

**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

ROBSON SIRINEU SILVA SANTOS

ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TRÁFEGO CENTRALIZADO NO CCO

**Uma análise de falhas do Sistema de Controle e Aquisição de Dados
visando maior estabilidade e disponibilidade do Sistema**

São Paulo

2016

**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

ROBSON SIRINEU SILVA SANTOS

ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TRÁFEGO CENTRALIZADO NO CCO

Uma análise de falhas do Sistema de Controle e Aquisição de Dados para proporcionar maior estabilidade e disponibilidade do Sistema

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para Conclusão do Curso de
Especialização em Tecnologia Metro-
Ferroviária.

São Paulo

2016

**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

ROBSON SIRINEU SILVA SANTOS

ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TRÁFEGO CENTRALIZADO NO CCO

**Uma análise de falhas do Sistema de Controle e Aquisição de Dados para
proporcionar maior estabilidade e disponibilidade do Sistema**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para Conclusão do Curso de
Especialização em Tecnologia Metro-
Ferroviária.

Área de Concentração:
Tecnologia Metro-Ferroviária

Orientador: Prof. Dr. João Batista
Camargo Jr.

São Paulo

2016

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, autor e princípio da vida, pela presença constante e misericordiosa sobre minha vida.

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e ao corpo docente por proporcionar um ambiente facilitador do ensino e repasse do conhecimento imensurável.

Ao Professor Dr. João Batista Camargo Jr, que com muito zelo e dedicação nos orientou com sabedoria e ousadia em cada etapa do processo.

Aos amigos Alexandre e Natália pelo companheirismo, escolhas e ideais compartilhados.

Aos companheiros de trabalho da equipe de Manutenção do CCO e CIM, por acreditarem na proposta e por compartilharem experiências e conhecimento ao longo de todo desenvolvimento da monografia

Aos meus pais José Cicero, Ana Nery e irmã Cintia pelo carinho, confiança, amparo e alegria com cada vitória.

E por fim, a minha esposa Fernanda e filha Manuela Maria, razões do meu viver, pelo apoio constante, amor e união em cada etapa, fazendo com que cada minuto em família seja único e especial.

“Não basta a leitura sem a unção, não basta a especulação sem a devoção, não basta a pesquisa sem maravilhar-se; não basta a circunspecção sem o júbilo, o trabalho sem a piedade, a ciência sem a caridade, a inteligência sem a humildade, o estudo sem a graça”.

São Boaventura

RESUMO

Em um contexto onde a mobilidade urbana é assunto permanente nos debates e planejamentos de todas as grandes cidades do mundo, impossível não pensar que o sistema de transporte sobre trilhos não seja uma das principais opções de solução. Do ponto de vista técnico, o aumento da demanda precisa estar associado a tecnologias que garantam a segurança das viagens e dos usuários.

Assim, o SCTC – Sistema de Controle de Tráfego Centralizado assume papel determinante e tem a função de controlar e gerenciar o tráfego de trens em todas as Linhas da CPTM. O Centro de Controle Operacional – CCO é responsável por operar este sistema, sendo uma das atividades mais importantes e vitais para a Operação.

Assim, para uma operação controlada e supervisionada, todos os elementos de campo precisam se comunicar com o CCO em tempo real de forma que este possa ter domínio total sobre o processo, sendo o SCADA - Sistema de Controle e Aquisição de dados fundamental neste cenário.

Neste contexto, sabendo que falhas neste sistema afetam diretamente a circulação de trens e prejudicam milhares de usuários, esta monografia propõe um estudo de caso do Sistema SCADA – Sistema de Controle e Aquisição de dados, onde através da análise de falhas almeja-se proporcionar maior estabilidade e disponibilidade do sistema.

Palavras Chaves: SCADA, manutenção, Centro de Controle Operacional.

ABSTRACT

In a context where urban mobility is a permanent subject in the planning and discussions of every large city in the world, it is impossible not to think that the railroad transport systems are not one of the main options for solution. In a technical viewpoint, increasing the quality implies keeping availability of every system directly related with the train traffic and needs to be associated to technologies that guarantee a safe trip, as well as the customer's safety.

Thus, the SCTC – Sistema de Controle de Tráfego Centralizado (Centralized Traffic Control System) assumes an important role and has the function of controlling and managing the train traffic in every single one of CPTM's train lines. The CCO – Centro de Controle Operacional (Operational Control Center) – is responsible for operating this system, being one of the most important and vital activities for the entire operation.

Thus, for a controlled and supervised operation, every single one of the field factors must communicate with the CCO in real time so that the latter may have complete control over the process, and the SCADA – Sistema de Controle e Aquisição de dados (Data Acquisition and Control System) – is fundamental in this scenario.

In this context, knowing that system flaws directly affect the train traffic and harms thousands of customers, this monograph proposes a case study of the SCADA System, where, through flaw analysis, providing more system stability and availability is craved.

Keywords: SCADA, maintenance, Operational Control Center

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVO	11
1.2. JUSTIFICATIVA.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1. CONCEITOS BÁSICOS	13
2.1.1. FALHA, ERRO E DEFEITO	13
2.1.2. CONFIABILIDADE.....	14
2.1.3. DISPONIBILIDADE	14
2.2. SCADA - SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS	14
2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO	16
2.3.1. MTTR.....	16
2.3.2. MTBF.....	16
2.4. DIAGRAMA DE PARETO	17
3. CONTEXTO ATUAL.....	19
3.1. ANÁLISE DE FALHAS.....	19
3.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS DO CCO	19
3.1.2. METODOLOGIA	20
3.1.3. ANÁLISE DAS FALHAS CLASSIFICADAS	21
3.1.4. MÉTODO DE ANÁLISE – PARETO.....	23
3.2. PROBLEMA ENCONTRADO	24
3.2.1 TIPOS DE SCT (Sistema de Centralizado de Trafego)	25
4. REDUNDÂNCIA.....	30
5. PERÍODO DE ESTUDO COMPORTAMENTAL DO SISTEMA.....	32
5.1. PRIMEIRO PERÍODO DE TESTES	32
5.1.2 CONFIGURAÇÃO HOT-STANBY	32
5.2. SEGUNDO PERÍODO DE TESTES.....	34
5.2.1 CONFIGURAÇÃO HOT-INATIVO	34
6. RESULTADOS ENCONTRADOS.....	36
7. PROPOSTA DE MELHOR PERFORMANCE DO SCADA.....	38
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM - teve sua origem na junção das empresas, FEPASA - Ferrovia Paulista S/A, Rede Ferroviária Federal e CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos, vindo a assumir os sistemas de trens da região metropolitana de São Paulo no ano de 1992, atendendo aproximadamente 800.000 usuários/dia. Atualmente são transportados pela CPTM cerca de três milhões de usuários diariamente. Diante deste contexto de alta e crescente demanda, há uma preocupação de se proporcionar um serviço eficaz, de qualidade e seguro à população.

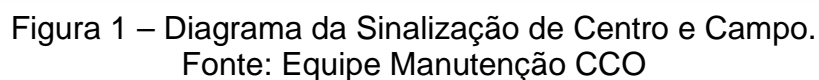
Para que a qualidade do serviço seja atingida de uma maneira satisfatória aos olhos dos usuários, muitos fatores são levados em consideração como pontualidade, oferta de trens e lugares, conforto, fácil acesso às Estações, limpeza e organização das Estações, acessibilidade, funcionários capacitados a lidar com o público, etc.

Do ponto de vista técnico, a qualidade está diretamente envolvida com a disponibilidade dos sistemas e equipamentos, que fazem a ferrovia funcionar, obtendo o seu máximo rendimento possível.

O Sistema de Controle de Tráfego Centralizado é responsável pelo controle e gerenciamento de tráfego a partir de dados recebidos do campo ou de comandos gerados no Centro de Controle Operacional. O SCTC é composto de um conjunto de subsistemas responsáveis pelas funcionalidades requeridas ao controle de tráfego e oferece apoio gerencial à operação e manutenção dos sistemas e/ou equipamentos integrantes. (Rodvalho; Sanuki; Filippi e Santos, 2004) São eles:

- Interface Homem Máquina (IHM), constituídas de Consoles de Operação, Console de Supervisão, Console de Manutenção e Engenharia.
- Servidor SCADA dualizado que agrega as funções de Banco de Dados e de Controle de Tráfego de Trens.
- Painéis Sinóticos Retroprojetados.
- Rede Local de comunicação padrão Ethernet.

- Na figura 1 a seguir, segue exemplo do diagrama de interligação de toda o sistema de sinalização da linha 10, onde é apresentado a interface entre os sistemas de tráfego centralizado com os sistemas de campo.



Manter a disponibilidade do Sistema de Controle de Tráfego Centralizado significa manter a disponibilidade de cada um dos seus subsistemas e, para isso, é necessário que se tome decisões com relação às manutenções e modo de operação dos equipamentos.

10

sistemas de campo e sistemas de centro, o que torna difícil a tomada de decisões relacionadas aos equipamentos instalados dentro do Centro de Controle.

1.1.OBJETIVO

O trabalho proposto tem como objetivo apresentar uma análise da disponibilidade do SCTC, onde para isso é feita uma avaliação dos equipamentos instalados no Centro de Controle e que estão diretamente relacionados com o controle e supervisão de tráfego, visando a identificação de pontos críticos que interferem na disponibilidade do Sistema de Controle de Tráfego Centralizado (SCTC) e com isso, propor um estudo de caso onde através da análise das falhas possa ser encontrado soluções que possibilite maior estabilidade do sistema garantindo maior disponibilidade a operação.

Além da análise de falhas, serão identificados os gargalos de processo e proposto um período de estudo comportamental do Sistema de Controle e Aquisição de Dados (SCADA), que possibilite apresentar modos de funcionamento que garantam maior estabilidade do sistema, apresentando a dificuldade encontrada para a realização deste trabalho com as ferramentas existentes.

1.2. JUSTIFICATIVA

O Centro de Controle Operacional da CPTM é responsável por controlar a movimentação dos trens ao longo da via por meio de uma infraestrutura de servidores, computadores, Sistema de CFTV e Painel Sinótico de supervisão global do tráfego de trens e da distribuição de energia da ferrovia. Suas principais funções são: monitorar as condições de tráfego, comandar e acionar os equipamentos de campo, monitorar as irregularidades operacionais e sistêmicas, regulação do tráfego (fazer com que a operação realizada seja igual a

programada), controlar as ocorrências e interagir com as Estações e controlar os acessos.

Em resumo, o CCO é o centro de informações operacionais e de manutenção, podendo ser considerado o setor de maior importância da empresa. Dele partem todas as ações e tomadas de decisões Operacionais, de Manutenção e Obras sejam elas emergenciais ou não.

Atualmente, a circulação de trens fica bastante comprometida caso o CCO esteja totalmente indisponível, o que torna as falhas nos sistemas que o compõe de um nível de criticidade muito alto. Para o tema deste trabalho foi escolhido o Sistema de Controle de Tráfego Centralizado (SCTC) como fonte de análise devido a esta criticidade e os impactos operacionais causados em decorrência de falhas ocorridas nestes sistemas o que torna ainda mais necessário a identificação dos pontos críticos e a proposta de soluções que garantam maior estabilidade ao Sistema de Controle e Aquisição de Dados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CONCEITOS BÁSICOS

2.1.1. FALHA, ERRO E DEFEITO

Este documento propõe abordagem visando o aumento da disponibilidade do CCO com relação aos Sistemas de Sinalização, sendo de grande interesse o sucesso destes sistemas no que se refere ao atendimento às suas especificações. Uma falha (fault) corresponde a um problema de um componente podendo ser uma falha física ou imperfeição de um componente de hardware ou software (Camargo, 2015) e é a causa física ou algorítmica do erro (Weber). O erro (error) corresponde à manifestação interna de uma falha (Camargo, 2015). Define-se que o sistema está em estado de erro quando o processamento posterior pode levar a um defeito (Weber). Um defeito (failure) é um desvio da especificação (Weber) e ocorre quando um sistema não desempenha ou desempenha incorretamente uma ou mais de suas funções, caracterizando perda de desempenho.

Na figura 2 a seguir é mostrada uma simplificação, sugerida por Barry W. Johnson [Prad96], para os conceitos de falha, erro e defeito. Falhas estão associadas ao universo físico, erros ao universo da informação e defeitos ao universo do usuário.

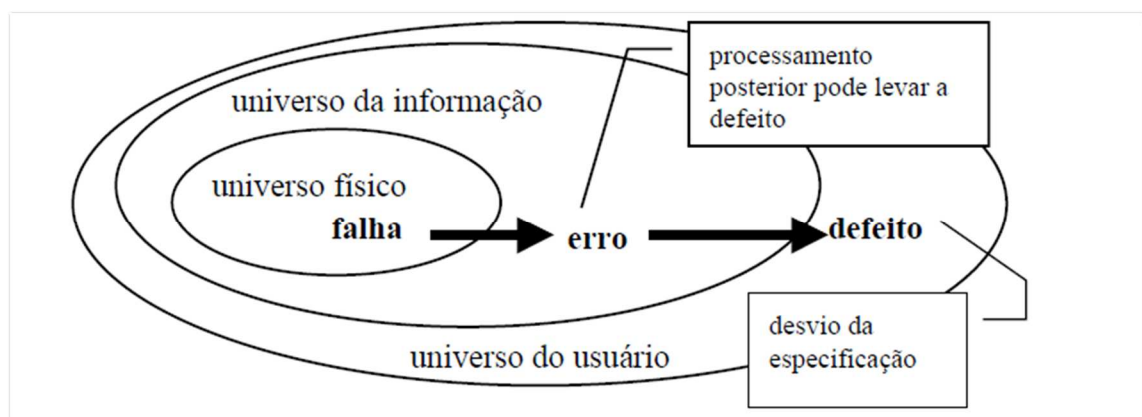


Figura 2: Modelo de 3 universos: falha, erro e defeito

2.1.2. CONFIABILIDADE

Confiabilidade é a probabilidade de um sistema funcionar de acordo com a especificação em um determinado período de tempo condicionado a estar operacional no início do período (Camargo, 2015).

Confiabilidade é uma medida de probabilidade, pois a ocorrência de falhas é um fenômeno aleatório (Weber). Está associada à operação bem-sucedida mesmo que para isso seja necessárias interrupções no funcionamento para manutenção corretiva e preventiva. Confiabilidade não pode ser confundida com disponibilidade. Um sistema pode ser de alta confiabilidade e de baixa disponibilidade e vice-versa.

2.1.3. DISPONIBILIDADE

Disponibilidade é a probabilidade de o sistema estar disponível para desempenhar as funções especificadas num determinado instante de tempo (Camargo, 2015).

Disponibilidade é o atributo mais usado em sistemas de missão crítica. Sistemas de consulta de base de dados on-line, servidores de rede, são alguns exemplos de sistemas onde alta disponibilidade é requerida.

Disponibilidade não pode ser confundida com confiabilidade. Um sistema pode ser altamente disponível mesmo apresentando períodos de inoperabilidade, quando está sendo reparado, desde que esses períodos sejam curtos e não comprometam a qualidade do serviço. Disponibilidade está muito relacionada com o tempo de reparo do sistema. Diminuir o tempo de reparo resulta em um aumento de disponibilidade. Também é possível manter a disponibilidade do sistema utilizando o método de tolerância a falhas ou redundâncias que garantem o funcionamento correto do sistema mesmo na ocorrência de falhas.

2.2. SCADA - SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Nos dias de hoje, dentro do mundo empresarial, é comum observar que as missões das empresas sempre giram em torno de busca de bons resultados e

satisfação do cliente. Com a CPTM não é diferente, pois tem como missão: “Prestar serviço de transporte público propiciando mobilidade urbana com excelência e segurança”, onde para alcançar este objetivo a empresa investe em sistemas que permitam uma circulação controlada e segura.

Desta forma, há diversos sistemas contidos em um centro de controle, onde através destes todos os recursos e funcionalidades se somam com o objetivo de prestar um serviço confiável e de qualidade. No entanto, o SCADA (Sistema de Controle e Aquisição de Dados) é parte integrante do Sistema de Sinalização de centro e tem um papel de destaque pelo fato de ser o sistema primordial à operação, onde analogamente, é feita a função que um cérebro realiza no corpo humano.

A regra geral para o funcionamento de um sistema SCADA parte dos processos de comunicação com os equipamentos de campo, cujas informações são enviadas para o núcleo principal do software. O núcleo é responsável por distribuir e coordenar o fluxo dessas informações para os demais módulos, até chegarem na forma esperada para o operador do sistema, na interface gráfica ou console de operação com o processo. Geralmente são acompanhadas de gráficos, animações, relatórios etc. de modo a exibir a evolução do estado dos dispositivos e do processo controlado, permitindo informar anomalias, sugerir medidas a serem tomadas ou reagir automaticamente (Vianna, W.S, 2015). Assim, na CPTM o Sistema de Controle e Aquisição de dados contém os elementos que regem todas as linhas, mantendo toda a malha ferroviária totalmente supervisionada e controlada.

Os sistemas SCADA também são conhecidos como software supervisor, que além de monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle, são também conectados em controladores (*drivers*) específicos que variam conforme sua aplicação final. Estes sistemas podem assumir topologia mono-posto, cliente-servidor ou múltiplos servidores-clientes (Vianna, W.S, 2015), esta última utilizada na CPTM.

O modelo cliente-servidor, em computação, é uma estrutura de aplicação distribuída que distribui as tarefas e cargas de trabalho entre os fornecedores de

um recurso ou serviço, designados como servidores, e os requerentes dos serviços, designados como clientes. Geralmente os clientes e servidores se comunicam através de uma rede de computadores, mas tanto o cliente quanto o servidor podem residir no mesmo computador.

2.3.INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO

O bom funcionamento dos equipamentos de uma empresa, seja em qualquer ramo de atividade, é fundamental para permitir o sucesso de um processo dentro de uma organização. Controlar os custos com manutenção e a disponibilidade dos mesmos são fundamentais para melhorar o desempenho e garantir a continuidade dos serviços prestados. Neste sentido, dois indicadores de manutenção são muito relevantes e precisam ser levados em consideração: o MTTR e o MTBF.

2.3.1. MTTR

Em português a sigla MTTR (Mean Time To Repair) significa Tempo Médio Para Reparo. A sigla MTTR é bastante conhecida no mundo da manutenção, sendo este indicador a relação do tempo gasto em manutenção pelo número de intervenções no equipamento (Branco, 2008).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Manutenção}}{\text{Total de Intervenções}}$$

2.3.2. MTBF

Em português a sigla MTBF (Mean Time Between Failure) significa Tempo Médio Entre Falhas. A sigla MTBF também é comumente utilizada no mundo da manutenção sendo a divisão das horas disponíveis de um equipamento para operação pelo número de intervenções/manutenções no mesmo período.

Quanto mais esse indicador aumenta, melhor é o controle da manutenção ou processo (Branco, 2008).

$$MTBF = \frac{\text{Horas Disponíveis}}{\text{Total de Intervenções}}$$

2.4. DIAGRAMA DE PARETO

O Diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado para focalizar esforços em problemas com maior potencial de retorno. Sua origem decorre de estudos do economista italiano Pareto e do grande mestre da qualidade Juran (Hayrton, 2009).

Juran aplicou os conceitos de Pareto na área da qualidade e afirmou que “A maioria das perdas se devem a um pequeno número de causas, ou seja, poucas são vitais, a maioria é trivial” e denominou o método como Análise de Pareto. Demonstrou que a maior parte dos defeitos, falhas, reclamações são geradas por um número pequeno de fatores e, se esses fatores forem identificados, torna-se possível a priorização para correção dos mesmos eliminando grande parte das perdas. É também conhecida pela proporção 80/20 onde se conclui que 80% dos problemas são gerados por 20% de causas potenciais (DIAGRAMA..., 2013).

A Análise de Pareto prioriza a ação que trará o melhor resultado. Ela consiste num gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências da maior para a menor, o que permite identificar quais itens são responsáveis pela maior parte dos problemas e ajuda na definição das prioridades (Hayrton, 2009).

Para a confecção do Diagrama de Pareto é necessário coletar os dados e reuni-los dentro de cada categoria, listar as categorias em ordem crescente de frequência da esquerda para a direita e estabelecer um período de tempo de coleta. Traçar dois eixos, um vertical e um horizontal de mesmo comprimento. No eixo vertical da direita, fazer uma escala de 0% a 100%, e na esquerda uma

escala de 0 até o valor total. Calcular a frequência de ocorrência relativa e acumulada para cada categoria (DIAGRAMA..., 2013).

Desta forma, tem-se a visualização rápida dos 20% das causas que originam 80% dos problemas.

3. CONTEXTO ATUAL

Um centro de Controle Operacional (CCO) apresenta uma visão completa e em tempo real da localização, movimentação e controle de todos os trens, permitindo que o serviço prestado à população seja realizado com a mais completa segurança.

O CCO é composto de um conjunto de recursos que agrega de forma integrada e centralizada em um mesmo local físico as funcionalidades requeridas ao controle de seus subsistemas, bem como as informações geradas para que seja possível realizar o controle de tráfego dos trens, o controle de suprimento e distribuição de energia de tração e o controle dos subsistemas auxiliares tendo como objetivo ajustar e manter a regularidade de circulação de toda malha ferroviária em função da demanda exigida (Romualdo: Ramires e Kusano, 2012).

O CCO da CPTM é dividido por pares de linhas (07/10; 08/09; 11/12), porém todo o controle e supervisão são centralizados. Cada par de linhas possui suas particularidades, com tecnologias e arquiteturas distintas. Isso ocorre, principalmente, devido ao fato de serem de períodos de implantações diferenciados que ao longo dos anos foram sofrendo remodelações e atualizações de forma independente.

3.1. ANÁLISE DE FALHAS

3.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS DO CCO

A CPTM possui um procedimento de abertura de falhas para que as equipes de manutenção espalhadas ao longo da via férrea sejam acionadas de uma maneira rápida e eficiente. Para isso, é utilizado um sistema chamado SICOM e há um setor que realiza a integração entre o “cliente” e a Equipe de Manutenção, chamado CIM – Centro de Informação da Manutenção que fica localizado estrategicamente dentro do Centro de Controle Operacional e tem papel de destaque pelo fato de centralizar, gerenciar e controlar todas as falhas,

intervenções nas áreas operacionais e controle da energia nas cabines e subestações.

O SICOM é o Sistema Integrado de Controle da Operação e Manutenção e possui a função de agrupar os dados referentes ao processo de abertura e registro de falhas ou ocorrências, bem como os seus desdobramentos, tudo via cadastro no sistema, o que possibilita a consulta e realização de relatórios detalhados de todas as falhas, pendências e ocorrências dos equipamentos ou sistemas da CPTM.

O procedimento de abertura de falhas é realizado pelo CIM e resume-se basicamente em receber a reclamação, o que é chamado de SAF (Solicitação de Atendimento de Falha), e analisar se o fato caracteriza ou não uma falha. Após a constatação de que a reclamação se trata efetivamente de uma falha, esta se transforma no que é denominado de SSM (Solicitação de Serviço da Manutenção) e neste momento é encaminhado via sistema às Equipes de Manutenção mais próximas do equipamento ou sistema. A Equipe de Manutenção após receber a falha gera o que é chamada de OSM (Ordem de Serviço de Manutenção) e nela são preenchidas as atuações técnicas, tempo de reparo do atendimento bem como os recursos utilizados de mão de obra e material.

3.1.2. METODOLOGIA

O método utilizado foi a análise das falhas referentes aos períodos de janeiro a dezembro de 2014 e janeiro a dezembro de 2015, através do SICOM (Sistema de Controle da Operação e Manutenção). A forma possível de se obter os dados, através do banco de falhas, foi filtrando através do campo denominado grupo de sistema onde no caso foi utilizado a “Sinalização”. O grande problema encontrado no levantamento dos dados através do SICOM foi que no grupo de Sistema “Sinalização” não há uma separação exclusiva que trata as falhas de Sinalização de Centro e Sinalização de Campo, pois o sistema foi arborizado de tal forma que fosse considerado único. Porém, na realidade de hoje, a CPTM

trata a sinalização de centro e campo de forma bem distinta, contando, até mesmo, com departamentos diferentes para cada área.

Para esclarecer, as falhas consideradas como Sinalização de centro estão relacionadas aos seguintes sistemas do Centro de Controle: Servidores de Tráfego, IHM's, Switches, Roteadores, Modems de Comunicação, Conversores de Mídia, Painel Sinótico, Gerenciadores de Imagens e Nobreak's. Referente as de Sinalização de Campo são: Sinaleiros, Máquinas de Chave, Relês Vitais, Circuitos de Via, Bonde de Impedância e Cabos de Bloqueio. As falhas consideradas foram obtidas por meio de filtragem no Sistema SICOM entre 2014 e 2015, somando um total de 2070 falhas.

Diante disso, uma vez que o objeto de abordagem deste trabalho refere-se à Sinalização de Centro de Controle, ao realizar a análise das falhas, o grande desafio observado foi a necessidade de estratificá-las e filtrá-las de uma forma que pudessem ser separadas as falhas de centro das de campo, pois conforme exposto no formato atual do sistema não é possível extrair essa informação de forma imediata.

Para isso não houve alternativa a não ser analisar todas as falhas, uma a uma, verificando em cada OSM (Ordem de Serviço de Manutenção) o equipamento atuado pela equipe técnica, as causas que levaram à parada do equipamento e também as ações que levaram ao restabelecimento do equipamento e/ou sistema ao seu estado funcional.

Importante ressaltar que a informação não podia ser extraída de forma sistêmica, uma vez que nos formulários, embora eletrônicos, as informações a serem analisadas estavam em forma de "texto" escrito pela equipe técnica, fato que consumiu detalhadas análises para chegar ao resultado fiel dos fatos.

3.1.3. ANÁLISE DAS FALHAS CLASSIFICADAS

Desta forma, no tocante aos equipamentos de Sinalização do Centro de Controle, foram identificadas 871 falhas que comprometeram a disponibilidade do sistema de sinalização de tráfego ao longo dos últimos 2 anos, onde através

das pesquisas das atuações técnicas descritas nos registros de manutenção das falhas, foi possível a identificação dos equipamentos que apresentaram defeito e foi criada assim uma primeira classificação das mesmas quanto ao hardware, software e periféricos.

Após uma segunda análise, com olhar criterioso sobre a primeira classificação (em muitos casos tendo que consultar os empregados que atuaram na falha para identificar o real problema no qual foi atuado), por se tratar de formas e fatores diversos que podem levar a uma mesma causa, as falhas de Servidores e IHM's foram classificadas separadamente e agrupadas como falhas de Hardware e falhas de Software, conforme segue:

Falhas de Servidor

Servidor-Hardware: Quando durante a atuação, para restabelecer o sistema, foi necessário atuar ou substituir o equipamento ou alguma parte física do mesmo, como por exemplo: substituição do servidor, substituição do cooler, HD, Cabos elétricos, matriz de contatos, fontes, memória, placa mãe, pilhas, componentes eletrônicos, etc.

Servidor-Software: Quando a falha foi solucionada intervindo no processamento do equipamento, atuando basicamente através de linhas de comando, como por exemplo: Reinicialização do equipamento, reset manual, reinicialização da aplicação, reinstalação da aplicação, carregamento de tabela, limpeza de disco, limpeza de buffer, etc.

Falhas de IHM

IHM-Hardware: Quando durante a atuação, para restabelecer o sistema, foi necessário atuar ou substituir o equipamento ou alguma parte física, como por exemplo: Substituição da IHM, substituição do cooler, HD, cabos elétricos, fontes, memória, Placa mãe, pilhas, etc.

IHM-Software: Quando a falha foi solucionada intervindo apenas através de comandos de linguagem de programação, como por exemplo: Reinicialização do equipamento, reset manual, reinicialização da aplicação, reinstalação da aplicação, etc.

3.1.4. MÉTODO DE ANÁLISE – PARETO

Após quantificar as falhas e identificar os equipamentos foi possível realizar a Análise de Pareto, conforme representação gráfica a seguir nos gráficos 1 e 2. Tal método, conforme citado, também conhecido como Regra 80/20 é um estudo que conclui que 80% dos problemas são geralmente causados por 20% dos fatores. Analogamente, para que se resolva 80% das falhas e, conseqüentemente, aumentar consideravelmente a disponibilidade do CCO, é preciso priorizar 20% dos sistemas instalados mais críticos.

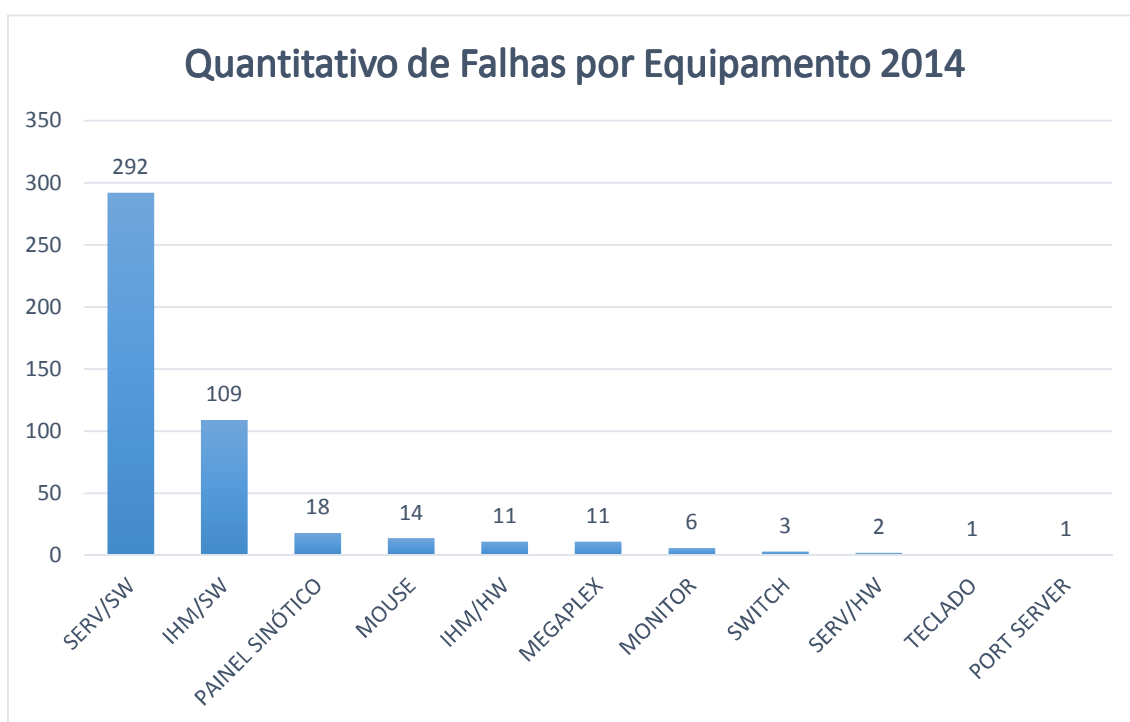


Gráfico 1 – Análise de Pareto (2014)

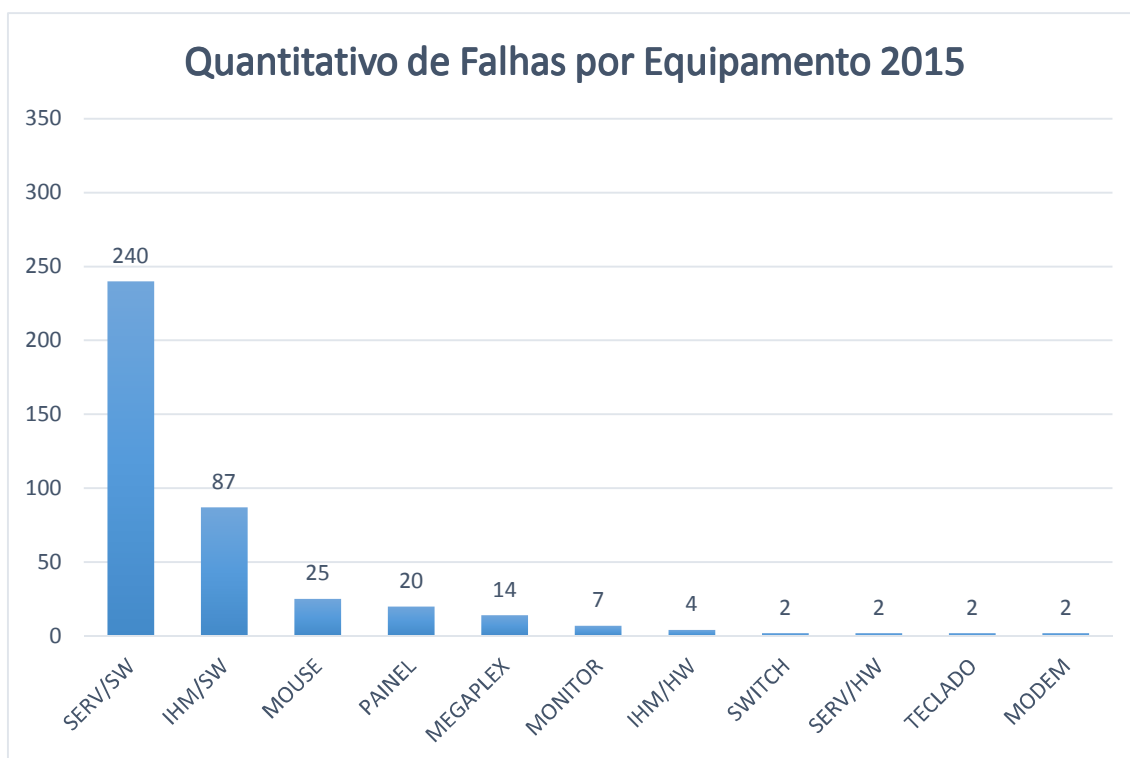


Gráfico 2 – Análise de Pareto (2015)

3.2. PROBLEMA ENCONTRADO

De posse das informações bem definidas que o diagrama de Pareto apresenta, pode-se observar que o maior responsável pelas falhas do SCTC referente aos equipamentos de sinalização instalados no CCO são problemas de Software relacionados aos servidores de tráfego e suas IHM (s).

Ampliando o horizonte sobre as falhas de maior incidência, verificou-se que em média 85% delas estão relacionadas a erros de processamento, denominada como a origem/causa da falha, segundo os conceitos da ferramenta SICOM.

Outra situação observada é que, conforme apresentado no gráfico 3, existe uma certa periodicidade de falhas e picos característicos ao longo dos meses formando um gráfico do tipo “dente de serra”, o que caracteriza falhas periódicas e com características uniformes ao longo do tempo.

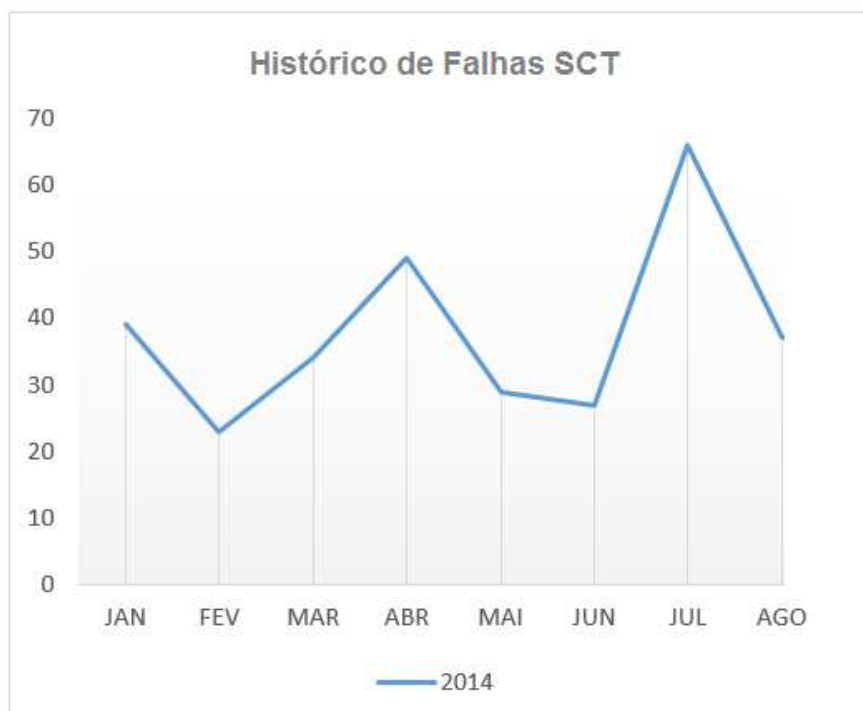


Gráfico 3 – Picos sazonais característicos de falhas

Após a informação do comportamento global do SCT, procurou-se um olhar mais detalhado sobre cada Sistema SCADA separadamente, observando característica e similaridades para uma melhor identificação/caracterização da falha e do ponto crítico.

3.2.1 TIPOS DE SCT (Sistema de Centralizado de Trafego)

Conforme já citado, existe uma diversidade de empresas que trabalham com o fornecimento de Softwares Supervisores que utilizam o método SCADA para todo o controle e supervisão dos dados.

Hoje os Sistemas de Tráfego centralizado das linhas da CPTM não seguem um mesmo padrão de fabricante/ fornecedor, ou seja, para cada linha pode existir uma empresa diferente que controla e supervisiona os elementos de campo.

A distribuição dos SCTC do CCO Brás atualmente é da seguinte forma, conforme Tabela 1:

Linha	Fabricante do SCT
7	A
8	B
9	A
10	A
11/12	A
Integração Centro 07/10/11/12 (Brás Luz)	A

Tabela 01 – Fornecedores do SCT / SCADA

Embora não se tenha um padrão, pois além de possuir mais de um fabricante que controla o tráfego, os equipamentos são de época e tecnologias diferentes. Aproximadamente 83% do sistema SCADA pertence a um mesmo fabricante, no caso o denominado A.

NOTA: Estas informações referem-se ao que se tem instalado atualmente. Projetos e implantações futuras ou em andamento – consequentemente, troca de fabricantes - não foram levados em consideração.

Como exemplo, a seguir, na figura 3 segue a representação da tela do sistema supervisorio instalado da linha 7 da CPTM, onde é apresentado informações em tempo real das Unidades Remotas (UR's), diagnóstico dos servidores, consoles de operação, elementos da rede de comunicação, interfaces de comunicação FEC (Front End Communication), relatórios de alarmes e eventos, dentre outras ferramentas.

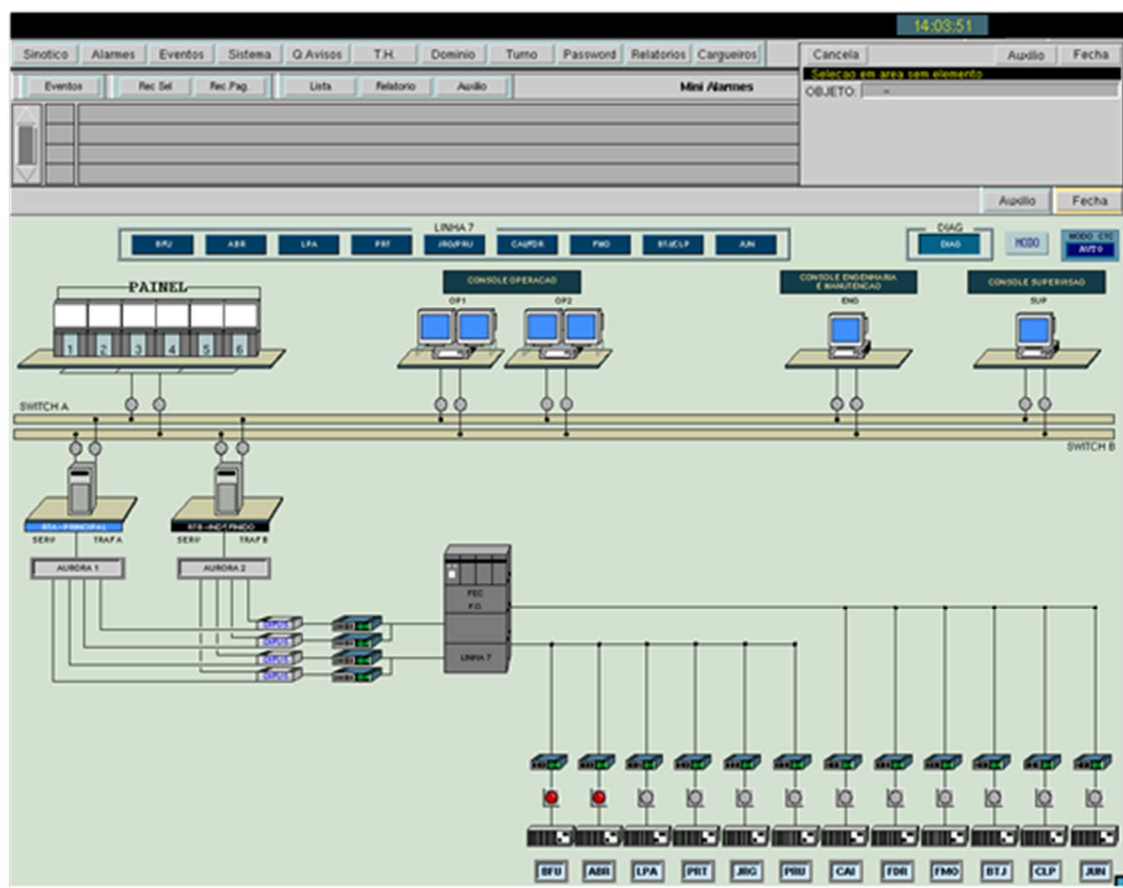


Figura 3 - Tela da IHM do supervisor da Linha 7

Desta forma, sabendo das divisões do sistema SCADA dentro das linhas da CPTM, a proposta foi analisar cada um separadamente e efetuar análise crítica sobre cada resultado.

Assim, após apuração dos dados, foi possível observar nos gráficos de cada sistema SCADA que, com exceção da linha 8, todos apresentam algumas características marcantes e acentuadas de falhas que possuem uma forma crescente até um determinado ponto em que sofre um decréscimo repentino, subindo após um período de tempo, formando novamente assim a imagem de “dente de serra”, conforme pode ser comprovado nos gráficos a seguir:

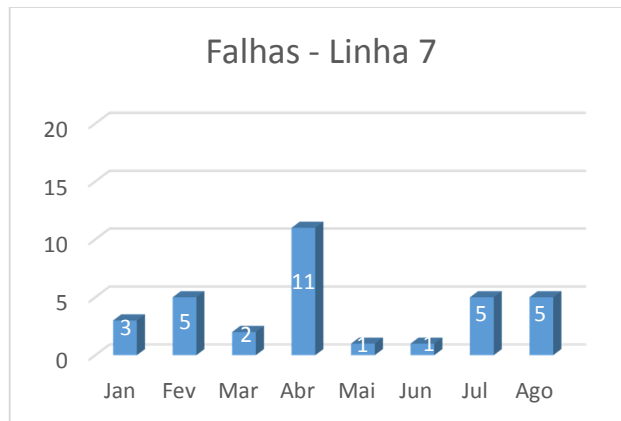


Gráfico 4: Falhas de Servidores e IHMs na Linha 7– Jan a Ago /14

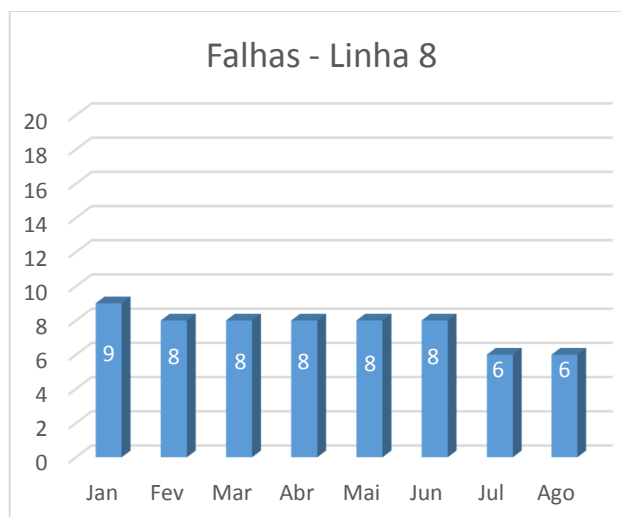


Gráfico 5: Falhas de Servidores e IHMs na Linha 8– Jan a Ago /14

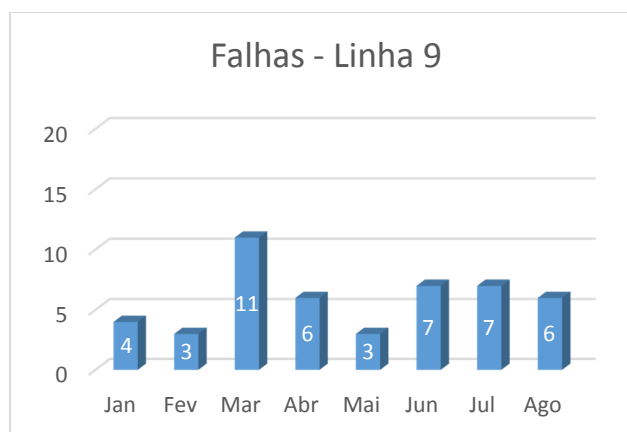


Gráfico 6: Falhas de Servidores e IHMs na Linha 9– Jan a Ago /14

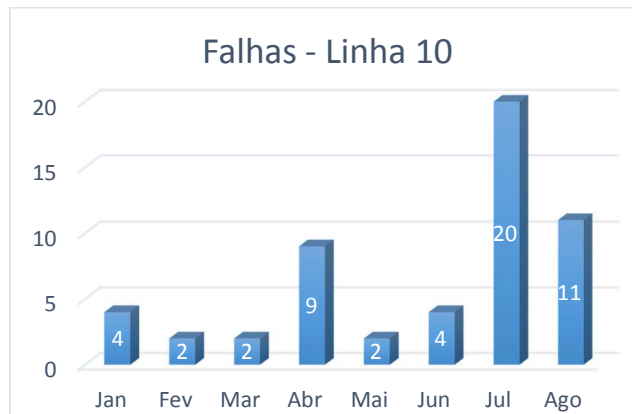


Gráfico 7: Falhas de Servidores e IHMs na Linha 10– Jan a Ago /14

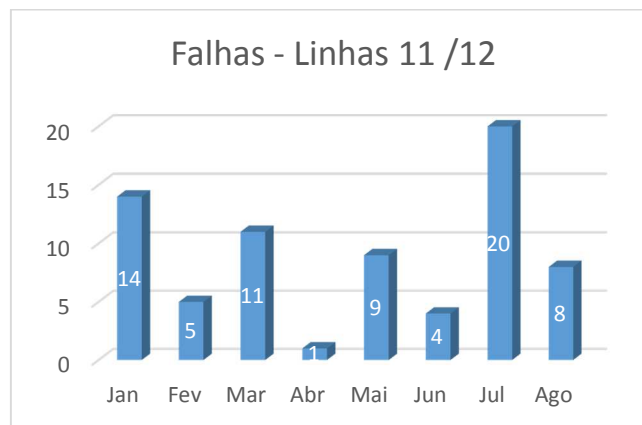


Gráfico 8: Falhas de Servidores e IHMs na Linha 11/12– Jan a Ago /14

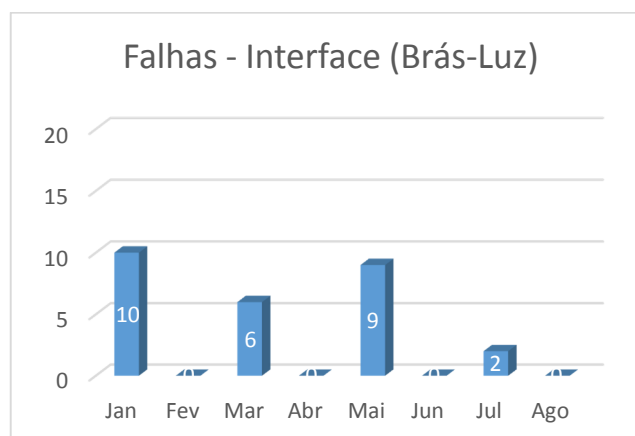


Gráfico 9: Falhas de Servidores e IHMs entre Brás e Luz– Jan a Ago /14

Diante de todas estas constatações, foi realizada uma pesquisa técnica com os empregados que atuam no sistema diariamente e após questionamento sobre a frequência de falhas e incidência de reclamações operacionais, foi possível extrair duas informações de grande valor que, segundo a equipe, fazia com que o sistema funcionasse melhor:

1. O sistema melhorava após uma falha de servidor “travamento total do equipamento” e sua reinicialização manual.
2. Quando era notado que as falhas ficavam em uma frequência muito elevada realizava-se aleatoriamente a limpeza lógica (reinicialização forçada do equipamento).

Após estas constatações ficou ainda mais claro o motivo pelo qual os gráficos de falhas do SCT, mais especificamente o grupo de sistemas SCADA, apresentam formas de picos “dente de serra”, ou seja, as falhas ao longo do tempo ficavam nitidamente mais frequentes e com menor tempo médio entre elas (MTBF), até o ponto em que havia uma parada do equipamento. Após este instante, o sistema se comportava melhor pelo fato de ter sido reinicializado seja através de falha ou através de intervenção planejada, ou seja, limpeza lógica.

4. REDUNDÂNCIA

A utilização de redundância de hardware ou de equipamentos é um recurso largamente empregado quando a tolerância à falha é requerida. Maior tolerância corresponde a maior disponibilidade e maior segurança operacional, sendo que o primeiro está relacionado ao tempo em operação e a lucratividade do negócio, já o segundo diz respeito à preservação dos ativos e da vida das pessoas envolvidas no processo como empregados, usuários e transeuntes.

Em se tratando dos Sistemas SCADA, onde os servidores de tráfego são os principais elementos do sistema, eles podem ser configurados em diferentes estados:

- **Ativo** - É o servidor que está rodando o aplicativo. Apenas um servidor pode estar ativo em um domínio em determinado momento.
- **Standby** - O servidor em standby fica em espera, com o aplicativo carregado, mas não em execução. Ele monitora o servidor ativo e entra em ação assim que não receber mais respostas do servidor ativo.
- **Inativo** - Um servidor inativo está declarado no Domínio, mas não está selecionado nem como principal nem como standby. Ele monitora todas as mudanças no arquivo de domínio, podendo ser ativado manualmente a qualquer momento.
- **Em manutenção** - O servidor em manutenção não toma parte em nenhum evento no domínio. Este estado serve para indicar que um servidor está sendo configurado e não está pronto para entrar em ação (Kichalowsky, 2014).

Desta forma, o sistema SCADA, das diferentes linhas da CPTM, foi concebido na configuração de redundância hot-standby, onde o controlador primário é o que executa todas as tarefas e o controlador secundário é aquele que, continuamente sincronizado com o primário, permanece pronto para assumir todo o processo caso ocorra alguma falha no controlador primário. O processo de troca de função de secundário para primário deve ocorrer de forma automática e sem nenhum sobressalto.

No entanto, pelo registro de inúmeras falhas, não era incomum encontrar descrições onde o técnico relatava que o sistema ficou indisponível pelo fato do servidor principal ter entrado em estado de falha e o secundário não ter assumido as tarefas, causando assim grandes prejuízos à operação de trens.

5. PERÍODO DE ESTUDO COMPORTAMENTAL DO SISTEMA

Após somatório de estudos e análises das falhas, foi possível identificar aspectos extremamente relevantes, como:

1. A grande parte das falhas do SCT estão associadas a falhas no sistema SCADA (Servidores e IHMs).
2. Estas por sua vez tiveram sua origem/causa classificada como erro no processamento.
3. Pelo histórico das falhas, a representação gráfica sugere um formato de “dente de serra” com picos bem definidos, justificado pelo fato de após as paradas dos equipamentos (seja de falha ou intervenção programada) o sistema ter um comportamento melhor durante certo período.
4. A configuração utilizada pelo SCADA é o modo Hot-Standby

Assim foi proposto um estudo comportamental do sistema, onde seriam realizados dois períodos de testes.

5.1.PRIMEIRO PERÍODO DE TESTES

O planejamento foi manter o sistema em configurações específicas e com base nisto realizar um estudo direcionado a analisar o comportamento e resposta de cada sistema.

5.1.2 CONFIGURAÇÃO HOT-STANDBY

Com base nos históricos de falhas, comportamento do sistema e relatos da equipe de manutenção, em conjunto com os gestores de manutenção da área foi permitido um estudo mais detalhado e comportamental do sistema em busca de mitigar os efeitos das graves perdas operacionais pela indisponibilidade momentânea do SCADA, mais especificamente dos servidores de tráfegos e IHMs.

Assim, neste primeiro período foi proposto o funcionamento dos servidores de tráfego na configuração original em modo hot-standby com chaveamento

automático, ou seja, um servidor fica ativo e executando a aplicação enquanto o outro servidor fica com o aplicativo carregado, porém, somente monitorando o servidor ativo, para que, havendo falta de resposta do servidor principal o secundário assuma o domínio de forma transparente à operação. Outro aspecto foi a paralização das ações de limpeza lógica, para que estes não atrapalhassem as análises e desvirtuassem eventuais problemas.

Esta proposta de teste teve como objetivo analisar o comportamento do sistema com os servidores na forma original de projeto, monitorando o desempenho das máquinas e a incidência de falhas. Assim, este teste teve intervalo de duração de exatos 6 meses, iniciando no dia 01 de outubro de 2014 e finalizando em 31 de março de 2015, onde o resultado foi um aumento crescente e ininterrupto das falhas nos servidores e IHMs do SCADA, conforme pode ser observado no gráfico 10 a seguir:

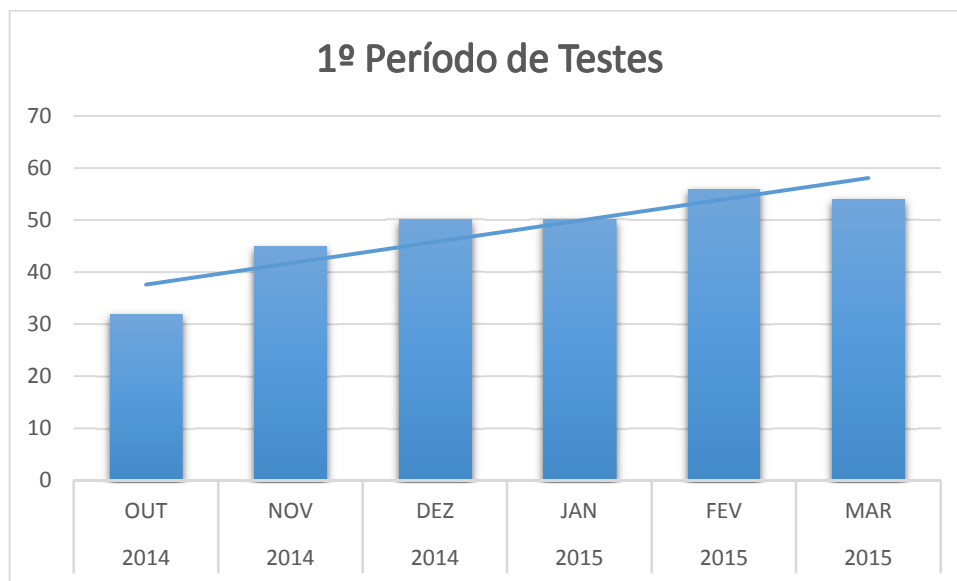


Gráfico 10 – 1º Período de Testes

Neste primeiro período de testes o sistema apresentou ao todo 287 falhas nos servidores de tráfego e IHMs de operação. Assim o cálculo do MTBF deste período ficou da seguinte forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo do período}}{\text{Nº Intervenções}} = \frac{4392}{287} \rightarrow \mathbf{MTBF = 15,30}$$

5.2. SEGUNDO PERÍODO DE TESTES

Utilizando o mesmo princípio de análise do primeiro teste, foi modificada a configuração e iniciado um novo período de testes.

5.2.1 CONFIGURAÇÃO HOT-INATIVO

Neste segundo período foi proposto o funcionamento dos servidores em modo hot-inativo, ou seja, um servidor fica encarregado por processar a aplicação do sistema enquanto o outro servidor fica inativo, que significa que este se mantém declarado na rede, monitorando todas as mudanças no arquivo de domínio podendo ser ativado manualmente a qualquer momento. Somada a esta configuração, foi elaborado cronograma de intervenções de manutenção que consistia basicamente na limpeza lógica de forma periódica.

Desta forma, este segundo período de testes teve início em 01/04/2015 e finalizou em 31/12/2015, totalizando assim 9 meses de análise. Durante este período o comportamento do sistema foi bem diferente do primeiro teste, conforme é possível observar no gráfico 11 a seguir:

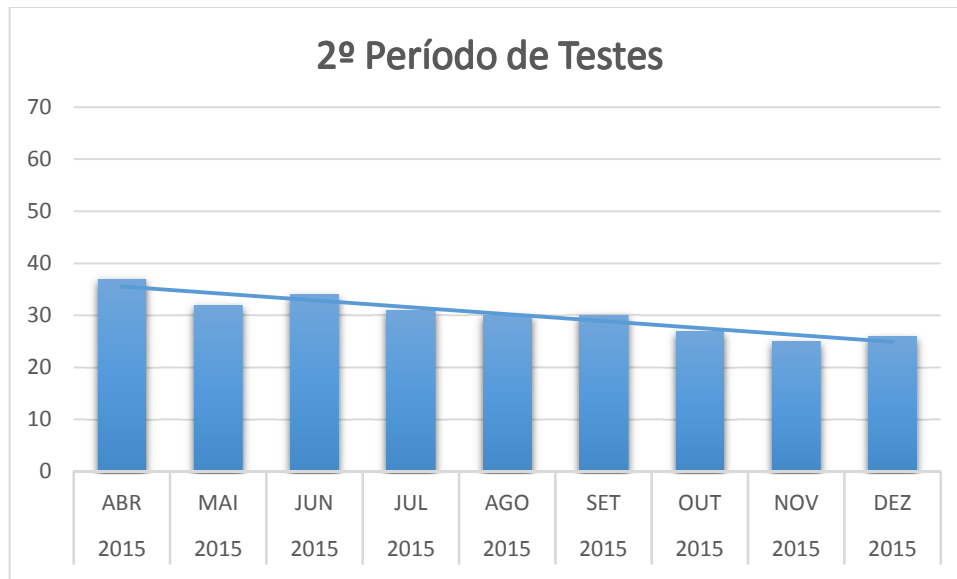


Gráfico 11 – 2º Período de Testes

Segue o cálculo do MTBF para este período

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo do período}}{\text{Nº Intervenções}} = \frac{6600}{272} \rightarrow \text{MTBF} = 24,26$$

6. RESULTADOS ENCONTRADOS

Após os testes propostos, analisando os dados do sistema SICOM bem como o monitoramento dia a dia do comportamento do sistema, foi observado que, para cada configuração de modo de funcionamento proposta, as respostas foram radicalmente opostas.

No primeiro período de teste, servidores em modo hot-standby, as falhas aumentaram de maneira significativa, com característica marcante de tendência de crescimento contínuo. Associado a isto, o comportamento do SCADA foi prejudicado pois as reclamações dos operadores de circulação eram constantes, principalmente no tocante ao aumento no tempo de resposta dos comandos e indicações, além de aumento das incidências de travamentos do software do servidor. Como os técnicos do centro de controle estavam cientes dos testes, a qualquer sinal de defeito atuavam com o máximo de rapidez e agilidade para que a circulação fosse afetada o mínimo possível.

Já no segundo período de testes o resultado foi bem diferente, pois no modo hot-inativo a incidência de falhas foi nitidamente menor e ao longo dos meses seguiu um patamar praticamente constante, sem oscilações características, onde o comportamento do SCADA se apresentou com melhor desempenho, com comandos e indicações rápidos, dentro dos tempos de projeto, e os relatos de falhas por travamento de software ficando cada vez mais raros.

A seguir, no gráfico 12, está representado, em forma de linha de tempo, a incidência de falhas nos anos de 2014 e 2015, onde é destacado os picos sazonais bem como os 2 períodos de testes proposto no estudo deste caso.



Gráfico 12 – Incidência de Falhas nos anos de 2014 e 2015

7. PROPOSTA DE MELHOR PERFORMANCE DO SCADA

Diante dos resultados apresentados, ficou caracterizado que a configuração Hot-Standby, embora seja a configuração ideal e original de projeto, possui problemas que faz com que o sistema apresente falhas em menor tempo, além de aumento significativo no tempo de resposta dos comandos e indicações. ações causando assim travamentos constantes no software do SCADA.

Portanto, como produto deste estudo, propõe-se no momento a utilização dos servidores na configuração Hot-Inativo, pois com este modo de funcionamento o sistema se comporta com grande estabilidade, garantindo portanto ao SCADA tempos de resposta satisfatórios, aumento do MTBF, diminuição de paradas dos equipamento seguidas de interrupção da circulação, proporcionando assim maior disponibilidade do sistema para à operação.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo uma das maiores empresas de transporte metropolitano do Brasil e do Mundo, a CPTM tem como objetivo sempre o transporte público de qualidade com foco no usuário. Com os investimentos recebidos ao longo dos últimos anos, a empresa vem evoluindo e buscando um salto tecnológico que permite operações cada vez mais rápidas, com aplicação de headway cada vez menor, sem esquecer, no entanto, do elemento principal que é a segurança das viagens.

Assim, sabendo que a CPTM a cada grau de melhoria atrai mais usuários, se faz necessário um Centro de Controle Operacional com alta disponibilidade e confiabilidade para que o exercício de cada função, seja ela do âmbito de operação ou manutenção, possa ser suficiente eficaz para suprir as demandas existentes e garantir um meio de transporte de excelência aos passageiros.

Desta forma, diante de toda a análise e do estudo do comportamento dos sistemas nos diferentes modos, e após os períodos de estudo comportamental do sistema SCADA, o objetivo inicial foi alcançado pois a implantação da configuração Hot-Inativo nos servidores de tráfego proporcionou ao sistema maior estabilidade e disponibilidade, comprovadas pelos registros de falhas, desempenho da operação e demais documentos apresentados neste trabalho. Já o modo Hot-Standby, ao ser utilizado, apresentou características de instabilidades periódicas onde com a paralisação repentina e inesperada do servidor do sistema SCADA os transtornos operacionais eram de grandes proporções e o tempo de restabelecimento da operação muito elevado, principalmente nos horários de maior circulação.

No entanto, embora as mudanças de configuração dos servidores de tráfego tenham proporcionado maior estabilidade e disponibilidade ao sistema, esta não pode ser considerada uma solução definitiva, uma vez que o modo de funcionando original é a utilização da configuração Hot-Standby que permite que o chaveamento entre servidores ocorra de modo automático. Assim, cabe a área responsável da CPTM acionar o fabricante do sistema para correção do problema identificado.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Barili, Giovani - **Arquitetura de um servidor para oferecer alta disponibilidade**. <http://www.mobiltec.com.br/blog/index.php/arquitetura-de-um-servidor-para-oferecer-alta-disponibilidade/> - visto em 24/08/2015.
- 2) Branco Filho, Gil. **A ORGANIZAÇÃO, O PLANEJAMENTO E O CONTROLE DA MANUTENÇÃO**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008.
- 3) Camargo Jr, João Batista. **Segurança e Confiabilidade**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2015. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – PCS. Grupo de Análise de Segurança – GAS.
- 4) **Diagrama de Pareto (Gráfico de Pareto) – Ferramenta da Qualidade** . 2013 <http://marketingfuturo.com/diagrama-de-pareto-grafico-de-pareto-ferramenta-da-qualidade/> - visto em 30/10/2015.
- 5) Dutra, Thiago. **Indicadores de Manutenção de Classe Mundial - Parte 1**. <http://brasilengenhariademanutencao.blogspot.com.br/2013/07/indicadores-de-manutencao-de-classe.html> - visto em 24/08/2015.
- 6) Hayrton, 2009. **Dicas de Qualidade: Diagrama de Pareto, Ishikawa e 5W1H**. <https://qualidadeonline.wordpress.com/2009/11/04/dicas-de-qualidade-diagrama-de-pareto-ishikawa-e-5w1h/> - visto em 30/10/15.
- 7) **Indicadores de Manutenção**. 2011 - <http://www.gestaoindustrial.ilax.com.br/3.004%20IndicadoresManutencao.htm> - visto em 23/11/15
- 8) Oliveira, José Carlos Souza, Silva, Aluísio Pinto da. **ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DA MANUTENÇÃO NAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS**. Revista GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 8, nº 3, jul-set/2013, p. 53-69.
- 9) Romualdo: Ramires e Kusano. **SISTEMA DE CONTROLE DE TRÁFEGO – CCO CPTM – ALSTOM – PRODIX**. 2012. Apresentação Interna CPTM – Acervo CPTM.

- 10) Rodovalho; Sanuki; Filippi e Santos. **SINALIZAÇÃO FERROVIÁRIA**. 2004. Dissertação (Curso de Especialização em Tecnologia Metro-Ferroviária) – Escola politécnica Da Universidade de São Paulo – PECE, São Paulo.
- 11) Silveira, Cristiano Bertulucci. **Indicadores de Performance da Manutenção Industrial**. 2012 - <http://www.citisystems.com.br/indicadores-performance-manutencao-industrial/> - visto em 24/08/2015.
- 12) Souza, Ricardo Guimarães F. de. **DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE IMPLANTAÇÃO E GESTÃO DA MANUNTENÇÃO**. 1999. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do rio Grande do Sul – UFRGS, Rio Grande do Sul, 1999.
- 13) Tavares, Lourival. **Manutenção**. http://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2011/01/manutencao_i.pdf - visto em 30/10/2015.
- 14) **Utilizando banco de dados com Hot-Standby**. 2015 - http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/43/Utilizando+bancos+de+dados+com+Hot-Standby__ – visto em 15/11/15
- 15) Viana, W.S, 2015. **Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados** - https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Supervis%C3%A3o_e_Aquisi%C3%A7%C3%A3o_de_Dados – visto em 01/11/15
- 16) Weber, Taisy Silva. **UM ROTEIRO PARA EXPLORAÇÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE TOLERÂNCIA A FALHAS**. Dissertação (Curso de Especialização em Redes e Sistemas Distribuídos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Rio Grande do Sul.
- 18) Xavier, Júlio Nascif. **Indicadores de Manutenção**. <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf> – visto em 15/08/15.