



AEAMESP



SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO 3D EM TEMPO REAL

Sergio Renato de Arruda Leme

Patrick Carlos Pires

Jorge Massayoshi Ono

Paulo Wagner

Jaderson Antunes Pinto

Monique Campagnaro Curtulo

Roberto Akira Kawahara



“20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”

PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIO

Categoria 3 - Tecnologias de implantação, operação e manutenção de sistemas de transporte, abordando os sub-temas: Inovações tecnológicas e segurança operacional.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO 3D EM TEMPO REAL

INTRODUÇÃO

A evolução dos equipamentos, acessórios e programas voltados à coleta e processamento de dados geodésicos tem sido uma constante nos últimos anos. Equipamentos que podem ser operados por controle remoto, que localizam automaticamente a posição de prismas refletores em campo e que fazem a leitura automática de miras.

A recente disponibilidade de estações totais robotizadas permitiu a implantação do Sistema de Monitoramento Automatizada 3D em tempo real na Linha 1 Azul durante as obras de escavação da Linha 5 Lilás/ Estação Santa Cruz. O processo das escavações do corpo da nova estação e do túnel de ligação entre mesmas serão em NATM e a escavação da via será em Shield EPB, este último cerca de 25 metros abaixo da estação em operação. Avaliar os resultados obtidos e traçar comparativos com o sistema convencional de monitoramento e de certa forma, abrir horizontes para a utilização desta tecnologia.

O trabalho trata, portanto, da importância do monitoramento para todo o sistema do Metrô de São Paulo.



AEAMESP



1. DIAGNOSTICO

Segundo BAGNOLI (1980), a causa básica para o desenvolvimento dos deslocamentos e do fenômeno da pressão de solo em torno da abertura de um túnel, é a perturbação no campo de tensões do solo, devido a escavação do túnel, envolvendo uma redistribuição de tensões, transformando o estado primário num estado secundário. Suportes provisórios ou permanentes são utilizados para garantir um novo estado de equilíbrio do maciço, inicialmente durante o período de execução da obra e, depois para a vida útil da estrutura.

Na construção de túneis, a instrumentação é um dos elementos fundamentais para a avaliação da performance de estrutura e para garantir segurança da obra através da interpretação dos deslocamentos, monitorando os recalques que podem causar danos nas edificações.

As principais funções da instrumentação segundo CELESTINO, 1990, são:

“Garantir a segurança da obra, monitorando o comportamento do maciço e das estruturas face aos efeitos da execução do túnel. Através do monitoramento procura-se detectar antecipadamente eventuais mecanismos de colapso, os quais indicarão a necessidade de aplicação de contra medidas de segurança”.

Grande parte da Estrutura e Túneis da Linha 1 Azul encontra-se sob a área de influência das obras da Linha 5 em andamento, na região da Estação Santa Cruz. A ampliação da malha metroviária é algo de extrema importância para a Grande São Paulo, da mesma forma também o são as interligações das diversas linhas existentes com as novas. Contudo, existe uma problemática nas adjacências mencionadas, pois as linhas existentes não podem ter suas operações comerciais prejudicadas, principalmente sob o aspecto da segurança.



AEAMESP



Sob esse panorama foi adotado na Estação Santa Cruz, o Sistema de Monitoramento Automatizado 3D em tempo real. Em primeiro lugar, o fluxo de usuários nas plataformas da Estação no horário comercial é tão intenso que a realização de leituras pelo método convencional seria impraticável. Vale ressaltar que o processo apresenta alto grau de confiabilidade e precisão, com correções automáticas de variações térmicas, pressão, umidade e vibração sem a interferência humana.

1.1 AREA DE INFLUÊNCIA

Para o monitoramento e acompanhamento dos recalques gerados pela execução da escavação do corpo da estação, do túnel de ligação (NATM) e da via em Shield EPB na estação Santa Cruz existente, foi instalado um sistema robotizado em 3D, composto com 2 estações totais. A localização da estação total foi determinada estrategicamente para se monitorar todos os pontos previstos no projeto. Cabe salientar que alguns desses pontos foram remanejados em função das interferências físicas da estação.

Para tanto, foram instalados 5 prismas de referências, marca Leica GPR121, sendo 2 (dois) de cada lado, nas extremidades dos túneis (sentido Tucuruvi e Jabaquara), localizados fora da área de influência, para que se compare um possível recalque do ponto de instalação dessa estação Robotizada e 1 (um) no mesmo alinhamento das estações totais, que serve de leitura para ambas.

Foram instaladas 11 seções de instrumentação ao longo da plataforma da estação existente com 10 prismas cada uma, perfazendo um total de 110 pontos monitorados em coordenadas absolutas: N (Norte), E (Leste) e H (Elevação).

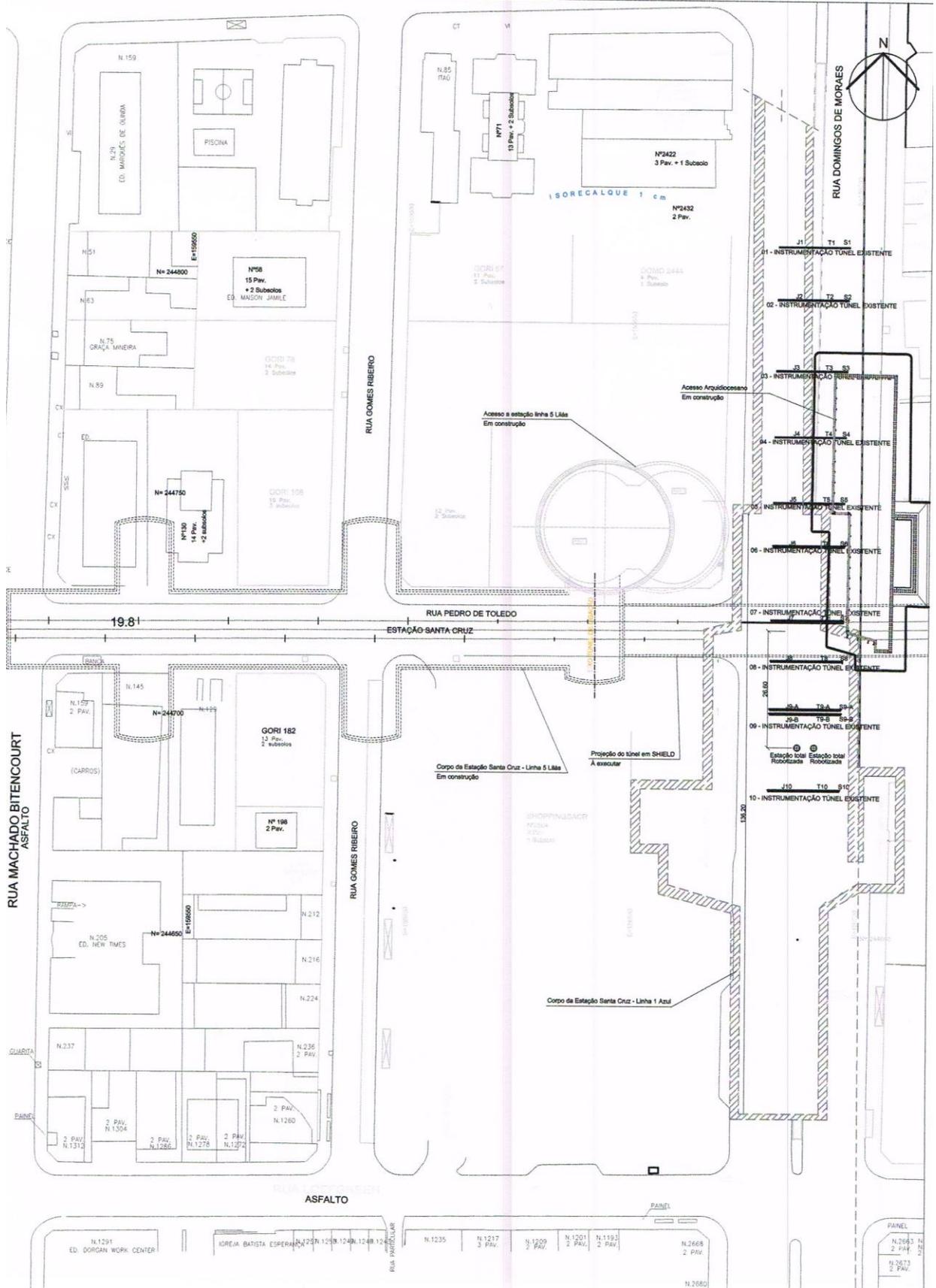


Figura 1: Implantação – Estação Santa Cruz Linha 1 Azul e a nova estação Linha 5 Lilás

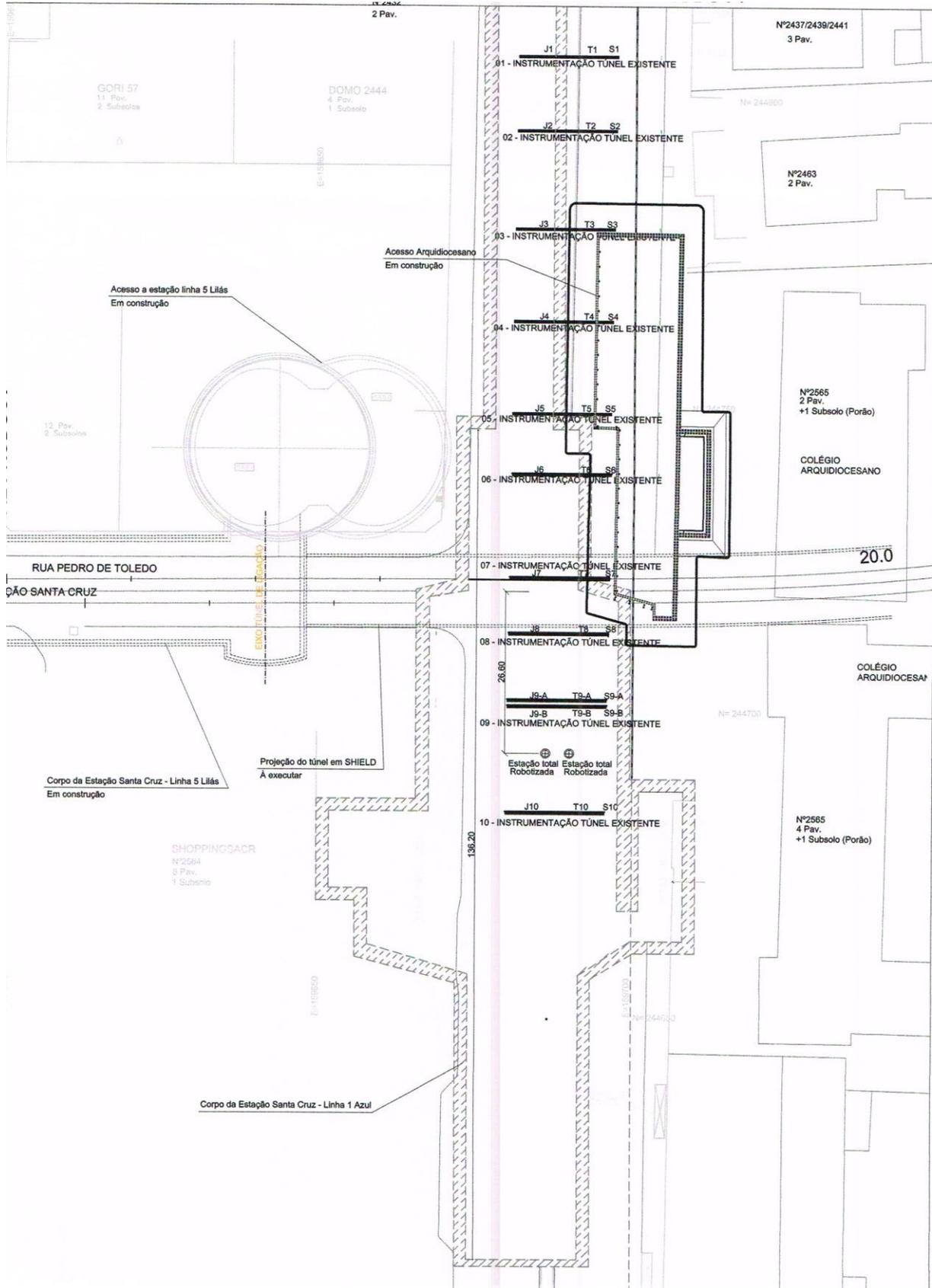
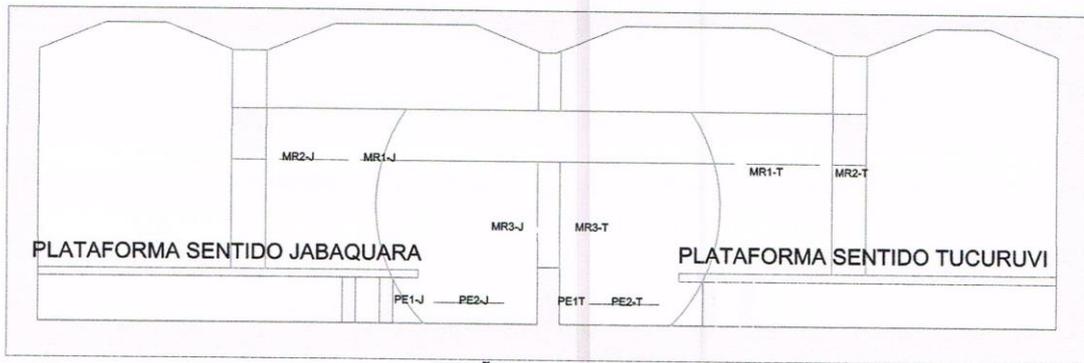


Figura 2: Detalhe das seções de monitoramento

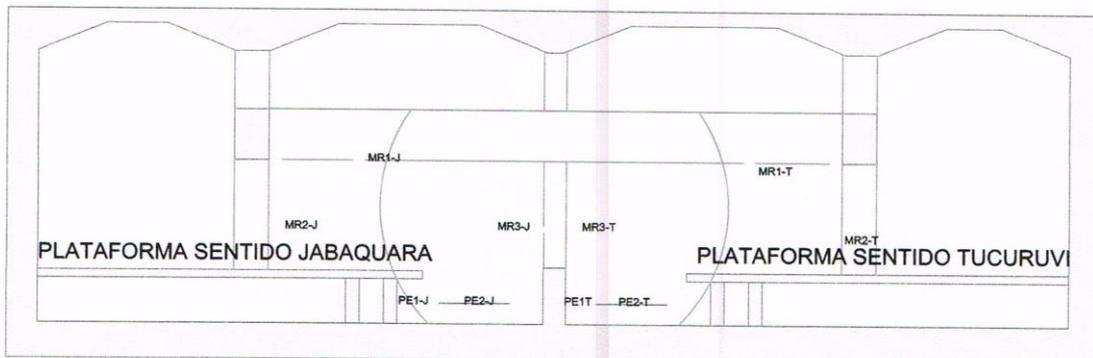


AEAMESP

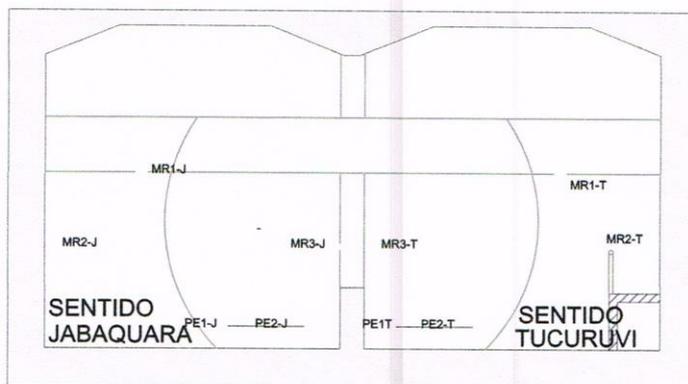
20ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2014



SEÇÕES TIPO A - B
S6,S7,S9-A,S9-B e S10



SEÇÃO TIPO - B
S8



SEÇÃO TIPO - C
S1,S2,S3,S4 e S5

Figura 3: Cortes de algumas seções instrumentadas



AEAMESP



1.2. NECESSIDADE DA UTILIZAÇÃO

É importante mostrar que para execução de obras de túneis, a instrumentação é essencial no controle do comportamento do maciço durante o avanço da escavação, para verificar as condições de segurança dos trabalhos em profundidade e em superfície, e intervir com medidas apropriadas, tão logo detectadas condições anômalas ou perigosas, visando garantir que os recalques e distorções induzidos pela escavação situem – se dentro de limites aceitáveis.

Em áreas urbanas, esta limitação de recalques é essencial para evitar danos a edificações e utilidades públicas próximas aos túneis.

Diante do exposto, ressalta- se a importância que a instrumentação passa a ter no evento (início da obra), já que o primeiro passo a ser dado, antes das primeiras escavações, é criar, conforme definições advindas do projeto executivo, todos os benchmarks superficiais e profundos, caracterizando o posicionamento do maciço no “start-up” das operações de campo.

O uso do Sistema Robotizado na obra da estação Santa Cruz linha 5 Lilás do Metrô se fez necessário para obter resultados em tempo real com alta precisão e também em função da segurança operacional e da disponibilidade de espaço na plataforma.

O equipamento gera leituras frequentes 24 horas, durante 7 dias na semana e sem a utilização de operadores. Isso faz com que a tomada de decisão também seja rápida e eficaz.

Outro fator importante na utilização do Sistema foi que a estrutura da Estação Santa Cruz e túneis de Via da Linha 1 Azul do Metrô em operação não foram concebidos para interagir com a construção da Linha 5 Lilás.



AEAMESP



Com o Sistema Convencional (não robotizado) seria impraticável realizar essa frequência de leituras, devido a:

- Fluxo acentuado de trens;
- Usuários na plataforma da estação cuja demanda é aproximadamente 64,2mil usuários por dia, conforme dados estatísticos do Relatório Operacional do Metrô/ano 2013 (RO2013);
- Marcos refletores (adesivos) que induz a erro paralaxe;
- Isolamento da área na plataforma;
- Equipe mínima de dois operadores;
- Mudança de local do aparelho para a realização de leituras;
- Sujidade impregnada na superfície dos marcos refletores (adesivos);
- Manuseio do equipamento em horários de pico;
- Deslocamento dos marcos refletores devido à manutenção da via, vida útil do adesivo, vandalismo, entre outros;
- Manipulação dos dados por equipes diversas;
- Dificuldade de reação em caso de não conformidade.

1.3 EQUIPAMENTOS E SEU FUNCIONAMENTO

O Sistema de Monitoramento Automatizado utilizado consiste em duas estações totais Leica TM30 e sensor de temperatura e pressão STS Sensor operando simultaneamente, sendo ambos gerenciados pelo software Leica GeoMos que, automaticamente, recebe, processa e

calcula os dados dos deslocamentos, envio de alertas e mensagens instantâneas de operação do sistema.

Todas as informações coletadas pelos sensores são armazenadas em um banco de dados (Leica GeoMos), alocado em computador na estação Santa Cruz; esse banco de dados (modulo Monitor) armazena todas as informações de forma temporal, proporcionando posteriormente análise e comparação dos dados (modulo Analyser), que através de suas ferramentas, pode realizar a integração, comparação e análise de todos os dados coletados, proporcionando através de gráficos a visualização dos deslocamentos individuais de cada ponto, distância inclinada, dados de temperatura e pressão, podendo ser exportados para a criação de relatórios. Optou-se, neste caso, para garantir uma melhor precisão nas leituras e conseqüentemente no resultado final, pelo método das direções com leituras conjugadas (posição direta PD e posição invertida PI). Conforme NBR 13133/1994, esse método consiste em medições angulares horizontais com visadas das direções determinantes as duas posições permitidas pelo teodolito (direta e invertida), a partir de uma direção tomada de origem, que ocupa diferentes posições no limbo horizontal do teodolito. As observações de uma direção, nas posições direta e invertida do teodolito, chamam-se leituras conjugadas.

Portanto, as estações totais efetuam, em cada prisma instalado, 2 leituras de forma automática. O instrumento efetua a leitura na Face I (PD), em seguida o equipamento gira 180º no HZ e V e efetua novamente a leitura no mesmo prisma, mas desta vez na denominada Face II (PI).

Abaixo, destacamos os equipamentos utilizados:

Estação total robótica, marca Leica, modelo TM30:

- Precisão angular de 0,5”;

- Precisão linear de 0,6mm + 1,0ppm;
- Alcance de até 3.000m;
- Motorização: tecnologia baseada no efeito Piezo Elétrico.

Acessórios:

- 110 Mini-Prismas de Monitoramento, marca Leica, modelo GMP104;
- 5 Prismas de referência, marca Leica, modelo GPR121;
- 1 Computador para gerenciamento da estação e *backup* dos dados;
- Sistema de alimentação, por meio de energia elétrica, protegida por *NoBreak*:
 - Sistema de comunicação via GPRS para envio dos dados;
 - Software de Monitoramento, Leica *GeoMos Monitor* para controle, coleta e armazenamento dos dados;
 - Software Monitoramento Leica *GeoMos Analyser* para análise e pós processamento dos dados.



Figura 4: Estação total robótica



AEAMESP



1.3.1 MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A manutenção do sistema é simples e programável. Na estação Total, basta verificar, a cada 6 meses, por exemplo, como está a calibração e o nível eletrônico, apesar que tal informação é avisada, pelo Software GeoMoS, caso haja alguma alteração que fique fora do alcance do compensador do equipamento.

O software Leica GeoMos, é responsável por todo o gerenciamento dos sensores, portanto qualquer problema que ocorrer, mensagens são geradas mostrando de forma clara o problema ocasionado, como por exemplo, ponto não encontrado, compensador fora da tolerância, falta de energia nas estações, grupo de controle fora da tolerância entre outras, proporcionando uma tomada de decisão rápida para realizar a manutenção necessária.

Nos acessórios de comunicação, a manutenção é preventiva, sempre verificando o funcionamento do sistema, qualquer falha deve ser analisada com mais critério para que um problema maior não venha ocorrer.

No caso dos prismas (de Referência e de Monitoramento), basta verificar a limpeza dos espelhos e reaperto dos suportes que os sustentam, pois qualquer deslocamento que o prisma sofrer por ação forçada de algum objeto ou choque, influenciará diretamente na análise dos dados. Portanto é essencial a manutenção dos primas de monitoramento.

1.4 INSTALAÇÃO

A instalação do equipamento, num pilar já existente na estação Santa Cruz do Metrô, se deu por meio de dois suportes fabricados em aço, especialmente para esta aplicação, reforçados e instalados de forma que receba e transmita a menor vibração e movimentação possível, garantindo assim uma leitura precisa e confiável. Já os prismas foram instalados em ambos

os sentidos da via permanente, Jabaquara e Tucuruvi totalizando 110 unidades e 05 prismas de referencia instalados na estrutura.

Foram desenvolvidos suportes especiais para que os prismas e as Estações Totais pudessem ser instalados em locais protegidos contra vandalismos e proporcionando um campo visual onde a estação total pudesse efetuar o maior numero de leituras dos pontos de monitoramento, minimizando a modificação dos prismas já pré-existentes.



Figura 5: Estação total robótica fixada no pilar entre vias da Estação

Montou-se uma sala técnica em área operacional no nível da plataforma, com computadores de última geração para aquisição e tratamento dos dados, rede de transmissão via *wireless* e proteção contra queda de energia para todo o sistema.



Figura 6: Prismas instalados na via permanente

Todo o trabalho de instalação foi feito fora dos horários de operação comercial, com as vias desenergizadas e contou com o apoio das áreas de GMT (Gerência de Manutenção) e GOP (Gerência de Operação) do Metrô.

1.5 TRANSMISSÃO DE DADOS

Neste sistema, a transmissão de dados, ao contrário de qualquer trabalho de monitoramento não automatizado, não dependerá do usuário para manuseio, transferência e conferência dos dados.

A Estação Total efetua a leitura nos prismas instalados ao longo da via e, por meio da tecnologia Wifi, os envia, em tempo real, para a sala técnica em área operacional no nível da plataforma, onde está a central de controle de dados. Caso ocorra uma não conformidade, o sistema automaticamente enviará, via e-mail ou SMS, alarmes para os setores responsáveis.



Figura 7: Estações Totais, Caixa de comando e abrigo do No-Break

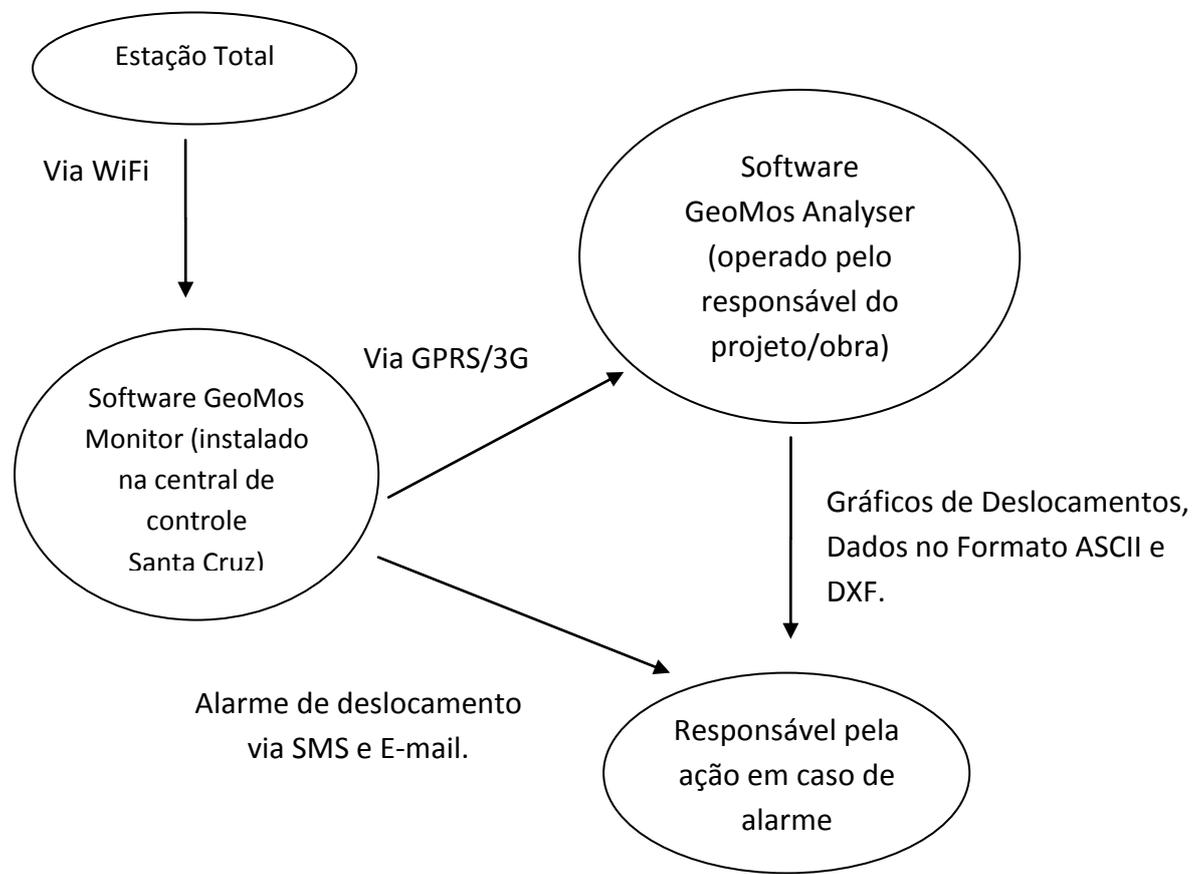


Figura 8: Transmissão de dados.



AEAMESP



2. ANÁLISE DE RESULTADOS

Com a rapidez no envio das informações e com a análise dos limites de atenção e alarme estabelecidos previamente em projeto, conseguimos ter uma velocidade de reação. Essa velocidade é um item particularmente importante em observações de túneis, porque grandes deslocamentos ou instabilidades podem ocorrer rapidamente. O engenheiro, ao receber os dados da instrumentação, deve imediatamente comparar esses dados com os anteriormente obtidos, para determinar se houve alguma mudança significativa e ainda, se a configuração das leituras se enquadra dentro das anteriores e mesmo da prevista.

Como resultado, torna-se possível a obtenção de leituras mais precisas, em ciclos inferiores a 10 minutos mesmo nos horários de pico e com significativa redução de custos se comparados ao sistema convencional, permitindo que os envolvidos na execução das obras da Linha 5 Lilás tenham subsídios para tomar quaisquer medidas que se façam necessárias imediatamente à constatação da ocorrência, de tal forma que o complexo processo de escavação e construção da nova Estação Santa Cruz seja feito com toda a segurança aos trabalhadores, usuários do Metrô e transeuntes que estejam nas adjacências, como por exemplo no Shopping Metrô Santa Cruz.



AEAMESP

20ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2014

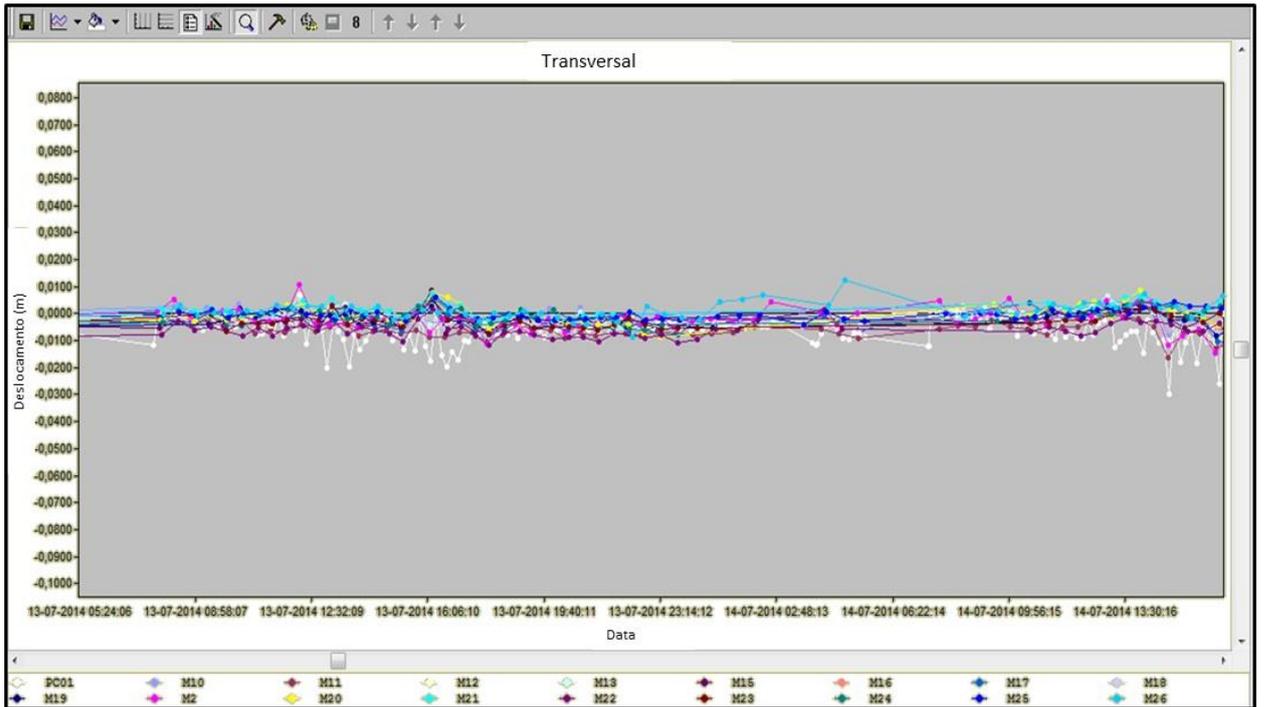


Figura 9: Modelo de Gráfico de deslocamento Transversal

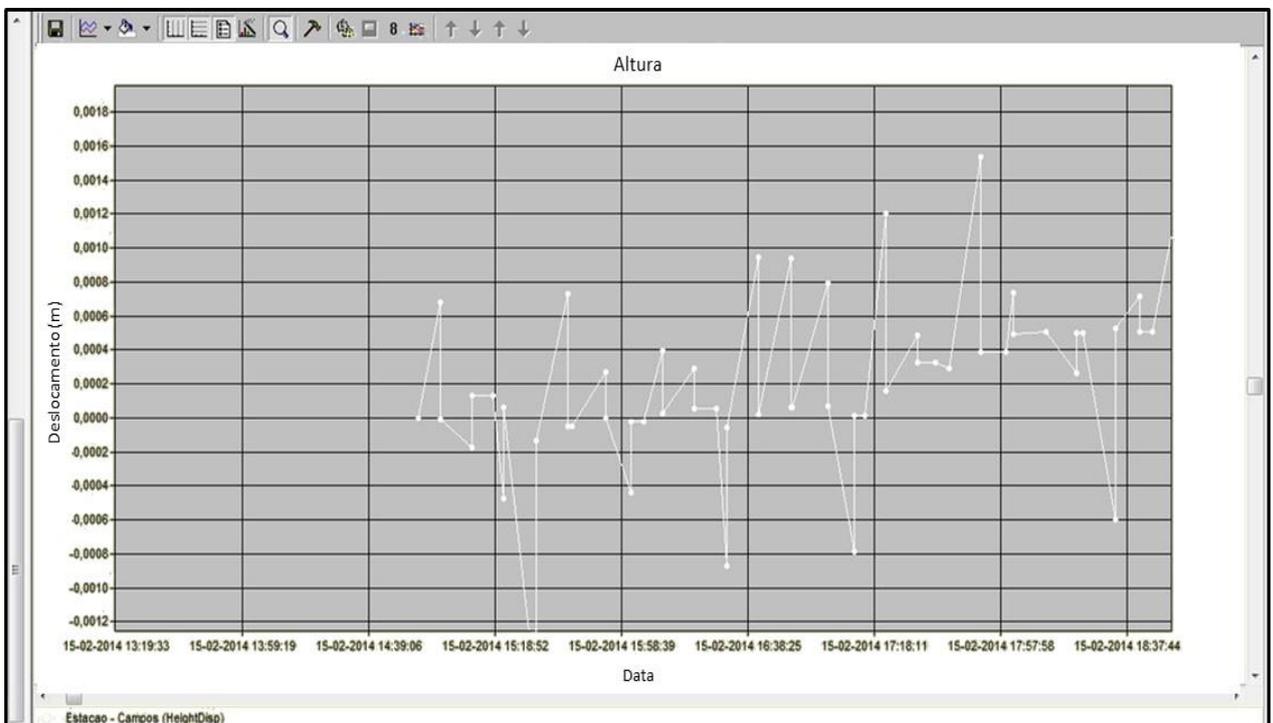


Figura 10: Modelo de Gráfico de deslocamento Altura

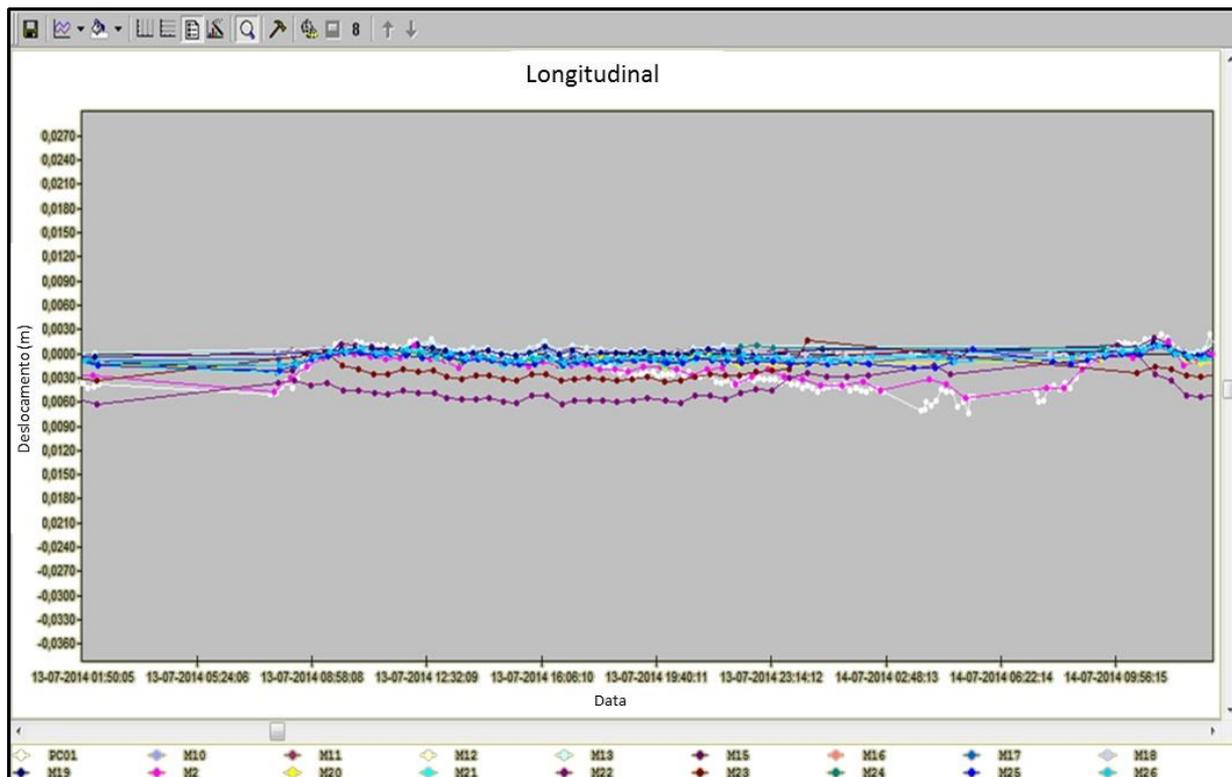


Figura 11: Modelo de Gráfico de deslocamento Longitudinal

3. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é demonstrar os prós da utilização do monitoramento automatizado da instrumentação em obras do Metrô, suas características e funcionamento; em detrimento ao método convencional.

A adoção das técnicas de automação geodésica para coleta, transferência e análise de dados, o monitoramento de estruturas torna-se uma ferramenta importante para realizar a avaliação do comportamento das estruturas em tempo real; além do aumento da produtividade, eficiência, portabilidade de dados e principalmente obter velocidade de reação quando detectado não conformidade nos processos executivos.



AEAMESP



Na continuidade deste trabalho, pretende-se desenvolver e estender o emprego da automação geodésica para o monitoramento, não apenas de obras finalizadas e em operação, mas inclusive a edificações lindeiras às obras de extensão do Metrô.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- INSTRUMENTAÇÃO DE TÚNEIS URBANOS, Waldir José Giannotti - Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Anhembi Morumbi no âmbito do Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental - SÃO PAULO 2003.
- SOBRE OS MODELOS DE CALCULO E A INSTRUMENTAÇÃO DE TÚNEIS EM SOLO, Fernando Bagnoli /1980 - Dissertação (Mestrado em Engenharia) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- UTILIZAÇÃO DE DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO NO PROJETO DE TÚNEIS URBANOS, T.B. Celestino, S.M. Burim, L.G. Clemente e AA Fernandes - SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO- SINGEO'90, 1990, Rio de Janeiro.
- Catálogos da Leica: Estação Total e Software GeoMoS.
- NBR 13133 DE 1994 – Execução de levantamento topográfico.