



Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia de Transportes



Medir Uma Grandeza

Monitoramento de Estruturas por Instrumentação Geodésica

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Camargo Larocca

Medir Uma Grandeza

MEDIR uma grandeza é obter um número associado a uma unidade que represente o valor dessa grandeza.

A medição pode ser:

-direta

-indireta

Exemplo:

Medida: 1345,288 m

desvio padrão: $\sigma = \pm 0,001$ m

Medir Uma Grandeza

Na medida de uma grandeza devem ser levados em conta os elementos:

- Operador
- precisão desejada
- custo da operação
- tempo exigido
- método de medição
- Instrumentos
- dificuldades técnicas e operacionais



Medir Uma Grandeza

medidas \leftrightarrow observações
são termos sinônimos

- abdicar da pretensão de obter o verdadeiro valor de uma grandeza medida
- inevitável presença de “erros de medida”
 - falhas humanas
 - imperfeição do equipamento
 - influência das condições ambientais

Medir Uma Grandeza (continuação)

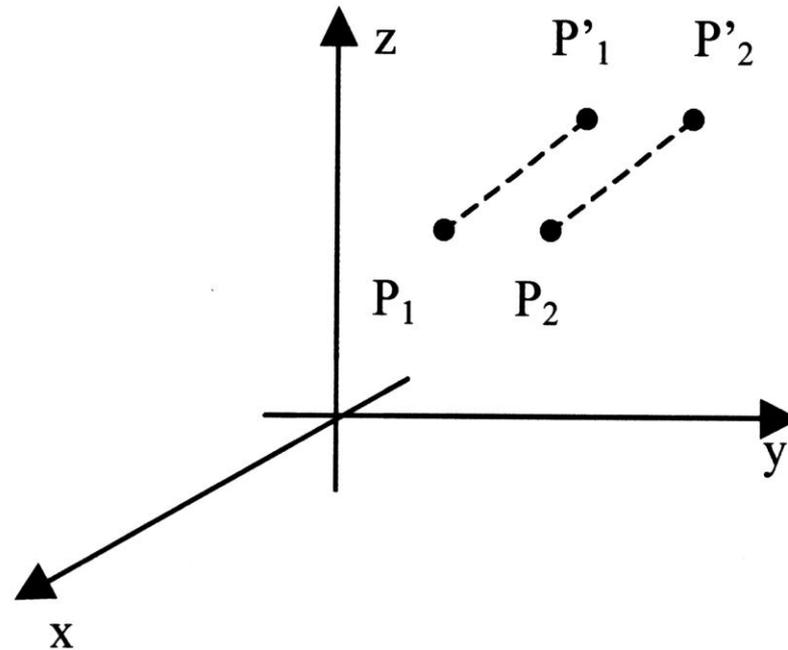
- multiplicação das observações
 - dados redundantes inexatos
 - extrair um resultado “único” para representar com “grau de confiança”
 - “ajustamento de observações”



O que medir?

- Definição dos elementos da estrutura a serem monitorados relativamente ao seu posicionamento e consequentes deslocamentos com relação a um sistema cartesiano referencial adotado.
- Definição dos deslocamentos a serem medidos com suas respectivas precisões e grau de confiança.

Deslocamento em Estruturas (cont.1)



O ponto P_1 se desloca quando muda de posição para P'_1

$$P_1 (x_1, y_1, z_1)$$

$$P'_1 (x_1 + u_1, y_1 + v_1, z_1 + w_1)$$

não sendo simultaneamente nulas as
grandezas u_1 , v_1 e w_1

Roteiro Básico para a Monitoração de Estruturas

A) Fase de planejamento da pesquisa

- fase da atividade do sistema estrutural:
 - ✓ produção (durante a execução da obra/estrutura)
 - ✓ operação (obra/estrutura já concluída)
- medição no sistema estrutural (escolha dos tipos de instrumentos de medição)
- identificação do trecho e do elemento estrutural

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.1)

A) Fase de planejamento da pesquisa

- materiais que constituem o sistema/elemento estrutural (concreto, aço, madeira etc)
- posicionamento dos pontos no elemento estrutural (vértices de medição)
- precisão da medida observada (sub-centimétrica)

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.2)

A) Fase de planejamento da pesquisa

- estado de utilização do sistema estrutural:
 - ✓ variáveis externas:
 - **peso próprio**
 - **cargas permanentes (equipamentos fixos)**
 - **cargas variáveis com o tempo**
 - **recalques de apoio**
 - **ação do vento**
 - **cargas estáticas ou dinâmicas**
 - **variação da temperatura**

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.3)

A) Fase de planejamento da pesquisa

- posicionamento das cargas
- intervalo entre as observações
- sistema referencial (deve ser único ao longo do monitoramento): “bench-mark” (referência de nível), vértices da rede SGB (referência planimétrica/altimétrica), marcos estáveis calibrados com centragem forçada próximos da estrutura.

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.4)

A) Fase de planejamento da pesquisa

- através da projetista do cálculo do sistema estrutural conhecer o modelo matemático que representa o comportamento da estrutura em função das variáveis externas

Fases



Estádio Castelão, Fortaleza

Fases



Estádio Castelão, Fortaleza

Fases



Foto: área da Barragem de Tucuruí

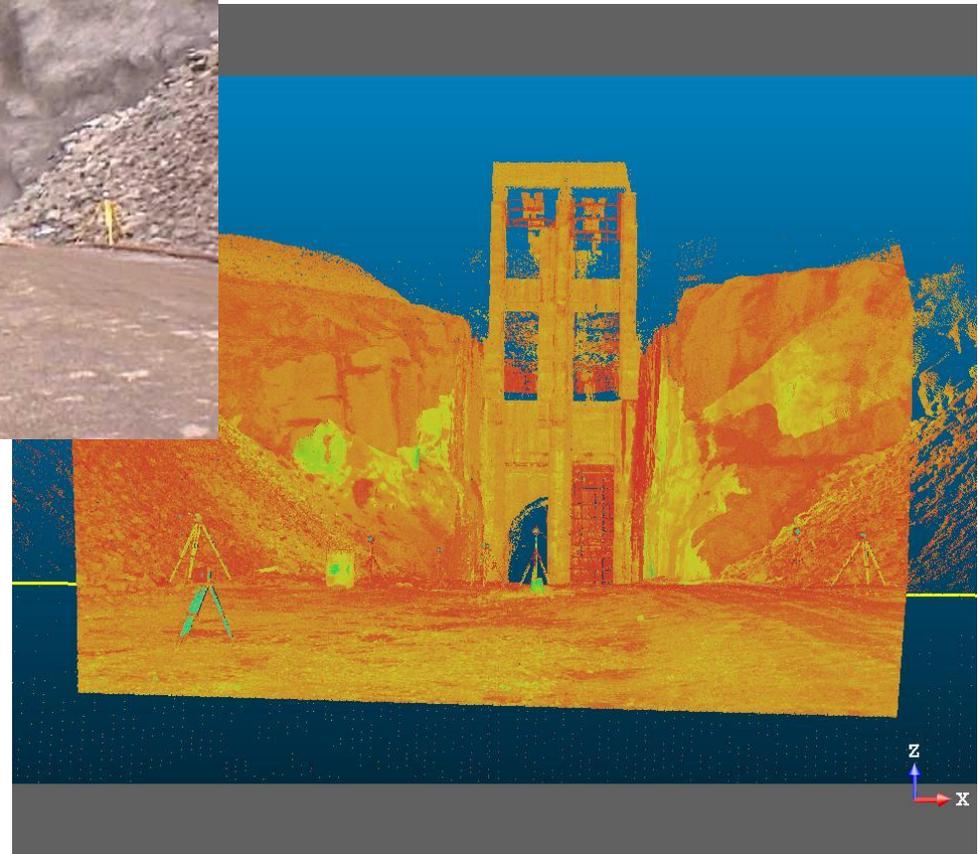
Obras subterrâneas - locação



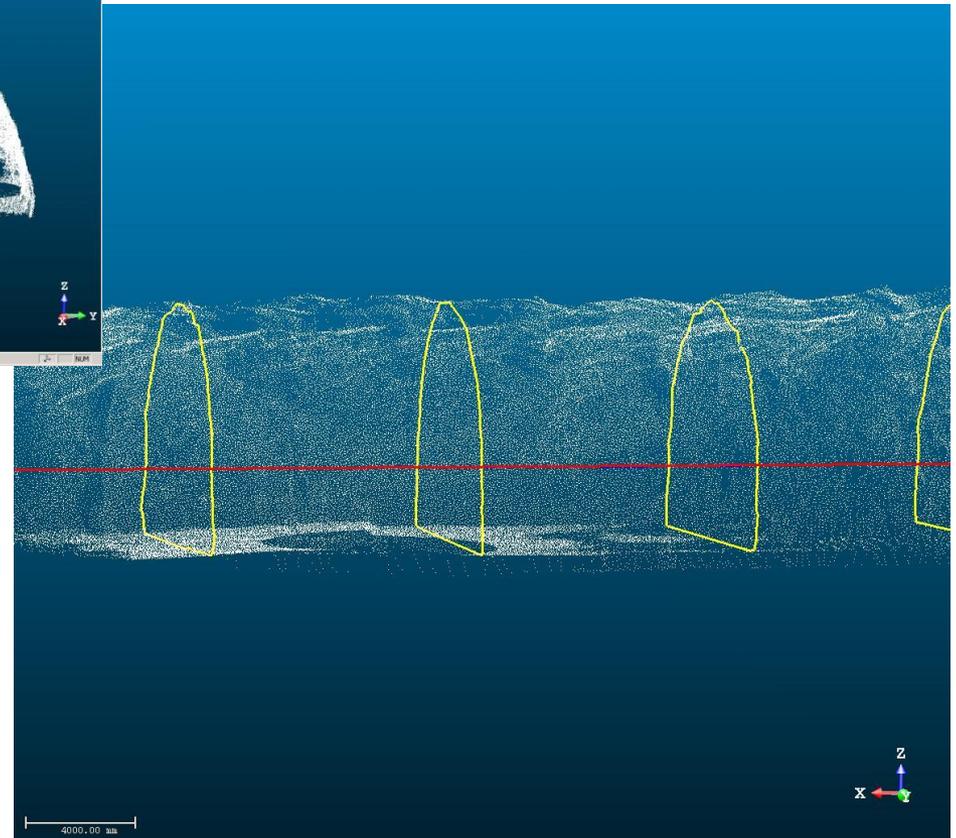
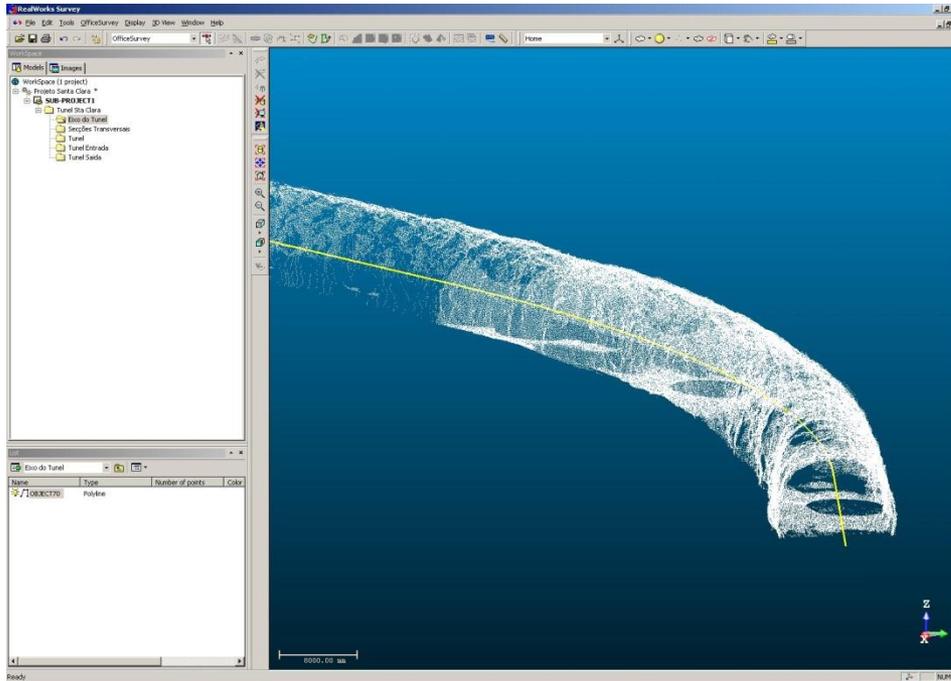


Laser Scanner
terrestre de entrada
de túnel

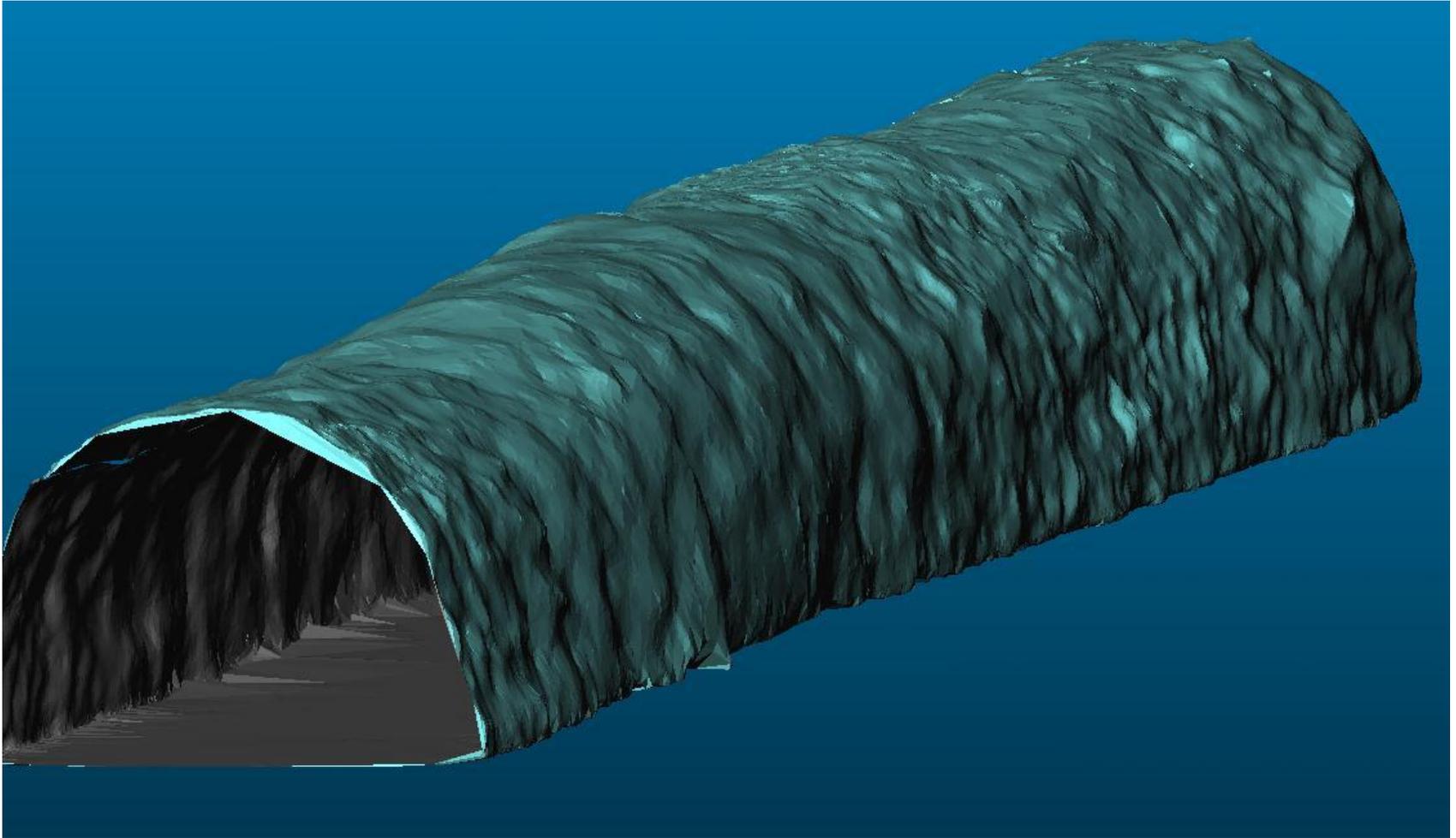
Fotografia de entrada
de túnel



Fases - Laser Scanner do interior do túnel



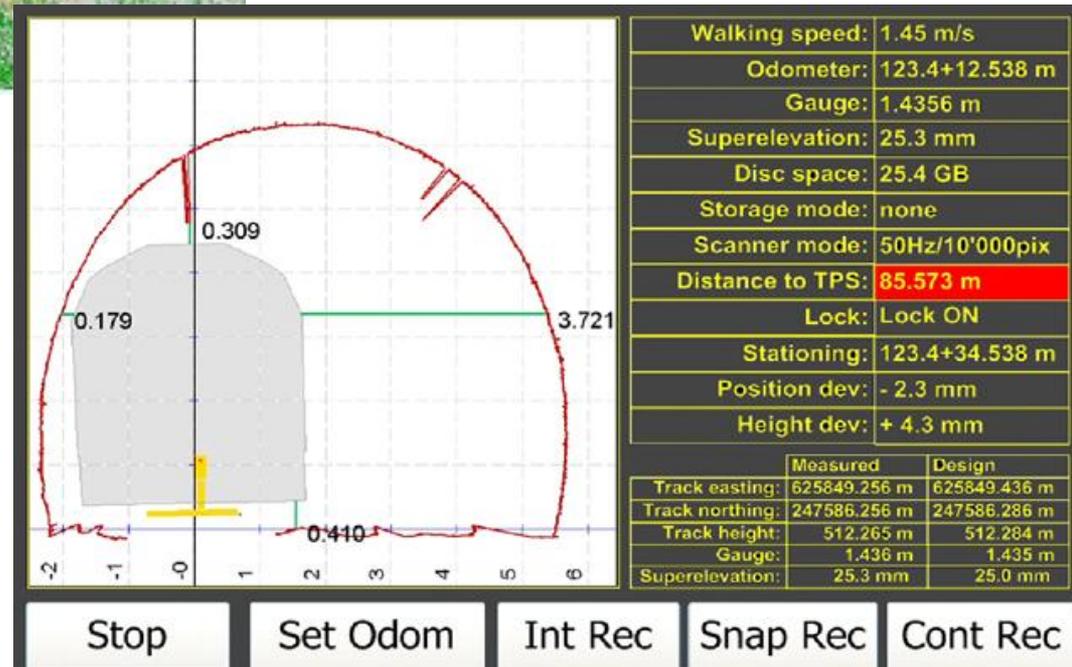
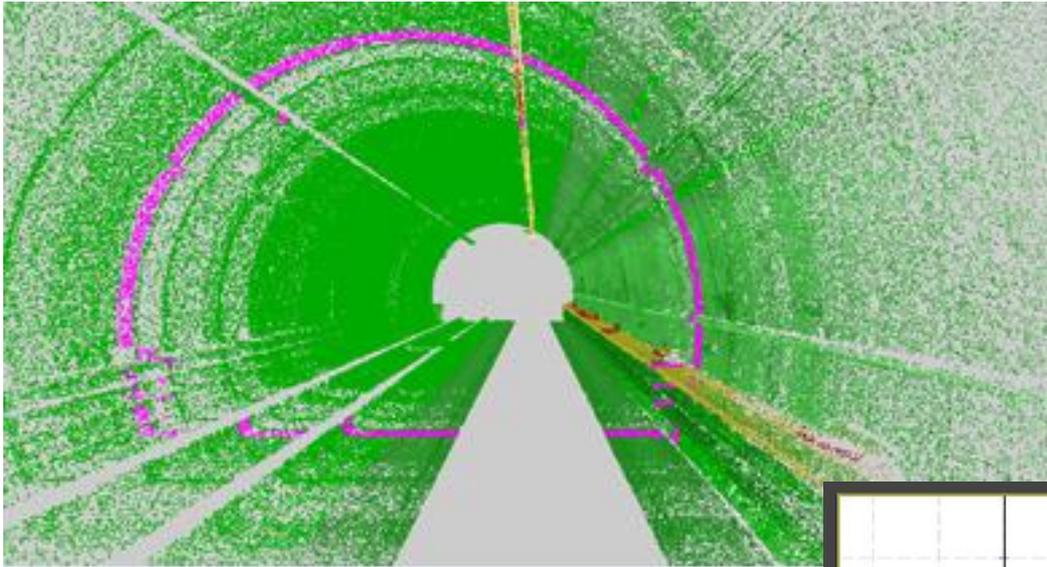
Fases - Monitoramento 3D do túnel - Laser



Fases



Fases



Outros Exemplos de Monitoramento pelo Mundo (cont.4)

Fase

Construtiva

Viaduto Millau



Outros Exemplos de Monitoramento pelo Mundo (cont.4)



Fase Construtiva - Viaduto Millau, França

Outros Exemplos de Monitoramento pelo Mundo (cont.4)



Fase Construtiva - Viaduto Millau, França

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.5)

A) Fase de planejamento da pesquisa

Ficam estabelecidos os elementos básicos para a definição da metodologia e equipamentos para as observações e portanto a viabilidade ou não de se dar prosseguimento na pesquisa.

Se a viabilidade em princípio é possível, prossegue-se com a fase de produção da pesquisa.

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.6)

B) Fase de produção da pesquisa com uso da tecnologia GPS

- projeto e construção dos marcos referenciais com centragem forçada
- calibração dos referenciais – coordenadas dos referenciais
- projeto e instalação da fixação dos instrumentos no elemento estrutural
- metodologia para aquisição dos dados coletados

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.7)

B) Fase de produção da pesquisa com uso da tecnologia GPS

- cálculo das sessões observadas
- ajustamento das coordenadas
- análise dos dados
- deslocamentos calculados x deslocamentos projetados

Roteiro Básico para o Monitoração de Estruturas (cont.8)

B) Fase de produção da pesquisa com uso da tecnologia GPS

Para que essa proposta tenha validade com a utilização de instrumentação geodésica é necessário que haja integração da projetista com os participantes das medições realizadas na estrutura.

O que medir? (continuação)

- Cargas atuantes na estrutura durante as observações.
- Posicionamento dos referenciais estáveis e sua calibração em relação ao sistema geodésico brasileiro (SGB) ou WGS.
- Transformação das medidas observadas no SGB para o sistema cartesiano referencial adotado para a estrutura considerada.

Monitoramento de obras

Medida x Sensibilidade de instrumentos

O que se quer medir

X

Equipamento ideal

Monitoramento de obras

Medida x Sensibilidade de instrumentos



*Vista de leitura do medidor de convergência –
variação do comprimento.*

Monitoramento de obras

Medida x Sensibilidade de instrumentos



**Vista aérea da ruptura inicial
Km 42 – Rod. Anchieta.**

Monitoramento de obras

Medida x Sensibilidade de instrumentos



Viaduto Imigrantes

Monitoramento de obras

Medida x Sensibilidade de instrumentos



Tsing Ma Bridge = Japão - 1.37 km - vão

Fases (continuação)

- Análise das observações não ajustadas e posteriormente ajustadas
- O que e quando: definidos pelo calculista da estrutura
- Como: definido pelo responsável das observações
- Análise: ambos (calculista e responsável pelas observações)

Quando medir?

- Espaçamento das observações a serem realizadas durante o monitoramento dos elementos estruturais considerados e das respectivas cargas atuantes.

Como medir?

- Definir a metodologia a ser adotada para a medição das grandezas observadas, em função das cargas atuantes e suas precisões;
- Instrumentos a serem utilizados e suas respectivas precisões nominais em função das precisões das grandezas observadas;
- Construção dos monumentos estáveis, referenciais para a instalação dos instrumentos utilizados para a coleta de observações;

Como medir? (continuação)

- Monumentação dos pontos a serem monitorados na estrutura para a realização das observações com os instrumentos de medição;
- Calibração e classificação dos instrumentos de medição conforme NBR 13.133.

Coleta de Dados

- Realizadas por operadores profissionais habilitados e instrumentos calibrados e classificados evitando erros sistemáticos e com repetibilidade suficiente para atender às precisões das grandezas observadas.

Processamento de Dados Coletados

- Ajustamento
 - Em programas adequados às observações realizadas.

Análise de Dados

- Antes e após o ajustamento objetivando verificar a acurácia e a precisão das medidas observadas, relativamente às precisões estabelecidas.

ERRO VERDADEIRO



$$E_v = L_b - L_v$$

E_v : Erro verdadeiro

L_v : Valor verdadeiro
(desconhecido)

L_b : Valor observado

ERRO APARENTE (RESÍDUO)

$$E_A = L_b - L_v$$

L_b : Valor observado

L_v : Estimador do valor verdadeiro

E_A : Erro aparente

RESÍDUO (V_i) é o erro aparente com o sinal trocado.