



AEAMESP



MONOTRILHO DE SÃO PAULO: OS DESAFIOS DA MANUTENÇÃO NO MAIOR SISTEMA EM CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE PESSOAS NO MUNDO

Alécio Hirano

José Florentino dos Santos Junior



AEAMESP



**20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTOS FERROVIÁRIOS**

CATEGORIA 3

**MONOTRILHO DE SÃO PAULO: OS DESAFIOS DA MANUTENÇÃO NO MAIOR
SISTEMA EM CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE PESSOAS NO MUNDO**

1. INTRODUÇÃO

A Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ é uma empresa que se destina ao transporte público de massa na região metropolitana de São Paulo, com uma média de mais de 4,3 milhões de usuários/dia distribuídos em suas quatro linhas. Para cumprir seu compromisso público de transportar passageiros com segurança, conforto e sem atrasos, faz-se necessário garantir a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos que compõem o sistema metroviário. O Metrô possui atualmente quatro (4) linhas em funcionamento: as linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha e 5-Lilás. A manutenção dos diversos equipamentos fixos (estação), material rodante e sistemas eletromecânicos são executados em quatro (4) pátios localizados ao longo das suas linhas de operação, os quais são: Jabaquara, Itaquera, Capão Redondo e Pátio Tamanduateí. Nestes locais são realizadas as

manutenções nos trens de suas frotas bem como dos demais equipamentos de estação. A figura 1 mostra o mapa do Transporte Metropolitano da cidade de São Paulo.



Figura 1 – Mapa do Transporte Metropolitano de São Paulo

A linha 15-Prata, atualmente em construção na sua fase I, que compreende o trecho entre as estações Vila Prudente à Oratório além do pátio de manutenção Oratório, é o primeiro monotrilho de grande capacidade de transporte de pessoas no mundo. Esta linha será absorvida pelos profissionais do METRÔ-SP tanto na parte operativa como na manutenção de seus equipamentos e sistemas instalados. A figura 2 indica a fase inicial de implantação da linha 15-Prata (Monotrilho) bem como detalha as estações a serem entregues.

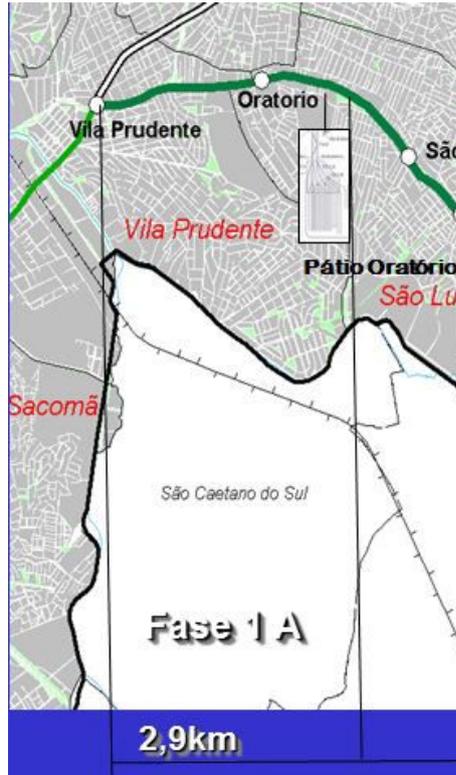


Figura 2 - Detalhe da fase 1 A da Linha 15-Prata (Monotrilho): estações Vila Prudente e Oratório, além do pátio de manutenção Oratório.

Neste momento é importante fazer uma pausa para uma pequena reflexão. Será possível o corpo técnico da manutenção do METRÔ-SP com toda sua expertise, conhecimentos tácitos e explícitos, adquiridos e aperfeiçoados ao longo de décadas de trabalho, conseguir, no tempo exíguo proposto, assumir plenamente a manutenção do maior sistema de Monotrilho, em capacidade, instalado no mundo?

É um modal de transporte totalmente novo... Equipamentos e sistemas novos, sendo alguns vitais, muito diferentes em relação ao sistema metrô convencional. As próprias empresas que estão implantando este novo modal no município de São Paulo são verdadeiras desbravadoras, pois não há nada parecido ao redor do mundo.



AEAMESP



Perceba o tamanho do cenário imposto pelo novo sistema de transporte na cidade de São Paulo aos profissionais da manutenção.

O grande desafio para o corpo técnico do METRÔ-SP é o desconhecimento dos equipamentos/sistemas que estão elaborados e instalados. É com esta dúvida, e angústia, que se inicia a discussão sobre o tema em questão!

1.1 OBJETIVO GERAL

Relatar as estratégias adotadas e dificuldades encontradas, pelo corpo técnico da manutenção do METRÔ-SP, com finalidade de assumir o inédito modal de transporte na região metropolitana de São Paulo.

1.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

É foco específico deste trabalho exemplificar algumas possibilidades de *monitoramento contínuo* de diversos equipamentos, detalhando o *Sistema Elétrico de Potência (S.E.P.)*, que distribui a alimentação de 22kV entre as estações, bem como a energia de tração aos trens (750VCC), da Linha 3 – Vermelha (metrô convencional) como estudo de caso com finalidade de aplicação na Linha 15-Prata (monotrilho). O trabalho em altura e a norma

regulamentadora NR-35 também são mencionados, visto que no Monotrilho a instalação de diversos equipamentos de via e estação está localizada em lugares altos.

1.2 RELEVÂNCIA

A importância consiste no fato de ser um modal de transporte, pelas suas próprias características, de concepção de projeto mais enxuto e com sistemas instalados que possuem menor redundância em relação ao sistema metrô convencional. Conforme já comentado é um sistema completamente novo, inclusive para seus próprios fornecedores. Não se conhece ainda suas reações, seu histórico de falhas. As ocorrências de desvios operacionais, ou seja, as falhas nos sistemas eletrônicos e eletromecânicos, serão muito mais críticos devido ao exposto.

Há, também, a questão dos altos desníveis da construção civil nas estações e via permanente (vigas pré-moldadas), fato que dificulta o acesso dos profissionais aos diversos equipamentos e sistemas instalados nestes locais. A implementação da norma regulamentadora NR-35, do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, que regulamenta o trabalho em altura com segurança, tem que ser realizada de forma eficaz.

Nota-se que não há espaço para erro na estratégia a ser adotada, pois caso isto ocorra implicará em grandes atrasos ao novo sistema, denominado, neste texto, *Monotrilho Pesado*, quando em operação comercial.



AEAMESP



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A proposta deste capítulo é dar subsídios teóricos ao leitor para entendimento das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Não é foco esgotar o assunto e, sim, fazer a introdução básica destes conceitos tão importantes.

2.1 DEFININDO FALHA e CONFIABILIDADE

O trabalho nasceu da preocupação e o propósito de estudar formas de minimização de *falhas* durante a operação comercial do Monotrilho Pesado, no caso específico, na Linha 15-Prata. Assim, neste momento, torna-se imprescindível definir o termo *falha*.

Vários autores consultados caracterizam o termo *falha* com algumas pequenas diferenças. Optou-se por CARAZAS (2011) o qual entende que “a falha é um estado atemporal, característico da operação, no qual o componente não é capaz de cumprir sua função-chave para o qual foi projetado”.

Mas como se comporta então as falhas em determinado equipamento, planta industrial ou processo (sistema) em função do tempo?

A teoria da Engenharia de Confiabilidade, técnica científica para conhecimento do desempenho ou comportamento de vida dos equipamentos, que é didaticamente

demonstrado por CARAZAS, mostra que este comportamento, representado na figura 3, se baseia numa função matemática de probabilidade, de acordo com as equações 2.1 e 2.2.

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.2)$$

Sendo,

$R(t)$ = Confiabilidade

$F(t)$ = Função de probabilidade acumulada de falhas

P = Probabilidade

T = Tempo

t = Tempo operacional

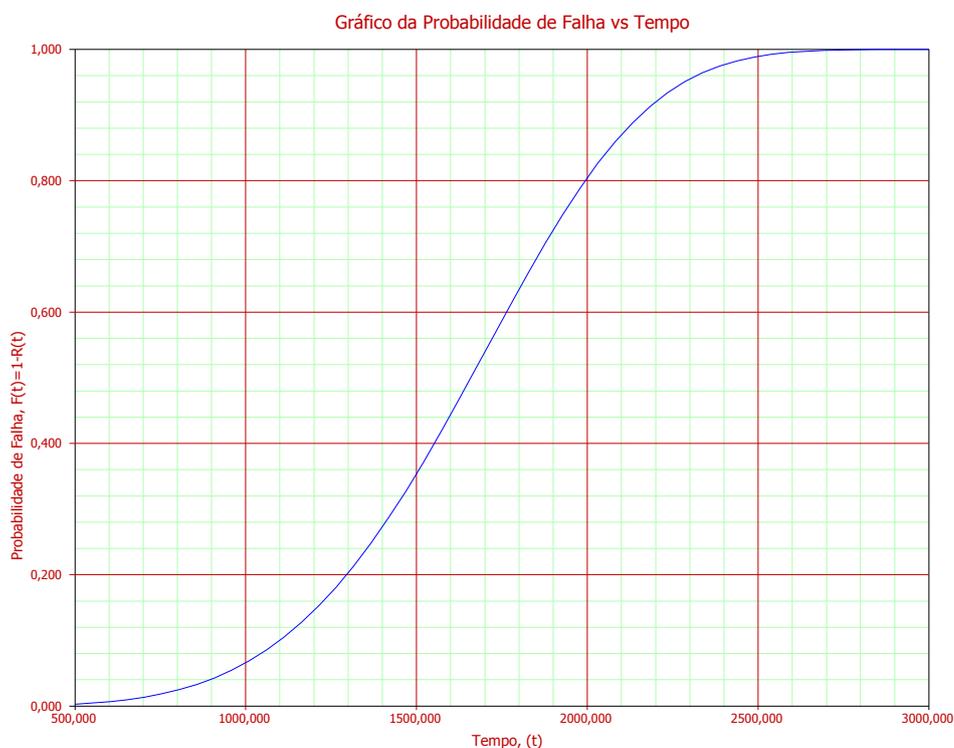


Figura 3 - Modelo de Função de Probabilidade de Falha Acumulada

Nota-se o aumento da probabilidade de falhas com o passar do tempo. De acordo com a equação 2.2, observa-se que o gráfico da função Confiabilidade é inverso (complementar) ao da figura 3, conforme registro na figura 4.



Figura 4 - Modelo de Função de Confiabilidade

Todo este estudo visa conhecer a *taxa de falhas* em de determinado componente/sistema, conforme equação 2.3, que mostra o quantitativo de falhas por unidade de tempo.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

(2.3)

$\lambda(t)$ = Função da taxa de falhas

$f(t)$ = Função densidade de probabilidade de falha ou falha instantânea

$R(t)$ = Confiabilidade

Um padrão de falha muito utilizado pelos acadêmicos para análise é a denominada curva da banheira, que demonstra que a taxa de falhas varia durante o decorrer do tempo. A figura 5 mostra esta curva.

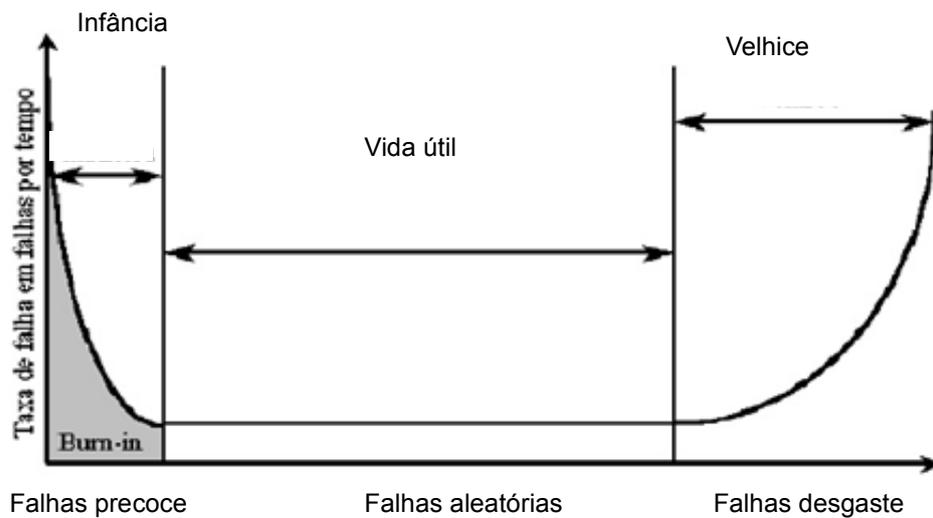


Figura 5 – Curva da Banheira

A curva da banheira possui três (3) regiões distintas. A *infância*, região em que há grande acúmulo de falhas decorrentes principalmente de defeitos de fabricação, problemas de treinamento da mão de obra, falhas de projeto, instalação inadequada. A região de *vida útil* Onde as falhas ocorrem de forma constante e aleatória. Finalmente, a última região, *velhice*, quando o equipamento/sistema encontra-se em desgaste, aumentando consideravelmente a quantidade de falhas. É nesta última fase que a manutenção atua substituindo componentes.

2.2 MODOS DE FALHA e FMEA

Conforme relatado, no Monotrilho Pesado, devido ser um sistema novo, não se conhece como são seus *modos de falha*, ou seja, como os equipamentos/sistemas falham, bem como



AEAMESP



prever suas reações às solicitações que serão impostas. Isto é de importância fundamental para se estruturar planos de manutenção adequados.

MOUBRAY, profundo estudioso da manutenção centrada em confiabilidade (MCC), comenta que os modos de falha são em sua grande parte gerados por: deterioração, falhas de lubrificação, sujeira, desmontagem/montagem, erros humanos e sobrecarga ao equipamento.

Como marco inicial para um estudo desta envergadura, CARAZAS reforça que uma ferramenta fundamental é o FMEA (análise de modos e efeitos de falha potencial), que é uma forma estruturada para se perguntar e responder aos seguintes questionamentos: Como o componente pode falhar? Por que falha? O que acontece quando falha? Como detectar e como prevenir?

Com base neste levantamento elabora-se um banco de dados de falhas que possibilitam estudos quantitativos mais precisos.

2.3 MANUTENÇÕES PREVENTIVA, CORRETIVA, PREDITIVA e a ATUAL GESTÃO DE ATIVOS

Conforme SOUZA e MOLINARI (2011), nos primórdios da manutenção esperava-se o equipamento entrar em desvio, ou seja, quebrar para se efetuar uma intervenção. É o que se

denomina *corretiva*. Com a necessidade de aperfeiçoamento surgiu a manutenção *preventiva*, que através de planos de manutenção fazia-se intervenções em tempos pré-definidos tentando diminuir as quebras. Visando uma forma de diminuir os custos de manutenção na planta industrial houve o aparecimento da *manutenção preditiva*. Esta tinha a finalidade de prever a quebra do equipamento através de ferramentas mais rebuscadas (análise de vibração etc.). A figura 6 mostra o crescimento das expectativas de manutenção ao longo do tempo.

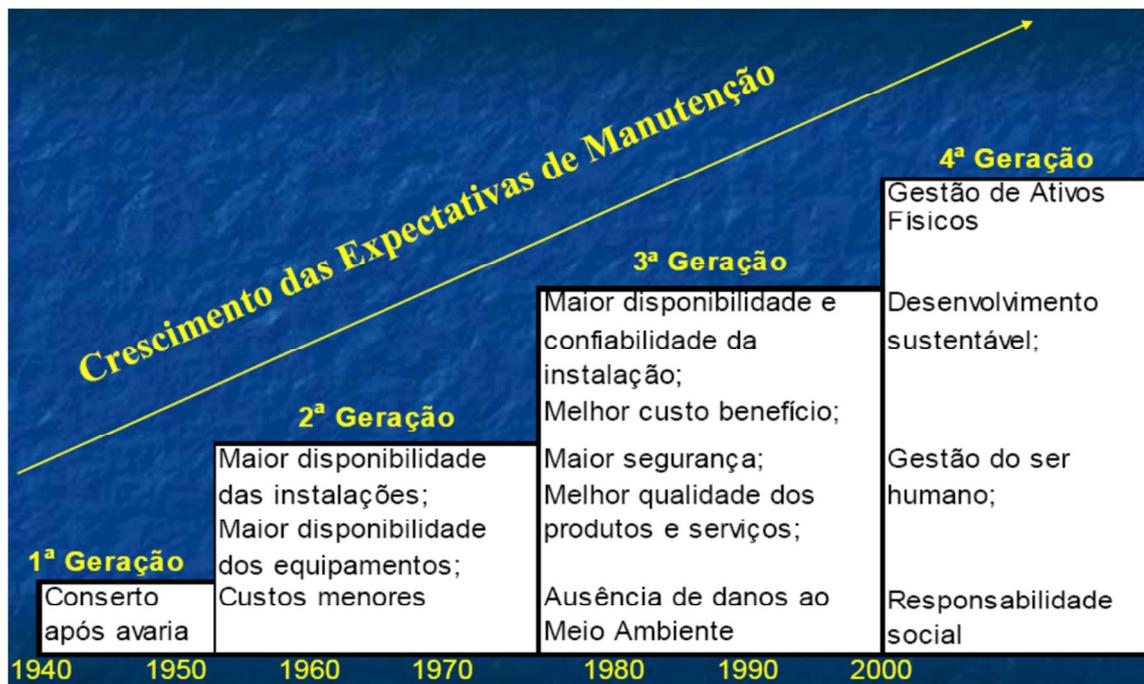
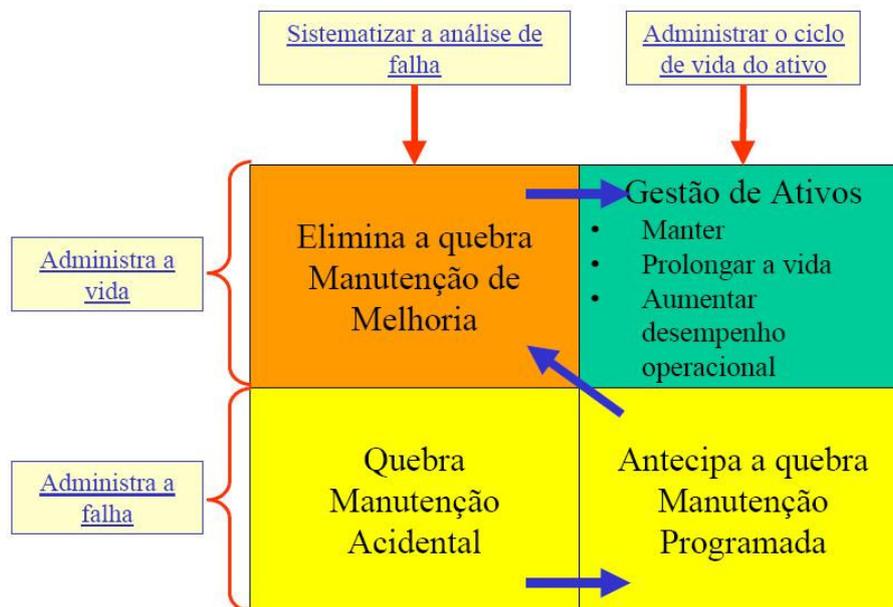


Figura 6 – Crescimento das Expectativas de Manutenção

Atualmente, o avanço da tecnologia possibilitou um novo salto de qualidade nos processos de manutenção. Com a moderna e atual visão de Gestão de Ativos Físicos outra ferramenta de trabalho que desponta no momento é o *Monitoramento Contínuo* (remoto) dos diversos equipamentos/sistemas instalados.

A gestão de ativos se mostra imprescindível para sobrevivência das empresas num cenário tão competitivo como o atual. É nesse ponto que SOUZA (2012) frisa a importância, para as empresas e organizações modernas, da *Gestão de Ativo Baseada em Risco* exemplificando com a proposta da norma PAS-55. A figura 7 faz um balanço entre dois cenários distintos, *administrar a falha* e *administrar a vida*. Note que os processos caminham para a Gestão de Ativos Físicos, conservando-os, prolongando a sua vida e aumentando seu desempenho.



XII SEMINÁRIO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E INFORMATIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO/“Planejamento da manutenção na Belgo Bekaert Arames”/Gláucio Lima Santos

Figura 7 – Planejamento da Manutenção

MORA também entra no debate e detalha graficamente o que foi discutido apresentando na figura 8 um balanço entre risco e custo e a performance que se deseja atingir. É uma equação que o gestor necessita entender e dominar. Acrescenta que a empresa precisa saber o estado de seus ativos físicos, seu valor, se há alguma mudança de tecnologia que

pode afetar o seu negócio. Se há problemas em sua planta industrial, enfim, executar uma gestão global do processo.



Figura 8 – Paradigma da Gestão de Ativos

A atual gestão de ativos, que tem como alicerce as ferramentas da engenharia (*Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança*), ampliada com a *Análise de Risco, Custeio Baseado em Atividades* e *Custo do Ciclo de Vida* é detalhada graficamente na figura 8 a seguir. DOS SANTOS (2008) menciona em sua apresentação a necessidade de se achar propostas simples para solução dos problemas descritos utilizando estas ferramentas.

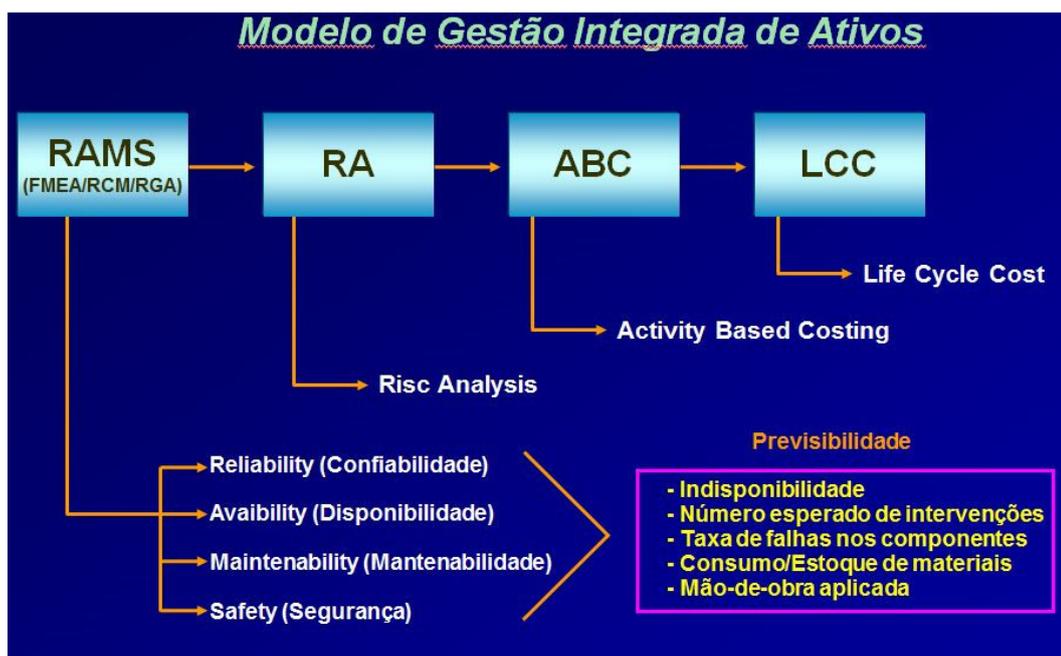


Figura 8 – Modelo da Gestão Integrada de Ativos

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão detalhados os seguintes assuntos: *Monitoramento Contínuo* e *O Monotrilho e a NR-35*. Para esta finalidade serão utilizados desenhos elétricos, diagramas e fotos, bem como recorrer à bibliografia.

3.1 DETALHANDO O MONITORAMENTO CONTÍNUO

A figura 9 mostra as possibilidades de escolha entre tipos de manutenção em função das variáveis *gravidade* e *frequência* de ocorrências de falhas. Perceba que com o aumento de ambas e melhoria da tecnologia o monitoramento contínuo torna-se a opção ideal.

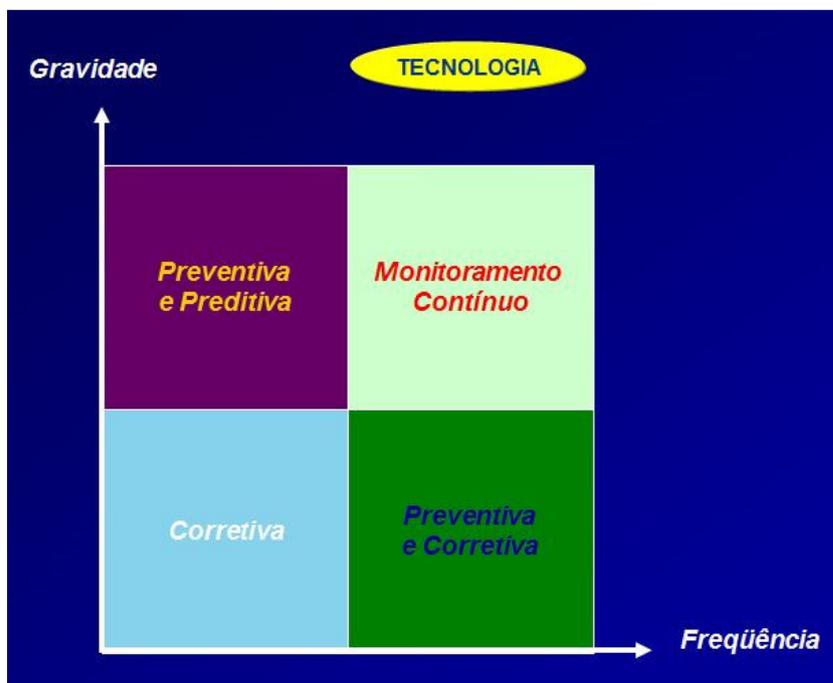


Figura 9 – Gráfico de possibilidades de escolha entre tipos de manutenção em função da gravidade e frequência de ocorrências de falhas



AEAMESP



De acordo com MORA, os objetivos do monitoramento contínuo são:

- ✓ Prever e Diagnosticar Falhas
- ✓ Avaliar Tendências de Falhas
- ✓ Reduzir Tempo de Reparo
- ✓ Facilitar a Localização de Falhas
- ✓ Minimizar Transtornos Operacionais

Continua o raciocínio listando os critérios para escolha dos sistemas a serem monitorados:

- ✓ Dificuldade de Diagnóstico
- ✓ Impacto Operacional
- ✓ Tempo de Reparo
- ✓ Análise de Tendências

A ideia básica do *Monitoramento Contínuo* é a necessidade de se conhecer determinado ativo físico a ser observado. No trabalho sobre Máquina de Chave (equipamento que faz o trem mudar de via no metrô convencional), ARGENTON, BARBOSA e HAGA utilizaram a denominada “*assinatura eletrônica*” da forma de onda do motor (Corrente: em Amperes). Sabendo-se o seu comportamento em situação normal de funcionamento, qualquer desvio nesta forma de onda, dado uma determinada tolerância, um software dedicado monitorando o sistema atuava gerando alarme, via e-mail, a determinados profissionais da manutenção. Assim, tinha-se tempo para se preparar e agir preventivamente, em horário fora da operação comercial, não impactando em paradas da circulação dos trens. A figura 10 mostra os detalhes da implantação do monitoramento deste equipamento.

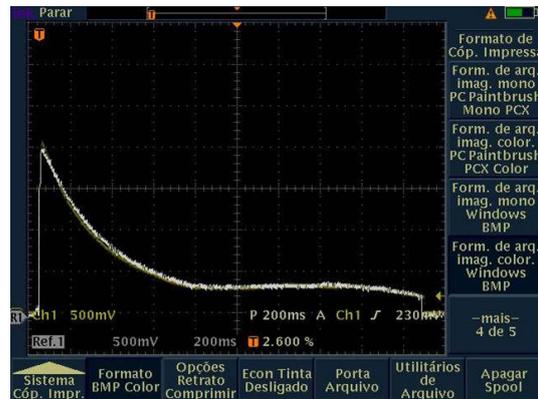
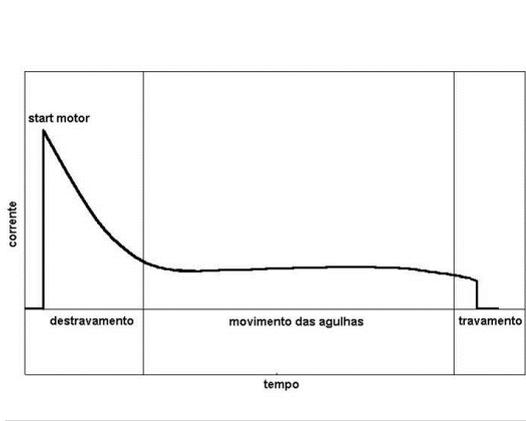


Figura 10 – Detalhe da Máquina de Chave (fig. esquerda no alto). Motor a ser monitorado (fig. direita no alto). Assinatura eletrônica da corrente do motor (esq. baixo) e forma de onda padrão da corrente do motor na medição com osciloscópio (direita baixo)

Trazendo o raciocínio para a linha 15-Prata quanto mais houver o acompanhamento, a checagem em tempo real dos diversos sistemas, principalmente aqueles que envolvem o acesso à via, menores serão as intervenções, em corretiva, diminuindo as interrupções da circulação dos trens como um todo em horário comercial.

Assim, as respostas às questões levantadas caminham na direção do *Monitoramento Contínuo* dos diversos equipamentos instalados no Monotrilho Pesado. Exemplo disto é o Monitoramento Contínuo remoto, via rede Ethernet, de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) em fase final de testes no Sistema Elétrico de Potência da Linha 3 – Vermelha do METRÔ-SP.

Já ajustado com as normas e diretrizes da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), e que está em estudo de viabilidade técnica no Monotrilho (Este tópico será estudado melhor no capítulo ANÁLISE E DISCUSSÃO). Há estudos, também, de Proteção de Barramento de Terras estruturais das estações (ex.: Sobre Tensão Negativo a Terra) entre outros.

A figura 11 indica o esquema de distribuição em 22kV do Sistema elétrico de Potência da linha 3-vermelha do METRÔ-SP.

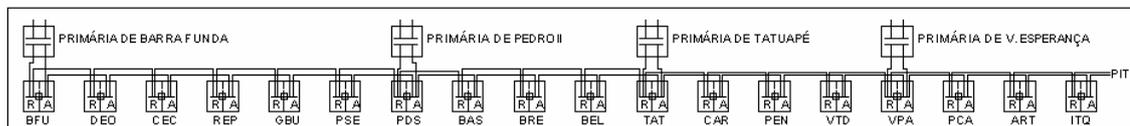


Figura 11 – Esquema unifilar do Sistema Elétrico de Potência da Linha 3 – Vermelha

Existem quatro (4) subestações de energia que recebem 88 kVolts da concessionária e distribuem em 22 KVolts entre todas as estações da linha 3-Vermelha. As figuras 12 e 13 mostram diagramas elaborados para um melhor entendimento da distribuição de energia do setor 3 na linha 3-vermelha, região energizada pela subestação elétrica Primária de Pedro II (figura 11) e denominada YPS (figura 12 e 13).

Note que cada estação da linha 3 possui uma subestação de energia para tração dos trens. O registrador de QEE será instalado em uma destas estações, mais precisamente na estação Carrão (CAR na figura 11).

Setor 3

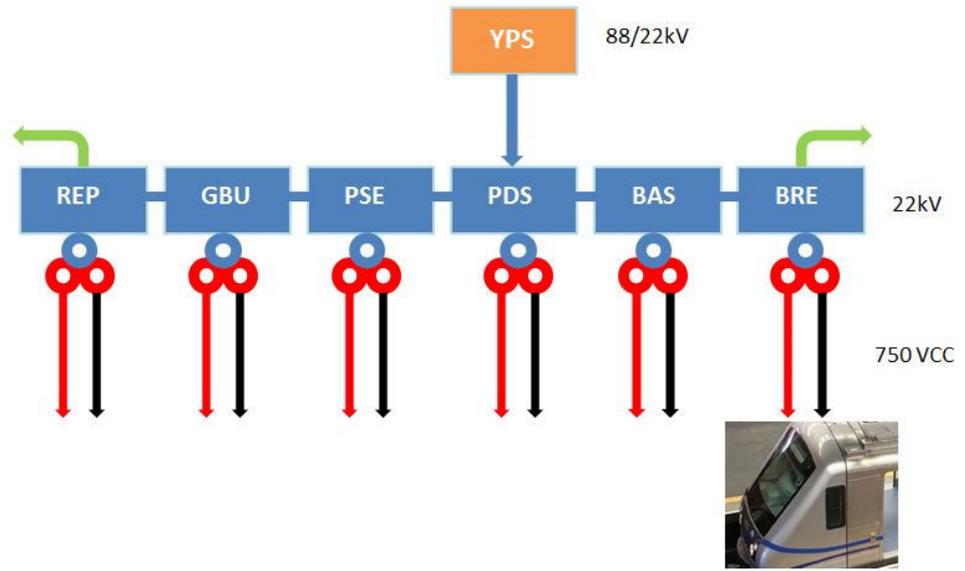


Figura 12 – Sistema Elétrico de Potência da Linha 3-Vermelha

Setor 3

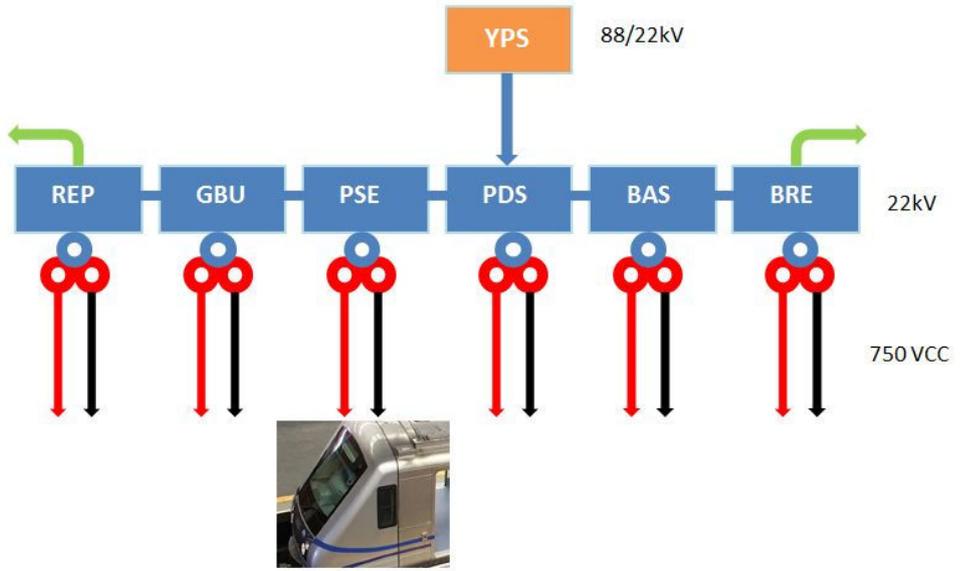


Figura 13 – Sistema Elétrico de Potência da Linha 3-Vermelha. Detalhe do trem em movimento dentro do setor elétrico de YPS (subestação elétrica 88KV/22KV)

As figuras 14 e 15 indicam formas de onda de tensão e corrente registradas pelo medidor de QEE na estação Carrão.

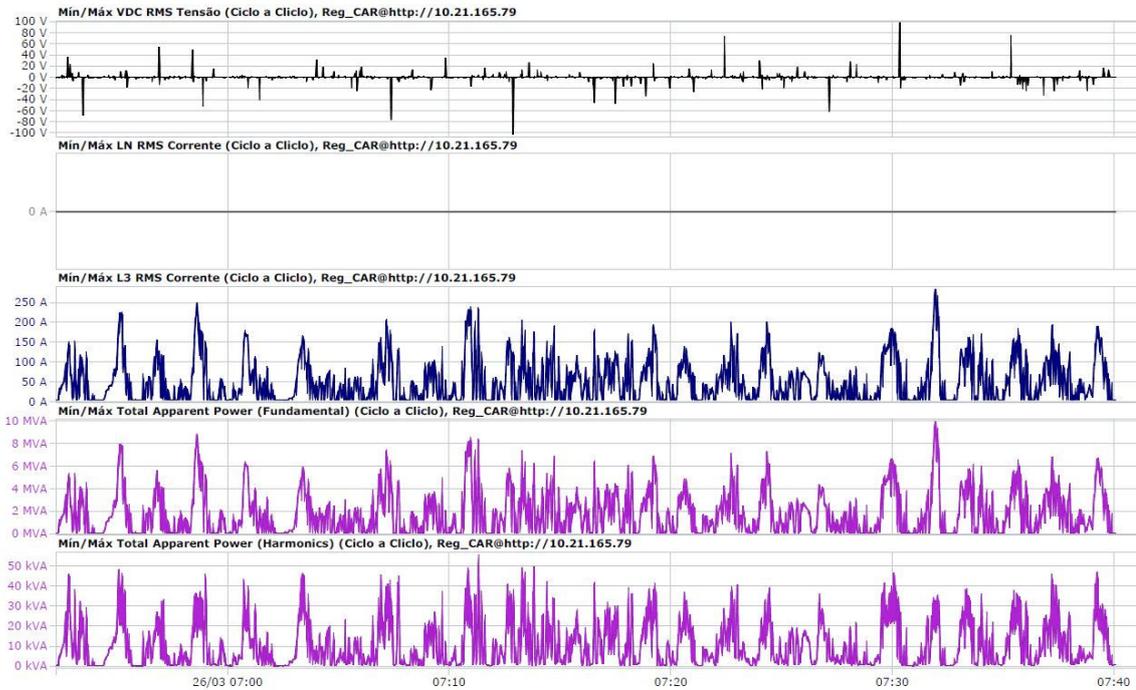


Figura 14 – Registro do AQEE na estação Carrão da linha 3-vermelha

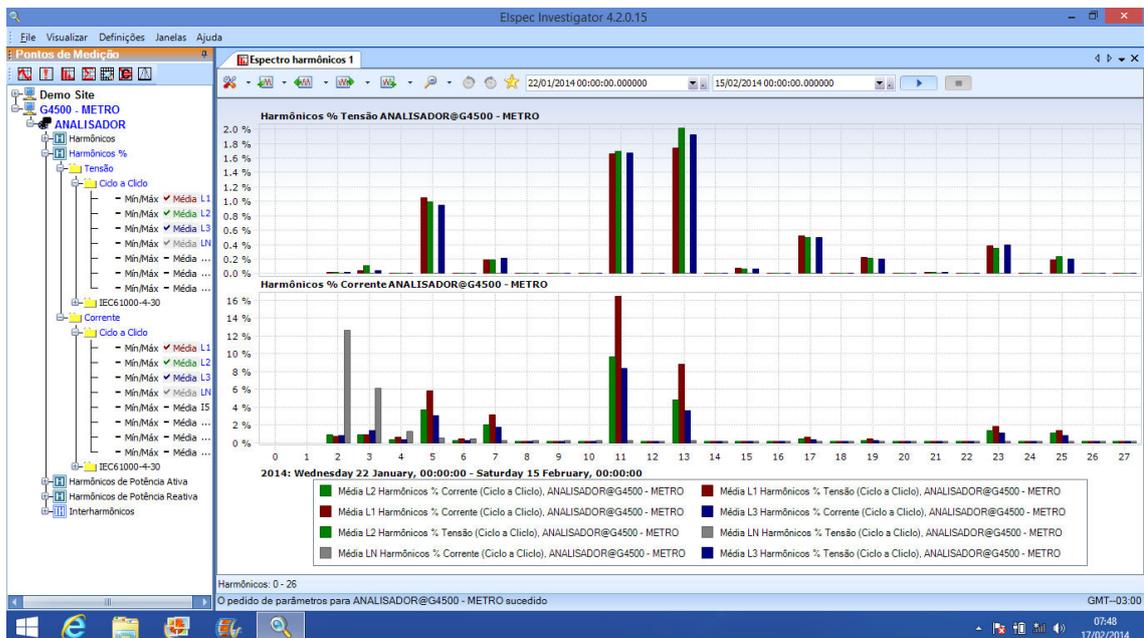


Figura 15 – Registro de Espectro de Distorções Harmônicas nas formas de onda de corrente e tensão

De acordo com o professor MAEZONO, o monitoramento do SEP com os registros de oscilografia (parâmetros elétricos de tensão e corrente) das linhas de alta tensão é uma grande ferramenta na interpretação de curto-circuito e demais perturbações no sistema elétrico de potência. A figura 16 indica um registro de oscilografia, na estação Carrão, com o analisador de QEE da KRON (ELSPEC).

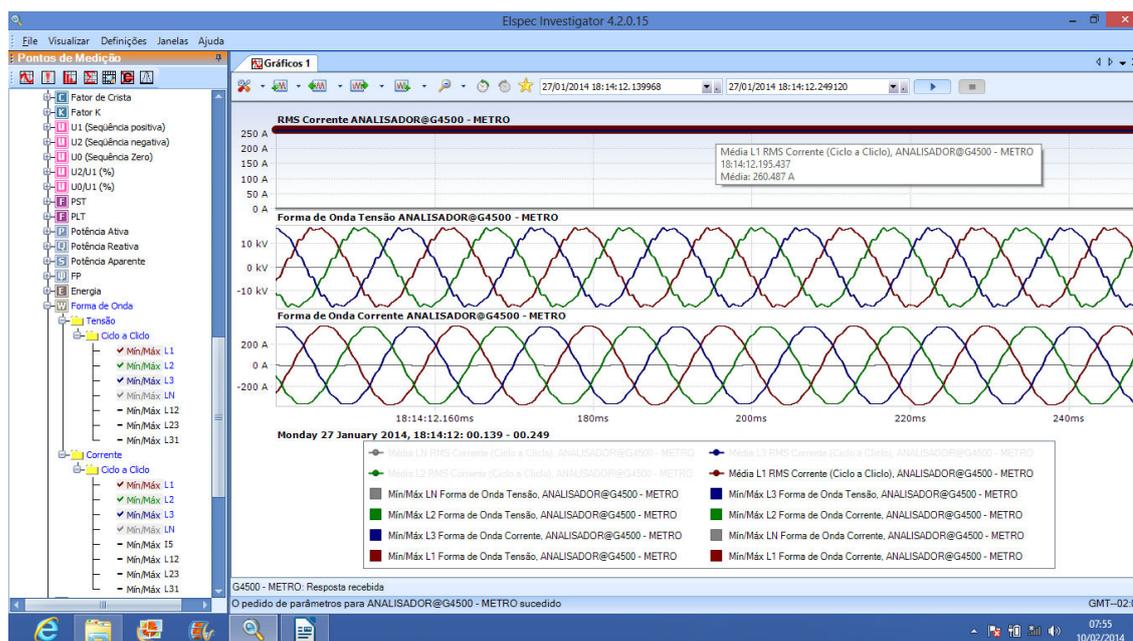


Figura 16 – Forma de onda tensão e corrente (oscilografia) na estação Carrão

Quando ARRUDA comenta que “Não Se Pode Gerenciar O Que Não Se Mede” tem razão na medida em que as informações sempre estiveram disponíveis nos equipamentos. Faltava, isto sim, instrumentação com tecnologia adequada para a correta interpretação dos fenômenos de QEE (qualidade de energia elétrica) presentes nos sistemas elétricos.

Os acadêmicos BELCHIOR, DA SILVA e REZEK reforçam esta tese com seu estudo mais depurado sobre perturbações associadas à rede de distribuição elétrica. Prosseguem afirmando que sem instrumentação correta, que gere relatórios de acordo com a



AEAMESP



normatização da ANNEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), não se consegue cobrar prejuízos inerentes às concessionárias de energia do Brasil, provenientes problemas na rede elétrica.

3.2 O MONOTRILHO e a NR-35

No Monotrilho Pesado a altura da via permanente (vigas pré-moldadas de concreto) é descomunal, alguns pilares acima de 30 metros, fato que dificulta o acesso e locomoção dos profissionais aos equipamentos instalados ao longo da via, bem como a aplicação plena da norma regulamentadora NR 35 (trabalho em altura). Junta-se a isto a característica de concepção do projeto do sistema elétrico de potência (S.E.P.) mais simples e com menos redundâncias em relação ao sistema metrô convencional.

A figura 17 mostra a altura das vigas permanentes do *Monotrilho Pesado*. Perceba o visual mais limpo com um espaço aberto entre as vigas. No elevado do sistema de metrô convencional não há abertura na laje entre as duas vias.



Figura 17 – Detalhes da altura das colunas de concreto do Sistema de Monotrilho da Linha 15-Prata (Trecho de Vila Prudente a Oratório).

A figura 18 mostra o trem do monotrilho em movimento (testes) e os profissionais na passarela de emergência lateral ao veículo. Observe o espaço restrito no local.



Figura 18 – Trem do monotrilho em testes (foto esquerda). Vias 1 e 2 e passarela de emergência central (foto direita). Notar o espaço exíguo para atuação dos profissionais da manutenção no local.



AEAMESP



Perceba que o acesso de profissionais à via principal para atuação nos diversos equipamentos instalados neste local tem como consequência e, por segurança, a ação de desligamento da energia para os trens. Isto se deve ao pouco espaço para trabalho, além da proximidade de contato em áreas energizadas para os profissionais.

No metrô convencional há maiores áreas na via permanente, possibilitando o acesso dos profissionais da manutenção, em determinados setores, sem a necessidade de desligar a energia para a circulação dos trens.

Pensando neste fato várias ações estão sendo executadas, pelos profissionais da manutenção e segurança do trabalho, visando capacitar estas equipes para o pronto atendimento em ocorrências envolvendo o trabalho em altura.

A figura 19 detalha as recentes aquisições: plataforma elevatória vertical e *caminhão cesta aérea*. Este último atinge altura de trabalho de até 22 metros.



Figura 19 – Equipamentos para Trabalho em Altura: Detalhe do uso da Plataforma Elevatória no Pátio de Manutenção Itaquera (fig. esquerda no alto). Novo caminhão Cesta Aérea para profissionais da manutenção.

As dificuldades das equipes de manutenção não se restringem apenas em relação à NR-35. Na Linha 3–Vermelha do METRÔ-SP, já foi observada por FUKUDA e HIRANO (2012) outro aspecto. Houve a necessidade da criação de alternativas viáveis para a equipe de

manutenção de escadas rolantes, trabalhando na logística dos horários dos profissionais, pois nos horários de pico durante o dia se tornava inviável o trabalho no equipamento devido ao grande fluxo de usuários nestes locais. Mudar as rotinas de manutenção foi um fator imprescindível para continuidade dos bons serviços prestados.

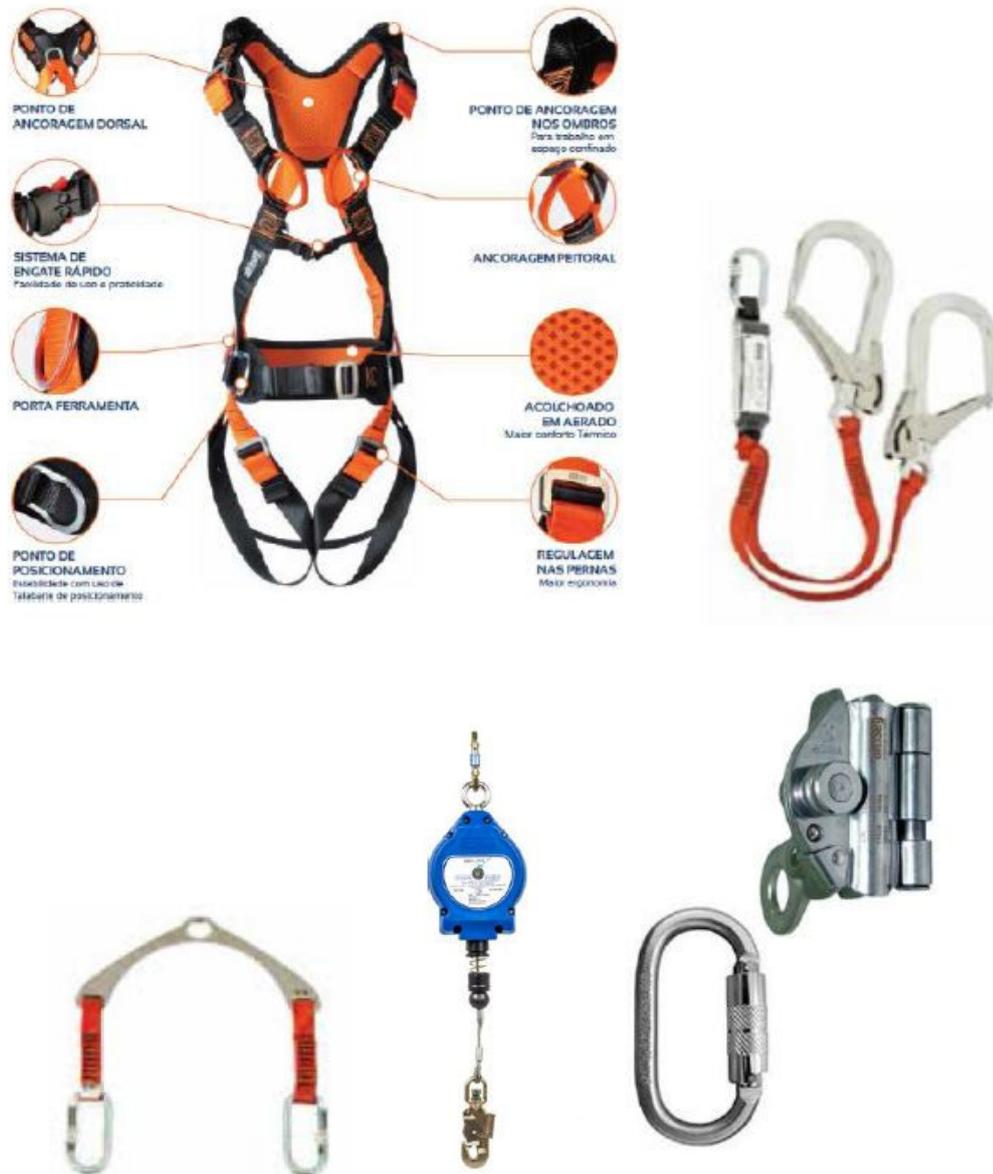


Figura 20 – Exemplos de equipamentos para atender a NR-35

A figura 20 exemplifica alguns equipamentos para utilização no trabalho em altura.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Perceba que, com relação à NR-35, há um espaço grande para sua execução plena. Todos os equipamentos necessitam de adaptações técnicas, como as *linhas de vida* e *pontos de ancoragem* para cinturões de segurança. Nos locais aonde não é possível estas modificações novos equipamentos estão sendo adquiridos visando ampliar as opções das equipes de manutenção. O exemplo é o *Caminhão Cesta Aérea* e a *Plataforma Elevatória*, comentados no capítulo anterior.

O *monitoramento contínuo* mostra-se muito eficiente e viável para equipamentos que não possuem sistemas de redundâncias, como exemplificado no equipamento *Máquina de Chave*, bem como detalhado no Sistema Elétrico de Potência do Monotrilho.

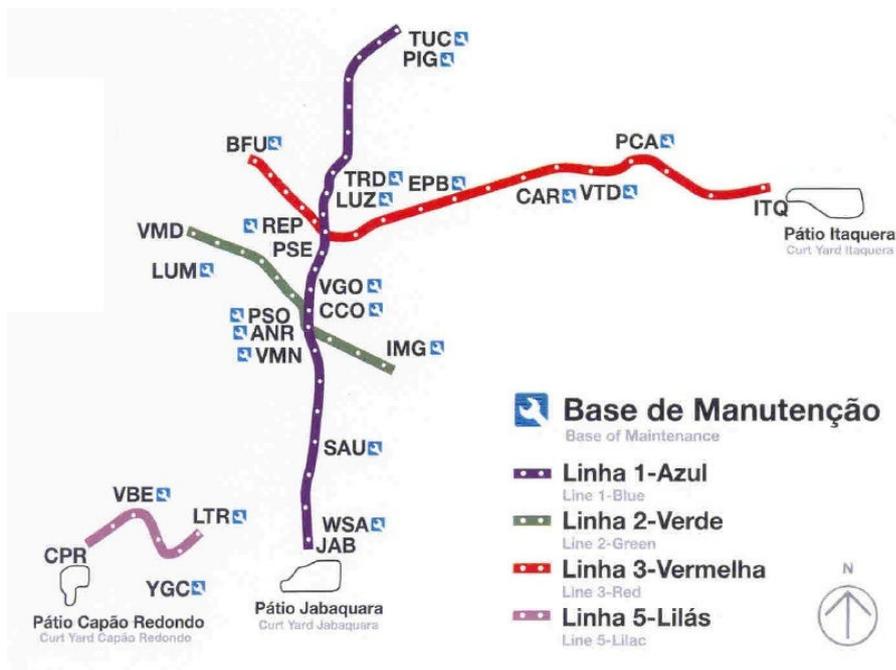


Figura 21 - Área de Atuação e Distribuição Geográfica das Bases de Manutenção

A figura 21 mostra a área de atuação e distribuição das bases das equipes de manutenção. Os profissionais da manutenção da linha 3-vermelha serão os responsáveis pelo atendimento dos sistemas e equipamentos da linha 15-Prata.

As figuras 22, 23, 24 e 25 indicam as diferenças de concepção do sistema elétrico de potência em 750VCC do sistema metrô convencional para o Monotrilho Pesado. Perceba, na figura 22 (centro), que nas via 1 e 2 (metrô convencional) existem os contatores, verdadeiros desligadores de potência, identificados como 1 e 2.

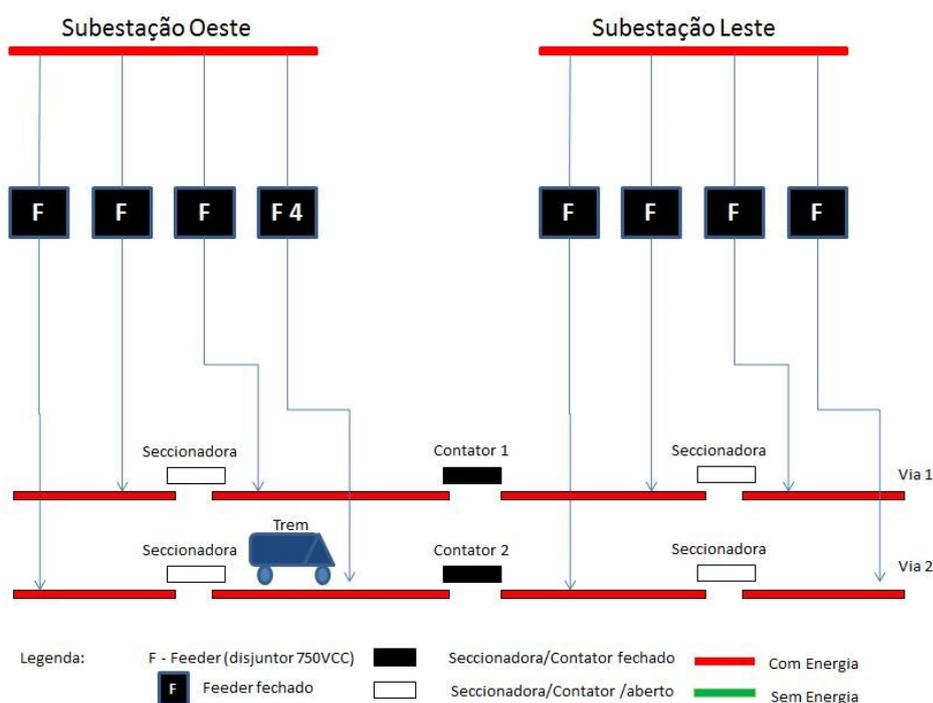


Figura 22 – Concepção tradicional do SEP do sistema metrô com desligadores de potência (Contator de 750VCC) ao longo da via permanente, ou seja, entre as estações.

Os contatores auxiliam numa manobra elétrica quando há a necessidade do Centro de Controle Operacional (CCO) desligar a energia para os trens em apenas um determinado

trecho de via. Nesta situação são desenergizados apenas os disjuntores de 750VCC (Feeder) correspondentes ao trecho solicitado. A figura 23 mostra esta ação desligando-se apenas o disjuntor F4 (750VCC) e o Contator 2.

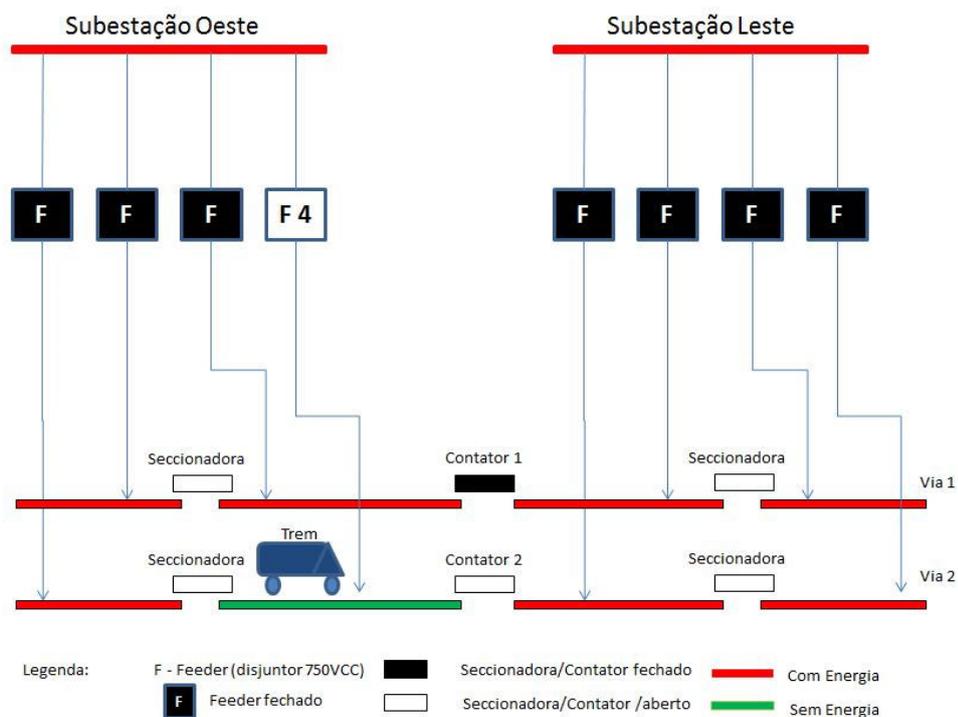


Figura 23 – Detalhe do desligamento de energia do SEP do sistema metrô convencional.

Já no Monotrilho observe, na figura 24, que o recurso do desligador (Contator) já não existe. Caso seja necessário esta mesma desenergização vários disjuntores da subestação elétrica deverão ser desligados. No detalhe os quatro (4) disjuntores (Feeder) em preto no centro da figura. A figura 25 mostra a mesma ação de desligamento da energia de um determinado trecho de via na configuração do monotrilho.

Note que esta é a diferença sutil, e primordial, entre os dois sistemas. Assim, o acesso da manutenção a via do Monotrilho implica, por segurança, na paralização dos trens.

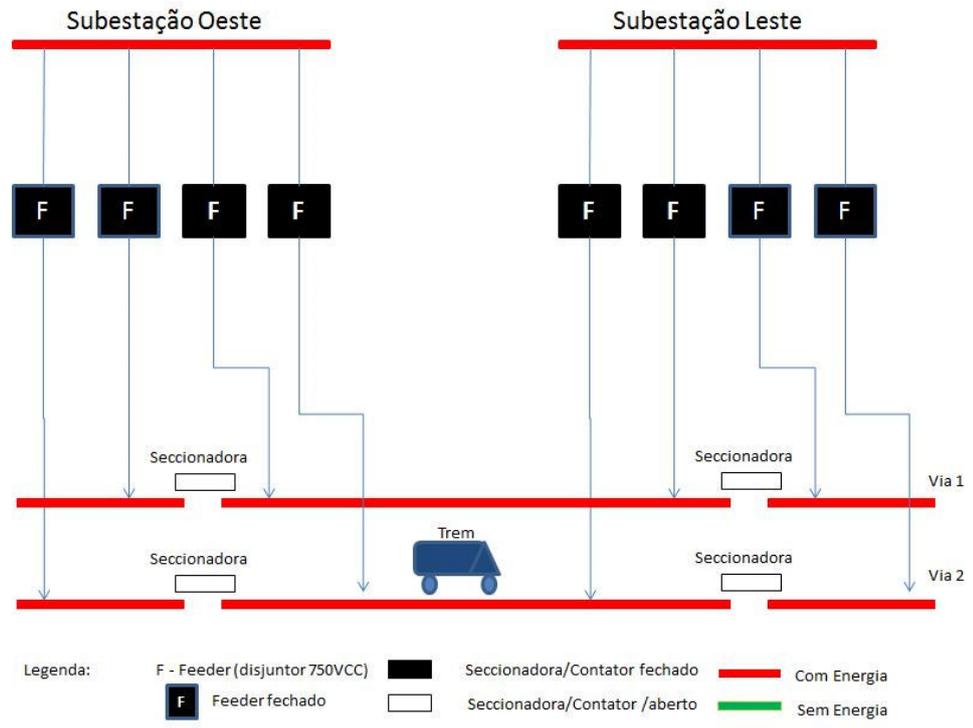


Figura 24 – SEP L15: Concepção mais simples. Não há na via, desligadores de potência.

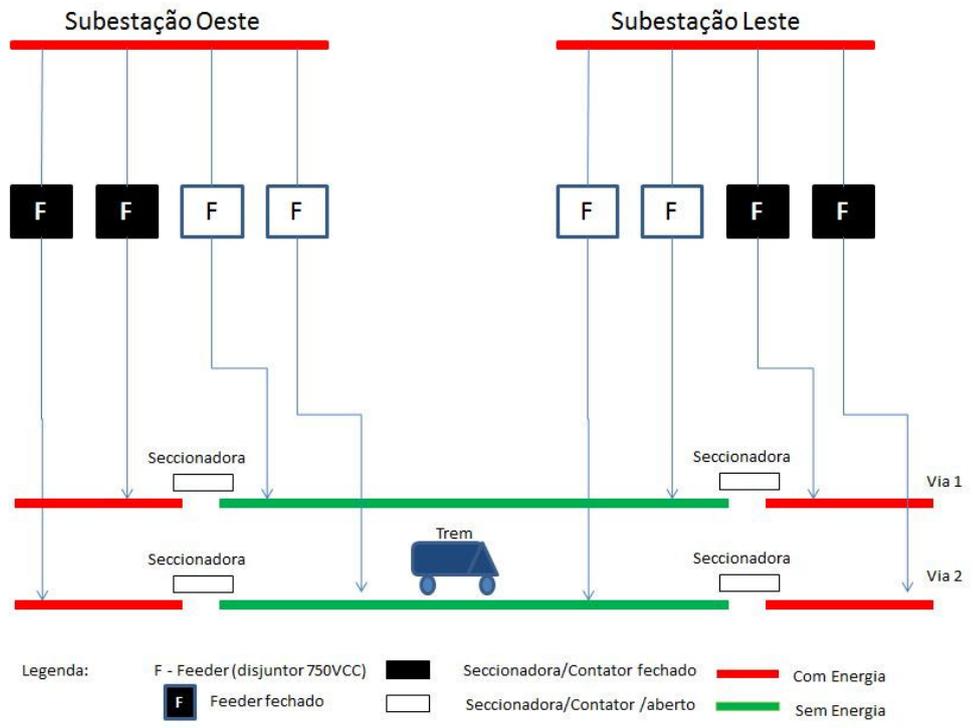


Figura 25 – SEP L15: Desligamento de energia no SEP do Monotrilho. Há 4 disjuntores desligados neste processo.

A figura 26 mostra o detalhe do disjuntor de 750VCC (Feeder) instalado em carrinho extraível em seu painel (cubículo) de potência.



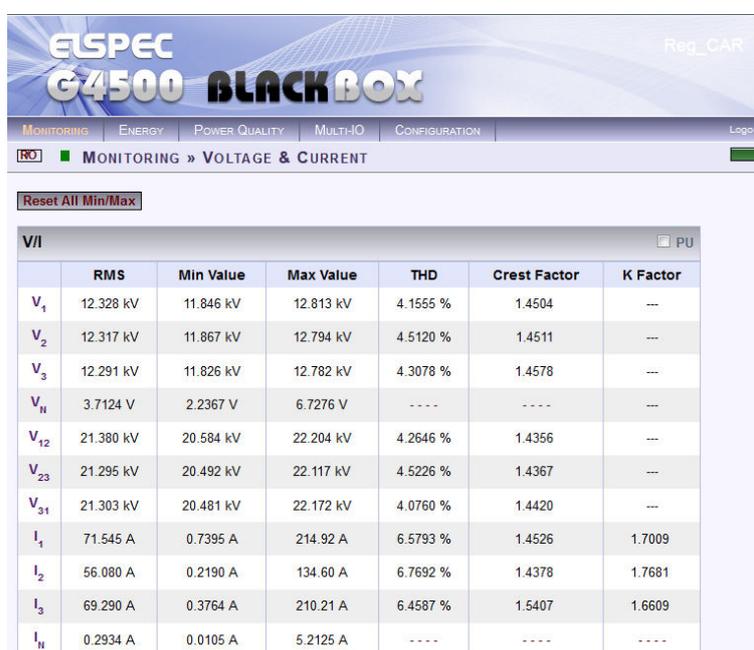
Figura 26 – Detalhe do Disjuntor de 750VCC

4.1 PESQUISA DE FALHA UTILIZANDO O MONITORAMENTO CONTÍNUO

A seguir será explanada a pesquisa de falha na subestação elétrica de 750VCC da estação Carrão da Linha 3-vermelha do METRÔ-SP. A figura 27 mostra a tela de aquisição de parâmetros elétricos (tensão e corrente).

Durante a pesquisa foi utilizado o analisador de qualidade de energia (QEE), classe A, referência KRON - ELSPEC G4500. A vantagem da medição com um equipamento classe A é a sua resolução de 1024 amostras por ciclo, ou seja, uma grande precisão a qual não se perdia

nenhuma informação relevante. Isto era importantíssimo para a pesquisa de falha intermitente a que foi proposto, fazendo-se com que as informações do Sistema Elétrico de Potência ficassem registradas continuamente, ou seja, todos os parâmetros elétricos (corrente, tensão, potência etc.) eram gravados em sua memória interna (As medições estão em conformidade com as normas IEC 61000-4-30 Classe S, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-7 e classifica os eventos em conformidade ao PRODIST 8).



The screenshot shows the ELSPEC G4500 BLACKBOX monitoring interface. The main menu includes MONITORING, ENERGY, POWER QUALITY, MULTI-IO, and CONFIGURATION. The current view is MONITORING » VOLTAGE & CURRENT. A table displays various electrical parameters:

V/I	RMS	Min Value	Max Value	THD	Crest Factor	K Factor
V ₁	12.328 kV	11.846 kV	12.813 kV	4.1555 %	1.4504	---
V ₂	12.317 kV	11.867 kV	12.794 kV	4.5120 %	1.4511	---
V ₃	12.291 kV	11.826 kV	12.782 kV	4.3078 %	1.4578	---
V _N	3.7124 V	2.2367 V	6.7276 V	----	----	---
V ₁₂	21.380 kV	20.584 kV	22.204 kV	4.2646 %	1.4356	---
V ₂₃	21.295 kV	20.492 kV	22.117 kV	4.5226 %	1.4367	---
V ₃₁	21.303 kV	20.481 kV	22.172 kV	4.0760 %	1.4420	---
I ₁	71.545 A	0.7395 A	214.92 A	6.5793 %	1.4526	1.7009
I ₂	56.080 A	0.2190 A	134.60 A	6.7692 %	1.4378	1.7681
I ₃	69.290 A	0.3764 A	210.21 A	6.4587 %	1.5407	1.6609
I _N	0.2934 A	0.0105 A	5.2125 A	----	----	----

Figura 27 – Medição com AQEE ELSPEC BlackBox G4500 na estação Carrão (27/01/2014)

A instalação do analisador de QEE foi necessária devido à pesquisa de falha intermitente de desligamento dos disjuntores de 750VCC que alimentavam os trens na região da estação Carrão. O equipamento ficou monitorando variáveis elétricas, in loco na subestação da estação Carrão. Através da rede intranet da empresa os profissionais da manutenção tinham acesso remoto a todos os parâmetros monitorados. A figura 28 registra outra tela do analisador com o parâmetro de perturbação da rede elétrica - THD (distorção harmônica).

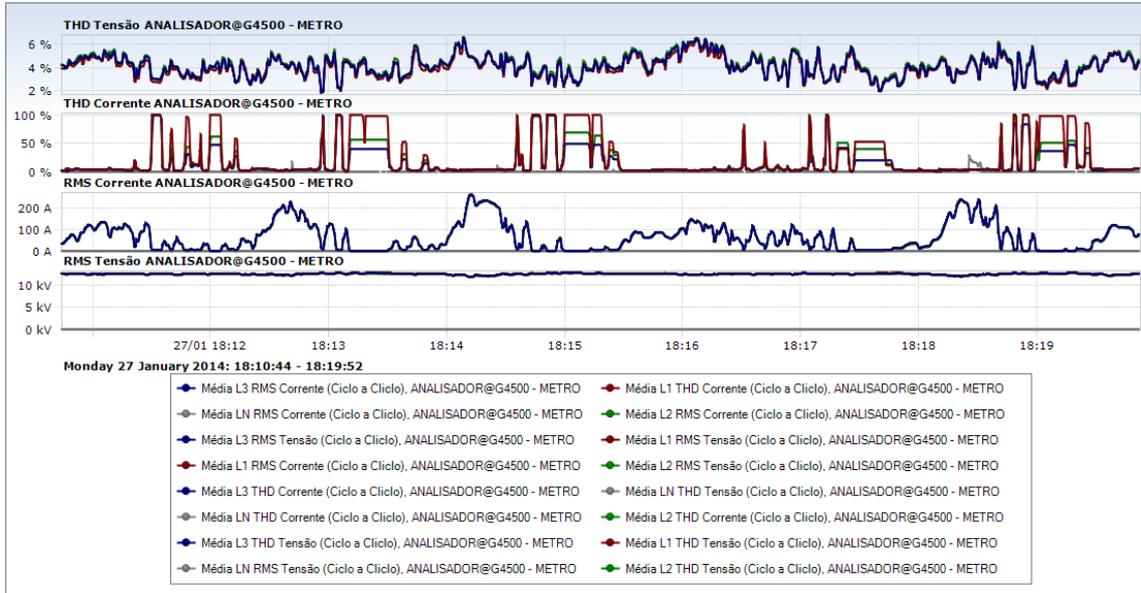


Figura 28 – Medição do parâmetro THD com AQEE ELSPEC BlackBox G4500, classe A, na estação Carrão (27/01/2014)

A figura 29 mostra o momento em que o analisador de QEE registrou a falha ocorrendo da estação Carrão, após dias monitorando a subestação de energia local.



Figura 29 – Medição com AQEE ELSPEC BlackBox G4500, classe A, na estação Carrão (27/01/2014). Momento do registro da falha ocorrendo na estação. Pico médio de corrente = 260 A ocorrido as 18:14 horas



AEAMESP



5. CONCLUSÕES

Durante o texto mencionou-se a preocupação e dificuldades encontradas para o corpo técnico do METRÔ-SP assumir um novo meio de transporte na cidade de São Paulo, o Monotrilho Pesado. Um sistema que não se conhece, ou seja, que está sendo criado do zero. Quantas dúvidas...

Visando ter-se uma mínima noção dos seus modos de falha há a necessidade de muita simulação, realizar análise preliminar de risco, recorrer às ferramentas de modelamento de sistemas e, por fim, ao *monitoramento contínuo* com a finalidade de saber suas reações às diversas solicitações impostas!

Pois bem, neste texto procurou-se apresentar algumas ações e soluções frente ao novo cenário imposto. O estudo de caso, dos profissionais da manutenção, referente ao monitoramento contínuo no SEP da linha 3-vermelha foi importante visando a viabilidade para implantação no monotrilho. O estudo da NR-35 procurou mostrar ações para capacitação dos profissionais da manutenção com treinamentos e materiais (EPI – equipamento de proteção individual) além dos novos veículos e plataformas elevatórias de trabalho para a manutenção.

Os ferramental e equipamentos, para o trabalho dos profissionais da manutenção com a segurança exigida pela NR-35, tem custo elevado, porém, é necessário frente aos altos desníveis da instalação dos equipamentos e sistemas do monotrilho. As equipes mostram,



AEAMESP



assim, que estão preparadas e em sintonia com o que se espera do novo meio de transporte. Entretanto, as dificuldades estão por todo lado e deverão ser avaliadas caso a caso.

A importância do monitoramento contínuo, demonstrado em vários tipos de equipamentos e sistemas, torna-se mais relevante e importante no Monotrilho Pesado. Colabora para isto, também, a projeção da efetiva diminuição das intervenções em manutenção corretiva quando do monitoramento implantado. Tal fato impacta na redução/otimização do quadro de mão de obra dos profissionais da manutenção.

É sabido que o custo de implantação do *Monitoramento Contínuo*, dependendo da complexidade do equipamento/sistema não é baixo, entretanto, este custo é amplamente pago com a otimização de mão de obra, além do maior ganho que é o aumento da *Confiabilidade* global do sistema. Persegue-se, deste modo, o atual modelo de gestão integrada de ativos, comentado no texto, que se baseia em *Confiabilidade (Reliability)*, *Disponibilidade (Availability)*, *Mantenabilidade (Maintenability)* e *Segurança (Safety)* – R.A.M.S.

Fica claro que o assunto não se esgota. Ao contrário, há a necessidade de mais *pensadores*, profissionais capacitados, discutindo estes assuntos.

De qualquer maneira, os projetos do Monotrilho Pesado estão nascendo aqui no Brasil... Um grande e enorme desafio, porém, uma ótima oportunidade de aprendizado!



AEAMESP



6. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Realizar estudo de concepção do monitoramento contínuo, integrado com os diversos equipamentos do Sistema Elétrico de Potência (SEP), nos projetos atuais e futuros das novas linhas e expansões do sistema metroferroviário brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTON L. E. ; BARBOSA, S.; HAGA, A. **Estudo De Viabilidade Do Monitoramento Contínuo De Máquina De Chave e Sobre Tensão Negativo À Terra**. USP-PECE. METRÔ-SP. São Paulo, 2004.

ARRUDA, A.A.C. **Seminário Qualidade de Energia Elétrica – “Não Se Pode Gerenciar o Que Não se Mede”**. FLUKE, Instrumentos de Medição. São Paulo, 2010.

BELCHIOR, F.N.; REZEK, A.J.J.; DA SILVA, V. F.. **Harmônicos e Desequilíbrios em Instalações Metro-Ferroviárias**. FUPAI. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI. Itajubá, 2012.

CARAZAS, F.J.G. **Decisões Baseadas Em Risco - Método Aplicado Na Indústria De Geração De Energia Elétrica Para A Seleção De Equipamentos Críticos E Políticas De Manutenção**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-31052011-144452/>>. Acesso em: 2012-02-13.

DOS SANTOS, A.U. **Ferramenta Para Gestão Da Confiabilidade, Manutenibilidade e Custo Do Ciclo De Vida Baseado Em Atividades De Equipamentos**. ITA/UNITAU. Simpósio Internacional de Confiabilidade - SIC. São Paulo, 2008.

FUKUDA, E. M.; HIRANO, A.. **A Manutenção Dos Equipamentos Eletromecânicos E Auxiliares De Uma Das Linhas Mais Carregadas Do Mundo: Linha 3 - Vermelha Do Metrô De São Paulo**. USJT - SINTECCE 2012. São Paulo, 2012.

KRON, Medidores. **Analisador de Qualidade de Energia ELSPEC G4500 BLACKBOX - Software PQSCADA e INVESTIGATOR**. São Paulo, 2014.

MAEZONO, P.K. **Análise De Perturbações – Conceitos e Conhecimentos Básicos**. Treinamento SCHWEIZER ENGINEERING LABORATORIES BRASIL no Metrô-SP. São Paulo, 2004.

MOUBRAY, John. **Reliability-centred maintenance. Manutenção Centrada em Confiabilidade: RCM II**. Biddles LTD., Guildford and King's Lynn. Lutterworth, Inglaterra, 2000.

MORA, J. C. **Integrando a Gestão de Ativos: A Nova Fronteira**. Palestra FAAP. São Paulo, 2014.

SOUZA, G. F. M.; MOLINARI, R. **Gerenciamento de Manutenção**. Disciplina de pós-graduação e apostila do curso de Tecnologia Metro ferroviária da Universidade de São Paulo – USP (PECE). São Paulo, 2011.



AEAMESP



SOUZA, G. F. M. **Gestão de Ativo Baseada em Risco: A Proposta da Norma PAS-55**. Palestra do Programa de Inteligência Corporativa (PIC) realizada na Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô. São Paulo, 2012.

ANEXOS

	QUEM SOMOS	PRODUTOS	ONDE COMPRAR	SUPORTE TÉCNICO	SERVIÇOS	CONTATO	DOCUMENTOS E DOWNLOADS		
--	------------	----------	--------------	-----------------	----------	---------	------------------------	--	--

Produtos

Analísadores de Qualidade da Energia | Portátil - ELSPEC G3500/4500 BLACKBOX | ELSPEC G3500/4500 BLACKBOX

- Medidores de Energia
- Transformadores
- Analísadores de Qualidade da Energia
- Analísadores Preditivos (Falhas)
- Controladores de Fator de Potência
- Instrumentos Analógicos
- Instrumentos Digitais
- Transdutores Analógicos
- Shunts
- Relés de Tempo, Horímetros e Controladores
- Soluções Remotas
- Conversor
- Medidores de Tensão
- Chaves
- Relés de Fuga à Terra

VOLTAR



- Manual
- Ficha Técnica
- Software
- Guias para aplicação

- Ampliar imagem
- Solicite um orçamento

- Registro contínuo de todos os parâmetros elétricos, inclusive flicker (com a exclusiva medição de fast flickering), variações de curta duração (sag/swell), harmônicas até 511ª ordem e transientes de até 16µs.
- Sistema Wi-Fi para comunicação e transferência dos dados.
- Medição de energia bi-direcional (consumida e exportada), bem como demanda ativa, reativa e aparente.
- Precisão de 0,1%, amostragem de até 250 kHz e medição de tensões de fase, terra, neutro e até seis correntes (10 canais de entrada).
- Sua oscilografia não é por eventos, é contínua – as formas de onda de tensão e corrente podem ser armazenadas por até um ano com resolução de até 1024 pontos por ciclo.
- Liberdade para comunicação, permite implementar o instrumentos a supervisórios ou CLP's utilizando as saídas RS-485/422 protocolo Modbus-RTU, possui servidor OPC (protocolo aberto), DNP3.0 e entre outros.
- Sincronismo via rede (servidor NTP) ou GPS com resolução de estampa de tempo de até 1 µs.
- Medições conforme IEC 61000-4-15 (flicker) e IEC 61000-4-30 (harmônicos) ou ciclo a ciclo.
- Teste de compatibilidade com EN50160 ou norma brasileira (PRODIST – ANEEL).
- Memória de 8GB (mais de 100 vezes maior do que as outras opções do mercado) Tecnologia de compressão.