	11		10	35	0	1		10	35	0	1
VOC ATP JPR	10	35	1	13		10	35	0	2		10	35	0	2
JPR MAIN	10	35	2	1		10	35	0	3		10	35	0	3
VOC BFU	10	35	2	11		10	35	0	4		10	35	0	4
VOC ATP BFU	10	35	2	13		10	35	0	5		10	35	0	5
MAIN BFU	10	35	2	3		10	35	0	6		10	35	0	6
VOC LAB	10	35	3	11		10	35	0	7		10	35	0	7
VOC ATP LAB	10	35	3	13		10	35	0	8		10	35	0	8
MAIN LAB	10	35	2	5		10	35	0	9		10	35	0	9
VOC DMO	10	35	4	11		10	35	0	10		10	35	0	10
VOC ATP DMO	10	35	4	13		10	35	0	11		10	35	0	11
VOC 2 DMO	10	35	4	15		10	35	0	12		10	35	0	12
MAIN DMO	10	35	2	7		10	35	0	13		10	35	0	13
VOC ILE	10	35	5	11		10	35	0	14		10	35	0	14
VOC ATP ILE	10	35	5	13		10	35	0	15		10	35	0	15
MAIN ILE	10	35	8	1		10	35	0	16		10	35	0	16
VOC PAL	10	35	6	11		10	35	0	17		10	35	0	17
VOC ATP PAL	10	35	6	13		10	35	0	18		10	35	0	18
MAIN PAL	10	35	8	3		10	35	0	19		10	35	0	19
PPAL VOC	10	35	7	11		10	35	0	20		10	35	0	20
MAIN PPAL	10	35	7	1		10	35	0	21		10	35	0	21
VOC OSA	10	35	8	11		10	35	0	22		10	35	0	22
VOC OSA 2	10	35	8	13		10	35	0	23		10	35	0	23
VOC ATP OSA	10	35	8	15		10	35	0	24		10	35	0	24
MAIN OSA	10	35	8	5		10	35	0	25		10	35	0	25
VOC CMD	10	35	9	11		10	35	0	26		10	35	0	26
VOC ATP CMD	10	35	9	13		10	35	0	27		10	35	0	27
MAIN CMD	10	35	11	1		10	35	0	28		10	35	0	28
VOC GMC	10	35	10	11		10	35	0	29		10	35	0	29
VOC ATP GMC	10	35	10	13		10	35	0	30		10	35	0	30
MAIN GMC	10	35	11	3		10	35	0	31		10	35	0	31
VOC CPB	10	35	11	11		10	35	0	32		10	35	0	32
VOC 2 CPB	10	35	11	13		10	35	0	33		10	35	0	33
VOC ATP CPB	10	35	11	15		10	35	0	34		10	35	0	34
MAIN CPB	10	35	11	5		10	35	0	35		10	35	0	35
VOC ATP STE	10	35	12	11		10	35	0	36		10	35	0	36
VOC ATP 2 STE	10	35	12	13		10	35	0	37		10	35	0	37
MAIN STE	10	35	11	7		10	35	0	38		10	35	0	38
VOC ATP AJO	10	35	13	11		10	35	0	39		10	35	0	39
VOC ATP 2 AJO	10	35	13	13		10	35	0	40		10	35	0	40
MAIN AJO	10	35	16	1		10	35	0	41		10	35	0	41
VOC BRU	10	35	14	11		10	35	0	42		10	35	0	42
VOC 2 BRR	10	35	14	13		10	35	0	43		10	35	0	43
VOC ATP BRU	10	35	14	15		10	35	0	44		10	35	0	44
MAIN BRU	10	35	16	3		10	35	0	45		10	35	0	45
VOC JDR	10	35	15	11		10	35	0	46		10	35	0	46
VOC ATP JDR	10	35	15	13		10	35	0	47		10	35	0	47
MAIN JDR	10	35	16	5		10	35	0	48		10	35	0	48
VOC IPV	10	35	16	11		10	35	0	49		10	35	0	49
VOC 2 IPV	10	35	16	13		10	35	0	50		10	35	0	50
VOC ATP IPV	10	35	16	15		10	35	0	51		10	35	0	51
MAIN IPV	10	35	16	7		10	35	0	52		10	35	0	52
CCO SERV. 1	10	36	0	1		10	35	0	53		10	35	0	53
MASCARA DE REDE	2	2	2			2	2				2	2	2	
	5	5	5	0		5	5	255	0		5	5	5	0
	5	5	5			5	5				5	5	5	

## 10.2 Anexo II - Tabela de endereçamento dos Switches

A tabela do anexo II apresenta o endereçamento das interfaces de cada switch para comunicações com os demais sites adjacentes.

ROTEADORES																					
REDE/LINK	ORI	DES	SWITCH			PORTA	ENDEREÇO			REDE/LINK	ORI	DES	SWITCH			PORTA	ENDEREÇO				
REDE	CCO	JPR					10	36	160	1	REDE	PPAL	OSA					10	36	160	29
LADO OESTE	CCO	JPR	SW	CCO	A1	gig 1	10	36	160	2	LADO OESTE	PPAL	OSA	SW	PPAL	A1	gig 1	10	36	160	30
LADO LESTE	JPR	CCO	SW	JPR	A1	gig 2	10	36	160	3	LADO LESTE	OSA	PPAL	SW	OSA	A1	gig 2	10	36	160	31
BROADCAST	CCO	JPR					10	36	160	4	BROADCAST	PPAL	OSA					10	36	160	32
REDE	JPR	BFU					10	36	160	5	REDE	OSA	CMD					10	36	160	33
LADO OESTE	JPR	BFU	SW	JPR	A1	gig 1	10	36	160	6	LADO OESTE	OSA	CMD	SW	OSA	A1	gig 1	10	36	160	34
LADO LESTE	BFU	JPR	SW	BFU	A1	gig 2	10	36	160	7	LADO LESTE	CMD	OSA	SW	CMD	A1	gig 2	10	36	160	35
BROADCAST	JPR	BFU					10	36	160	8	BROADCAST	OSA	CMD					10	36	160	36
REDE	BFU	LAB					10	36	160	9	REDE	CMD	GMC					10	36	160	37
LADO OESTE	BFU	LAB	SW	BFU	A1	gig 1	10	36	160	10	LADO OESTE	CMD	GMC	SW	CMD	A1	gig 1	10	36	160	38
LADO LESTE	LAB	BFU	SW	LAB	A1	gig 2	10	36	160	11	LADO LESTE	GMC	CMD	SW	GMC	A1	gig 2	10	36	160	39
BROADCAST	BFU	LAB					10	36	160	12	BROADCAST	CMD	GMC					10	36	160	40
REDE	LAB	DMO					10	36	160	13	REDE	GMC	CPB					10	36	160	41
LADO OESTE	LAB	DMO	SW	LAB	A1	gig 1	10	36	160	14	LADO OESTE	GMC	CPB	SW	GMC	A1	gig 1	10	36	160	42
LADO LESTE	DMO	LAB	SW	DMO	A1	gig 2	10	36	160	15	LADO LESTE	CPB	GMC	SW	CPB	A1	gig 2	10	36	160	43
BROADCAST	LAB	DMO					10	36	160	16	BROADCAST	GMC	CPB					10	36	160	44
REDE	DMO	ILE					10	36	160	17	REDE	CPB	STE					10	36	160	45
LADO OESTE	DMO	ILE	SW	DMO	A1	gig 1	10	36	160	18	LADO OESTE	CPB	STE	SW	CPB	A1	gig 1	10	36	160	46
LADO LESTE	ILE	DMO	SW	ILE	A1	gig 2	10	36	160	19	LADO LESTE	STE	CPB	SW	STE	A1	gig 2	10	36	160	47
BROADCAST	DMO	ILE					10	36	160	20	BROADCAST	CPB	STE					10	36	160	48
REDE	ILE	PAL					10	36	160	21	REDE	STE	AJO					10	36	160	49
LADO OESTE	ILE	PAL	SW	ILE	A1	gig 1	10	36	160	22	LADO OESTE	STE	AJO	SW	STE	A1	gig 1	10	36	160	50
LADO LESTE	PAL	ILE	SW	PAL	A1	gig 2	10	36	160	23	LADO LESTE	AJO	STE	SW	AJO	A1	gig 2	10	36	160	51
BROADCAST	ILE	PAL					10	36	160	24	BROADCAST	STE	AJO					10	36	160	52
REDE	PAL	PPAL					10	36	160	25	REDE	AJO	BRU					10	36	160	53
LADO OESTE	PAL	PPAL	SW	PAL	A1	gig 1	10	36	160	26	LADO OESTE	AJO	BRU	SW	AJO	A1	gig 1	10	36	160	54
LADO LESTE	PPAL	PAL	SW	PPAL	A1	gig 2	10	36	160	27	LADO LESTE	BRU	AJO	SW	BRU	A1	gig 2	10	36	160	55
BROADCAST	PAL	PPAL					10	36	160	28	BROADCAST	AJO	BRU					10	36	160	56
REDE	BRU	JDR					10	36	160	57	REDE	JDR	IPV					10	36	160	61
LADO OESTE	BRU	JDR	SW	BRU	A1	gig 1	10	36	160	58	LADO OESTE	JDR	IPV	SW	JDR	A1	gig 1	10	36	160	62
LADO LESTE	JDR	BRU	SW	JDR	A1	gig 2	10	36	160	59	LADO LESTE	IPV	JDR	SW	IPV	A1	gig 2	10	36	160	63
BROADCAST	BRU	JDR					10	36	160	60	BROADCAST	JDR	IPV					10	36	160	64
REDE	PPAL	OSA					10	36	160	29	REDE	IPV	CCO					10	36	160	65
LADO OESTE	PPAL	OSA	SW	PPAL	A1	gig 1	10	36	160	30	LADO OESTE	IPV	CCO	SW	IPV	A1	gig 1	10	36	160	66
LADO LESTE	OSA	PPAL	SW	OSA	A1	gig 2	10	36	160	31	LADO LESTE	CCO	IPV	SW	CCO	A1	gig 2	10	36	160	67
BROADCAST	PPAL	OSA					10	36	160	32	BROADCAST	IPV	CCO					10	36	160	68
MASCARA							255	255	255	252	MASCARA							255	255	255	252

### 10.3 Anexo III - Cálculos em formato de planilhas

O Anexo III mostra os resultados dos cálculos aplicados a cada componente das redes da linha 8. O teste é centrado no componente principal de cada domínio.

A figura 17 mostra a tabela com os resultados calculados.

Equipamentos		RESULTADO CALCULADO REDE ANEL, linha VOC para Main					
		PRIMEIRO DOMINIO					
BFU VOC	BFU MAIN	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Up	ping	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Donw	ping	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Up	1MB	0,1852	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584
Donw	1MB	0,1852	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584
Up	2MB	0,3704	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168
Donw	2MB	0,3704	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168
BFU VOC ATP	BFU MAIN						
Up	ping		0,0001	0,0001			
Donw	ping		0,0001	0,0001			
Up	1MB		0,3704	0,3704			
Donw	1MB		0,3704	0,3704			
Up	2MB		0,7408	0,7408			
Donw	2MB		0,7408	0,7408			
VOC JPR	JPR MAIN						
Up	ping			0,0001			

Figura 14: exemplo tabela de cálculos.

A primeira coluna, na figura 17, mostra o sentido da comunicação, quando a coluna mostra o termo UP temos a comunicação no sentido do primeiro equipamento para o equipamento da segunda coluna. Por exemplo, na primeira coluna de Up temos um pacote Ping encaminhado de BFU VOC para o BFU Main. A segunda linha trata os mesmos cálculos para o teste contrário, ou seja, de BFU MAIN para BFU VOC.

A partir da terceira coluna, estão dispostos todos os valores calculados, sendo que a cada coluna é adicionado a comunicação do próximo componente, imediatamente abaixo na planilha. No exemplo acima, temos na terceira coluna a comunicação entre BFU VOC e BFU MAIN, na quarta coluna temos BFU VOC para BFU MAIN somada a BFU VOC ATP e BFU Main. Na terceira coluna, encontra-se os dados para comunicação de BFU VOC e BFU MAIN. Na quarta, encontra-se os valores para BFU VOC e BFU VOC ATP. Esse mesmo conceito está presente em todas as simulações. Todos os dados apresentados a partir da terceira coluna estão em segundos e para simulação representam a média das 20 amostras realizadas.



## 10.4 Anexo IV – Resultados das simulações

O Anexo IV mostra os resultados das simulações aplicadas a cada componente das redes da linha 8. O teste é centrado no componente principal de cada domínio. A figura 18 mostra a tabela com os resultados calculados.

Equipamentos		RESULTADO CALCULADO REDE ANEL, linha						
		VOC para Main						
		PRIMEIRO DOMINIO						
BFU VOC	BFU MAIN	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Up	ping	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Donw	ping	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Up	1MB	0,1852	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584
Donw	1MB	0,1852	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584	0,3584
Up	2MB	0,3704	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168
Donw	2MB	0,3704	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168	0,7168
BFU VOC ATP	BFU MAIN		Média	Média				
Up	ping		0,0001	0,0001				
Donw	ping		0,0001	0,0001				
Up	1MB		0,3704	0,3704				
Donw	1MB		0,3704	0,3704				
Up	2MB		0,7408	0,7408				
Donw	2MB		0,7408	0,7408				
VOC JPR	JPR MAIN			Média				
Up	ping			0,0001				

Figura 15: Exemplo resultado de simulações.

A primeira coluna, na figura 18, mostra o sentido da comunicação, quando a coluna mostra o termo UP temos a comunicação no sentido do primeiro equipamento para o equipamento da segunda coluna. Por exemplo, na primeira coluna de UP temos um pacote Ping encaminhado de Bfu VOC para o Bfu Main. A segunda linha trata os mesmos valores simulados para o teste contrário, ou seja, de Bfu MAIN para Bfu VOC.

A partir da terceira coluna, estão dispostos todos os valores simulados, sendo que a cada coluna é adicionado à comunicação do próximo componente, imediatamente abaixo na planilha. No exemplo acima, temos, na terceira coluna, a comunicação entre Bfu VOC e Bfu MAIN. Na quarta coluna, temos Bfu VOC para Bfu MAIN somada a Bfu VOC ATP e Bfu Main. Na terceira coluna, encontra-se os dados para comunicação de Bfu VOC e Bfu MAIN. Na quarta, encontra-se os valores para Bfu VOC e Bfu VOC ATP. Esse mesmo conceito está presente em todas as simulações.

Todos os dados apresentados a partir da terceira coluna estão em segundos e para simulação representam a média das 20 amostras realizadas.

RESULTADO SIMULAÇÃO REDE ANEL									
VOC para Main									
SEGUNDO DOMINIO									
OSA VOC	OSA MAIN	OSA VOC	OSA VOC 2	OSA ATP VOC	PAL ATP VOC	PAL ATP VOC	ILE VOC	ILE ATP VOC	PPAL VOC
Up	ping	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
Donw	ping	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
Up	1MB	0,2690	0,3190	0,3690	0,6890	1,0090	1,3890	1,7690	2,1490
Donw	1MB	0,1750	0,2260	0,3700	0,6050	0,9840	1,3480	1,8450	2,1020
Up	2MB	0,4710	0,5210	0,5710	1,2110	1,8510	2,6110	3,3710	4,1310
Donw	2MB	0,3180	0,3530	0,7040	1,1990	2,0370	2,6530	3,2470	3,9750
PAL ATP V	ILE MAIN	PAL ATP VOC	PAL ATP VOC	ILE VOC	ILE ATP VOC	OSA VOC	OSA VOC 2	OSA ATP VOC	PPAL VOC
Up	ping	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
Donw	ping	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
Up	1MB	0,2590	0,6210	0,8400	0,7120	0,9330	9,7820	1,4020	1,6330
Donw	1MB	0,3850	0,5610	0,6790	0,7770	0,9320	9,7800	1,4200	1,6830
Up	2MB	0,6160	1,0990	1,4780	1,5580	1,9090	19,6950	2,7760	3,4110
Donw	2MB	0,5410	1,2260	1,4800	1,5970	1,8250	19,5060	2,8230	3,4470
ILE VOC	PAL MAIN	ILE VOC	ILE ATP VOC	PPAL VOC	PAL ATP VOC	PAL ATP VOC	OSA VOC	OSA VOC 2	OSA ATP VOC
Up	ping	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0080	0,0080	0,0080
Donw	ping	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0080	0,0080	0,0080
Up	1MB	0,4290	0,8620	1,1110	1,3730	1,7820	1,8370	1,9180	2,1810
Donw	1MB	0,4300	0,8190	0,8710	0,8090	0,8790	0,9480	0,8520	0,8090
Up	2MB	0,7230	1,7990	1,6020	1,6870	1,6630	1,7610	1,6960	1,7440
Donw	2MB	0,6590	1,7710	1,6420	1,7890	1,6200	1,6680	1,6640	1,7870
PPAL VOC	PAL MAIN	PPAL VOC	PAL ATP VOC	PAL ATP VOC	ILE VOC	ILE ATP VOC	OSA VOC	OSA VOC 2	OSA ATP VOC
Up	ping	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
Donw	ping	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
Up	1MB	0,3180	0,3230	1,2600	1,8770	1,9820	2,0270	2,1090	2,1860
Donw	1MB	0,3020	0,8370	0,7930	0,8350	0,7880	0,8700	0,8460	0,8470
Up	2MB	0,4230	1,6080	1,7890	1,7150	1,6360	1,7180	1,7850	1,6110
Donw	2MB	0,4440	1,7110	1,7910	1,7910	1,6320	1,6190	1,7040	1,7060