



# geofix

## 6° Curso de **ENGENHARIA APLICADA ÀS OBRAS DE FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES**



# Obras de Transposição do Rio São Francisco

Prof. Eng. Paulo Afonso C. Luz  
FAAP/Engecorps



## Nascente do Rio São Francisco.

## Obras da transposição do Rio São Francisco.



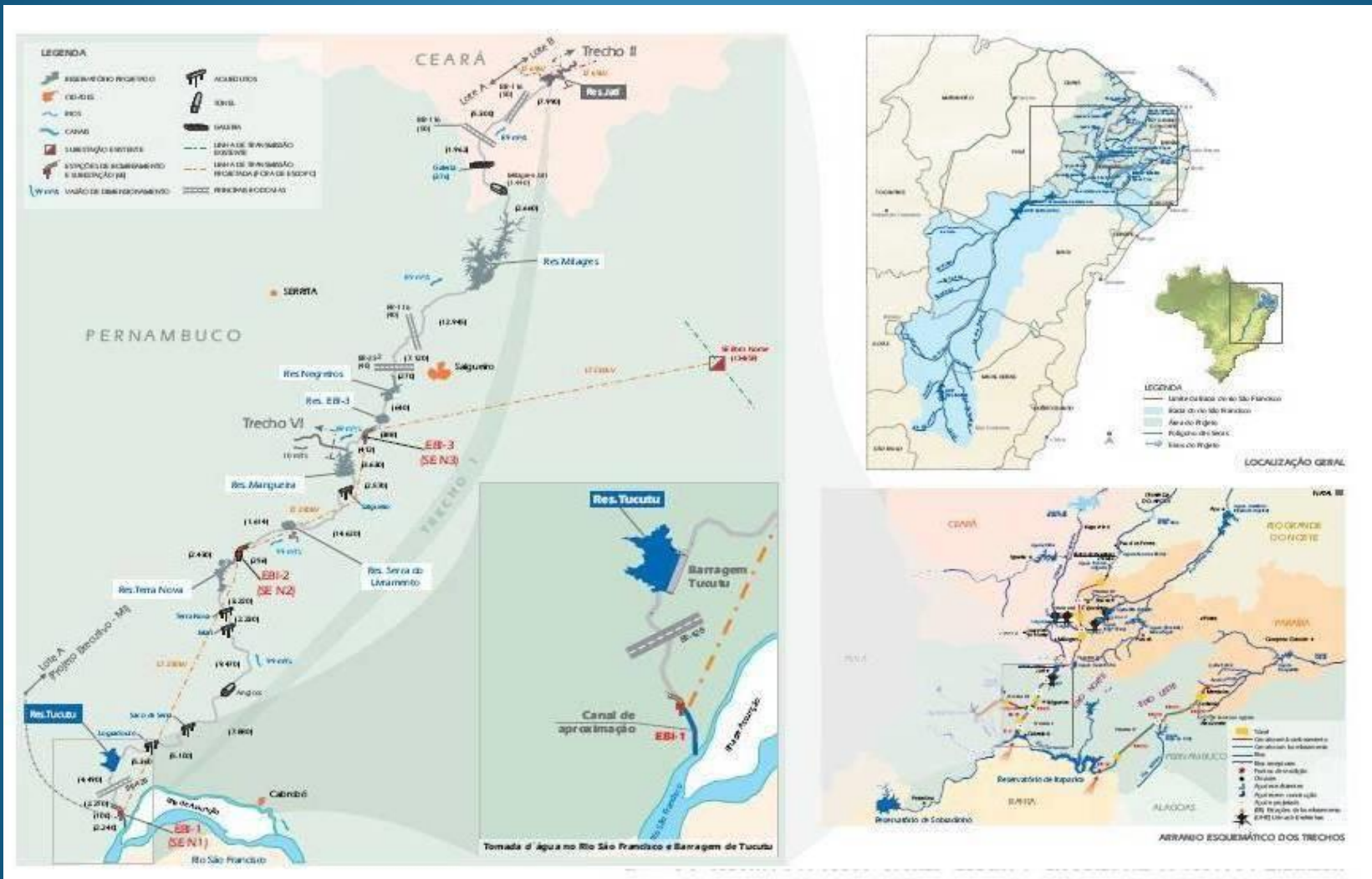
# Características do Rio São Francisco



# Características gerais do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (PISF)

# CONCEPÇÃO DO PROJETO

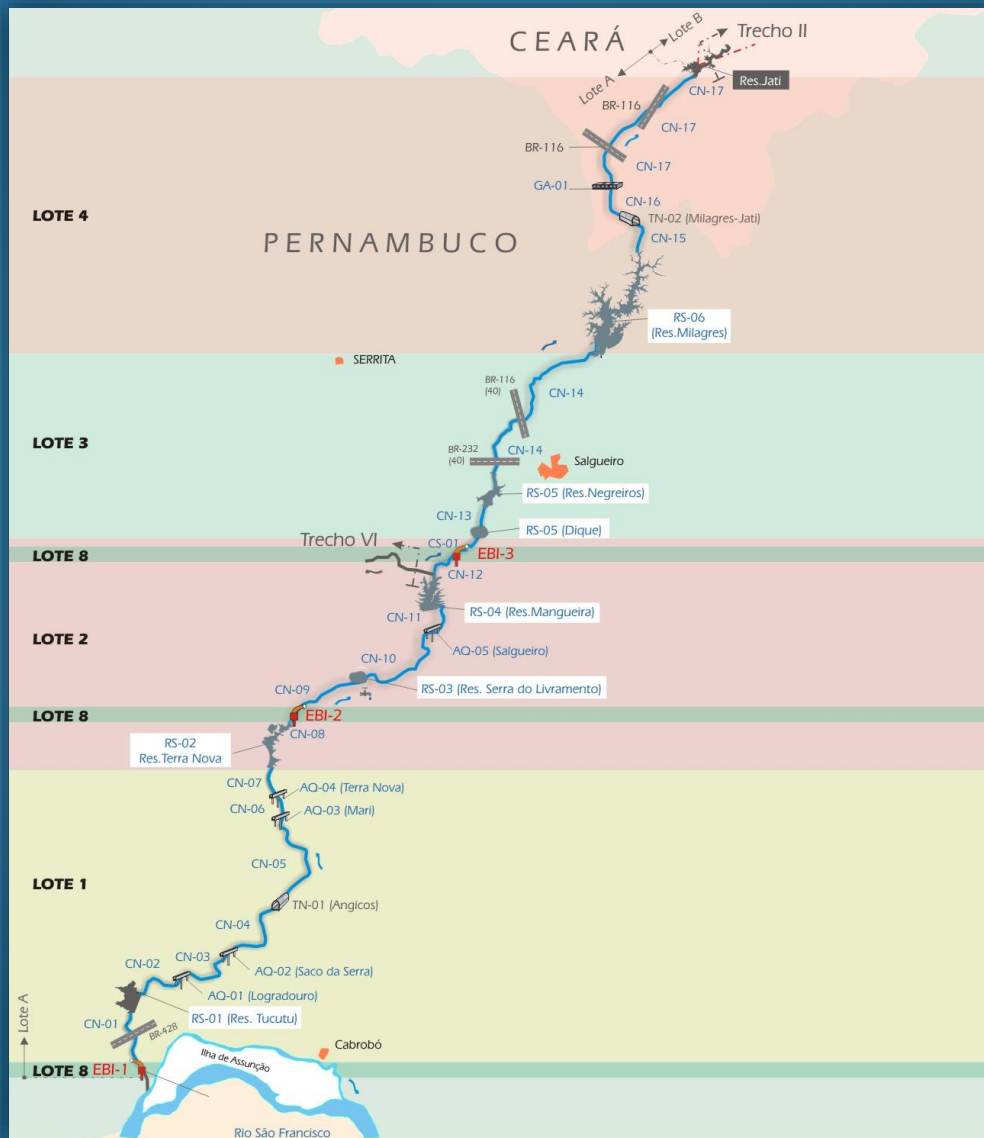
## Eixos Norte e Leste







## Eixo Norte – Trecho I (Lote A) – Distribuição Espacial



Projetos de transposição já  
realizados



Canal  
El-Salan  
(Egito)



Tajo-  
Segura  
(Espanha)



Arizona  
central  
(EUA)



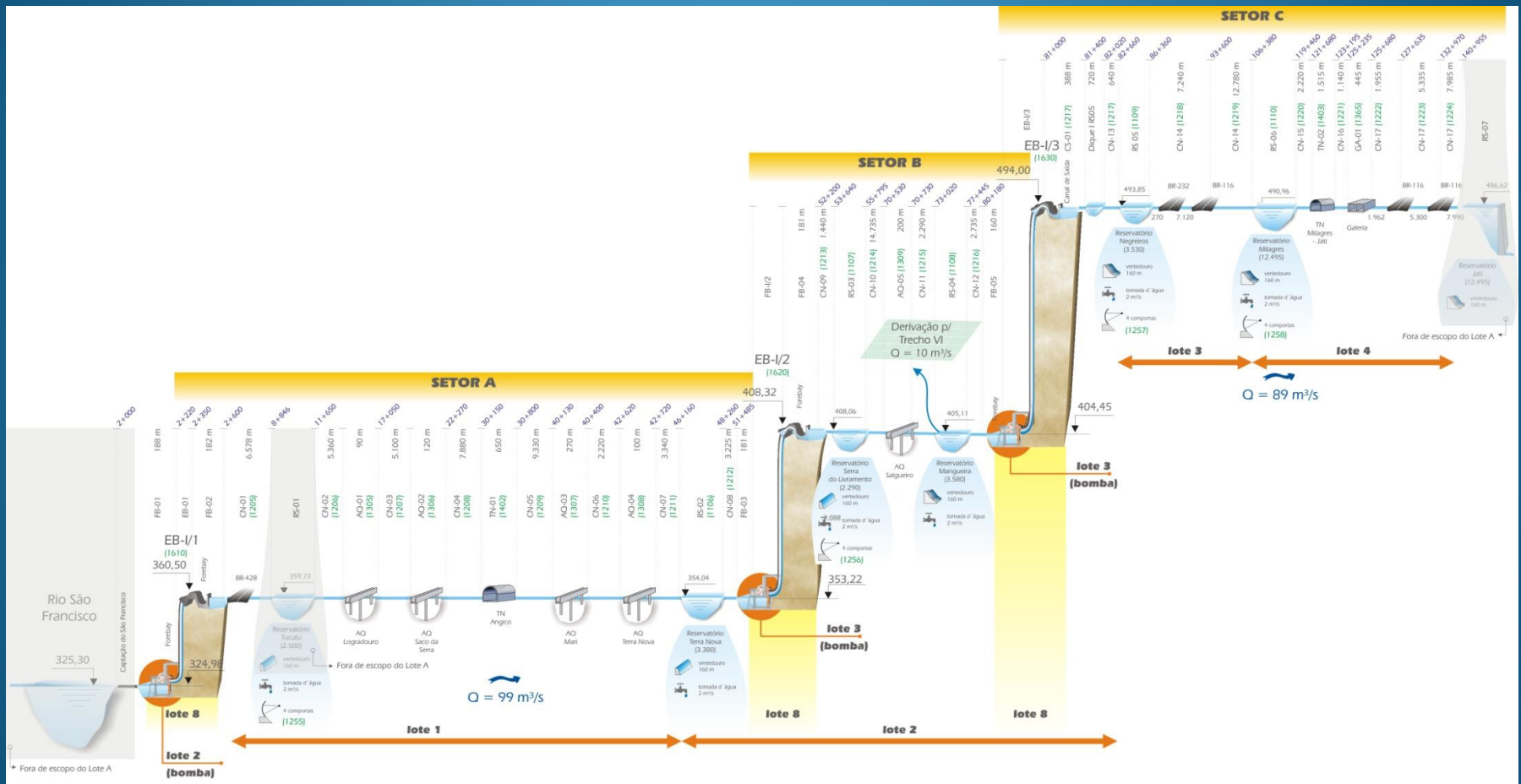
Chavimochic  
(Peru)



Cantareira  
(Brasil)

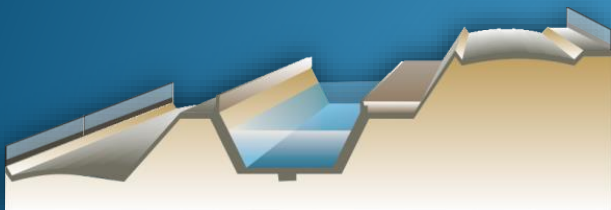
# Concepção do sistema do PISF

## Eixo Norte – Trecho I – Perfil Esquemático



## Tipos de Obras

- 17 Segmentos de Canal (CN)



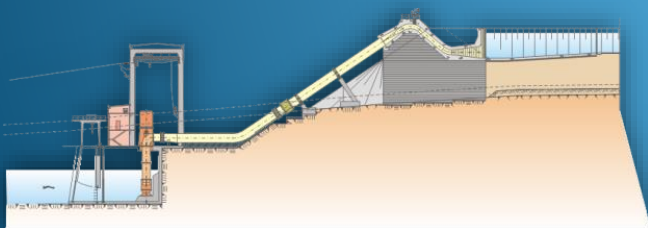
104 km de extensão

3 Setores (A, B e C)

4 Lotes de Obra (1, 2, 3 e 4)

$Q = 99$  e  $89 \text{ m}^3/\text{s}$

- 3 Estações de Bombeamento (EBI)



$Q = 99 \text{ m}^3/\text{s}$  (EBI-1 e EBI-2)

$Q = 89 \text{ m}^3/\text{s}$  (EBI-3)

8 bombas em cada

1 Lote de Obra (8)

## Tipos de Obras

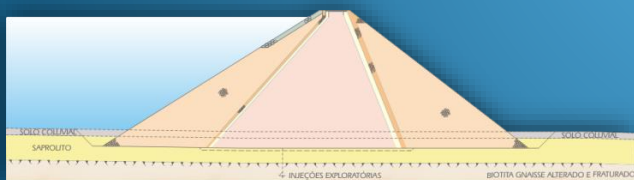
- **5 Aquedutos (AQ)**



Q = 99 m<sup>3</sup>/s  
4 no Lote 1 e  
1 no Lote 2

AQ1 - Logradouro  
AQ2 - Saco da Serra  
AQ3 - Mari  
AQ4 - Terra Nova  
AQ5 - Salgueiro

- **6 Barragens (RS)**



Tucutu (Exército)  
Terra Nova (Lote 2)  
Serra do Livramento (Lote 2)  
Mangueira (Lote 2)  
Negreiros (Lote 3)  
Milagres (Lote 4)





## Tipos de Obras

- **1 Túnel (TN)**



Q = 89 m<sup>3</sup>/s, (Milagres-Jati) Lote 4

- **2 Galerias (GA)**



Q = 89 m<sup>3</sup>/s, (Transnordestina) Lote 3

Q = 89 m<sup>3</sup>/s, (Penaforte) Lote 4

- **Pontes, Passarelas e vias laterais**



5 Pontes Federais (BR)

2 Pontes Estaduais (PE)

15 Pontes vicinais

12 Passarelas

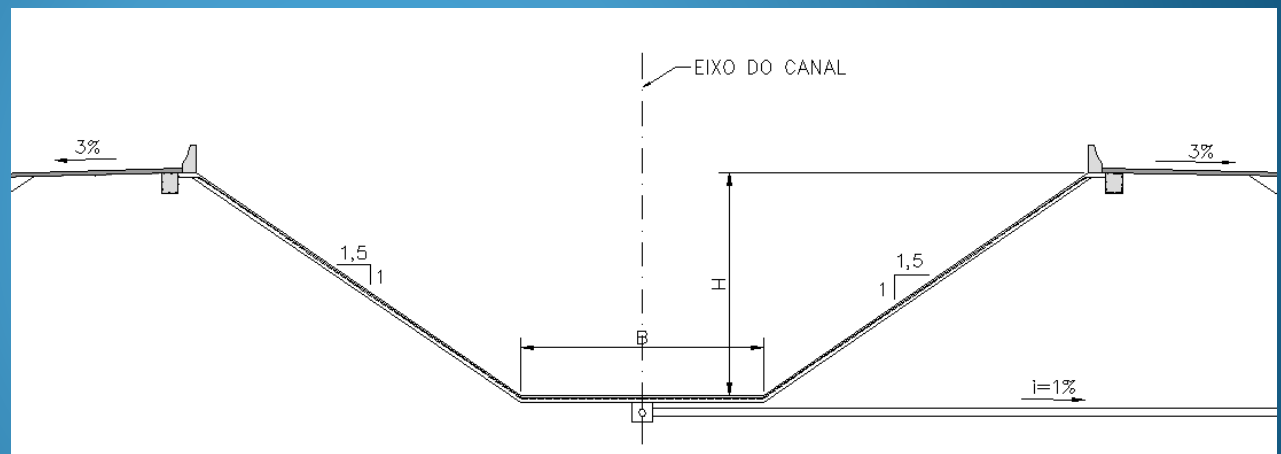
## Tipos de Obras

TIPO	QUANTIDADE	GEOMETRIA TÍPICA	EXTENSÃO
CANAIS	17 segmentos	Seção trapezoidal	104 km
AQUEDUTOS	5	Seção retangular	675 m
TÚNEL	1	Seção arco-retângulo	1.440 m
GALERIAS	2	Dupla célula retangular	550 m
ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO	3	Bombas verticais Poço úmido	169 m (total)
BARRAGENS	6	Maciço de terra e CCR	-
DRENAGEM SUPERFICIAL	107,5 km de drenos laterais e 8,2 km de bueiros (121 unid.)	Bueiros seção retangular e drenos trapezoidais	120 km (total)
SISTEMA VIÁRIO pontes e passarelas	22 pontes 12 passarelas	3,65 m de largura – estrada de serviço 6,00 m de largura – estrada lateral	107 km de estradas laterais

## CANAIS – Desenhos de Projeto

### Seção Hidráulica:

- Base: 6,0 m
- Altura: 5,7 – 6,0 m
- Taludes: 1V:1,5H
- Declividade: 0,01%
- Revestimento em geomembrana e concreto



# CANAIS – Detalhes da Obra

Execução do maciço em aterro compactado



# CANAIS – Detalhes da Obra

## Execução das escavações



# CANAIS – Detalhes da Obra

## Tratamento e regularização dos taludes



# CANAIS – Detalhes da Obra

## Instalação dos dispositivos de drenagem interna



# CANAIS – Detalhes da Obra

## Instalação da geomembrana





# CANAIS – Detalhes da Obra

## Execução do revestimento em concreto



# CANAIS – Detalhes da Obra

Canal acabado



# CANAIS – Detalhes da Obra

Canal acabado



# AQUEDUTOS – Características Gerais

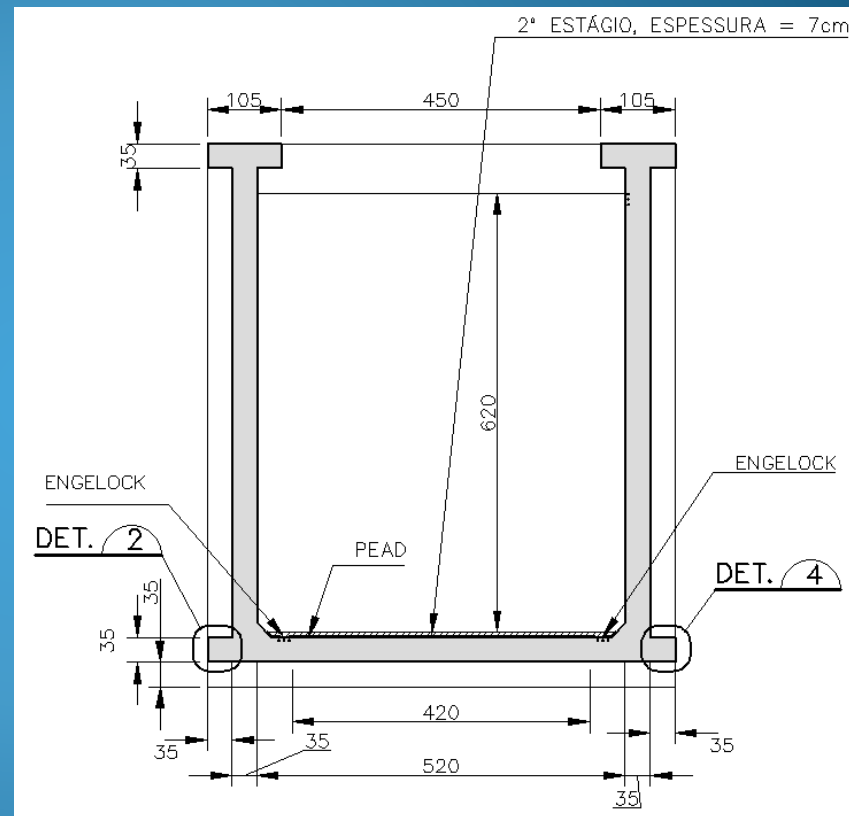
- Estruturas executadas sobre corpos d'água e/ou grande vales
- Executados em concreto armado com seção transversal em duplo “U”
- Compostos por células justapostas, porém independentes
- Executados em módulos de 25 m

Aqueduto			Seção Retangular					Altura Máxima dos Pilares (m)	Extensão Total (m) <sup>(1)</sup>	Vazão total (m <sup>3</sup> /s)
			Largura (m)	Altura (m)	Nº de células (1ª Etapa)	Nº de células (2ª Etapa)	Comp. (m)			
AQ01	1305	Logradouro	5,2	5,8	1	2	75	14,9	179	99
AQ02	1306	Saco da Serra	5,2	5,8	1	2	100	21,9	204	99
AQ03	1307	Mari	5,2	5,8	1	2	275	10,5	379	99
AQ04	1308	Terra Nova	5,2	5,8	1	2	75	11,4	179	99
AQ05	1309	Salgueiro	5,2	6,2	1	2	150	10,0	254	99

# AQUEDUTOS – Desenhos de Projeto

## Seção Transversal

- Seção em duplo “U”
- Estrutura moldada *in loco*
- Paredes: 0,35 m
- Seção Hidráulica
  - Base: 5,20 m
  - Altura: 5,80 – 6,20 m



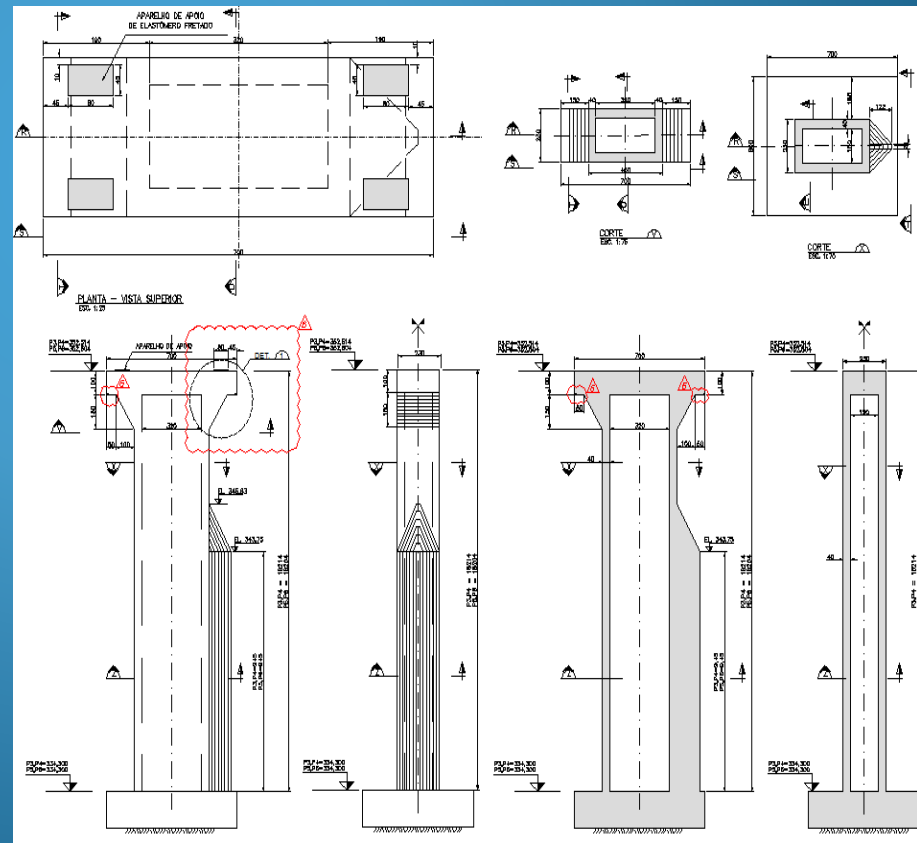
## AQUEDUTOS – Desenhos de Projeto

### Fundações

- Sapatas (5,5 x 6,5 x 1,6 m ou 6,0 x 7,0 x 2,0 m)
- Tubulões (d = 1,2 m; B = 2,3 m)

### Pilares

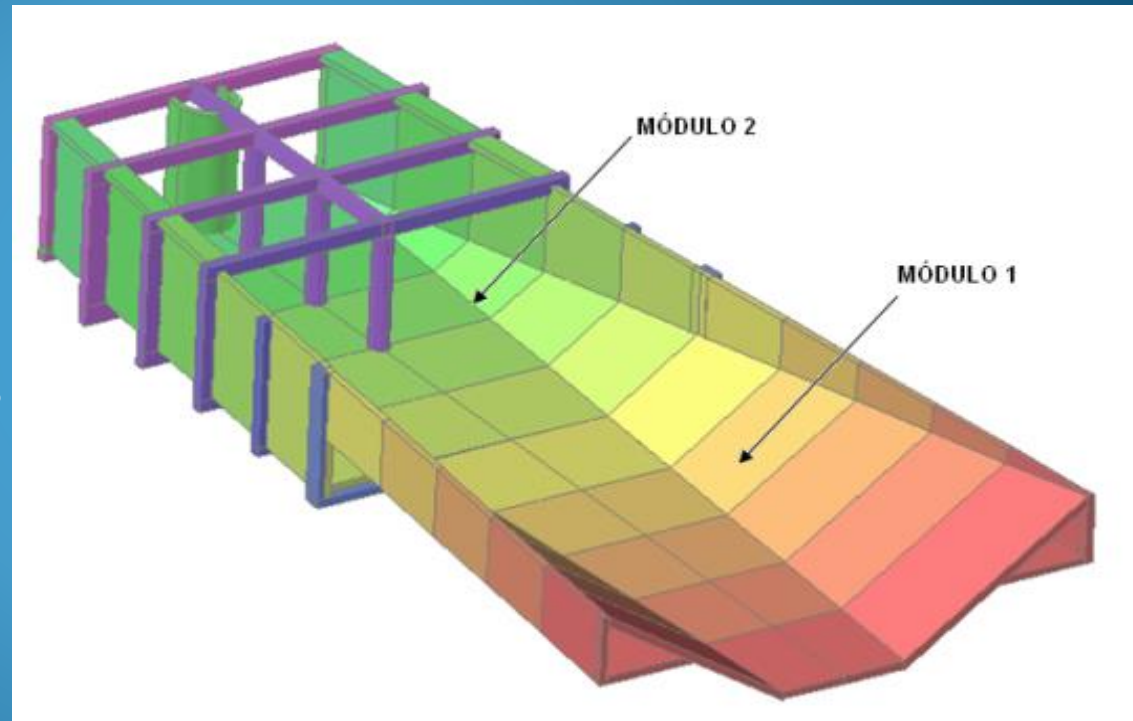
- Tipo “caixão perdido”
- Centrais com dispositivos hidrodinâmicos



# AQUEDUTOS – Desenhos de Projeto

## Transições

- Moldado “in loco”
- Executada em 2 módulos
- Paredes com 0,35 m
- Inclinação das lajes constantes
- Travamentos no módulo 2



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Execução da fundação





# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Execução dos pilares



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Cimbramento e armação da superestrutura



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Concretagem da superestrutura



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Concretagem da superestrutura



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

## Superestrutura acabada



# AQUEDUTOS – Detalhes da Obra

Superestrutura acabada



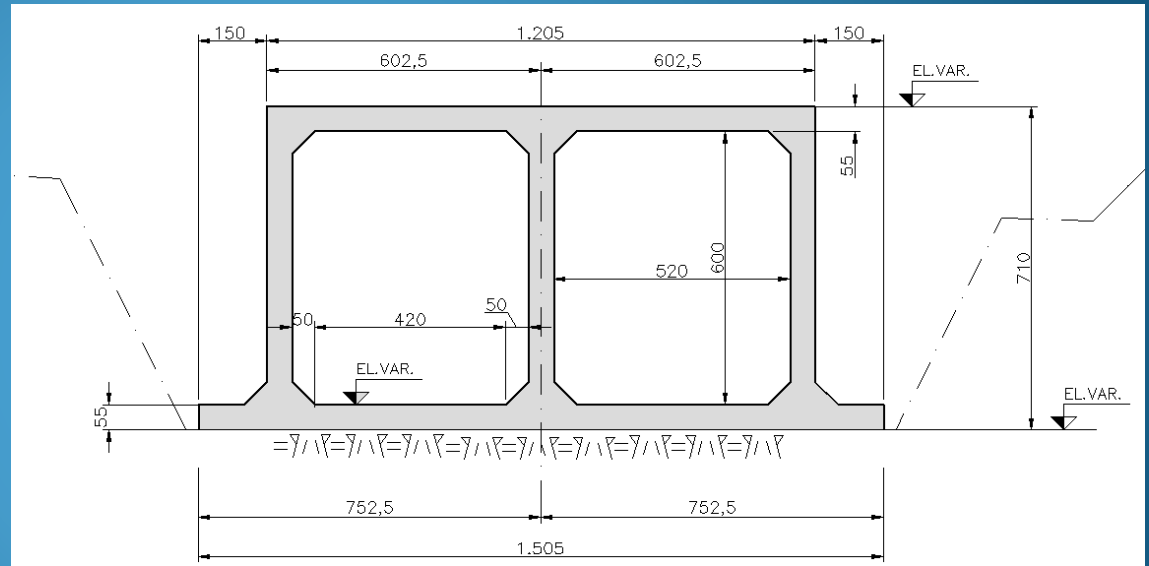


# TIPOS DE OBRAS

## GALERIAS

### Seção Transversal

- Dupla seção retangular
- Estrutura moldada *in loco*
- Paredes: 0,55 m
- Seção Hidráulica
  - Base: 5,20 m
  - Altura: 6,00 m



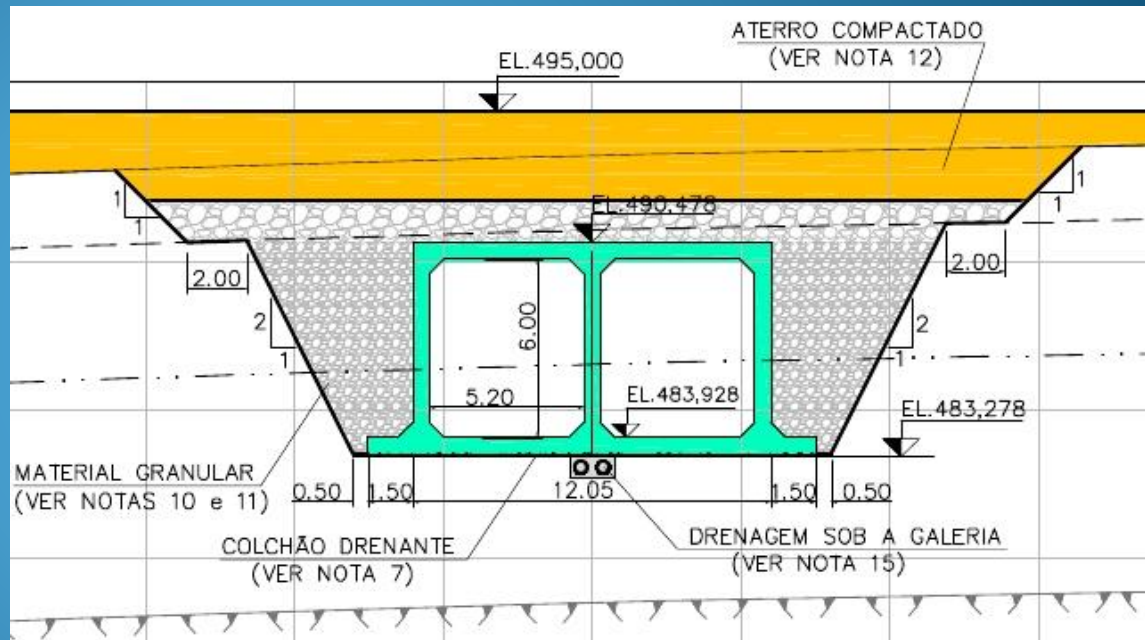


# TIPOS DE OBRAS

## GALERIAS

### Aspectos Construtivos

- Passagem do sistema de drenagem de fundo
- Execução de um colchão drenante sob a galeria
- Preenchimento lateral devido à subpressão



# GALERIA TRANSNORDESTINA

## Execução da estrutura



## Túneis

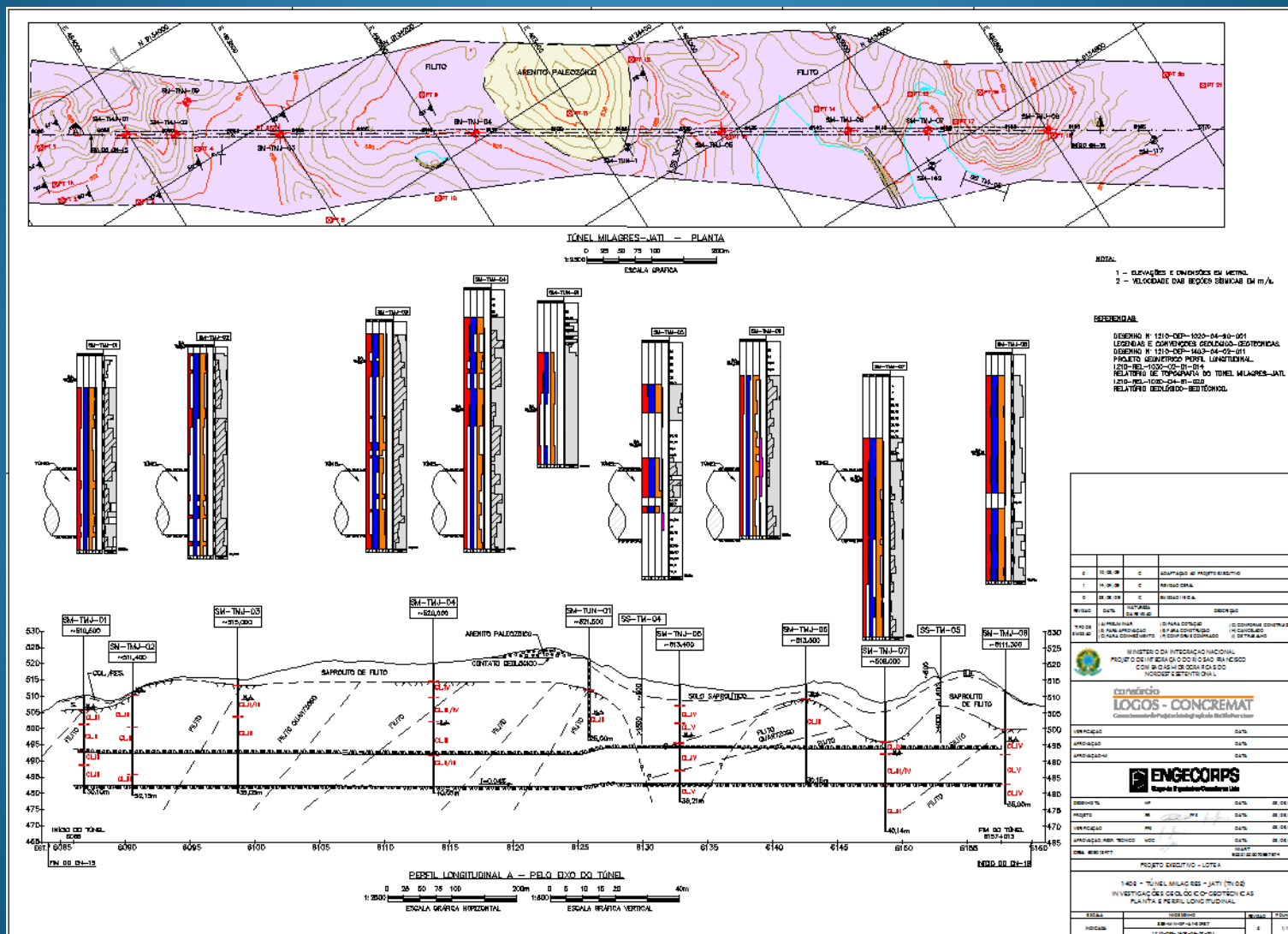
### Túnel Angico

- Extensão reduzida durante a elaboração do Projeto Executivo (600 → 310 m)
- Construtora e MI solicitaram modificação da alternativa construtiva do trecho para canal
- Projetado um trecho em canal (Canal Angico) com extensão total de 386 m

### Túnel Milagres/Jati

- Localizado na divisa de Pernambuco com Ceará
- Litologia predominante de filitos e filitos quartzosos
- Comprimento de 1.440 metros
- Cobertura do túnel variando de 13 a 22 metros

## Túnel Milagres/Jati – Geologia



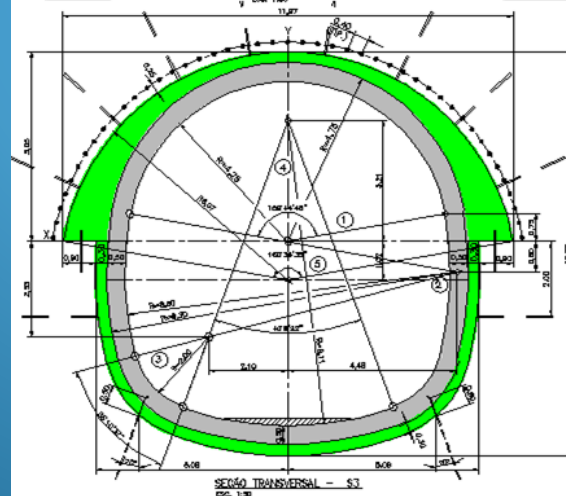
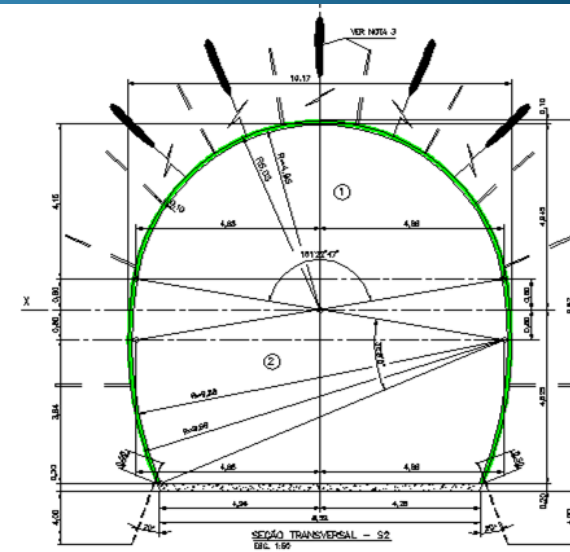
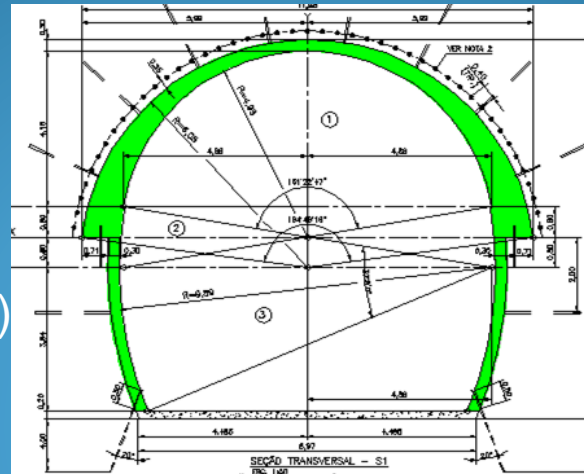
## Túnel Milagres-Jati – Seções Transversais

Seções Típicas:

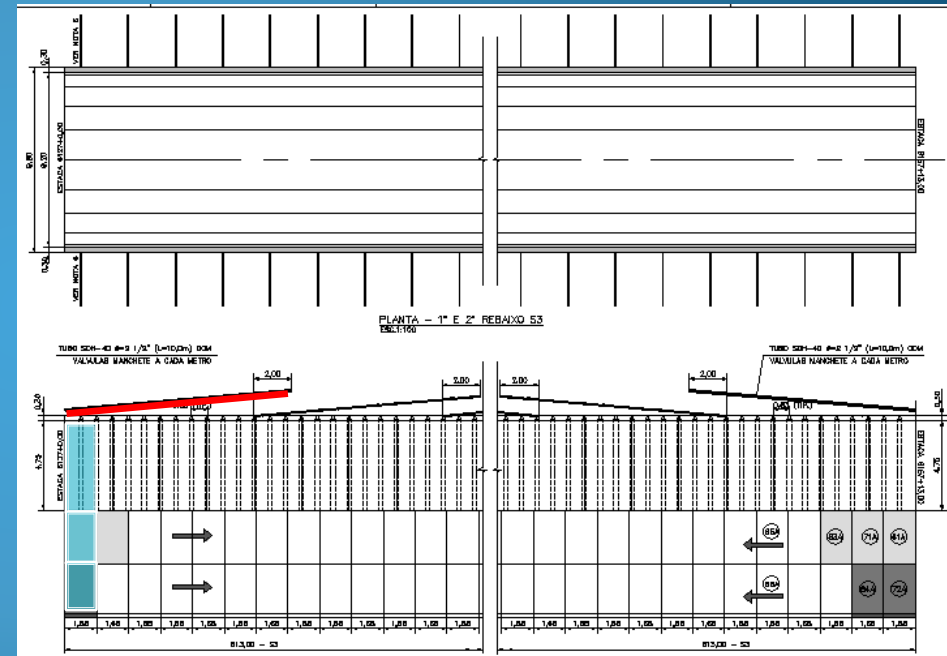
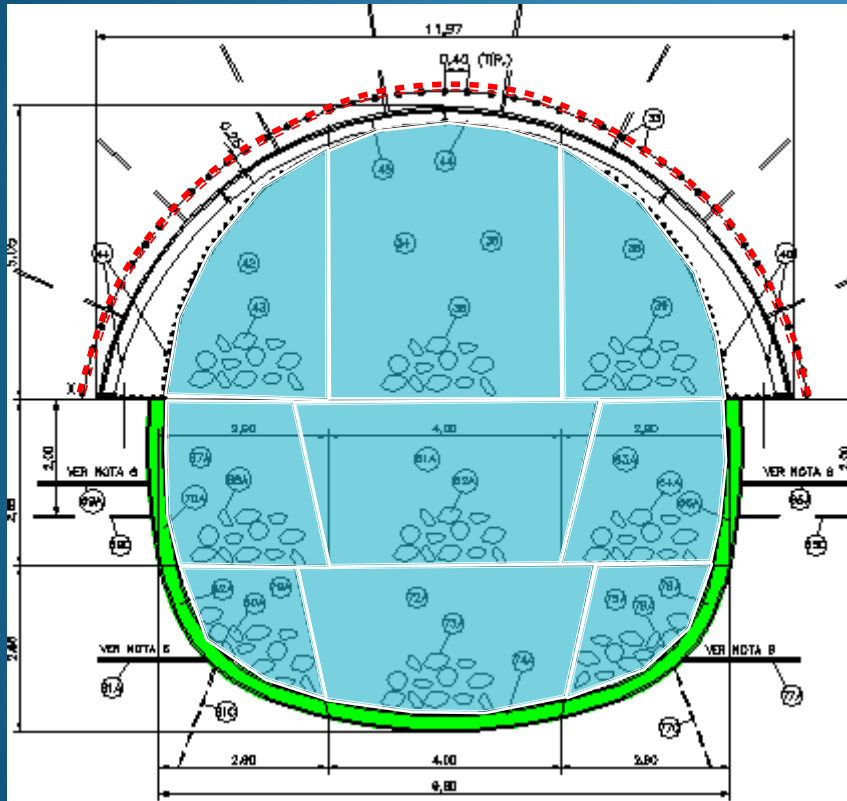
- Tipo S1 (emboque)
- Tipo S2 (início→meio)
- Tipo S3 (meio→desemboque)

Escavação/Revestimento:

- Túneis tipo NATM



## Túnel Milagres-Jati – Sequência Construtiva



# TIPOS DE OBRAS

# TÚNEIS

## Trecho em que seria executado o Túnel Angico



TIPOS DE OBRAS

# TÚNEL MILAGRES-JATI

Emboque





# TÚNEL MILAGRES-JATI

## Desemboque



## BARRAGENS

- **5 Reservatórios**
  - Reservatórios de compensação: Terra Nova, Serra do Livramento e Negreiros
  - Reservatório de derivação: Mangueira
  - Reservatório de passagem: Milagres
- **CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS:**

Reservatório	Tipo	Comprimento de crista (m)	H Max (m)	Cota da crista (m)	NA Normal (m)	NA Normal Operacional (m)	NA max max (m)	
Terra Nova	HOM	2.331	10,90	357,50	354,04	354,55	355,64	
Serra do Livramento	ENA	2.944	25,77	410,50	408,04	408,04	409,41	
Mangueira	ENA	1.184	27,33	407,70	405,08	405,46	406,56	
Negreiros	Barragem	CCR	249	34,60	496,40	494,00	494,00	495,22
	Dique	ENA	439	23,00	496,40	494,00	494,06	495,22
Milagres	Barragem	ENA	1.050	39,00	493,60	491,09	491,09	491,89
	Dique	ENA	378	28,00	493,60	491,12	491,12	491,91

# BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO

## Características Gerais

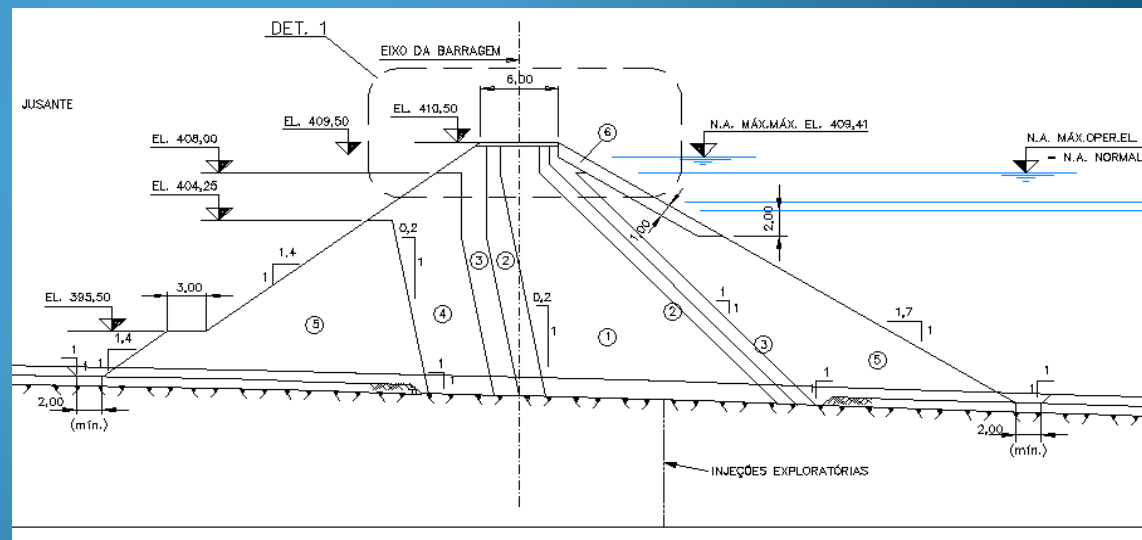
Tipo: Enrocamento com núcleo argiloso

Compr. barramento: 2.944 m

$H_{\text{máx}}$ : 25,7 m

Vol. Barramento: 1.777.753 m<sup>3</sup>

Vol. Reservatório: 19,1 hm<sup>3</sup>



# BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO

Limpeza da área do reservatório



# BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO

## Execução do barramento





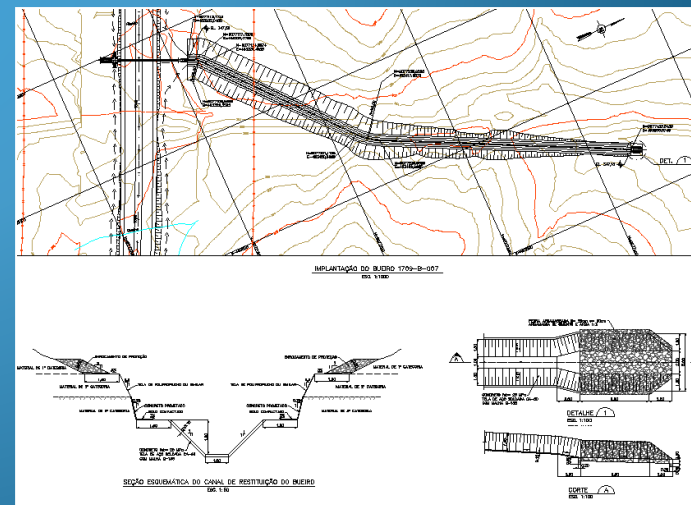
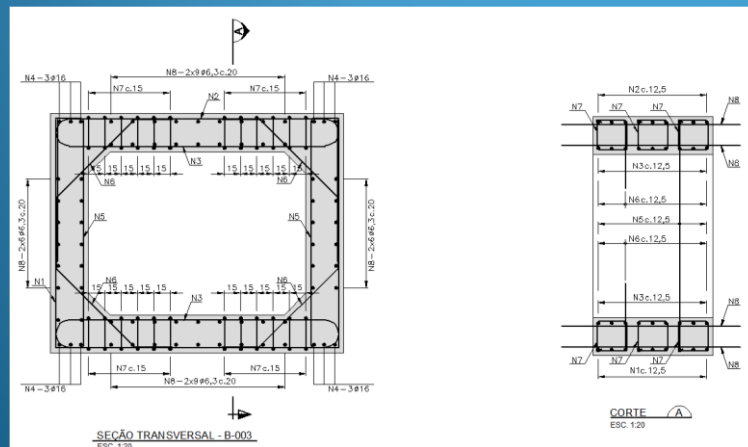
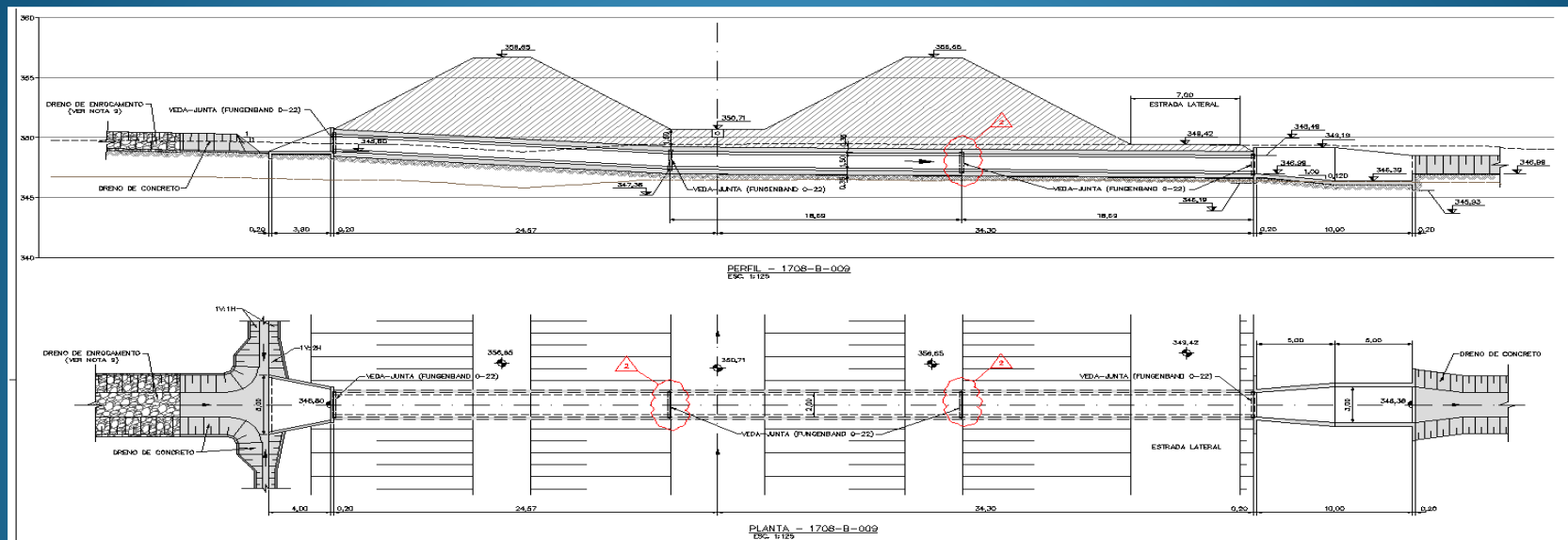
# ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBI)

## Características dos Conjuntos Moto-Bomba

- 3 Estações de Bombeamento (EBI)

Características / EB	Unidade	EBI-1	EBI-2	EBI-3
Potência Nominal	kW ou kVA	5.500 kVA	8.950 kVA	12.660 kVA
Tensão Nominal	V	6.900	6.900	6.900
Rotação Nominal	rpm	300	360	360
1ª Etapa / Total	conjunto	02 / 08	02 / 08	02 / 08
Vazão: Unitária / Total	m³/s	12,37 / 99	12,37 / 99	11,12 / 89
Altura Manométrica	m	35,52	54,38	88,60
Número de Rotores	unidade	01	01	02
Conduitos de Recalque	unidade	08	04	04
Diâmetro / Extensão	m	2,3 / 57,7	3,0 / 203,3	2,9 / 357,6
Velocidade Escoamento	m/s	2,98	3,50	3,40
Fabricante: Motor / Bomba	-	Weg / Sulzer	Alstom	Alstom
Massa do Conjunto	kg	70.000	85.000	101.000
Custo Aproximado Unidade	R\$	6.900.000,00	11.900.000,00	11.900.000,00

## SISTEMA DE DRENAGEM - Bueiros





# SISTEMA DE DRENAGEM - Bueiros



# SISTEMA DE DRENAGEM - Bueiros



## SISTEMA VIÁRIO

### Escopo do Projeto Executivo:

Abrange o projeto dos elementos dentro da faixa de domínio de 200m, ou seja:

- estradas laterais (pistas duplas)
- dispositivos de manobra
- acessos ao sistema

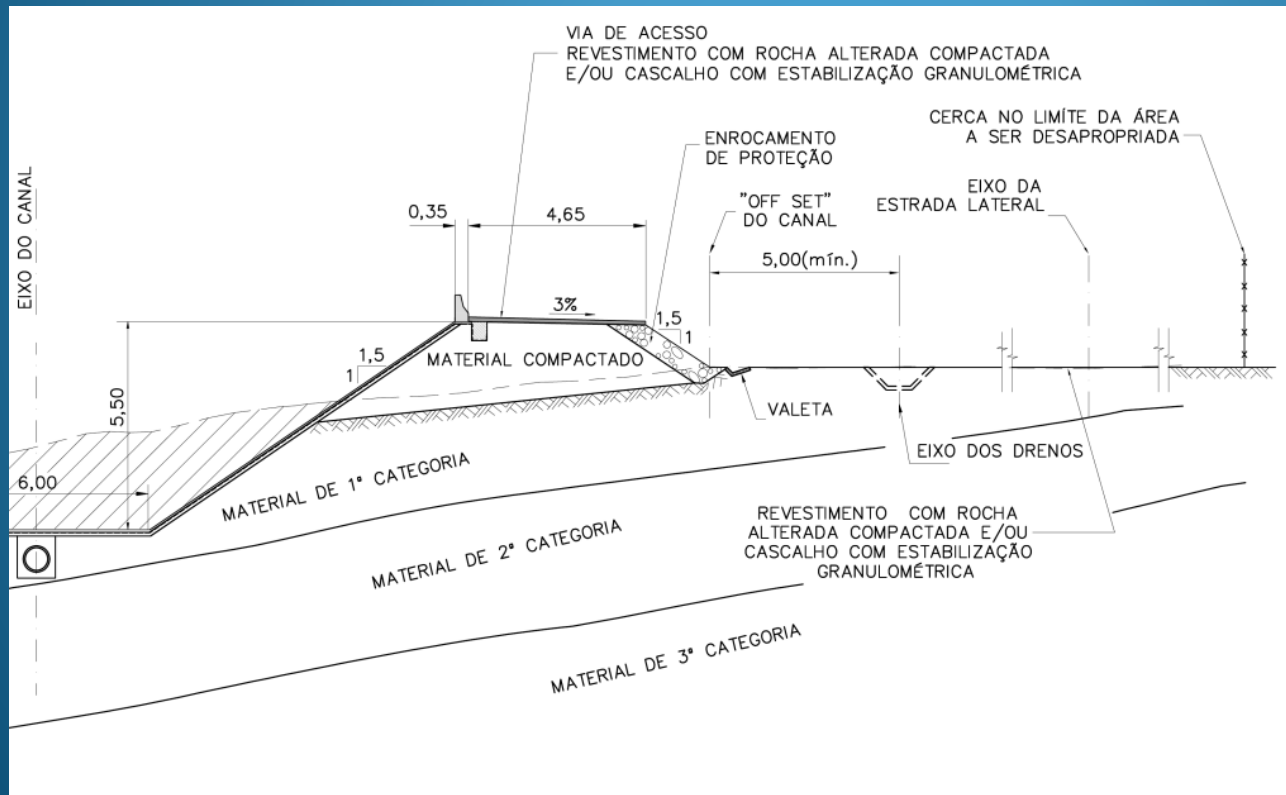
### As estradas encontradas na região foram classificadas em:

- Rodovia Classe II (classificação DNIT)
- Estrada Vicinal Classe IV (classificação DNIT)
- Estrada vicinal a eliminar
- Estrada vicinal a readequar
- Estrada a implantar



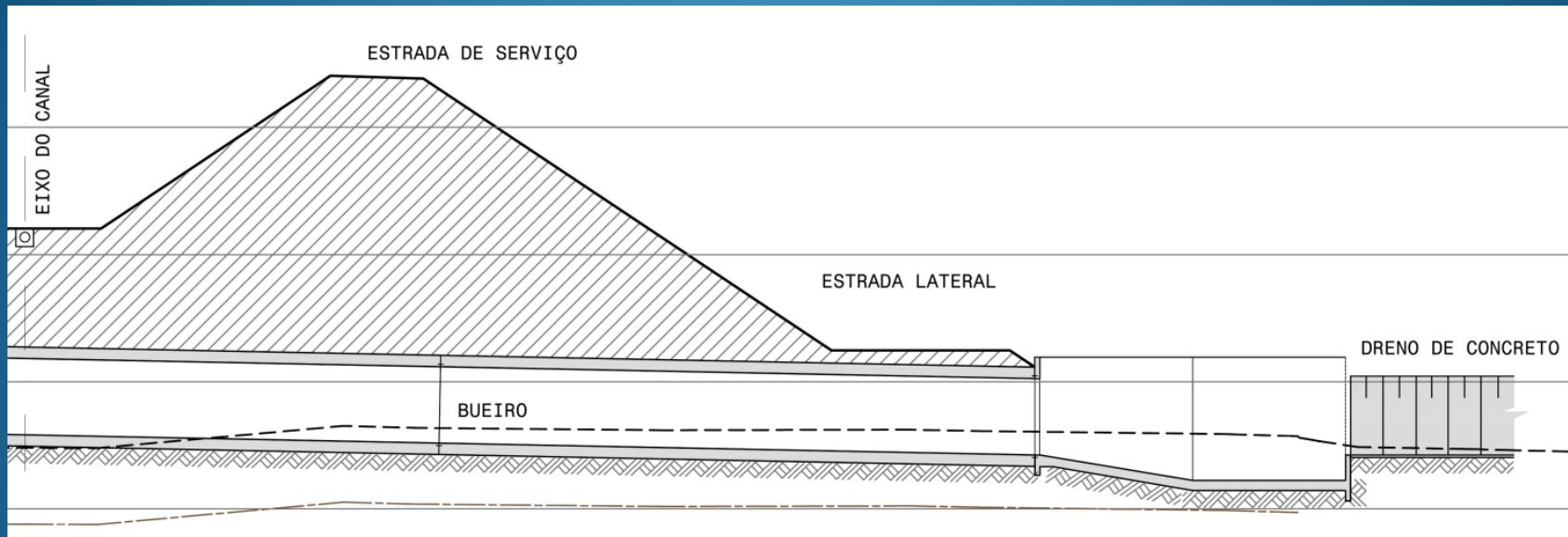
## SISTEMA VIÁRIO – estradas de serviço e laterais

- **Serviço:** nas bermas dos canais, largura máxima 4,65m, veículos leves;
- **Laterais:** em apenas uma das margens do canal, 20m do *offset*, preferencialmente a jusante do sistema de drenagem (em função da ampliação das pistas de serviço), veículos pesados.

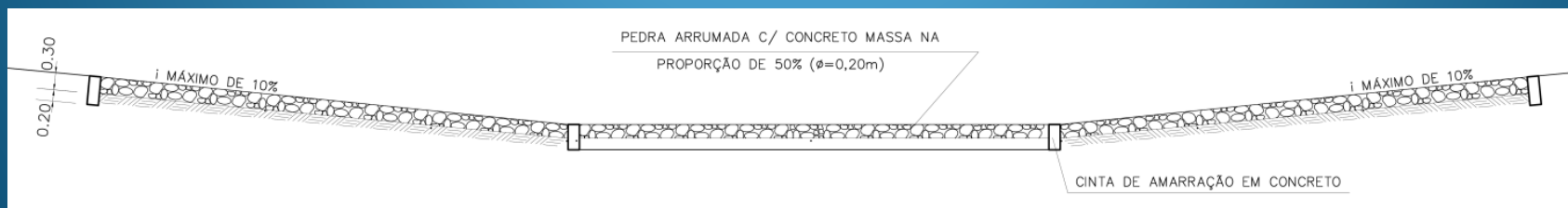


Seção típica de canal com drenos e estradas laterais

## SISTEMA VIÁRIO – estradas laterais



Detalhe típico de cruzamento de estrada lateral com bueiro em aterro



Modelo de passagem molhada em talvegue natural

# SISTEMA VIÁRIO – pontes

- Total de **22** pontes rodoviárias, sendo:
  - **5** em rodovias **federais**
  - **2** em rodovias **estaduais**
  - **15** em estradas **vicinais**
  
- As pontes foram classificadas em **4 tipos estruturais** combinando:
  - 2 categorias relativas à largura de tabuleiros:
    - ✓ 13,00 m para Rodovias Federais e Estaduais
    - ✓ 9,80 m para Rodovias Vicinais
  - 3 categorias relativas aos vãos:
    - ✓ 30 m
    - ✓ 36 m
    - ✓ 42 m



# Fotos Gerais das Obras



















































































































**PENSE**  
ELIMINE OS  
RISCOS DE  
ACIDENTES









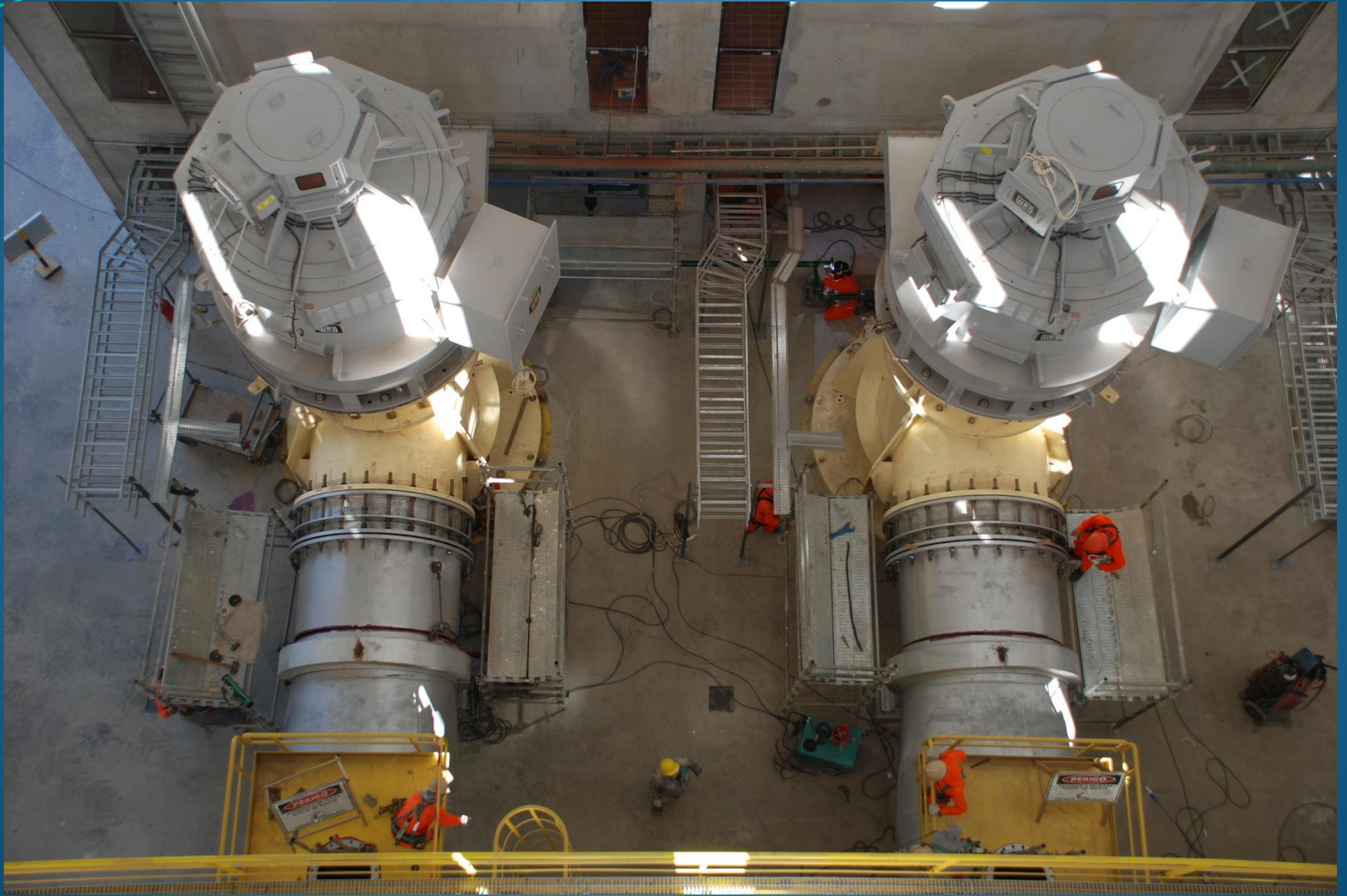




























Obrigado!