

HEITOR LUIZ ITAMI

Proposta de Sistema Centralizado de Sonorização das Estações

São Paulo
2016

HEITOR LUIZ ITAMI

Proposta de Sistema Centralizado de Sonorização das Estações

Monografia apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a conclusão do curso de pós-
graduação em Tecnologia Metroferroviária

São Paulo
2016

HEITOR LUIZ ITAMI

Proposta de Sistema Centralizado de Sonorização das Estações

Monografia apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a conclusão do curso de pós-
graduação em Tecnologia Metroferroviária

Área de concentração:
Engenharia Metroferroviária

Orientador: Prof. Mestre Doutor
Denis Gabos

São Paulo
2016

Catálogo-na-publicação

ITAMI, HEITOR

CENTRALIZAÇÃO DO SISTEMA DE SONORIZAÇÃO COM ÊNFASE NO
SISTEMA PROPOSTO / H. ITAMI -- São Paulo, 2016.

34 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária) - Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação
Continuada em Engenharia.

1. SISTEMA DE SONORIZAÇÃO CENTRALIZADO I. Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em
Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Denis Gabos, por toda ajuda, paciência e dedicação ao desenvolvimento deste trabalho.

A minha esposa, pela compreensão e apoio durante as muitas horas dedicadas ao desenvolvimento deste documento.

E aos meus amigos, que ao longo do curso nos ajudamos mutuamente.

RESUMO

O sistema de sonorização existente nas estações da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) é responsável pela emissão de avisos ao público, que têm como objetivo alertar e orientar os usuários. O controle da reprodução dos avisos é distribuído, ou seja, controlados localmente. A CPTM demonstra sua tendência em centralizar os diversos sistemas existentes, mas possui uma diversidade de equipamentos e tecnologias. O presente trabalho avaliou a infraestrutura e os sistemas de sonorização instalados e propõe uma solução de controle da emissão dos avisos de forma centralizada. A proposta visa um sistema de baixo custo, pois utiliza a infraestrutura e a sonorização existentes, e utiliza a arquitetura TCP/IP, possibilitando a integração com sistemas futuros. Foi realizado também uma prova de conceito.

Palavras-chaves: Sistema de Sonorização. Centralização. CPTM. Infraestrutura.

ABSTRACT

The existing public address system at the stations of the São Paulo Metropolitan Train Company (CPTM) is responsible for issuing warnings to the public, that aim to warn and guide users. The control of reproduction of warnings is distributed, ie controlled locally. CPTM demonstrates its tendency to centralize the various existing systems, but has a variety of equipment and technologies. This study evaluated the infrastructure and installed sound systems and proposes a centrally control solution of the issuing warnings to the public. The proposal is a low-cost system, it uses the infrastructure and existing sound system, and uses the TCP / IP architecture, allowing integration with future systems. It was also performed a proof of concept.

Keywords: Sound System. Centralization. CPTM. Infrastructure.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	7
1.2	OBJETIVO DO PRESENTE TRABALHO.....	8
1.3	ESCOPO.....	8
1.4	JUSTIFICATIVA.....	8
1.5	METODOLOGIA.....	9
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	REDES SDH.....	11
2.2	TECNOLOGIA ETHERNET.....	13
2.3	SWITCH.....	14
2.4	VLAN.....	15
2.5	PROTOCOLO ARP.....	16
2.6	PROTOCOLO FTP.....	17
2.7	PROTOCOLO SSH.....	17
3	LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO EXISTENTES.....	19
3.1	SOM CENTRALIZADO DA LINHA 8.....	19
3.2	OS SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO INSTALADOS.....	20
4	LEVANTAMENTO DA INFRAESTRUTURA EXISTENTE.....	21
4.1	SISTEMA DE TRANSMISSÃO ÓTICA (STO).....	21
4.2	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SDH DA LINHA 8.....	21
4.3	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SDH DA LINHA 9.....	22
5	PROPOSTA DE SISTEMA.....	23
5.1	VISÃO GERAL.....	23

5.2	USO DO SDH.....	23
5.3	USO DA FIBRA ÓPTICA.....	24
5.4	COMPARAÇÃO DAS PROPOSTAS.....	25
5.5	DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO.....	26
5.5.1	Software de gerenciamento.....	26
5.5.2	Sistema de transmissão	27
5.5.3	Equipamentos das estações	27
6	PROVA DE CONCEITO.....	28
6.1	COMPONENTES E INTERLIGAÇÃO DA SOLUÇÃO	28
6.2	SIMULAÇÃO DO SISTEMA	29
6.2.1	CASO DE MENSAGEM PRÉ-GRAVADA	29
6.2.2	CASO DE MENSAGEM NOVA	29
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
7.1	CONCLUSÕES	31
7.2	TRABALHOS FUTUROS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado a contextualização, o objetivo do presente trabalho, escopo, justificativa, metodologia e a estrutura do trabalho.

Devido à restrição na quantidade de páginas imposta pela instituição de ensino ao trabalho individual, diversos tópicos foram resumidos. No entanto, os mesmos assuntos são abordados de uma maneira mais ampla no trabalho em grupo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) foi criada no ano de 1994, com a junção de duas empresas, a Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) e pela Ferrovia Paulista S/A (FEPASA). O objetivo desta empresa é a prestação do serviço de transporte público. (CPTM, 2015)

A CPTM possui seis linhas em operação e o controle do tráfego dos trens é centralizado no Centro de Controle Operacional (CCO), que fica localizado junto à estação Brás. As funções do CCO são listadas a seguir:

- Regulação de tráfego;
- Monitoração das condições de tráfego;
- Comando de sinalização de campo;
- Controle de prefixos de trens e veículos ferroviários;
- Coordenação de situações de emergência;
- Controle da injeção e retirada de trens;
- Controle de ocorrências;
- Controle de acessos à via férrea;
- Interação com os terminais e serviço de atendimento ao usuário.

Subordinados ao CCO existem 02 áreas principais:

Tração ferroviária: Responsável pelo controle da circulação dos trens; pela interface entre os maquinistas e as equipes de manutenção; gestão de maquinistas, etc.

Terminais: Responsável pela acessibilidade; comunicação visual e auditiva nos terminais; interação com outros modais e negócios, etc.

Apesar de estas funções serem centralizadas no CCO, o sistema de sonorização das estações é independente. Este sistema é responsável por emitir avisos sonoros, chamados de Aviso ao Público (AP), que têm como objetivo alertar ou instruir os usuários que se encontram nas estações. Em condições normais, o sistema reproduz a intervalos definidos, várias mensagens pré-gravadas.

Na eventualidade de ocorrer um problema que o CCO necessite que seja emitido um AP em uma ou várias estações, um funcionário precisa entrar em contato com cada estação, informar o aviso e solicitar ao funcionário das estações que o emitam. Os funcionários de cada estação utilizando o microfone do sistema de sonorização e emitem o aviso.

1.2 OBJETIVO DO PRESENTE TRABALHO

O objetivo do presente trabalho é propor um sistema de sonorização centralizado, especificando as tecnologias necessárias e empregando a infraestrutura e os equipamentos instalados na empresa, com o intuito de minimizar os custos e tornar mais ágil a implantação.

Esta monografia tem foco na especificação e descrição da solução completa.

1.3 ESCOPO

A CPTM atende a 22 municípios através de uma malha ferroviária de 260,8 quilômetros e possuindo 92 estações distribuídas ao longo de seis linhas (CPTM, 2015). Com o tempo limitado para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por restringir o levantamento dos equipamentos instalados e infraestrutura existentes as Linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda, devido ao fato destes itens serem mais modernos nessas duas linhas quando comparados as demais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Conforme explicado anteriormente, quando ocorre um evento atípico, no qual o CCO necessita que uma estação emita um AP específico, um funcionário do CCO entra em contato com um funcionário da estação, informa a mensagem

e solicita que esta seja emitida. Trabalhando desta forma, há problemas que podem impedir a emissão do aviso ou que este seja feito errado, como por exemplo, não existir um funcionário na estação disponível para atender ao telefone no momento do contato ou a mensagem seja compreendida errada.

O risco desses problemas ocorrerem aumenta caso o CCO necessite avisar mais estações, havendo a possibilidade que todas as estações de uma ou mais linhas da CPTM precisem emitir um aviso específico.

Com a centralização do sistema de sonorização que será proposto, o funcionário do CCO conseguirá escolher as estações que precisam emitir um AP, e enviar a mensagem diretamente ao sistema de sonorização de cada estação, sem a necessidade de interação com os funcionários das estações. Com isso, esperam-se benefícios como integração, maior agilidade e confiabilidade.

1.5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica, com levantamento de tecnologias e soluções possíveis
2. Entrevistas com as equipes de projetos, implantação e manutenção
3. Levantamento de informações em campo
4. Análise e especificação da solução
5. Desenvolvimento de protótipo.

Faz parte da metodologia o trabalho conjunto dos dois integrantes do grupo até a definição da solução a ser construída, ou seja, escolha da infraestrutura legada a ser utilizada e a definição do sistema e tecnologia a serem empregadas.

A partir desse ponto, um membro do grupo passou a descrever com detalhe a solução e resolver ainda alguns detalhes de tecnologia e o outro membro focou seu trabalho na implementação da prova de conceito.

O presente trabalho é o da definição e descrição completa da solução.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em sete capítulos. O primeiro é o capítulo de introdução que faz uma breve descrição da empresa que será analisada, no caso a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), explica o objetivo do trabalho, o escopo, justificativa e a metodologia empregada.

No segundo capítulo é feito o estudo das teorias utilizadas nos capítulos posteriores.

O terceiro capítulo descreve os diferentes sistemas de sonorização instalados nas estações das Linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda, que são o escopo deste trabalho.

No quarto capítulo é levantada a infraestrutura de comunicação existente nessas duas linhas.

O quinto capítulo propõe duas soluções para se centralizar o sistema de sonorização no CCO empregando os sistemas de sonorização e infraestrutura de comunicação existente, comparando as duas. É definido e descrito detalhadamente a solução adotada.

No sexto capítulo é descrito o sistema montado para fazer a prova de conceito, mostrando seu funcionamento. Este capítulo encontra-se resumido nesta monografia.

No sétimo e último capítulo são feitas as conclusões, baseadas nas análises feitas ao longo do trabalho e possíveis trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir desta monografia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão estudados os conceitos do SDH, *Ethernet*, *switch*, VLAN, e protocolos ARP, FTP e SSH. Essa revisão bibliográfica será necessária para uma melhor compreensão do sistema de comunicação de dados existentes nas Linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda, além dos conceitos utilizados para as propostas de solução do problema apresentado neste trabalho.

2.1 REDES SDH

Segundo Redes[...] (2003), o *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) foi definida no ano de 1990 pelo setor de *Telecomunicações da International Telecommunication Union* (ITU-T).

Segundo Ávila (CA. 2010), o SDH surgiu da necessidade de ter um sistema padronizado, no qual equipamentos de fornecedores distintos fossem compatíveis e suportasse seu antecessor, o *Plesyochronous Digital Hierarchy* (PDH), no qual possui como uma de suas restrições à incompatibilidade entre fabricantes.

Conforme define Filho (2009), uma rede SDH é constituída de equipamentos e meios de transmissão que formam uma infraestrutura básica para transmissão síncrona de voz e dados. As tecnologias SDH são utilizadas para multiplexação em *Time Division Multiplexing* (TDM) e possuem como meio de transmissão preferencial a fibra óptica, mas também são utilizados enlaces de rádio digital e sistemas ópticos de visada direta, que utilizam feixes de luz infravermelha.

Segundo Ávila (CA. 2010), o SDH possibilita o gerenciamento centralizado de forma eficiente, o que torna o sistema altamente confiável. A topologia mais utilizada é em forma de anéis autorregenerativos, por ser a mais adequada para se conseguir uma rede protegida, com tempo de comutação de proteção rápido e funcionamento estável.

Ávila (CA. 2010) assinala que as taxas de transmissão no SDH variam de 51 Mbit/s a 40 Gbit/s, denominados respectivamente de STM-0 e STM-256. Na tabela 1 estão listadas as taxas de transmissão existentes em redes SDH. A sigla

STM é um acrônimo da palavra em inglês *Synchronous Transport Module*, que em português foi traduzido como Módulo de Transporte Síncrono. Segundo definição de Ávila (ca. 2010, p. 5) o STM “[...]corresponde a uma estrutura básica de transporte de dados do SDH, constituída de quadros (*frames*), no qual os dados são armazenados.” No caso do STM-1, este é constituído de 2.430 bytes e são transmitidos de forma serial. A duração de cada quadro é de 125 μ s, resultando em uma taxa de transmissão de 155,520 Mbits/s.

Tabela 1 – Taxas SDH padronizadas

Nível de SDH	Taxa em Mbits/s
STM-0	51,840
STM-1	155,520
STM-4	622,080
STM-16	2.488,320
STM-64	9.953,280
STM-256	39.813,120

Fonte: Ávila (CA. 2010)

Os demais módulos correspondem a taxas múltiplas de 155,520 Mbits/s pois são resultado da multiplexação sinais STM-1. O STM-4 possui uma taxa de bits quatro vezes maior que o STM-1, correspondendo a 622,080 Mbits/s, o STM-16 a dezesseis vezes a taxa do STM-1 e assim sucessivamente. O STM-0 advém do sistema criado pela empresa Bellcore, que criou o primeiro sistema baseado na hierarquia de transmissão do SDH, chamado de SONET, que é um acrônimo de *Synchronous Optical Network*, e possuía uma taxa em seu primeiro nível hierárquico de 51,84 Mbits/s. No entanto, posteriormente a ITU-T padronizou como taxa primária o 155,520 Mbits/s, que era compatível com o SONET a partir do terceiro nível. Mas posteriormente a interface de 51,84 Mbits/s foi padronizada na SDH como o STM-0.

Conforme afirma Rochol (2012), a grande vantagem do SDH é estar apto a encapsular e transmitir canais digitais PDH e também poder trabalhar com “[...] qualquer tipo de transmissão de pacotes, células ou quadros de redes de dados que utilizam um modo de transferência assíncrona, como é o caso do frame relay, metroethernet, ATM e o próprio TCP/IP da internet.” (ROCHOL, 2012, p. 299).

2.2 TECNOLOGIA ETHERNET

Segundo Costa (2010), o padrão *Ethernet* foi criado no final da década de 1970 pelo consórcio de empresas formadas por Intel, Xerox e DEC. Esse padrão utiliza a camada física e de enlace do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI), que pode ser traduzido como Interconexão de Sistemas Abertos.

Casagrande (2008) descreve que baseado no padrão *Ethernet*, o *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE) publicou em 1985 o seu padrão, com o título formal de IEEE 802.3 *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* (CSMA/CD), no qual foi adotado pela *International Organization for Standardization* (ISSO), em português a Organização Internacional para Padronização, o que fez deste o padrão mundial de gestão de redes.

Conforme afirma Casagrande (2008), apesar de muito semelhantes, há pequenas diferenças entre a *Ethernet* e o IEEE 802.3. A *Ethernet* provê os serviços das camadas físicas e de enlace do modelo OSI, enquanto o IEEE 802.3 especifica a camada física e o acesso ao canal da camada de enlace, porém sem definir o protocolo de controle de enlace lógico. As diferenças tornam ambos incompatíveis. “No entanto, esta incompatibilidade não é um problema, dado que atualmente quase todos os fabricantes seguem o padrão IEEE 802.3 ou com funcionamento dual. A literatura se refere às duas técnicas como *Ethernet* simplesmente.” (CASAGRANDE, 2008, p. 6).

O protocolo de acesso ao meio utilizado é o *Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detect* (CSMA/CD). Nesse protocolo, quando um dispositivo precisa transmitir pela rede, este confere o meio de transmissão para verificar se não há outro dispositivo transmitindo naquele momento e transmite somente quando detecta que o meio está inativo. Caso dois dispositivos comecem a transmitir simultaneamente, ambos detectam a colisão, param de transmitir e aguardam um tempo randômico antes de tentarem transmitir novamente. Como o tempo de espera é randômico, mitiga-se o risco desses dois dispositivos tentarem transmitir juntos novamente.

Segundo Bezerra (2008), os adaptadores de rede existentes em cada estação de uma rede *Ethernet* possui um endereço MAC, que é o endereço físico da estação e os identificam na rede. É formado por 6 bytes, onde os 3 primeiros bytes identificam o fabricante, no qual é chamado de *Organizationally Unique*

Identifier (OUI), e os três últimos bytes determinam o adaptador específico do fabricante. Conforme afirma Dias (2013), para garantir que cada endereço MAC seja único no mundo, cada fabricante deve estar registrado em uma autoridade IEEE, que fornece o OUI ao fabricante e garante que esse identificador não se repetirá. Portanto, não existem no mundo duas placas com o mesmo endereço MAC.

2.3 SWITCH

Segundo a definição de Prado (2011, p. 2), “um *Switch* ou Comutador, é um dispositivo utilizado em redes de computadores para reencaminhar *frames* entre os diversos nós”. Conforme explica Ueyama (2011), o *switch* é um dispositivo que trabalha na camada de enlace, no qual ao receber os quadros *Ethernet*, examina o cabeçalho destes e encaminha para uma das suas interfaces, também chamado de portas, baseado no endereço MAC. Para encaminhar os quadros no meio de transmissão utiliza o protocolo CSMA/CD, no qual foi explicitado anteriormente.

Ainda segundo Ueyama (2011), para que o *switch* tenha a relação de endereços MAC que estão em cada interface, este possui uma tabela de comutação, no qual grava esta relação. No entanto, não é necessário preencher manualmente esta tabela. Quando o *switch* recebe um quadro, este guarda na tabela de comutação o endereço MAC do transmissor e por qual interface o quadro foi recebido. Assim, quando um quadro é recebido pelo switch, esta consulta sua tabela de comutação. Encontrando a relação entre o endereço MAC e a interface, há duas possibilidades. Se o endereço MAC de destino apontar para a mesma interface que foi recebida, o quadro é descartado. Caso contrário, o *switch* encaminha o quadro à interface correspondente. No entanto, se o *switch* não encontrar o endereço MAC de destino em sua tabela de comutação, o quadro é encaminhado para todas as interfaces, menos para a interface no qual foi recebida. O último caso ocorre obviamente também quando se trata de um *broadcast*.

2.4 VLAN

Segundo Jamhour (2008), conforme as velocidades das redes *Ethernet* foram aumentando e o emprego de *switches* cada vez mais comum, surgiu à necessidade de criar novos mecanismos para tornar as redes empresariais mais flexíveis. As VLANs, ou redes virtuais, surgiram no ano de 1998 com esse objetivo e foram rapidamente difundidas e utilizadas como forma de tornar as redes *Ethernet* em empresas mais rápidas e seguras.

Conforme explicado anteriormente, quando um *switch* recebe um quadro *Ethernet* no qual o endereço MAC de destino não está em sua tabela de comutação ou quando o quadro se trata de um *broadcast*, este encaminha o quadro para as demais interfaces, incluindo aquelas usadas para conectar com outros *switches*, ou seja, que cascadeiam o *switch* com demais *switches* da rede.

Como a utilização de quadros de *broadcast*, é bastante comuns redes muito grandes, com muitos *switches* cascadeados, poderem ter uma frequência de *broadcast* na rede muito grande, o que resulta em uma diminuição considerável no desempenho da rede.

O emprego de VLANs resolve o problema de congestionamento na rede devido a *broadcast*, pois permite dividir um *switch* em diferentes domínios de *broadcast*.

De acordo com Jamhour (2008) é possível associar cada uma das portas de um *switch* a uma TAG de VLAN, sendo que a TAG pode ter um número entre 1 a 4096. Todas as portas que forem associadas à mesma TAG pertencerão à mesma VLAN. No caso de um quadro de broadcast, este será encaminhado somente para as portas do *switch* da mesma da porta que a recebeu. Com isso, consegue-se uma redução significativa de quadros de broadcast trafegando pela rede.

Em relação ao aumento na segurança da rede, Jamhour (2008) afirma que computadores em VLANs distintos não podem se comunicar diretamente, sendo necessário para isso interligar as VLANs utilizando roteadores. Tal característica é comumente utilizada por empresas para impor políticas de segurança entre os computadores na rede. Devido à necessidade do tráfego entre VLANs ter que passar por um roteador, é possível controlar os tráfegos permitidos e proibidos através de mecanismos como *firewall*.

2.5 PROTOCOLO ARP

Conforme afirma Dias (2013), em uma rede, tanto pública como privada, cada terminal é identificado por um endereço lógico, como por exemplo, o endereço IP. Se não fosse dessa forma, seria necessário alterar o endereçamento de todos os terminais da rede sempre que houvesse a troca de uma placa de rede, por exemplo. No entanto, segundo Carissimi; Rochol e Zambenedetti (2009), o endereço lógico não pode ser utilizado pelos terminais da rede para comunicação, por não terem significado algum para a camada de enlace. Conforme afirmam os autores sobre os endereços lógicos “A identificação real da origem e do destino é feita por meio dos endereços MAC de suas interfaces de comunicação (placa de rede).” (CARISSIMI; ROCHOL e ZAMBENEDETTI, 2009, p. 240).

No entanto, segundo Dias (2013) não existe nenhuma relação entre os endereços IP e MAC. Além disso, quando um terminal precisa enviar uma informação para outro terminal, este conhece apenas o endereço lógico e não o endereço físico. Por isso, o protocolo ARP possui um papel importante, pois “[...] permite obter o endereço físico (MAC) de uma placa de rede, utilizando o endereço lógico (IP) correspondente” (DIAS, 2013, p. 1).

Quando uma estação necessita enviar uma informação a outro, precisa descobrir o endereço físico de outro terminal através do endereço lógico. Esta estação constrói uma mensagem chamada de *ARP Request*, que contém seu endereço físico, lógico e o endereço lógico da estação que se deseja descobrir o endereço físico e o envia para todos os terminais da rede. Cada estação compara o endereço lógico questionado com o próprio. Se for diferente, a mensagem é ignorada. O terminal com o endereço lógico igual envia uma mensagem chamada de *ARP Reply* ao terminal que questionou, com seu endereço físico.

Porém, segundo afirma Boteon (2007), não é viável que um terminal envie o *ARP Request* e aguarde o *ARP Reply* todas as vezes que precisar se comunicar com outro terminal. Por esse motivo, cada terminal possui uma tabela ARP, onde constam os endereços lógicos e seus respectivos endereços físicos. Assim, conforme afirma Dias (2013), antes de um terminal transmitir, este verifica em sua tabela ARP primeiro e só envia o *ARP Request* se não encontrar uma

correspondência. Esta tabela é dinâmica e os endereços que não forem utilizados por um determinado período são descartados.

2.6 PROTOCOLO FTP

O protocolo *File Transfer Protocol* (FTP), que significa protocolo de transferência de arquivos, surgiu no início da década de 70.

Conforme António (2008) explica, o FTP foi desenvolvido para que houvesse uma forma eficiente e confiável para transferir arquivos entre dois computadores conectados a uma rede. É frequentemente utilizado, sendo o padrão para transferência de arquivos na Internet.

Guerber (2007) afirma que o FTP utiliza pelo menos duas conexões durante uma sessão, sendo a primeira uma conexão *half-duplex* para controle e uma *full-duplex* para a transferência dos dados. No entanto, há dois métodos que o cliente pode utilizar para a conexão de dados: a conexão de modo ativo ou de modo passivo.

Em ambos os métodos, o cliente inicia a conexão com o servidor, definindo as portas que serão utilizadas para a transferência dos dados. O que diferencia os dois métodos é o fato de na conexão de modo ativo, o cliente informa ao servidor por qual porta deseja transferir os dados e fica a cargo do servidor estabelecer a conexão. No modo passivo, fica a cargo do cliente o estabelecimento da conexão, sendo o servidor que informa por qual porta deve ser feita a conexão de dados.

2.7 PROTOCOLO SSH

Conforme explica Hostalia [Ca. 2010], no ano de 1995, o finlandês Tatu Ylönen criou o protocolo *Security Shell* (SSH), no qual permite estabelecer uma conexão entre dois computadores e comandar uma máquina através da outra, executando programas e comandos remotamente. Esse protocolo foi criado para resolver o problema de segurança do protocolo utilizado anteriormente, o Protocolo de Terminal Virtual, conhecido como TELNET.

No TELNET, as informações que trafegavam pela rede podiam ser facilmente capturadas por um *hacker* com acesso a mesma rede. Para

solucionar essa falha na segurança, o SSH trabalha com mensagens criptografadas.

No entanto, na primeira versão, apesar dos dados não poderem mais ser capturados apenas escutando a rede, descobriu-se uma grave falha de segurança, onde *hackers* conseguiam introduzir dados no fluxo de informações cifradas. Diante deste problema, em 1997 foi lançado a versão 2 do SSH, no qual corrigia esse problema de segurança.

Ainda segundo Hostalia (CA 2010), os dados enviados e recebidos utilizando o SSH são criptografados utilizando um algoritmo de criptografia de 128 bits, que o torna muito seguro, pois é extremamente complicado para um *hacker* interceptar a conexão, decifrar e ler as mensagens que estão sendo trocadas. Desta forma, o cliente tem a possibilidade de utilizar, de uma forma segura, aplicações do servidor, conseguindo administrar a máquina remotamente, sem perceber a distância que as separa.

3 LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO EXISTENTES

As linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda da CPTM são heranças da extinta FEPASA. Algumas estações são antigas, construídas há décadas e com equipamentos desatualizados. No entanto, nos últimos 20 anos, muitas estações foram reformadas e outras novas foram construídas. Nesses dois últimos casos, os equipamentos são mais recentes.

Mas devido ao fato da CPTM ser uma empresa de economia mista, existe a obrigatoriedade de seguir a lei de número 8.666, de junho de 1993. Esta lei federal estabelece as normas para licitações e contratos da Administração Pública. Por esse motivo, a CPTM não pode exigir em uma licitação ou da empresa ganhadora da licitação, que seja utilizada uma determinada marca e modelo dos equipamentos a serem instalados nas estações. Como as estações reformadas ou construídas foram feitas em épocas distintas, por diferentes empresas e através de diversas licitações, não há um padrão no modelo e na marca dos sistemas de sonorização instalados.

Por esse motivo, atualmente as Linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda possuem sistemas de sonorização de três fabricantes diferentes, que são: Control, Apel e Bosch.

Somado ao fato da existência de diferentes equipamentos de sonorização, grande parte das estações da Linha 8 Diamante recebem as mensagens de Aviso ao Público pré-gravadas de um único local, devendo os equipamentos de cada estação serem capazes de reproduzi-las. Este sistema chamou-se de som centralizado da Linha 8.

Os itens a seguir fazem uma breve descrição do som centralizado da Linha 8 e dos sistemas de sonorização instalados.

3.1 SOM CENTRALIZADO DA LINHA 8

O desejo da CPTM de centralização do sistema de sonorização existe há muito tempo. Por isso, foi implantado para todas as estações da Linha 8 Diamante, o envio das mensagens de Aviso ao Público pré-gravadas originadas de um único local, da estação Barra Funda. Somente as estações Santa Rita e Amador Bueno não estão interligadas ao som centralizado da Linha 8 pois

estavam desativadas há anos, sendo reformadas e inauguradas recentemente, em abril de 2014.

As mensagens pré-gravadas ficam armazenadas em um disco rígido na estação Barra Funda e são reproduzidas por um software da empresa Apel chamado SEM. Este software gerencia qual mensagem será reproduzida e o intervalo entre estas, enviando o áudio para a saída analógica e que é transmitida através de um par de fios metálicos as demais estações.

3.2 OS SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO INSTALADOS

Apesar dos sistemas de sonorização instalados nas estações serem de fabricantes diferentes, todos são constituídos de caixas de som ou cornetas ligados a amplificadores, possuem um microfone que permite a um funcionário da estação emitir um AP e contam com pelo menos uma entrada de áudio analógica.

Os equipamentos das fabricantes Apel e Bosch possuem equipamentos nos quais ficam gravados arquivos de áudio com mensagens pré-gravadas. Através de um computador, é possível definir quais arquivos devem ser reproduzidos no sistema de sonorização de cada estação e o intervalo entre elas.

Somente no sistema da fabricante Control não é possível armazenar os arquivos das mensagens pré-gravadas. Para que as estações com esse equipamento instalado tenham a reprodução das mensagens pré-gravadas, a entrada de áudio analógica é conectada ao par metálico proveniente da Barra Funda do som centralizado da Linha 8. Por isso, os equipamentos Control são encontrados somente nas estações desta linha.

4 LEVANTAMENTO DA INFRAESTRUTURA EXISTENTE

Para que fosse possível arquitetar alternativas de projetos para o sistema de sonorização centralizado por IP, foi necessário pesquisar e estudar o estado atual do sistema de comunicação existente nas linhas 8 Diamante e 9 Esmeralda e analisar se poderiam ser utilizadas para transmitir os arquivos de áudio da forma desejada, ou seja, que pudessem ser enviados e reproduzidos em todas as estações ou endereçado para uma específica.

Para esse levantamento, foi analisada a documentação existente e entrevistado os responsáveis pelo projeto, implantação e manutenção dos sistemas.

4.1 SISTEMA DE TRANSMISSÃO ÓTICA (STO)

Na Linha 8 Diamante existe um cabo de 36 fibras ópticas, interligando o CCO e todas as estações desta linha, podendo ser acessada nas salas técnicas de cada uma. Esse cabo foi instalado em 2011 devido à implantação do Sistema de Transmissão Óptica (STO). Apesar do STO e de outros sistemas utilizarem fibras deste cabo, há fibras livres disponíveis, nas quais poderão ser empregadas em sistemas futuros.

No caso da Linha 9, há um cabo de 36 fibras ópticas interligando o CCO e as estações entre Osasco e Jurubatuba. As últimas estações, entre Jurubatuba e Grajaú, são conectadas por um cabo de 24 fibras. Assim como ocorre na Linha 8, na Linha 9 há um STO e outros sistemas utilizando pares de fibra, porém existindo fibras disponíveis que podem ser utilizadas em implantações futuras.

4.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SDH DA LINHA 8

O STO da Linha 8 Diamante encontra-se em fase de implantação, apesar de ser utilizado para transportar as informações de sinalização de via. No entanto, a CPTM não pode alterar o sistema ou ligar novos equipamentos sem que haja a anuência da diretoria responsável pela implantação, sob o risco de perda da garantia e suporte da empresa que está instalando o sistema.

O STO em implantação trabalha com canalização SDH com hierarquia digital STM 4, o que corresponde a uma taxa de transmissão de 622 Mbps. Para manter a funcionalidade de todas as estações da linha 8 reproduzirem os AP's

de forma centralizada, o projeto do STO exigia a disponibilização de uma porta ethernet ponto-multiponto exclusiva para o sistema de sonorização, com uma taxa de transferência de 2Mbps.

Pelo contrato firmado pela CPTM, a empresa que executou a implantação é responsável por disponibilizar essa porta, mas não de interligá-la aos sistemas de sonorização das estações, ficando a cargo da CPTM a forma como será utilizada.

4.3 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SDH DA LINHA 9

Na linha 9 Esmeralda existe o STO implantado, sendo que o sistema existente entre as estações Osasco à Jurubatuba, da fabricante Alcatel-Lucent, está em funcionamento há mais de 15 anos. O STO do trecho final da linha, ou seja, das estações Autódromo, Interlagos e Grajaú é da fabricante Keymile e é mais recente, implantado há cerca de 8 anos, pois estas estações foram as últimas a serem construídas nessa linha. Tanto o sistema da Alcatel-Lucent como o da Keymile trabalham com canalização SDH e hierarquia digital STM 1, com uma taxa de transmissão de 155 Mbps.

Nos equipamentos do STO Alcatel-Lucent existentes em cada estação, há pelo menos uma porta serial disponível de velocidade de transmissão de até 256 Kbps e conector de 26 pinos. Também possuem portas de 64 Kbps, que utilizam conectores RJ 45, mas que trabalham em protocolo RS 232. Nos equipamentos Keymile de cada estação há uma porta ethernet de 1 Mbps disponível, que foi solicitado para ser interligado com o sistema de sonorização e possibilitar o envio de APs remotamente.

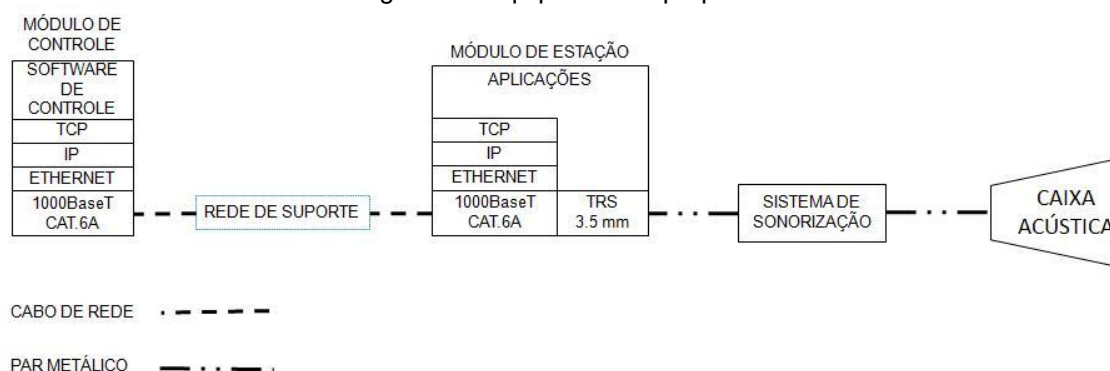
5 PROPOSTA DE SISTEMA

Baseado nas informações levantadas foi concebido a proposta apresentada no presente capítulo para a centralização do sistema de sonorização, no qual se buscou utilizar os sistemas de sonorização e de infraestrutura de comunicação instalados, com o objetivo de minimizar os custos para implantação.

5.1 VISÃO GERAL

A proposta para implantação de um sistema de sonorização centralizado utilizaria um módulo de controle no qual ficaria no CCO interligado aos módulos de estação instalados em cada estação, que se conectaria ao sistema de sonorização existente através da entrada de áudio analógica. Na figura 1 é ilustrado um diagrama do sistema proposto para uma estação.

Figura 1 – Equipamentos proposto



Fonte: O autor

A rede de suporte, que interconectaria o módulo de controle aos módulos de estação poderia ser implementada de duas formas, empregando o STO existente nas Linhas 8 e 9 ou utilizando um par de fibras óptica disponível.

5.2 USO DO SDH

Conforme explanado, tanto a Linha 8 Diamante como a Linha 9 Esmeralda possuem um STO instalado, no qual utiliza a tecnologia SDH. Apesar dos sistemas possuírem portas disponíveis para utilização pelo sistema de sonorização, essas portas diferem entre estações, dependendo da época que os equipamentos foram implantados.

A tabela 2 é apresentada para sumarizar as informações principais dessas portas.

Tabela 2 – Protocolo do SDH nas estações

LINHA	ESTAÇÃO	FABRICANTE	PROTOCOLO	LARGURA DE BANDA
8	Todas	Sagem	Ethernet	2 Mbps
9	Osasco-Jurubatuba	Alcatel-Lucent	RS232 / RS 530	64 Kbps/ 256 Kbps
9	Autódromo- Granjaú	Keymile	Ethernet	1 Mbps

Fonte: O autor

Como pode ser observado, somente no trecho entre as estações Osasco e Jurubatuba, o protocolo de comunicação é diferente do Ethernet. Para as estações compreendidas neste trecho seria necessário um conversor do protocolo serial para Ethernet. Com isso, ter-se-ia em todas as estações portas Ethernet.

Mas nessa configuração, a taxa de transmissão nesses locais continuaria sendo baixa e o sistema ficaria heterogêneo. Assim, sendo o desejo da CPTM implantar o sistema de sonorização centralizado para as outras linhas, seria necessário adaptar soluções individuais às particularidades dos sistemas de comunicação existentes. Soma-se a isso, o fato da CPTM não utilizar conversor serial para ethernet, o que podem aumentar a complexidade da configuração. Também deve ser considerado o fato de que o STO da Linha 9 Esmeralda será substituído nos próximos anos por um sistema que utiliza uma nova tecnologia, o que resultará em uma nova análise e adaptação.

Por outro lado, espera-se um custo relativamente baixo, pois os equipamentos de comunicação já estão instalados, necessitando somente a aquisição dos conversores para parte das estações. Também se espera menor frequência em atuações das equipes da manutenção, considerando que não há a necessidade de instalação de novos equipamentos além dos conversores serial para ethernet necessários em parte das estações.

5.3 USO DA FIBRA ÓPTICA

Para que houvesse uma homogeneização da solução para a rede de suporte, pode-se utilizar um *switch* em cada estação com conexão para

transceivers. Com isso, os *switches* seriam interligados por um par de fibras ópticas a uma alta taxa de dados, podendo ser de 1 Gbps a 10 Gbps.

Como o sistema de sonorização centralizado necessitaria somente de uma parte desta alta taxa de dados, seria possível criar VLANs e disponibilizar esse meio de comunicação para outros sistemas.

Porém, a soma dos custos para aquisição de um *switch* e *transceiver* para cada estação e o CCO torna essa alternativa mais cara que a anterior.

5.4 COMPARAÇÃO DAS PROPOSTAS

Para visualizar mais facilmente as vantagens e desvantagens das duas propostas de solução para criar a rede de suporte, é exibida a tabela 3.

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens do SDH e fibra óptica

PROPOSTAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
SDH	Menor custo dos equipamentos	Baixa largura de banda
	Aproveitamento da transmissão pelo SDH	Falta de padronização
	Menor quantidade de equipamentos a serem mantidos	STO da Linha 9 será substituído
FIBRA ÓPTICA	Rede segregada	Maior custo
	Altíssima largura de banda	
	Possibilidade de expansão ou utilização por outros sistemas	

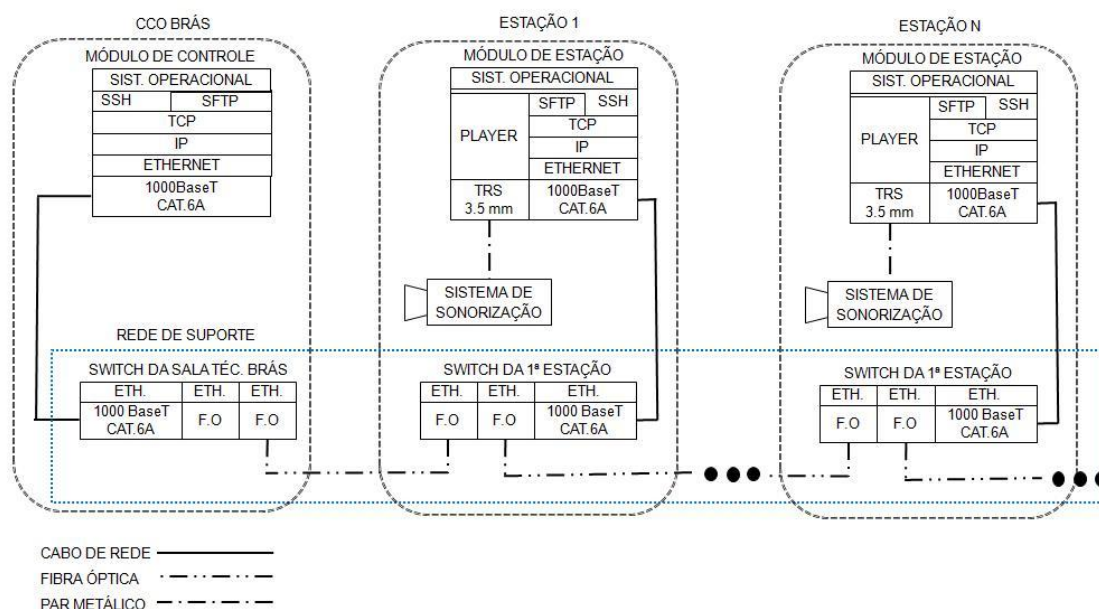
Fonte: O autor

Analisando a tabela comparativa, nota-se que apesar do maior custo, a utilização de fibra óptica com *transceivers* mostra-se mais vantajosa, principalmente pelo fato de ser uma rede segregada, que não depende do STO, podendo ser mais facilmente implantado nas demais linhas da CPTM e em futuras estações. Somado a isto, tem-se a disponibilização de uma rede de alta velocidade para outros sistemas e a padronização do sistema.

5.5 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A proposta do sistema de sonorização centralizado teria a arquitetura apresentada na figura 2.

Figura 2- Sistema proposto



Fonte: O autor

Para facilitar compreensão da proposta, o sistema será dividido em três partes; software de gerenciamento, sistema de transmissão e equipamentos das estações.

5.5.1 Software de gerenciamento

O módulo de controle, que ficaria no CCO, constitui-se de um computador no qual teria o software de gerenciamento do sistema. A partir dele, o funcionário do CCO conseguiria configurar, para uma ou para todas as estações, quais AP's pré-gravados seriam reproduzidos e o intervalo que seriam emitidas.

Neste caso, como os AP's pré-gravados são reproduzidos frequentemente nas estações, não é necessário que para cada reprodução, o arquivo de áudio seja transmitido do CCO para as estações, pois isso oneraria desnecessariamente o sistema de transmissão. Ao invés disso, os arquivos das mensagens pré-gravadas ficariam gravados em cada módulo de estação, que estariam interligados ao equipamento de sonorização. No momento que foi configurado para a mensagem ser reproduzida, o software de gerenciamento enviaria um comando às estações, solicitando a reprodução deste.

Pode ocorrer um segundo cenário, no qual seja necessária a emissão de um novo AP, como no caso de um evento atípico que resulte na necessidade de instruir ou avisar aos usuários de uma estação. Um exemplo seria um trem com passageiros que está avariado e necessita desembarcar todas as pessoas na próxima estação e seguir vazio para um pátio de manutenção. Quando um trem apresenta um defeito que ponha em risco a segurança dos passageiros, o operador do trem avisa ao CCO que não poderá prosseguir viagem e que solicitará o desembarque de todos na próxima estação. O CCO por sua vez, necessita que a próxima estação emita um Aviso ao Público informando aos usuários desta estação que não embarquem neste trem. No sistema proposto, o funcionário do CCO gravaria a mensagem localmente e a enviaria para a estação, que a reproduziria.

5.5.2 Sistema de transmissão

Conforme explicado anteriormente, a utilização de um par de fibras ópticas conectadas a *transceivers* ligados em *switches* em cada estação demonstra ser a opção mais vantajosa para a CPTM. Com isso, o sistema de transmissão seria de pelo menos 1 Gbps, no qual mesmo o sistema de sonorização centralizado utilizando parte desta taxa, a transferência de arquivos de áudio seria extremamente rápida.

5.5.3 Equipamentos das estações

Em cada estação deve haver um módulo de estação, constituído de um computador com placa de rede, conectado ao switch, e placa de som com a saída conectada a entrada de áudio analógica do sistema de sonorização da estação, além de um software de reprodução de arquivos de áudio.

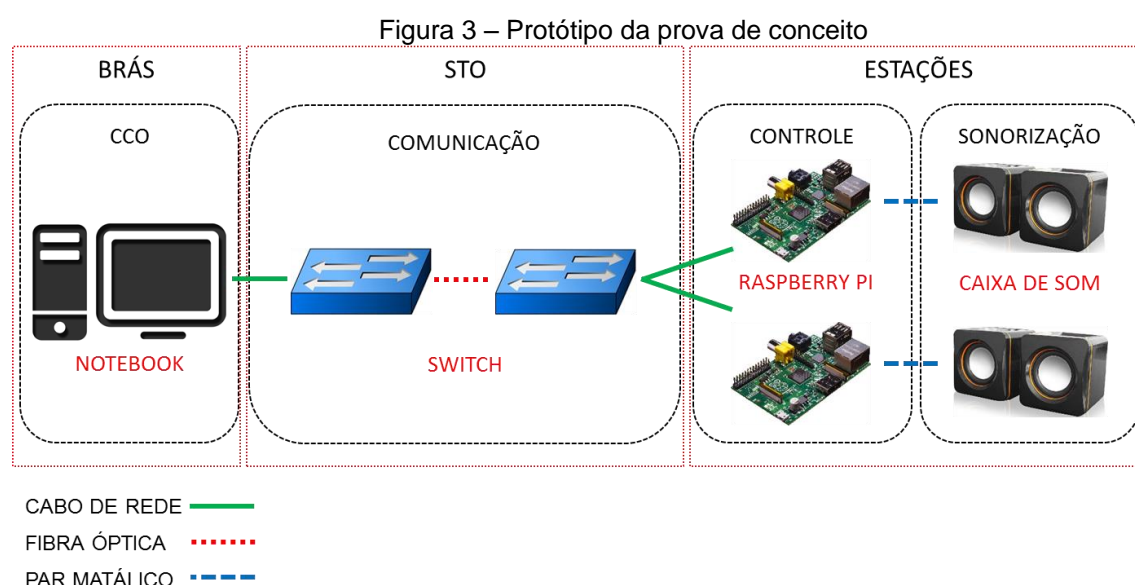
Não necessita possuir um processador com alta capacidade de processamento, no entanto, deve ter a capacidade de armazenar os arquivos das mensagens pré-gravadas.

6 PROVA DE CONCEITO

Neste capítulo será feito uma descrição, de forma resumida, de um sistema montado como prova de conceito do sistema proposto para centralização do sistema de sonorização das estações da CPTM.

6.1 COMPONENTES E INTERLIGAÇÃO DA SOLUÇÃO

No protótipo construído para a prova de conceito foi utilizado um computador portátil (notebook), um *switch* com Wi-Fi, dois *Raspeberry PI* e caixas de som, interligados conforme a figura 2Figura 3.



Fonte: O autor

Neste protótipo, o notebook simulará módulo de controle do sistema de sonorização. O *switch* com WI-FI faria a função da rede de suporte, que no caso da proposta, constitui-se da fibra óptica e os *switches* com os transceptores ópticos. Os *Raspeberry PI* seriam os módulos de estação e os equipamentos de sonorização das estações e por fim, as caixas de som exercendo a função dos alto-falantes e cornetas.

A conexão entre o notebook e o *switch* foi estabelecida por Wi-Fi, que por sua vez se conecta aos *Raspeberry PI* por cabo de rede e estes para as caixas de som através de cabos metálicos.

6.2 SIMULAÇÃO DO SISTEMA

Foram feitas duas simulações para contemplar os dois cenários possíveis. No primeiro caso, o Aviso ao Público que se deseja reproduzir nas estações é uma das mensagens pré-gravadas, no qual o arquivo se encontra no sistema de sonorização de cada estação. No segundo cenário, o Aviso ao Público é uma mensagem nova, no qual o arquivo com a mensagem se encontra somente no computador do CCO e precisa ser enviado para uma das estações, para que possa ser reproduzida.

6.2.1 CASO DE MENSAGEM PRÉ-GRAVADA

Conforme explicado anteriormente, no caso de uma mensagem pré-gravada no qual o arquivo está gravado no equipamento da estação, o computador do CCO deve somente enviar o comando para a estação, no momento que esta deve reproduzir a mensagem pré-gravada, informando somente qual dos arquivos com a mensagem deve ser executada, utilizando o protocolo SSH. No protótipo, os comandos digitados no notebook são:

```
ssh pi@"ip do raspberry pi"  
password: raspberry  
cd Downloads  
omxplayer "nome do arquivo de áudio escolhido"
```

A primeira linha de comando acessa um dos *Raspeberry PI* utilizando o protocolo SSH, informando seu endereço IP. A segunda linha a senha de acesso ao equipamento. Na terceira linha, deve ser indicado o local onde se encontra o arquivo com a mensagem. Por fim, o último comando executa o arquivo utilizando o programa de reprodução de áudio, que faz o Aviso ao Público ser escutado na caixa de som.

6.2.2 CASO DE MENSAGEM NOVA

No caso de uma nova mensagem, que não se encontra gravada no computador da estação, o sistema de gerenciamento deve enviar o novo arquivo de áudio à estação, para que esta reproduza.

No protótipo, o envio deste arquivo seria feito utilizando o protocolo FTP. Os comandos necessários para o envio de um novo arquivo são:

```
cd Música  
sftp pi@"ip do raspberry pi"  
password: raspberry  
cd Downloads  
put "nome do arquivo que será transmitido".mp3
```

A primeira linha de comando indica em qual pasta do notebook encontra-se o arquivo de áudio a ser enviado. A segunda e a terceira linhas são idênticas a primeira e segunda linha do cenário anterior. Na quarta linha é indicado em qual pasta do *Raspeberry PI* se deseja gravar o arquivo. E na última linha de comando é informado o nome do arquivo que é enviado ao *Raspeberry PI* para ser reproduzido.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são abordados as conclusões que podem ser extraídas do presente trabalho e os trabalhos futuros que poderão ser feitos a partir desta monografia.

7.1 CONCLUSÕES

Foi proposto um sistema de controle centralizado para administração dos Avisos ao Público.

A solução utilizou o que era possível da infraestrutura e produtos legados, minimizando os custos, mas adotando a arquitetura TCP/IP, de maneira que permitirá sua integração com outros serviços e sistemas que forem implantados.

Apesar da indicação de utilização de switches com *transceivers* para a comunicação, que resultaria em maior custo quando comparado à utilização do STO existente, os benefícios demonstrados desta opção justificariam o gasto superior.

Pode-se concluir que o protótipo desenvolvido como prova de conceito demonstra claramente a viabilidade da proposta feita. Portanto, o sistema de sonorização centralizado proposto no presente trabalho atinge aos anseios da CPTM, que consiste em ter a capacidade de controlar, a partir do CCO, as mensagens que são emitidas em suas estações.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

A especificação da solução teve como objetivo uma implantação imediata, utilizando a infraestrutura e sistemas existentes. O foco da prova de conceito concentrou-se nas funcionalidades.

Um próximo passo importante é a especificação, desenvolvimento e implantação de um software que implemente as funcionalidades do módulo de controle de maneira automática.

REFERÊNCIAS

ANTÓNIO, PAULO FRANCISCO. **FTP: Um Protocolo da Camada de Aplicação Baseado no TCP**. Angola: Universidade Católica de Angola. 2008. Disponível em < <http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialftp2.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2016.

AVILA, LUIS FERNANDO DE. **Redes de Transporte**. Campinas: UNICAMP, [ca. 2010]. 10 p. Apostila utilizada nas aulas ministradas pelo Prof. Dr. Luis Fernando de Ávila na Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. Disponível em < http://www.ceset.unicamp.br/~lfavila/TT089/Redes_de_Transporte.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2015.

BEZERRA, ROMILDO MARTINS. **Ethernet**. Bahia: Centro Federal de Educação Tecnológica, 2008. 5 p. Apostila utilizada na disciplina de Redes de Computadores II.

BOTEON, ANCELMO. **Análise de ferramentas para segurança de redes**. 2007. 63 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

CARISSIMI, A. S.; ROCHOL J.; ZAMBENEDETTI L. **Redes de Computadores**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 390 p.

CASAGRANDE, JORGE H. B. **Redes de Computadores e a Camada Física**. Santa Catarina: Centro Federal de Ensino Tecnológico de Santa Catarina, 2008. 26 p.

COSTA, JEFFERSON. **Apostila de Redes de Computadores**. São Paulo: JHTEC, 2010. 74 p.

CPTM. **A companhia**. 2015. Disponível em <<http://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/a-companhia.aspx>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

DIAS, MIGUEL ÂNGELO VILAS BOAS. **Protocolo ARP**. Portugal: Instituto Politécnico do Vale do Ave, 2013.

FILHO, HUBER BERNAL. **Redes SDH**. São Paulo: FITec, 2009. 20 p.

GUERBER, CARLOS. **Serviços de Rede: FTP**. Santa Catarina: Universidade do Contestado. 2007.

HOSTALIA. **Qué es el protocolo SSH y cómo configurarlo para mejorar La seguridad de acceso a los servidores Linux**. Bilbao, [Ca. 2010]. Disponível em <http://pressroom.hostalia.com/wp-content/themes/hostalia_pressroom/images/WP-Hostalia-protocolo-SSH.pdf>. Acesso em 6 mar. 2016.

JAMHOUR, EDGARD. **VLANs Ethernet**. Paraná: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008. Disponível em < <http://www.dcc.fc.up.pt/~rprior/1112/LabRedes/VLAN.pdf>>. Acesso em 3 mar. 2016.

PRADO, ALEXANDRRE. **Apostila de Redes de Computadores – Parte – V – Switch**. Araçatuba: Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, 2011. 15 p.

REDES de telecomunicações. Portugal: Universidade do Algarve, 2003. 53 p.

ROCHOL, JUERGEN. **Comunicação de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 298–299.

UEYAMA JÓ. **Redes de Computadores**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. 25 p. Disponível em < <http://wiki.icmc.usp.br/images/4/4c/Rc14-enlace.pdf>>. Acesso em 3 mar. 2016.