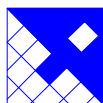




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE
ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA
O NORDESTE SETENTRIONAL**

PROJETO BÁSICO

**TRECHO V – EIXO LESTE
R9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

TRECHO V – EIXO LESTE R9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor Interino: Volker W. J. H. Kirchoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador Técnico: Antônio Carlos de Almeida Vidon

Coordenador Técnico Adjunto: Ricardo Antônio Abrahão

Brasília, março de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho V – Eixo Leste - R9 – Geologia e Geotecnia. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2000. 95 p

1. Transposição de Águas; Geologia
- I. Trecho V – Eixo Leste – R9 – Geologia e Geotecnia

CDU: 556.5:551

FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399 Fax: (0XX 12) 341 2829



FUNCATE

**Fundação de Ciência,
Aplicações e Tecnologia
Espaciais**

Projeto	Data
Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE EN.B/V.RF.GL.0001	Data

Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação	FUNCATE	
					Data	Aprovação

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
*PROJETO BÁSICO***

**TRECHO V - EIXO LESTE
R9 - GEOLOGIA E GEOTECNIA**

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Akira Ussami: Chefe da Equipe de Geotecnia:

*Geverson Luiz Machado – Engenheiro Civil
Gislaine Terezinha de Matos – Engenheira Civil
Newton Bitencourt Santos – Engenheiro Civil*

Nobutugu Kaji: Chefe da Equipe de Geologia:

*Aloysio Accioly de Senna Filho – Geólogo
Fábio Canzian – Geólogo
José Frederico Büll – Geólogo
Wilson Roberto Mori – Geólogo
Fernando Bispo de Jesus – Técnico de Campo
José Antonio Santos Subrinho – Técnico de Campo*

José Carlos Mazzo: Chefe da Equipe de Hidráulica:

*Anibal Young Eléspuru – Engenheiro Civil
Rafael Guedes Valença – Engenheiro Civil*

José Carlos Degaspere: Chefe da Equipe de Estrutura

José Ricardo Junqueira do Val: Chefe da Equipe de Orçamento e Planejamento

*Roberto Lira de Paula – Engenheiro Civil
José Luiz Barbosa Vianna – Tecnólogo em Obras Cíveis*

Ricardo Carone: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Bernd Dieter Lukas – Engenheiro Mecânico

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Coaraci Inajá Ribeiro – Engenheiro Eletricista

Sandra Schaaf Benfica: Chefe da Equipe de Produção

*Aleksander Szulc – Projetista
Antonio Muniz Neto – Projetista
Carla Costa R. Pizzo Atvars – Projetista
Florencio Ortiz Martinez – Projetista
João Luiz Bosso – Projetista
Leandro Eboli – Projetista
Rubens Crepaldi – Projetista
Mônica de Lourdes Sampaio – Auxiliar Técnica*

Infra Estrutura e Apoio

*Ana Julia Cristofani Belli – Secretária
Maria Luiza Chiarello Miragaia – Secretária
Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada
Carlos Roberto Leite Marques – Assistente Administrativo
Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento
Henrique de Brito Farias – Técnico de Informática
Jacqueline Oliveira de Souza – Auxiliar Administrativo
Marcelo Pereira Almeida – Auxiliar Administrativo
Priscila Pastore M. dos Santos – Auxiliar Administrativo
Juliano Augusto do Rosário – Mensageiro
Maria Aparecida de Souza – Servente*

Consultores

*Francisco Gladston Holanda
Luiz Antonio Villaça de Garcia
Luiz Ferreira Vaz
Nick Barton*



APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho V – Eixo Leste**, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pela FUNCATE através do contrato INPE/FUNCATE nº 01.06.094.0/99.

O Projeto de Transposição está sendo desenvolvido com base no Convênio nº 06/97-MPO/SEPPE celebrado entre o MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL-MI e o MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA-MCT e seu INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE.

O **Projeto Básico do Trecho V – Eixo Leste** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Sistemas de Captação no Reservatório da UHE Itaparica
- R4 Estações de Bombeamento
- R5 Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túnel, Estruturas de Controle
- R6 Barragens e Vertedouros
- R7 Sistema de Drenagem
- R8 Bases Cartográficas
- R9 Geologia e Geotecnia
- R10 Estudos Hidrológicos
- R11 Sistemas de Supervisão, Controle e Telecomunicações
- R12 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R13 Sistema Elétrico
- R14 Canteiros e Sistema Viário
- R15 Cronograma e Orçamentos
- R16 Caderno de Desenhos
- R17 Dossiê de Licitação
- R18 Memoriais de Cálculo



ÍNDICE	PG.
1 . OBJETO E OBJETIVO	1
2 . ESTUDOS ANTERIORES	1
3 . SERVIÇOS REALIZADOS	1
3.1 Generalidades	1
3.2 Coleta e Análise de Dados Existentes	1
3.3 Interpretação de Imagens de Satélite e Radar e de Fotografias Aéreas	1
3.4 Mapeamento Geológico	2
3.5 Investigações de Subsuperfície	2
3.6 Ensaios de Laboratório	3
4 . INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	4
4.1 Classificação Geral dos Solos e Rochas	4
4.2 Classificação dos Solos	5
4.3 Classificação das Rochas	5
4.4 Classificação dos Maciços Rochosos	5
5 . ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS	7
5.1 Embasamento Cristalino	9
5.2 Bacia do Jatobá (Ksj)	16
5.3 Coberturas Cenozóicas	18
5.3.1 Depósitos Coluvionares (TQc)	18
5.3.2 Depósitos Aluvionares (Qal)	18
5.4 Aspectos Estruturais	18
6 . CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DAS OBRAS	20
6.1 Generalidades	20
6.2 Canais	21
6.2.1 EST. 0+000 (Reservatório de Itaparica) à EBV-1	21
6.2.2 EBV-1 a EBV-2	21
6.2.3 EBV-2 à EBV-3	22
6.2.4 EBV-3 à EBV-4	22
6.2.5 EBV-4 à EBV-5	23
6.2.6 EBV-5 à EBV-6	24
6.2.7 EBV-6 à Estaca 204+251 (fim do canal)	24
6.2.8 Resumo das Espessuras de Escavação	26
6.3 Estações Elevatórias	27
6.3.1 EBV-1	27
6.3.2 EBV-2	27
6.3.3 EBV-3	28
6.3.4 EBV-4	29
6.4 Barragens	34
6.4.1 Barragem Areias	34
6.4.2 Barragem e Dique Braúnas	35
6.4.3 Barragem Mandantes	36
6.4.4 Barragem Salgueiro	37
6.4.5 Barragem Muquém	37



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6.4.6 Barragem Cacimba Nova.....	38
6.4.7 Barragem e Dique Bagres	39
6.4.8 Barragem Copiti.....	40
6.4.9 Barragem Moxotó	40
6.4.10 Barragem Barreiro	41
6.4.11 Barragem Campos.....	42
6.5 Aquedutos	42
6.5.1 Aqueduto Jacaré	42
6.5.2 Aqueduto Caetitu.....	43
6.5.3 Aqueduto Branco.....	43
6.5.4 Aqueduto Barreiros.....	44
6.6 Túnel.....	44
6.6.1 Túnel Monteiro.....	45
7 . MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO.....	46
7.1 Generalidades	46
7.2 Áreas de Empréstimo	46
7.3 Depósitos de Areia e Cascalho	47
7.4 Materiais Pétreos	47
8 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	48
9 . ANÁLISE DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO.....	50
9.1 Ensaios Realizados.....	50
9.2 Áreas de Empréstimo de Solo e Fundação das Barragens	51
9.2.1 Barragem Areias.....	51
9.2.2 Barragem Braúnas.....	52
9.2.3 Barragem Mandantes	53
9.2.4 Área de Empréstimo de Solo	53
9.2.5 Barragem Salgueiro.....	54
9.2.6 Barragem do Muquém	54
9.2.7 Dique Cacimba Nova	55
9.2.8 Barragem de Bagres.....	56
9.2.9 Barragem de Copiti.....	57
9.2.10 Dique Moxotó.....	58
9.2.11 Barragem Barreiro	59
9.2.12 Barragem de Campos.....	60
9.3 Jazidas de Areia	61
9.4 Ensaios de Expansão	61
9.5 Conclusões.....	62
9.5.1 Solos das Área de Empréstimo	62
9.5.2 Solos da Fundação.....	63
9.5.3 Areias	64
9.5.4 Expansibilidade.....	64
9.6 Tabelas	65



APÊNDICE - RELATÓRIO DO CONSULTOR NICK BARTON "SUGGESTIONS FOR TUNNEL SITE INVESTIGATIONS, TUNNEL DESIGN & CONSTRUCTION SPECIFICATIONS".

ANEXO I - PERFIS E FOTOS DAS SONDAgens ROTATIVAS

ANEXO II - PERFIS DAS SONDAgens À PERCUSSÃO

ANEXO III - INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS

ANEXO IV - ENSAIOS DE LABORATÓRIO

ANEXO V - DESCRIÇÃO DOS PONTOS VISITADOS



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

Este relatório tem por objeto o Projeto Básico do Trecho V - Eixo Leste do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco.

Seu objetivo é o de apresentar os resultados dos estudos geológicos e geotécnicos obtidos nas investigações geológico-geotécnicas realizadas ao longo das obras previstas para o Eixo Leste.

2 . ESTUDOS ANTERIORES

Os estudos geológico-geotécnicos para a elaboração do Projeto Básico do Eixo Leste basearam-se no Estudo de Viabilidade quando foram definidos os aspectos gerais da geologia e geotecnia, sejam em termos regionais ou dirigidos aos estudos das alternativas de traçado.

As informações do Estudo de Viabilidade encontram-se consubstanciados nos seguintes relatórios:

- R5 Mapeamento Geológico Regional
- R6 Programação Geral dos Trabalhos de Campo
- R7 Mapeamento Geológico-Geotécnico das Faixas de Obras
- R13 Pré- Dimensionamento Geotécnico das Obras
- R20 Investigações Geológico-Geotécnicas Complementares
- R21 Estudos de Túneis

3 . SERVIÇOS REALIZADOS

3.1 Generalidades

Os estudos geológicos e geotécnicos do Projeto Básico foram desenvolvidos segundo metodologias básicas que incluíram a coleta e análise dos dados existentes, a interpretação geológica de imagens de radar, de satélite e de fotografias aéreas, trabalhos de mapeamento de campo e a execução de investigações geológico-geotécnicas, a saber:

3.2 Coleta e Análise de Dados Existentes

A elaboração dos estudos geológicos e geotécnicos teve por base os dados apresentados nos relatórios do Estudo de Viabilidade, listados no item 2 – Estudos Anteriores e nos Desenhos de Projeto apresentados no Caderno de Desenhos – Eixo Leste – Tomo 1.

Os dados apresentados no Estudo de Viabilidade foram devidamente analisados e serviram para orientar a programação e execução dos trabalhos desenvolvidos no Projeto Básico.

A base cartográfica foi obtida do levantamento radarmétrico, escalas 1:5.000 e 1:25.000, elaborado especificamente para o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco, outubro de 1.998, nas cartas topográficas do IBGE, escala 1:100.000, folhas Monteiro, Sumé, Custódia, Sertânia, Airi e Poço da Cruz e nas cartas topográficas da CODEVASF, escala 1:25.000, folhas SC-24-X-A-V-2-NO, SC-24-X-A-V-2-SO, SC 24-X-A-V-1-SE, SC 24-X-A-V-3-NE e SC-24-X-A-V3-NO.

3.3 Interpretação de Imagens de Satélite e Radar e de Fotografias Aéreas

A disponibilidade, na FUNCATE, de imagens de radar, nas escalas 1: 25.000 e 1:5.000, bem como de imagens do satélite LANDSAT T-5, escala 1:100.000, permitiram a interpretação desses produtos para subsidiar a elaboração dos mapas geológicos preliminares, na escala



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1:25.000 para a faixa do traçado do canal e na escala 1:5.000 para as obras especiais (estações elevatórias, barragens, aquedutos e túneis). As imagens de satélite foram obtidas pelo sensor “Thematic Mapper (TM)”, utilizando-se na interpretação composições com as bandas 3-4-5 e 4-5-7. Foram utilizados ainda, no detalhamento dos locais das obras especiais, fotografias aéreas na escala 1:8.000.

3.4 Mapeamento Geológico

Os trabalhos de campo, relativos ao mapeamento geológico, foram desenvolvidos em duas etapas, sendo a primeira, de caráter regional com a descrição de pontos ao longo de todo o traçado e, a segunda, voltada aos locais das obras especiais.

Os pontos descritos são representados nos mapas em escala de 1:25.000 (desenhos de nºs EN.B/V.DS.GL.0001 a EN.B/V.DS.GL.0014) e apresentados no relatório do Anexo V – Descrição dos Pontos Visitados, onde estão indicados dados referentes à localização, litologia, feições estruturais e aos aspectos geotécnicos.

O mapeamento teve também uma abordagem geotécnica, enfatizando a identificação dos tipos de solo, dos tipos litológicos e dos elementos estruturais. No caso das estações elevatórias, onde serão estabelecidas grandes alturas de escavação, foram levantadas medidas das atitudes dos elementos estruturais (foliação e fraturas). Esses mapeamentos foram complementados pelas informações obtidas nas investigações de subsuperfície através das sondagens mecânicas, trincheiras e poços.

3.5 Investigações de Subsuperfície

As investigações de subsuperfície foram programadas com base no traçado do Estudo de Viabilidade e na otimização do traçado feito no decorrer do Projeto Básico, obedecendo-se os seguintes critérios básicos:

- Execução de um mínimo de 3 (três) sondagens rotativas em cada obra especial.
- Investigação nos emboques de túneis.
- Investigação dos cortes com mais de 10 m de altura.
- Utilização de sondagens a percussão no estudo de fundação dos aterros.
- Levantamento sísmico ao longo dos túneis e em cortes representativos.
- Utilização do GPR e sondagem sísmica nos cortes menores que 10 m .
- Utilização do GPR no perfil subaquático do reservatório de Itaparica.
- Utilização de poços e trados nos estudos de áreas de empréstimo.

As investigações de subsuperfície foram executadas segundo especificações da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente, sendo as sondagens rotativas executadas nos diâmetros HX e NX e as sondagens a percussão com amostrador SPT padrão. A passagem de percussão para rotativa foi especificada para o impenetrável ao amostrador SPT no caso de rochas sedimentares e impenetrável à lavagem no caso de rochas cristalinas. Os ensaios de perda d’água ficaram restritos às sondagens realizadas para o estudo das barragens e dos túneis.

No levantamento sísmico foi especificado o uso de marreta em placa de aço como fonte de onda, exceto no espesso aluvião observado no trecho central do túnel, quando foi necessário utilizar explosivo. No levantamento pelo método GPR – *Ground Penetrating Radar* foram utilizadas antenas de 100 e 200 Mhz. Os resultados destas investigações são apresentados



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

no Anexo III – Investigações Geofísicas. As investigações realizadas e suas quantidades são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 3.1 – Resumo das Investigações Realizadas.

Tipo de Investigação	Quantidade	Total (m)
Sondagem Rotativa	179	2.511,79
Sondagem a Percussão	115	196,33
Sondagem a Trado	2.330	2.892,64
Poços de Inspeção	56	90,78
Sondagem Sísmica	-	16.630
GPR	-	17.580

Os resultados destas investigações estão apresentados nos desenhos de geologia sob a forma de seções geológico-geotécnicas, sendo os perfis individuais de sondagem apresentados no Anexo I – Perfis e Fotos das Sondagens Rotativas e no Anexo II – Perfis das Sondagens a Percussão e Descrição de Trados e Poços.

Os materiais obtidos nas sondagens foram descritos dentro dos padrões usuais, obtendo-se para as rochas, o grau de alteração, de fraturamento e de permeabilidade e para os solos, a granulometria, compactidade, consistência e origem geológica.

3.6 Ensaios de Laboratório

Por fim, foram realizados ensaios de laboratório sobre materiais naturais de construção para a caracterização geológica através de análise petrográfica e geotécnica de solos e de materiais granulares. Os ensaios realizados e suas quantidades são apresentados no Quadro 3.2, sendo os resultados apresentados no Anexo IV – Ensaios de Laboratório e os seus comentários desenvolvidos no Item 7 – Materiais Naturais de Construção.

Quadro 3.2 – Resumo dos Ensaios Laboratoriais Realizados.

ENSAIO	Quantidade
Umidade Natural (solo)	172
Caracterização (solo)	73
Compactação (solo)	59
Permeabilidade (solo)	25
Triaxiais (solo com CP's moldados)	15
Densidade dos grãos (solo)	8
Granulometria (areia)	26
Permeabilidade (areia)	10
Índice de Vazios – máx. e min. (areia)	10
Pressão de Expansão (fundações)	5
Triaxiais (fundações)	10



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

4 . INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Os dados obtidos nas investigações foram interpretados segundo critérios utilizados em projetos similares, adotando-se parâmetros de rocha e solo já consagrados na Engenharia Nacional, que serviram para a classificação dos maciços rochosos. No desenho EN.B/G.DS.GL.0001 estão apresentadas as legendas e convenções geológicas e geotécnicas adotadas no projeto.

4.1 Classificação Geral dos Solos e Rochas

Os solos e as rochas foram classificados com base nos critérios de Vaz, L.F., publicados no artigo “Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração - Revista Solos e Rochas, agosto de 1996”. Uma representação esquemática dessa classificação pode ser observada na Figura 4.1, extraída do próprio artigo supra citado.

CLASSIFICAÇÃO	CLASSES	PERFIL DE INTEMPERISMO	PROCESSOS	MÉTODOS DE		COMPORTAMENTO
				ESCAVAÇÃO	PERFURAÇÃO	
SOLO RESIDUAL			PEDOLÓGICOS	LÂMINA DE AÇO ("SCRAPER", ENXADÃO, FACA)	A PERCUSSÃO COM TRADO OU LAVAGEM IMPENETRÁVEL AO SPT	HOMOGÊNEO ISOTRÓPICO
SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) saprolito	S2	Topo RAM	INTEMPÉRICOS QUÍMICOS	ESCARIIFICADOR (PICARETA) 2a	A PERCUSSÃO COM LAVAGEM IMPENETRÁVEL A LAVAGEM POR TEMPO	HETEROGÊNEO ANISOTRÓPICO
ROCHA ALTERADA MOLE (RAM)	R3	Topo RAD	INTEMP. FÍSICOS	EXPLOSIVO 3a	ROTATIVA	DEPENDENTE DO TIPO DE ROCHA
ROCHA ALTERADA DURA (RAD)	R2	FRATURAS Topo RS	INCIDENTES OU AUSENTES			
ROCHA SA (RS)	R1	VEIO DE QUARTZO FALHA				

Figura 4.1 – Classificação de Solo e Rocha, segundo Vaz, 1996.

Esta classificação aplica-se perfeitamente à geologia e às obras do Eixo Leste, principalmente na definição da categoria dos materiais de escavação, com ressalvas para o caso de rochas sedimentares.



4.2 Classificação dos Solos

Os solos foram classificados, inicialmente, quanto à origem geológica, se solos residuais ou transportados, estes incluindo os solos de origem aluvionar e de origem coluvionar. Os solos residuais foram distinguidos em dois grupos, um relativo aos solos homogêneos e mais superficiais, denominados de solos eluviais e, outro, envolvendo os solos heterogêneos com cores variegadas e estruturas reliquias, denominados de solo de alteração. A descrição tátil-visual dos solos nos perfis de sondagem incluiu a granulometria, definindo a natureza arenosa, argilosa e/ou siltosa das amostras obtidas, cor, compactidade e/ou consistência, esta com base nos ensaios de penetração. As denominações e representações utilizadas para os solos estão indicadas no desenho EN.B/G.DS.GL.0001 acima referida.

A caracterização geotécnica dos solos foi realizada com base nos ensaios de laboratório que incluíram a determinação da granulometria, dos limites de plasticidade e das características de compactação. Para a determinação das características de resistência foram realizados ensaios triaxiais sob diferentes condições de sollicitação.

4.3 Classificação das Rochas

Inicialmente, as rochas foram classificadas quanto ao tipo litológico e enquadradas no perfil de intemperismo adotado, indicando tratar-se de rocha alterada mole ou dura e rocha sã. Posteriormente, a classificação litológica foi detalhada na análise petrográfica. As descrições dos testemunhos de rocha das sondagens rotativas incluíram, além das características litológicas, as feições geológicas e os graus de alteração e de fraturamento, cujas denominações e representações estão indicadas no desenho EN.B/G.DS.GL.0001.

A caracterização geomecânica das rochas foi tátil-visual, sendo utilizados os recursos de ensaios de laboratório apenas no caso de determinação da pressão de expansão do argilito.

4.4 Classificação dos Maciços Rochosos

Os maciços rochosos foram classificados segundo Barton no caso de definição das seções de estabilização dos túneis e segundo Bieniawsky, no caso de tratamento de taludes. Essas classificações são apresentadas no Quadro 4.1 e a Figura 4.2.

Quadro 4.1 – Classificação de Maciços Rochosos, segundo Bieniawsky, 1989.

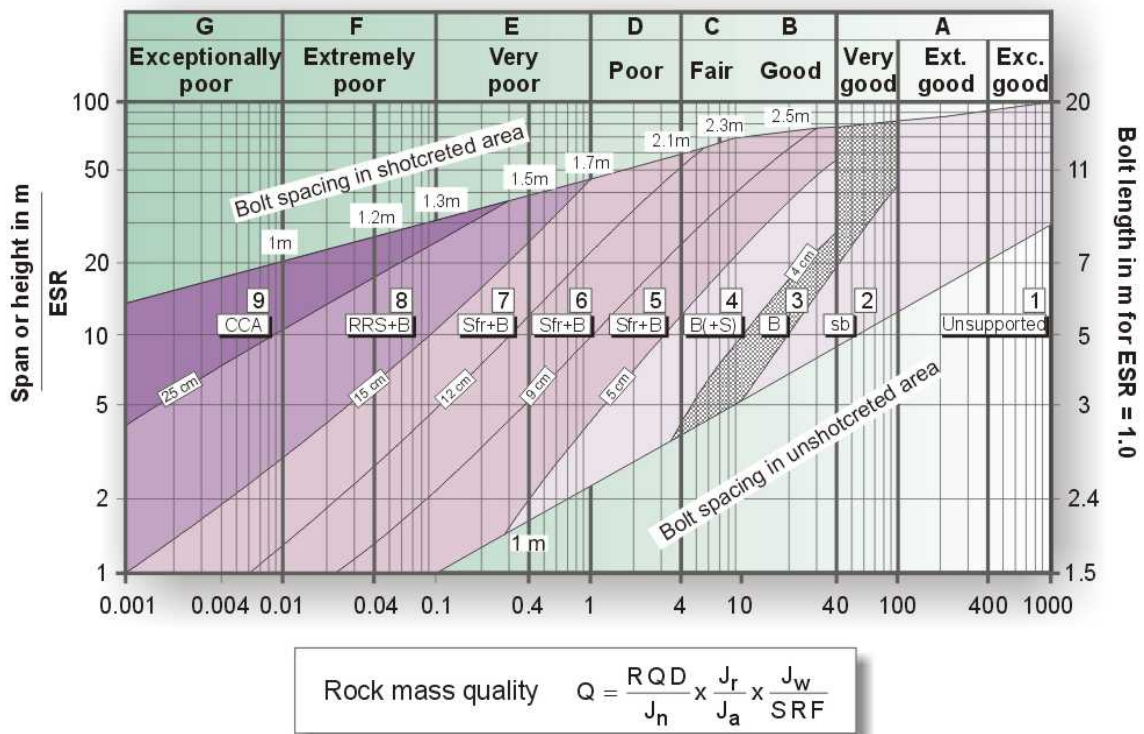
CLASSE	GRAU DE FRATURAMENTO (fraturas/m)		GRAU DE ALTERAÇÃO
I	F1	<1	Rocha Sã (A1)
II	F2	1 a 5	Rocha Sã (A1) e Rocha Medianamente Alterada (A2)
	F3	6 a 10	
III	F4	11 a 20	
IV	F5	>20	Rocha Muito Alterada (A3)
V	Fraturamento Obliterado		Rocha Extremamente Alterada (A4)



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$$\text{RMR} \approx 9 \ln Q + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1989}) \quad Q \approx e^{\frac{(\text{RMR}-44)}{9}} \quad [1]$$

$$\text{RMR} \approx 15 \log Q + 50 \quad (\text{Barton, 1995}) \quad Q \approx 10^{\frac{(\text{RMR}-50)}{15}} \quad [2]$$



REINFORCEMENT CATEGORIES

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1) Unsupported 2) Spot bolting, sb 3) Systematic bolting, B 4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4-10cm), B(+S) | <ul style="list-style-type: none"> 5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, SFr + B 6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12cm, SFr + B 7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15cm, SFr + B 8) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, SFr + B 9) Cast concrete lining, CCA |
|---|---|

Figura 4.2 – Classificação de Maciços e Classes de Suporte de Túneis, segundo Barton, 1995.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Ainda para o dimensionamento da drenagem interna dos maciços rochosos nas regiões de corte foi estabelecida uma classificação do maciço rochoso quanto a permeabilidade, apresentada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Equivalência de Permeabilidade

MACIÇO ROCHOSO	Rocha A1/A2-F1	Rocha A1/A2-F2/F3	Rocha A1/A2-F4/F5	Rocha A3/A4-F4/F5
Granitos, migmatitos	1×10^{-5} cm/s	1×10^{-4} cm/s	1×10^{-3} cm/s	1×10^{-5} cm/s
Biotita gnaisses	1×10^{-6} cm/s	1×10^{-4} cm/s	1×10^{-3} cm/s	1×10^{-6} cm/s
Xistos, filitos	1×10^{-7} cm/s	1×10^{-5} cm/s	1×10^{-4} cm/s	1×10^{-6} cm/s
Arenitos	1×10^{-5} cm/s	1×10^{-4} cm/s	1×10^{-3} cm/s	1×10^{-5} cm/s
Siltitos	1×10^{-6} cm/s	1×10^{-4} cm/s	1×10^{-3} cm/s	1×10^{-6} cm/s
Argilitos, folhelhos	1×10^{-7} cm/s	1×10^{-5} cm/s	1×10^{-5} cm/s	1×10^{-6} cm/s

5 . ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS

O Eixo Leste encontra-se inserido na província tectônica denominada Região de Dobramentos do Nordeste, cuja configuração geológica atual é resultado de eventos tectono-metamórficos ocorridos durante o Ciclo Brasileiro, de idade Proterozóica, bem como, do tectonismo Mesozóico, responsável pela implantação do sistema de *rift- valleys* intracontinentais, formado pelas bacias sedimentares do Recôncavo, Tucano e Jatobá. Na Figura 5.1 é apresentada a região de dobramentos Nordeste.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

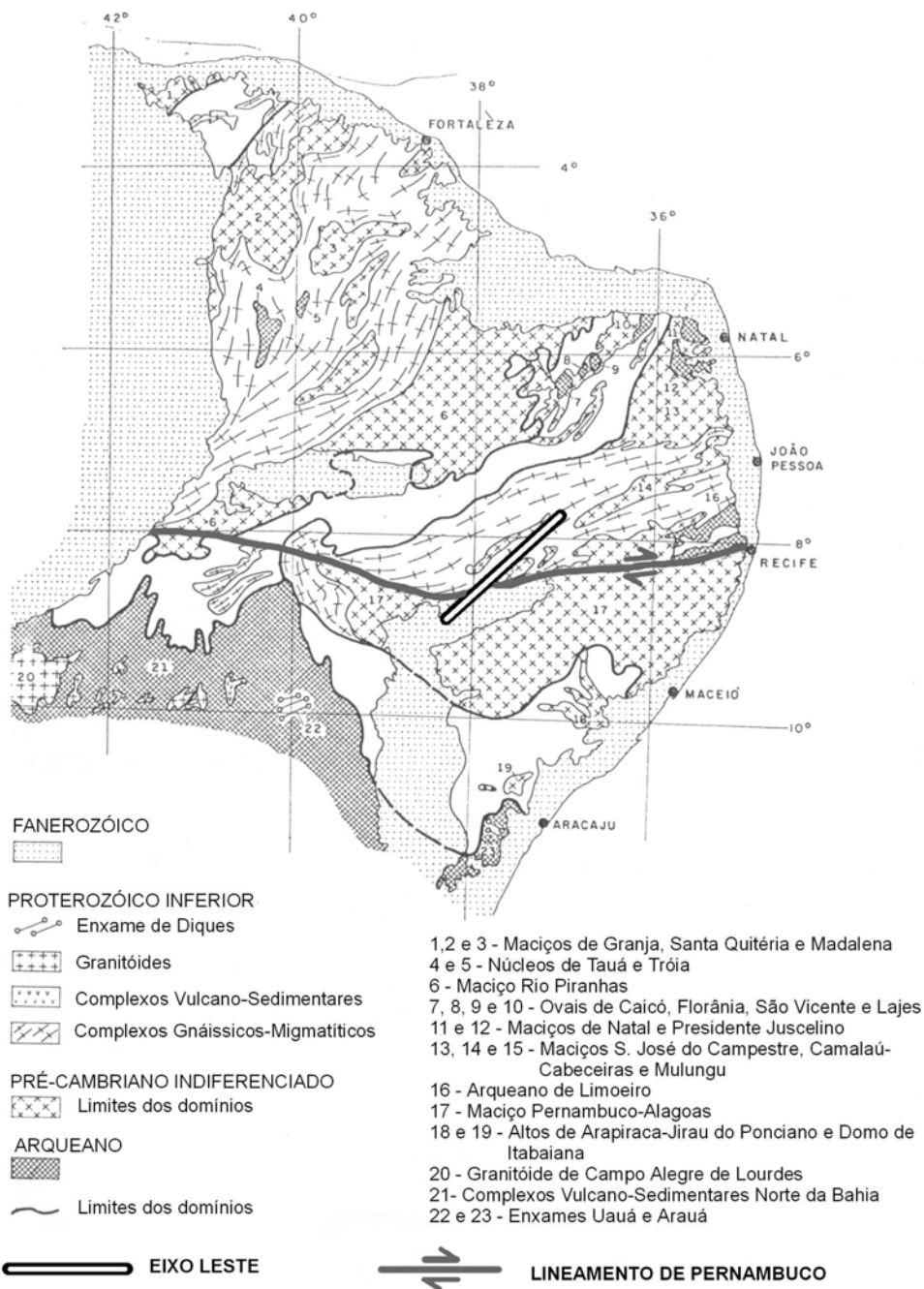


Figura 5.1 – Distribuição do Arqueano, Proterozóico e pré-Cambriano não diferenciado na região de Dobramentos do Nordeste.

O substrato rochoso ao longo da faixa de implantação do Eixo Leste, compreende, na sua maior parte, rochas de um complexo metamórfico granito-gnáissico-migmatítico pré-cambriano, pertencente ao Maciço de Pernambuco-Alagoas, que constituem o embasamento cristalino e, subordinadamente, rochas da seqüência sedimentar cretácea da Bacia do Jatobá. Estruturalmente, a foliação regional das rochas mostra-se orientada segundo a direção NE, com inflexões locais para EW e NW. O desenho EN.B/V.DS.GL.0043 apresenta o Mapa Geológico Regional onde está contido o Eixo Leste.



5.1 Embasamento Cristalino

Para efeito da caracterização geológica, o embasamento cristalino foi dividido em três unidades, constituídas por associações de rochas gnaissico-migmatíticas e, subordinadamente, rochas graníticas, xistos, quartzitos e anfibolitos.

Unidade I (pC1)

Esta unidade é representada por uma associação de biotita gnaisses, com ou sem granada, por vezes migmatizados, com teores variáveis de biotita e migmatitos exibindo estruturas dos tipos estromática ou bandada (1), dobrada (2), schilieren (3) e augen (4) (Figura 5.3 e Fotos 5.1, 5.2 e 5.3), freqüentemente cortados por veios pegmatóides. Estes veios, de espessuras variáveis entre decimétricas e métricas, não apresentam uma orientação preferencial. Presentes também biotita-hornblenda gnaisses e hornblenda gnaisses bem como migmatitos com porções anfibolíticas. Localmente tem-se corpos de biotita granitos e hornblenda granitos e intercalações de leptinitos e anfibolitos.

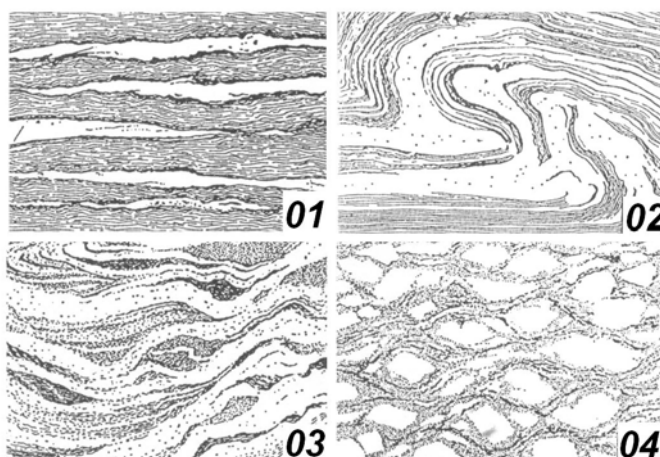
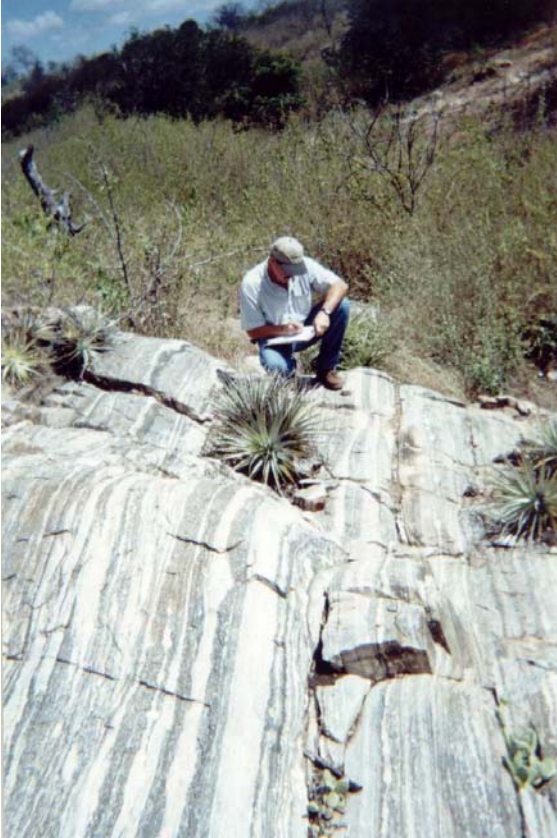


Figura 5.3 – Estruturas dos Migmatitos da Unidade I.

A análise petrográfica da amostra coletada à 8,30 m de profundidade na sondagem SR 85 revelou tratar-se de um hornblenda gnaiss de composição quartzo-diorítica, constituído por plagioclásio (60%), hornblenda (25 a 30%), quartzo (5 a 10%), biotita (5%) e minerais acessórios/secundários. Já na amostra obtida na sondagem SR 159, desemboque do Túnel Monteiro, à profundidade de 14,95 m, a análise petrográfica identificou a rocha como granada-biotita gnaiss, de composição tonalítica, constituído por quartzo (35 a 40%), plagioclásio (35%), biotita (15 a 20%), granada (5 a 10%), silimanita (<5%) e minerais acessórios/secundários.



Fotos 5.1 e 5.2 – Estruturas migmatíticas do tipo bandada e dobrada, respectivamente.



Foto 5.3 – Estrutura migmatítica tipo schilieren.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A exposição dos gnaisses e dos migmatitos dá-se sob a forma de extensos lajedos, com a predominância de rocha sã, sendo raros os afloramentos de rocha alterada, exceto os dos tipos litológicos ricos em biotita e/ou hornblenda como no caso dos anfibolitos. Nas áreas de ocorrência de granitos é freqüente a presença de matacões na superfície do terreno.

Em termos gerais, essas rochas apresentam-se pouco a moderadamente fraturadas, embora localmente, tenha sido observado um fraturamento bastante intenso. Estas fraturas encontram-se freqüentemente seladas, com contato rocha x rocha ou preenchidas por material quartzo-feldspático. São fraturas de extensão e de cisalhamento.

Estruturalmente essa unidade está preferencialmente voltada para NE, tanto as foliações como o fraturamento, com direções para N30°-60°E/verticalizadas. Subordinadamente, ocorrem foliações com direção aproximada N60°W igualmente verticalizadas e, mais raramente, NS em com mergulhos em baixo ângulo para W. As Figuras 5.4 e 5.5 apresentam, respectivamente, a distribuição dos dados de foliação e fraturamento da Unidade I.

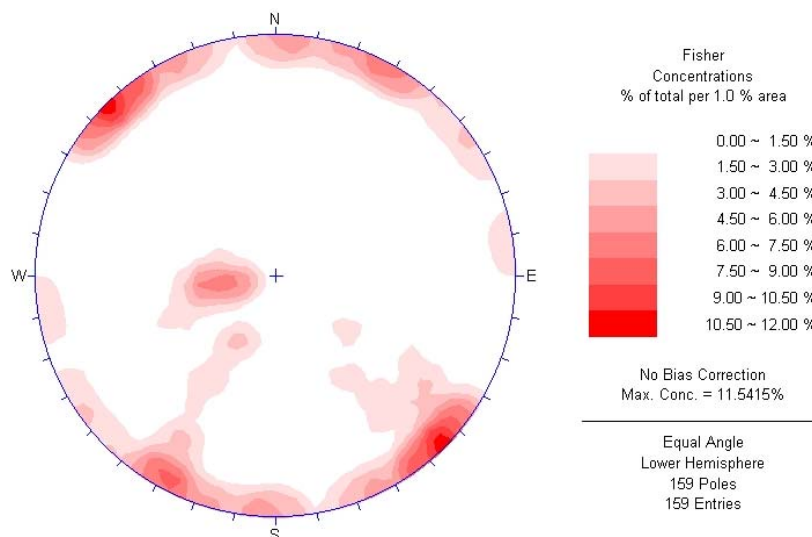


Figura 5.4 – Densidade das direções de foliações na Unidade I.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

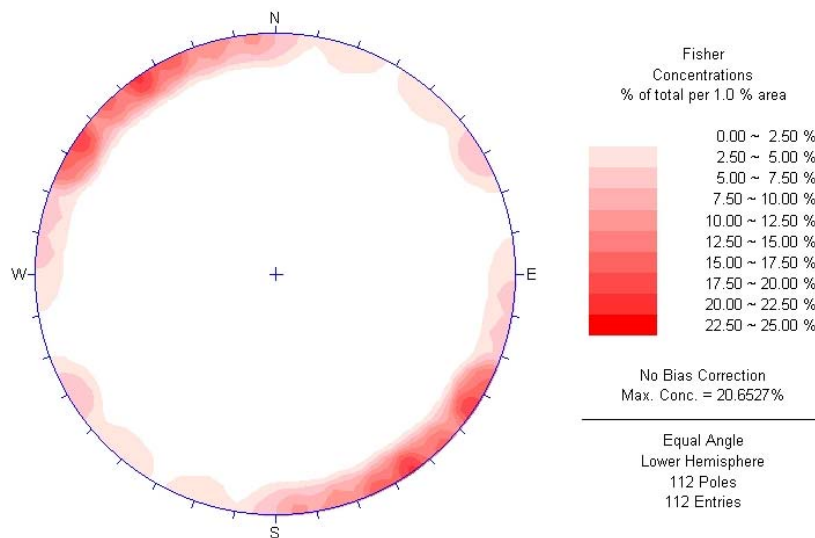


Figura 5.5 – Densidade das direções de fraturas na Unidade I.

Unidade II (p€2)

Esta unidade é constituída por uma associação de migmatitos e biotita granitos, com biotita gnaisses subordinados e localmente rochas calcossilicáticas. Os migmatitos possuem granulação fina a média e apresentam estruturas dos tipos schöllén (1), diktionítica (2), schilieren (3) e nebulítica (4), exemplificadas na Figura 5.6 e na Foto 5.4. Os granitos são isotrópicos a levemente orientados, predominantemente porfíricos exibindo fenocristais de feldspato potássico (Foto 5.5). É freqüente a presença de veios pegmatóides cortando essas litologias, com espessuras variando de decimétricas a métricas, sendo mais abundantes no domínio dos migmatitos. Localmente tem-se a presença de rochas calcossilicáticas, as quais apresentam um aspecto gnáissico-migmatítico.

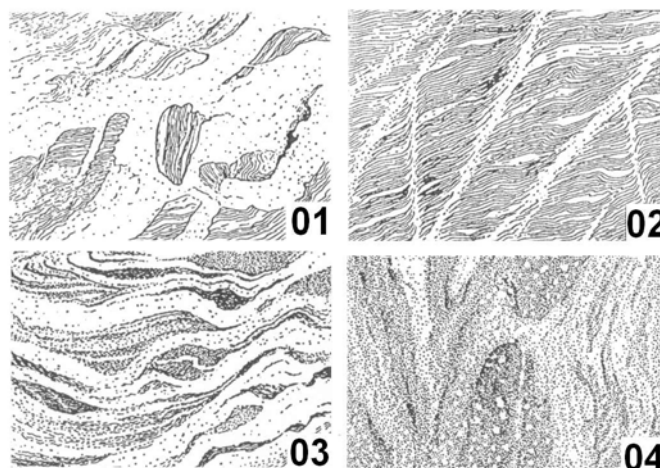


Figura 5.6 – Estruturas dos Migmatitos da Unidade p€2.



Foto 5.4 – Estruturas migmatíticas do tipo schöllén.

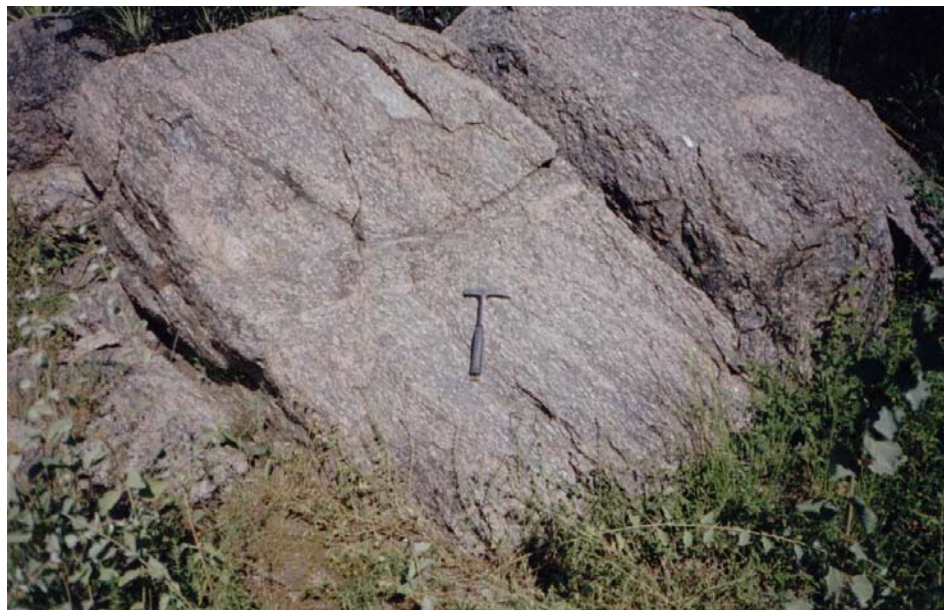


Foto 5.5 – Granito porfirítico levemente orientado.

Os afloramentos de migmatitos formam extensos lagedos, enquanto que os granitos constituem elevações localizadas com a freqüente presença de matacões. São raras as exposições de rocha alterada. Ambos os tipos litológicos mostram-se pouco a medianamente fraturados. Localmente, observa-se um grau de fraturamento mais intenso. São fraturas de extensão e de cisalhamento, geralmente seladas ou preenchidas por material quartzo-feldspático.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Estruturalmente a Unidade II apresenta uma direção de foliação definida em torno de N80°W e verticalizada, conforme ilustrado na Figura 5.7. Já o fraturamento mostra-se disperso em todo o quadrante NE com uma maior concentração na direção NS, sempre verticalizado (Figura 5.8).

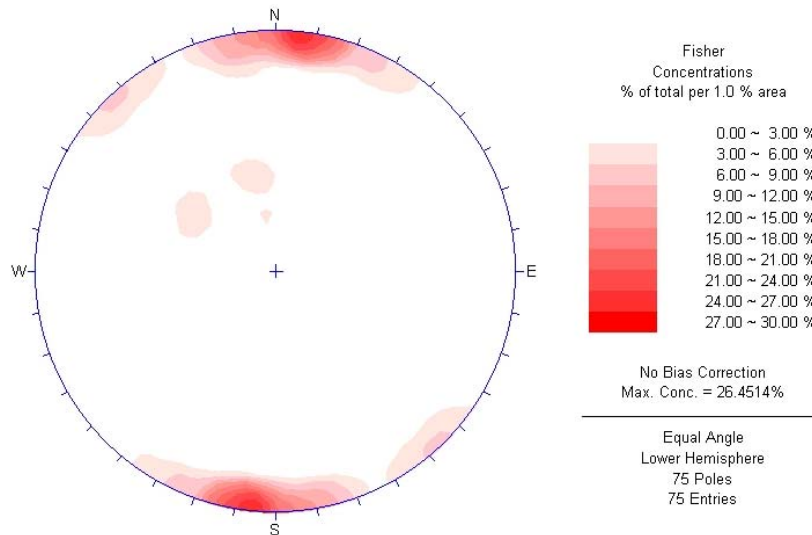


Figura 5.7 – Densidade das direções de foliações na Unidade II.

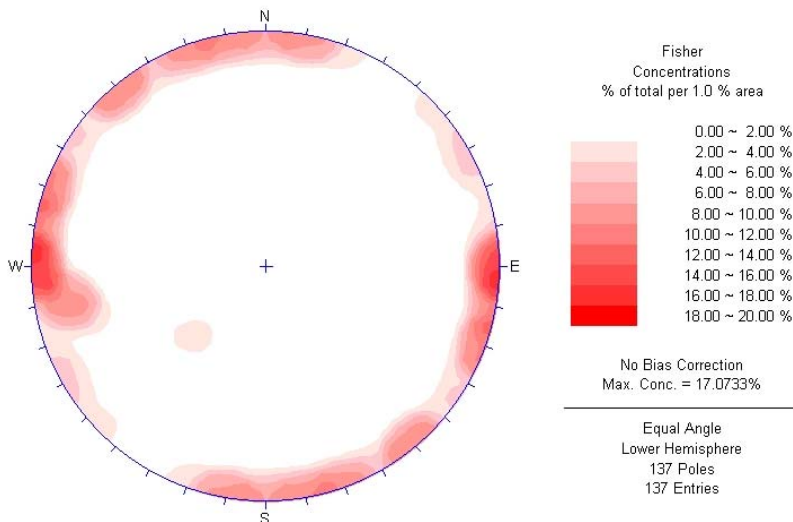


Figura 5.8 – Densidade das direções de fraturas na Unidade II.

Unidade III (pC3)

É constituída por uma associação de muscovita gnaisses e biotita gnaisses (Foto 5.6), com a presença de litotipos intermediários (muscovita-biotita gnaisses), por vezes migmatizados, apresentando subordinadamente intercalações de quartzo-muscovita xistos, quartzo-biotita



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

xistos e muscovita quartzitos. Localmente tem-se a presença de intercalações de anfibolito e de metacalcário cristalino. Os gnaisses, em geral, possuem granulação fina a média, com um bandamento milimétrico a centimétrico. Os xistos possuem uma granulação média, com foliação marcante, de aspecto milonítico, sendo freqüente a presença de venulações milimétricas e centimétricas de quartzo, concordantes com a foliação. Os quartzitos, que em geral formam cristas alongadas na direção NE, exibem localmente foliação, com aspecto milonítico, definida pela presença de maior quantidade de muscovita e de venulações de quartzo, ocorrendo por vezes, litotipos intermediários entre quartzito e quartzo xisto.

O fraturamento apresenta-se, com raras exceções, sempre paralelo à direção da foliação, em torno de N50°E e igualmente verticalizado, conforme é apresentado na Figura 5.9 e 5.10.



Foto 5.6 – Biotita gnaissse da Unidade III

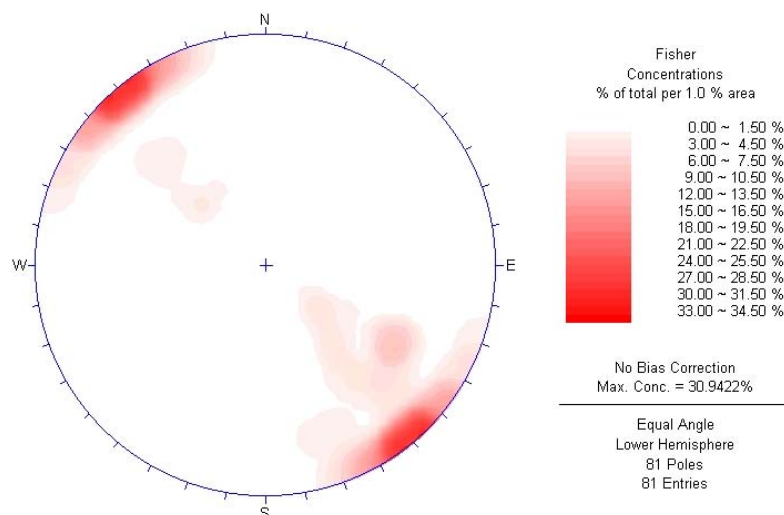


Figura 5.9 – Densidade das direções de foliações na Unidade III.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

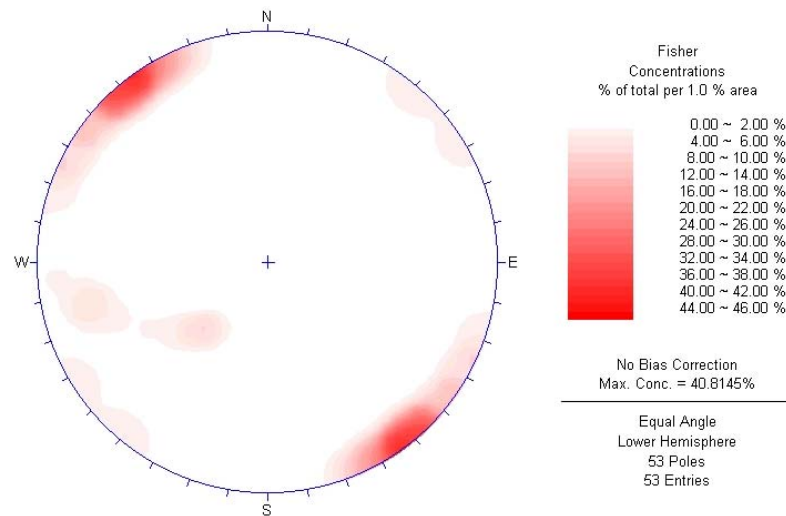


Figura 5.10 – Densidade das direções de fraturas na Unidade III.

5.2 Bacia do Jatobá (Ksj)

A Bacia do Jatobá, corresponde à inflexão de N-S para N70°E, que fez o sistema de rift-valleys, imposta pela reativação da zona de cisalhamento do Lineamento de Pernambuco, durante o Cretáceo, na qual se implantou a Falha de Ibimirim, que define a borda norte da bacia.

Os esforços distensionais do tectonismo, aliados às heterogeneidades, zonas de fraqueza e descontinuidades do embasamento cristalino, foram responsáveis pelo estabelecimento do atual arcabouço estrutural da bacia.

A seqüência sedimentar ao longo do Trecho V, está representada por um pacote de conglomerados sintectônicos, de borda de bacia, depositados por sistemas de leques aluviais, os quais interdigitados com arenitos, siltitos e folhelhos/argilitos depositados através de sistemas fluviais, conforme apresentado na Figura 5.11.

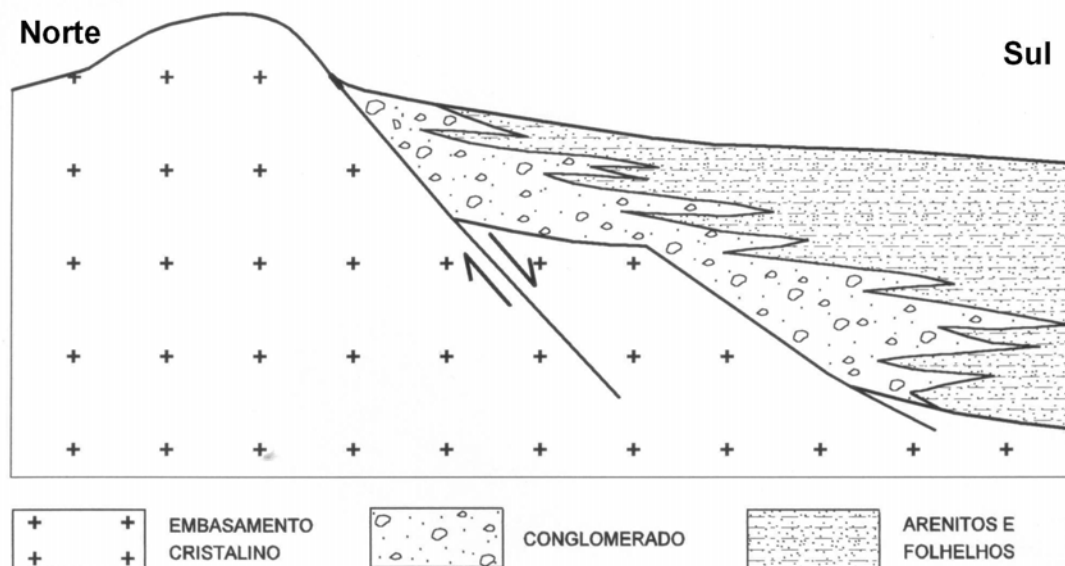


Figura 5.11 – Perfil Esquemático da Borda Norte da Bacia do Jatobá.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Estratigraficamente, estes conglomerados pertencem a Formação Salvador e caracterizam a fase rift do processo evolutivo da bacia, marcada pela atividade das falhas de sua borda, enquanto que os arenitos, siltitos e folhelhos/argilitos integram a Formação São Sebastião.

Os conglomerados são polimíticos, com matriz argilo-arenosa mal selecionada, na qual encontram-se imersos seixos e blocos dos litotipos que compõem o embasamento cristalino, representados por gnaisses, migmatitos, granitos, anfíbolitos e quartzitos. São seixos e blocos arredondados, sub-arredondados a sub-angulosos, com dimensões variando de centimétricas a decimétricas e, mais raramente, métrica. As Fotos 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam ocorrências desse conglomerado.



Foto 5.7 – Conglomerado polimítico.



Foto 5.8 - Conglomerado polimítico.



Foto 5.9 - Conglomerado polimítico.

A sedimentação fluvial está representada por arenitos finos a conglomeráticos, amarelados, localmente argilosos. Apresentam, subordinadamente, intercalações centimétricas a métricas, de folhelho/argilitos e siltitos de coloração marrom avermelhado e cinza esverdeado.

5.3 Coberturas Cenozóicas

Estão representadas por depósitos detríticos colúvio-eluviais e aluvionares, que ocorrem dispersos por todo o Eixo Leste, recobrando as diversas litologias presentes na área.

5.3.1 Depósitos Coluvionares (TQc)

São depósitos inconsolidados constituídos por areias finas a médias, silto-argilosas, apresentando localmente níveis conglomeráticos na porção basal.

Estes depósitos encontram-se bem representados no trecho inicial do embasamento cristalino, próximo a borda da Bacia do Jatobá, onde suas espessuras chegam a atingir 5 metros. Estão presentes também recobrando as rochas da seqüência sedimentar.

5.3.2 Depósitos Aluvionares (Qal)

São constituídos por sedimentos predominantemente arenosos, inconsolidados, com granulação variando de fina a grossa, apresentando localmente níveis de cascalho, matéria orgânica e camadas argilosas.

Esses depósitos encontram-se ao longo dos principais cursos d'água, estando distribuídos tanto nas áreas de domínio do embasamento, como na bacia sedimentar, formando planícies alongadas, com larguras variando de poucos metros até centenas de metros. A espessura máxima encontrada foi de 18 metros no leito do rio Moxotó.

5.4 Aspectos Estruturais

A estruturação do substrato rochoso, no domínio do embasamento cristalino, foi decorrente, principalmente, do tectonismo correspondente ao Ciclo Brasiliano, responsável pela implantação da zona de cisalhamento do Lineamento de Pernambuco, que afetou a região atravessada pelo Eixo Leste, imprimindo às rochas deformações dúcteis e rúpteis, caracterizadas por falhamentos, foliações miloníticas, dobramentos e fraturamentos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Em termos gerais, a foliação das rochas no Eixo Leste apresenta-se, predominantemente, variando entre N45°E e N60°E, com mergulhos sub-verticais tendendo para NW (Figura 5.12), onde ocorrem inversões locais de mergulho e de direção. Observa-se, localmente, a presença de dobramentos desarmônicos, com dobras dos tipos “M” (Foto 5.10), “S” e “Z” (Foto 5.11), ilustradas na Figura 5.13, e com eixos orientados segundo o trend da foliação regional.

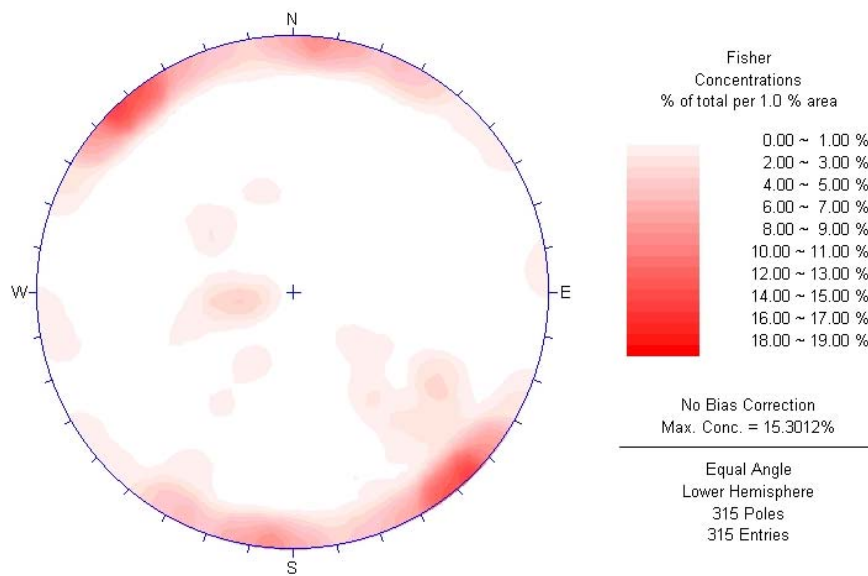


Figura 5.12 – Distribuição geral das foliações em toda a área do projeto.

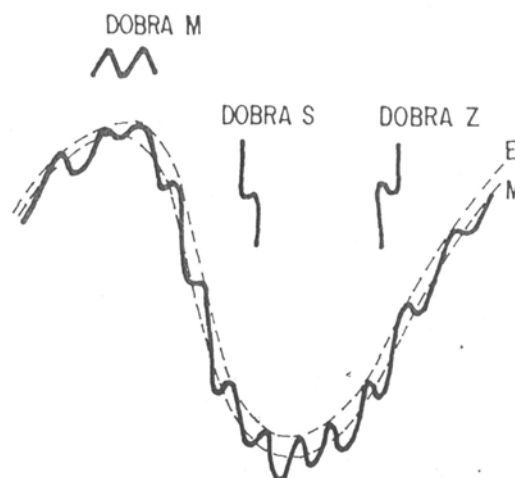


Figura 5.13 – Dobras desarmônicas do tipo “M”, “S” e “Z”.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os esforços tectônicos, a que foi submetida a região, gerou fraturamentos de origem extensional e de cisalhamento, com uma orientação geral nordeste, predominando as direções N50°-60°E com mergulhos sub-verticais, tendendo preferencialmente para NW e subordinadamente para SW.



Foto 5.10 – Dobras do tipo “M”.



Foto 5.11 - Dobras do tipo “S” e “Z”.

No domínio da bacia sedimentar, na área abrangida pelo Trecho V, pode-se afirmar que as principais deformações existentes devem estar representadas por falhamentos normais e pelo fraturamento extensional associado.

6 . CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DAS OBRAS

6.1 Generalidades

Conforme descrito no Item 5 – Aspectos Geológicos Gerais do Eixo Leste o seu traçado abrange basicamente dois domínios geológicos, representados no trecho por rochas sedimentares da Bacia do Jatobá, por cerca de 36 km e por rochas do embasamento cristalino no restante do trecho, por cerca de 170 km.



6.2 Canais

Os canais são descritos, pelas suas particularidades, em trechos delimitados pelas estações elevatórias.

6.2.1 EST. 0+000 (Reservatório de Itaparica) à EBV-1

O canal do Eixo Leste tem seu início dentro do reservatório de Itaparica, mais especificamente no braço formado pelo vale do rio Mandantes, conforme indicado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0001 e cuja implantação exigirá a construção de uma ensecadeira. A sondagem SR 01, executada na margem do reservatório, estaca 1+500, indicou a presença de coluvião arenoso com espessura de 0,90 m capeando rochas das formações sedimentares da Bacia do Jatobá. Essa sondagem atravessou principalmente camadas arenosas, algumas conglomeráticas, até a profundidade final de 13,15 m e uma intercalação de argilito de 2,10 m de espessura. O arenito apresenta características de solo muito compacto com índices SPT superiores a 30 golpes. O argilito apresenta-se duro a muito duro. Na estaca 3+200, foi executada a sondagem SR 02, que mostrou a presença de um arenito pouco mais conglomerático, com dois níveis siltosos e argilosos até a profundidade de 11,00 m. Uma terceira sondagem, SR 03, executada na estaca 4+900, complementou a investigação nesse trecho, indicando a presença de conglomerado polimítico, típico de borda de bacia, constituído de blocos centimétricos e decimétricos de gnaiss, granito e arenito silicificado. De 13,80 a 15,00 m ocorre uma camada de argilito duro, avermelhado.

Na área de ensecadeira, foi efetuado um levantamento geofísico utilizando a técnica do GPR – Ground Penetrating Radar, que indicou a presença de até 2 m de material menos consistente, provavelmente solo coluvionar, por sobre material mais consistente, solos compactos do arenito e determinou a espessura da lâmina d'água, esta bastante próxima da batimetria existente.

No trecho ensecado, entre as estacas 0+000 e 3+900, a escavação deverá interceptar 2 m de material de 1.ª categoria e 8 m de material de 2.ª, constituídos por arenitos saturados com intercalações de siltito/argilito, onde será constante as surgências de água nas paredes de escavação. A permeabilidade desse material é estimada em $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s. O nível d'água, observado na SR 01, encontra-se a 6,35 m de profundidade, condicionado pelo nível do reservatório de Itaparica.

A partir da estaca 3+900 inicia-se a escavação do canal em terreno seco, onde a sondagem SR 02, cota 306,00, indica a presença de arenitos conglomeráticos até a cota de fundo do canal. Nesta sondagem não foi atingido o nível d'água freático até a cota do fundo do canal, prevendo-se que nas escavações não ocorram infiltrações de água. Este trecho de canal se prolonga até o local da elevatória EBV-1, na estaca 5+865, cujas condições geológicas estão descritas no item 6.3.1. Nesse trecho do canal, a sondagem SR 03, indicou a presença de conglomerado polimítico.

6.2.2 EBV-1 a EBV-2

Este trecho está compreendido entre as estacas 6+282 e 17+350, onde está incluído o local da Barragem Areias, conforme indicado nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0001 E EN.B/V.DS.GL.0002. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas sedimentares, representadas por conglomerados, com ocorrência de blocos na superfície do terreno, no início do trecho e na zona de contato com rochas cristalinas. Esse contato é nítido no local do eixo da Barragem Areias, descrito no item 5.4.1, onde constatou-se a presença de argilitos na ombreira esquerda e de granitos gnaisses porfiríticos na ombreira direita. As sondagens SR 06 e SR 07, respectivamente nas estacas 7+450 e 9+200, confirmaram a



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

presença de rochas sedimentares, representadas por conglomerados típicos de borda de bacia, constituídos por blocos decimétricos de rochas cristalinas e matriz silto-arenosa pouco coerente a incoerente. No final do trecho, a sondagem SR 17 revelou a presença de solo de alteração e rocha alterada mole até a profundidade final do furo, de 10,0 m. Essa alteração é localizada e associada a um veio de pegmatito brechado e alterado.

O canal neste trecho deverá ter o seu greide em torno da cota 357 e inclui cortes e aterros relativamente baixos. As escavações no domínio sedimentar, compreendido entre as estacas 6+700 e 13+800, deverão ser efetuadas em 2 m de material de 1.^a categoria e em 8 m de material de 2.^a, estimando-se uma permeabilidade de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s. No trecho de cristalino, as escavações deverão interceptar, em média, 2 m de material de 1.^a categoria e 2 m de material de 2.^a.

Os aterros no trecho sedimentar ficarão apoiados em solos compactos de arenitos, normalmente recobertos por solos coluvionares arenosos, fofos, com espessura da ordem de 1,5 m.

6.2.3 EBV-2 à EBV-3

Este trecho está compreendido entre as estacas 17+713 e 35+893 e inclui os reservatórios das barragens Braúnas e Mandantes, conforme indicado nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0002 e EN.B/V.DS.GL.0003. O mapeamento geológico, a exemplo do trecho anterior, indicou a presença de rochas sedimentares em contato com as rochas cristalinas. Esse contato é interceptado duas vezes ao longo do trecho, tendo sido observado inicialmente no local do eixo da Barragem Braúnas, onde a ombreira direita é constituída por migmatito e, a ombreira esquerda, pelo conglomerado. O segundo ponto de observação do contato ocorre nas proximidades da estaca 27+800.

O canal deverá ser implantado em terrenos de rochas cristalinas, desde a EBV-2 até a estaca 27+800. O seu greide está estabelecido em torno da cota 397,00 e inclui cortes altos, com alturas superiores a 10 m. A sondagem SR 27, executada na estaca 23+000, indicou a presença de 0,80 m de colúvio argilo-arenoso na superfície capeando rocha alterada mole de granito gnaiss porfirítico até a profundidade de 4,30 m. Daí para baixo, ocorre 1,10 m de rocha alterada dura, muito fraturada e rocha sã, pouco fraturada até a profundidade final da sondagem de 9,17 m. Estas condições geológicas são representativas da região, estimando-se uma permeabilidade para o maciço rochoso da ordem de $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s.

Da estaca 27+800 até a EBV-3, o canal será implantado em terrenos sedimentares, onde além das investigações do eixo da Barragem de Mandantes, foram executadas as sondagens SR 28 e SR 33 que mostraram a presença de conglomerado e de arenito conglomerático. Os cortes neste trecho são relativamente baixos e as escavações devem interceptar 2 m de material de 1.^a categoria e 8 m de material de 2.^a.

6.2.4 EBV-3 à EBV-4

Este trecho está compreendido entre as estacas 36+300 e 96+776 e inclui, como obras singulares, as barragens Salgueiro e Muquém, o dique Cacimba Nova e os aquedutos Jacaré e Caetitu, cujos aspectos geológicos e geotécnicos estão descritos nos itens 6.3 e 6.4. Os resultados do mapeamento geológico e as sondagens realizadas no trecho estão indicados nos desenhos numerados de EN.B/V.DS.GL.0003 a EN.B/V.DS.GL.0007.

A geologia deste trecho é constituída por rochas cristalinas, incluindo granitos porfiríticos, migmatitos, muscovita gnaisses e biotita gnaisses. Apresenta extensas coberturas coluvionares e depósitos aluvionares.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O primeiro grande sub-trecho se estende desde a estação elevatória EBV-3, estaca 36+300 até a estaca 65+000 e inclui cortes menores que 10 m e aterros baixos, onde foi executado apenas o mapeamento geológico. No início tem-se o granito porfirítico, recoberto por extenso coluvião e no final, o migmatito. Prevê-se que as escavações dos cortes interceptem de 2 a 3 m de material de 1.^a categoria e 2 m de material de 2.^a. A permeabilidade estimada para o maciço rochoso varia de $1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s.

O segundo grande sub-trecho se estende desde a estaca 65+000 até a estaca 86+000 e inclui alguns cortes altos, superiores a 10 m de altura. Neste sub-trecho foram realizadas as sondagens SR 45, na estaca 65+700, SR 46 na estaca 74+350, SR 47 na estaca 74+650, SR 51 na estaca 84+950 e SR 52 na estaca 85+280. As sondagens indicaram, em geral, pequenas espessuras de alteração, devendo as escavações dos cortes interceptarem de 2 a 3 m de escavação de 1.^a categoria e 2 m de material de 2.^a. A permeabilidade estimada para os maciços rochosos varia de $1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s, ocorrendo localmente, trechos de $1,0 \times 10^{-3}$ cm/s, para maciços sãos e pouco alterados e extremamente fraturados.

O terceiro sub-trecho, da estaca 86+000 a 96+776, inclui o dique da Cacimba Nova. Distingue-se por estar no domínio do biotita gnaisses, onde a alteração é mais profunda. A sondagem SR 53, estaca 86+700, atravessou 3,80 m de solo de alteração, 4,30 m de rocha alterada mole e rocha alterada dura até 16,00 m, profundidade final do furo. A sondagem SR 58, estaca 96+000 confirma essa alteração, perfurando rocha alterada mole até a profundidade final do furo, de 10,02 m. A sondagem SR 59, estaca 96+300, mostra 5,26 m de alteração capeando diretamente rocha sã, pouco fraturada. Estabeleceu-se para este sub-trecho que as escavações dos cortes devam interceptar, em média, 2 m de material de 1.^a categoria e 2,5 m de material de 2.^a. A permeabilidade admitida para o maciço rochoso é de $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s.

6.2.5 EBV-4 à EBV-5

Este trecho está compreendido entre as estacas 97+190 e 163+860 e inclui, como obras singulares, as barragens Bagres, Copiti e Moxotó e os aquedutos Branco e Barreiros, cujos aspectos geológicos e geotécnicos estão descritos nos itens 6.3 e 6.4. Os resultados do mapeamento geológico e as sondagens realizadas no trecho são indicadas nos desenhos numerados de EN.B/V.DS.GL.0007 a EN.B/V.DS.GL.. 0011.

A geologia deste trecho é constituída por rochas cristalinas, incluindo, migmatitos, muscovita gnaisses, biotita gnaisses e biotita hornblenda gnaisses. Apresenta depósitos aluvionares ao longo das principais drenagens, sendo a mais expressiva, representada pelo rio Moxotó.

De uma maneira geral, o trecho apresenta pequena espessura de alteração em locais de ocorrência de migmatitos e muscovita/biotita gnaisses, da ordem de 4 a 4,5 m, em média, incluindo solos e rocha alterada mole. Nos sub-trechos de biotita gnaisses, as espessuras médias de alteração são maiores, de até 9 m.

O domínio dos migmatitos e biotita gnaisses constitui praticamente todo o trecho situado entre as estações elevatórias EBV-4 e EBV-5, cerca de 85 % (oitenta e cinco por cento), onde além do mapeamento geológico foram realizadas sondagens rotativas e levantamentos geofísicos através da sísmica de refração e GPR. As espessuras médias de material de 1.^a categoria variam entre 1,5 e 2 m e a de material de 2.^a variam entre 2 e 2,5 m. Algumas sondagens apresentaram espessuras de alteração bastante profundas ao meio de áreas de pequena alteração, como na sondagem SR 69 da estaca 105+750 e sondagem SR 84 da estaca 127+230, o que levou a executar perfis geofísicos que indicaram espessuras médias menores de alteração. A permeabilidade do maciço rochoso foi estimada com valores



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

variando de $1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s. No intervalo compreendido entre as estacas 141+200 e 143+300 foi executado levantamento geofísico devido aos resultados das sondagens rotativas SR 93 a SR 98, nele executadas, bastante diversos quanto a espessura de alteração. Os perfis geofísicos indicaram que as espessuras médias de alteração são da ordem de 4 m, resultado este adotado no projeto das escavações.

O sub-trecho de biotita gnaissé foi descrito em três intervalos: da estaca 126+700 a estaca 132+000; da estaca 144+100 a estaca 147+100 e da estaca 162+000 a estaca 163+700, para os quais foram adotadas as espessuras médias de material de 1ª e 2ª categorias, respectivamente de 3/4, 2/7 e 4/3 m. No primeiro intervalo, as sondagens SR 85 e SR 86 apresentaram, respectivamente, 6,40 m e 8,00 m de alteração. No segundo intervalo, as sondagens SR 100, SR 101 e SR 102 apresentaram, respectivamente, 7,60, 8,50 e 11,72 m de alteração, associado a anfíbolito. No último intervalo. As sondagens SR 125 e SR 126 indicaram 8,27 e 11,00 m de alteração. A permeabilidade estimada para os maciços rochosos variou de $1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s, ocorrendo localizadamente, trechos de $1,0 \times 10^{-3}$ cm/s, para maciços são a pouco alterados e extremamente fraturados.

6.2.6 EBV-5 à EBV-6

Este trecho está situado entre as estacas 164+185 e 170+152 e inclui o reservatório da Barragem Barreiro. Trata-se de um trecho relativamente curto, onde o mapeamento geológico indicou a presença de biotita gnaissé e migmatito. As sondagens SR 131, SR 170 e SR 171, cujas localizações estão indicadas nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0011 e EN.B/V.DS.GL.0012, revelam as condições geológicas e geotécnicas gerais do trecho.

No primeiro sub-trecho, entre a EBV-5 e o reservatório de Barreiro, predomina biotita gnaissé, onde a sondagem SR 131 apresentou 0,60 m de coluvião argilo-arenoso recobrimdo solo de alteração de gnaissé, constituído de silte-arenoso compacto. Na seqüência, de 1,50 a 2,20 m, ocorre rocha alterada mole e abaixo, rocha alterada dura até 7 m de profundidade. Daí até 15,02 m, profundidade final do furo, ocorre rocha alterada dura e medianamente fraturada. Essas condições são bastante semelhantes àquelas descritas para a estação elevatória EBV-5, devendo as escavações dos cortes interceptarem 2 m de material de 1ª categoria e 2 m de material de 2ª. A permeabilidade estimada para este sub-trecho é de 1×10^{-5} cm/s.

No segundo sub-trecho, entre o reservatório Barreiro e a estação elevatória EBV-6, ocorre biotita gnaissé. A sondagem SR 170 indicou 0,30 m de coluvião argilo-arenoso na superfície, recobrimdo rocha pouco alterada e pouco fraturada até a profundidade final de 10,09 m, enquanto que a sondagem SR 171 revelou solo coluvionar recobrimdo solo de alteração. De 2,16 a 5,20 m ocorre rocha alterada dura de granito gnaissé, medianamente fraturada e abaixo, rocha são, pouco a ocasionalmente fraturada. No projeto foi admitido que a escavação dos cortes interceptará 2 m de material de 1ª categoria e 2 m de material de 2ª. A permeabilidade estimada é de $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s.

6.2.7 EBV-6 à Estaca 204+251 (fim do canal)

O trecho compreendido entre as estacas 170+529, estação elevatória EBV-6 e 204+251, fim do canal inclui a Barragem Campos e o Túnel Monteiro como obras singulares. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas cristalinas ao longo do traçado do canal, representadas por migmatitos, biotita gnaisses e granitos, conforme pode ser observado nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0012 a EN.B/V.DS.GL.0014. Extensos depósitos aluvionares estão presentes ao longo do traçado, cujos detalhes são descritos a seguir.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Após a EBV-6, o canal desenvolve-se sobre um extenso aterro que vai desde a estaca 171+000 até a estaca 175+300, onde a cobertura de solo é pequena, devendo sua fundação assentar-se sobre solo de alteração compacto e/ou rocha alterada de gnaiss.

Da estaca 175+300 a estaca 176+765, local da Barragem Campos, ocorre uma série de cortes de 8 a 12 m de altura máxima e greide por volta da cota 595. Neste trecho foram realizadas as sondagens SR 140 e SR 139 que indicaram profundidades de alteração bastante distintas, respectivamente de 0,80 e 7,30 m, que devem estar, provavelmente, associadas a bandas mais biotíticas. Em profundidade, o maciço rochoso apresenta-se são e pouco fraturado no local de maior alteração e pouco alterado e medianamente a muito fraturado no local de menor alteração. Estima-se uma permeabilidade de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s para o trecho. As escavações nos cortes, a considerar pela presença de afloramentos rochosos no local, deverão interceptar cerca de 1m de material de 1ª e 2 m de material de 2ª categoria.

Logo após o reservatório de Campos, estaca 177+570 até a estaca 190+700, o mapeamento geológico indicou a presença de biotita gnaiss e granito gnaiss num trecho que inclui cortes com alturas superiores a 10 m. Neste trecho foram realizadas as sondagens numeradas de SR 144 a SR 152 que indicaram, em geral, profunda alteração da rocha, em média de 5 m com alguns locais de menor alteração. O maciço rochoso apresenta-se como rocha alterada dura muito a extremamente fraturada, prevendo-se que as escavações interceptem 4 m de material de 1ª e 2 m de material de 2ª no sub-trecho compreendido entre as estacas 177+600 e 185+000. No sub-trecho final, o maciço rochoso é menos alterado e menos fraturado, devendo a escavação interceptar 2,5 m de material de 1ª e 1,5 m de material de 2ª categoria. A permeabilidade estimada para o trecho variou de 1×10^{-4} a 1×10^{-5} cm/s.

Da estaca 190+700 a estaca 193+050, emboque do Túnel Monteiro, o traçado do canal desenvolve-se num fundo de vale, onde o mapeamento geológico indicou a presença de extenso aluvião, exceto no trecho próximo ao emboque. As sondagens SR 153, SR 154 e SR 155, executadas no trecho, indicaram a presença de solo aluvionar na superfície do terreno com espessura variando de 4,34 até 8,18 m, capeando diretamente rocha alterada dura de biotita gnaiss, extremamente fraturada. A sondagem SR 156, executada na estaca 192+500, indicou 8 m de solo de alteração capeando diretamente rocha sã de migmatito, pouco a ocasionalmente fraturada. Neste trecho, inteiramente de corte, a escavação se dará em 8 m de material de 1.ª categoria e em 1 m de material de 2.ª. A permeabilidade estimada foi de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s.

Em seguida, o traçado do Eixo Leste desenvolve-se em túnel, da estaca 193+050 a estaca 199+549, cujos aspectos geológicos e geotécnicos estão descritos no item 6..6.

Do desemboque do Túnel Monteiro, estaca 199+549, até a estaca 203+000, ocorre biotita gnaiss, onde as sondagens SR 160 a SR 164 indicaram pequena espessura de alteração variando de 1,20 a 2,45 m de solo e rocha alterada mole, estabelecendo-se para escavação do corte, cerca de 1,5 m de material de 1.ª categoria e 1 m de material de 2.ª. A permeabilidade estimada para o trecho é de 1×10^{-5} cm/s.

Por fim, no trecho final do traçado do Eixo Leste, entre as estacas 203+000 e 204+251, a sondagem SR 165 indicou 1,60 m de solo coluvionar argilo-arenoso na superfície por sobre solo de alteração de biotita gnaiss. O solo de alteração é constituído por silte argilo-arenoso, compacto a muito compacto que se estende até 6,70 m de profundidade. Segue-se abaixo, rocha alterada mole e rocha alterada dura, extremamente fraturada, respectivamente até 8,20 e 18,33 m, esta com permeabilidade estimada de 1×10^{-5} cm/s.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6.2.8 Resumo das Espessuras de Escavação

Com base nos dados obtidos nas sondagens rotativas e no mapeamento geológico foram estabelecidas as espessuras médias de escavação dos materiais de 1.^a categoria e 2.^a, relacionadas a seguir no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Espessuras Médias dos Materiais de Escavação.

ESTACAS		Espessuras		REFERÊNCIA
DE	ATÉ	(m)		
		1 ^a Cat.	2 ^a Cat.	
0+000	5+665	2	8	
5+665	6+282	-	-	EBV-1
6+282	13+160	2	8	
13+160	15+660	-	-	Res. Areias
15+660	17+150	2	2	
17+150	17+713	-	-	EBV-2
17+713	19+740	2	2	
19+740	21+160	-	-	Res. Braúnas
21+160	27+800	2	2	
27+800	32+370	2	8	
32+370	34+473	-	-	Res. Mandantes
34+473	35+690	2	8	
35+690	36+345	2	8	EBV-3
36+345	37+738	2	2	
37+738	38+895	7	2	Res. Salgueiro
38+895	40+200	2	2	
40+200	41+700	3	2	
41+700	43+900	2	2	
43+900	47+200	3	2	
47+200	50+800	2	2	
50+800	52+400	3	2	
52+400	53+400	2	2	
53+400	55+100	3	2	
55+100	64+800	2	2	
64+800	69+250	2	3	
69+250	70+570	2	3	Res. Muquém
70+570	80+760	1,5	1,5	
80+760	80+880	1,5	1,5	Aq. Jacaré
80+880	91+331	2	2,5	
91+331	95+252	2	2,5	Res. Cacimba Nova
95+252	96+576	2	2,5	
96+576	97+190	2	2,5	EBV-4
97+190	101+200	2	2	
101+200	102+520	1,5	2,5	
102+520	104+260	1,5	2,5	Res. Bagres
104+260	114+485	1,5	2,5	
114+485	115+005	1,5	2,5	Res. Caetitu
115+005	117+210	1,5	2,5	
117+210	119+035	1,5	2,5	Res. Copiti
119+035	126+700	2	2	
126+700	132+200	3	4	
132+200	135+800	1	1	
135+800	139+200	1,5	2	
139+200	141+000	1,5	4	
141+000	144+200	1,5	2	
144+200	147+800	2	7	
147+800	147+950	2	7	Aq. Branco
147+950	151+000	2	2	
151+000	151+210	5	3	Aq. Barreiros
151+210	157+612	2	3	
157+612	162+125	-	-	Res. Moxotó
162+125	163+713	4	3	
163+713	164+185	2	2	EBV-5
164+185	166+681	4	2	
166+681	168+347	-	-	Res. Barreiro
168+347	170+002	2	2	
170+002	170+529	3	3	EBV-6
170+529	176+765	1	2	
176+765	177+570	2	2	Res. Campos
177+570	185+000	5	1	
185+000	190+650	2,5	1,5	
190+650	193+060	8	1	
193+060	199+550	-	-	Túnel Monteiro
199+550	200+250	1,5	1	
200+250	200+750	3	1	
200+750	202+750	1,5	1	
202+750	202+950	3	1	
202+950	204+251	4,5	1	



6.3 Estações Elevatórias

O Eixo Leste dispõe de 6 (seis) estações elevatórias, cujas condições geológico-geotécnicas são descritas a seguir.

6.3.1 EBV-1

A estação elevatória EBV-1 está situada entre as estacas 5+665 e 6+282, na área de domínio das rochas sedimentares da Bacia Jatobá. O mapeamento geológico revelou a presença de conglomerado polimitico, caracterizada pela ocorrência de seixos e blocos decimétricos de rochas graníticas e gnáissicas, dispersos na superfície do terreno.

No local foram programadas as sondagens SR 04 e SR 05, a primeira localizada na estaca 5+265, início do forebay de montante e a segunda, na estaca 5+465, no eixo da casa de bombas.

A sondagem SR 04 executada a partir da cota 329,40 foi executada até 30 m de profundidade para atingir a cota prevista para o greide do canal no início do forebay de montante. Esta sondagem interceptou exclusivamente o conglomerado constituído por blocos centimétricos e decimétricos de gnaiss e de granito envoltos em matriz silto-arenosa, cuja caracterização foi prejudicada pela dificuldade de recuperação das amostras. Excepcionalmente, esta sondagem não interceptou nenhum nível de argilito/siltito, o que não significa que o mesmo não ocorra no local da casa de bomba. O nível d'água foi observado a 11,70 m de profundidade, prevendo-se que ocorram infiltrações de água na área de escavação que poderão ser eliminadas por esgotamento de poços de drenagem.

No eixo da casa de bombas, a sondagem SR 05 foi programada para atingir a cota de fundação, tendo sido interrompida aos 30 m de profundidade por motivos de ordem mecânica. Os dados obtidos até então confirmavam a geologia observada na sondagem SR 04, constituída pelo conglomerado.

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitiram estabelecer parcialmente as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-1, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 2m de material de 1.^a categoria e 8 m de material de 2.^a. Para profundidades maiores é possível que os materiais sejam escarificáveis, sendo no entanto classificados como material de 3.^a. Os taludes de escavação foram concebidos com superfícies totalmente protegidas com concreto projetado e inclinação de 1:1, considerando a natureza friável da matriz dos conglomerados e a altura dos cortes de até 45 m. As tubulações adutoras ficarão apoiadas em aterros compactados. O forebay de montante será escavado em solo de arenitos conglomeráticos, permeáveis, para o qual está prevista a aplicação de revestimento de geomembrana e concreto nas suas paredes.

6.3.2 EBV-2

A estação elevatória EBV-2 está situada entre as estacas 17+150 e 17+713, na área de domínio das rochas cristalinas, tendo sido observado no levantamento geológico a presença de migmatitos cortados por veios pegmatóides.

No local foram executadas as sondagens SR 18 e SR 19, a primeira localizada na estaca 17+240, início do forebay de montante e a segunda, na estaca 17+330, no eixo da casa de bombas.

A sondagem SR 18 executada a partir da cota 372,25 foi até 16,20 m de profundidade, tendo ultrapassado a cota 358,08, prevista para o greide do canal e início do forebay de montante. Esta investigação interceptou na superfície 2,11 m de solo de alteração capeando



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

diretamente rocha pouco alterada e medianamente fraturada de migmatito até 3 m de profundidade, ocorrendo daí para baixo, rocha sã, pouco fraturada.

No eixo da casa de bombas, a sondagem SR 19, executada a partir da cota 378,60 e distante 110 m da SR 18, confirmou a presença de migmatitos, com trechos brechados e veios pegmatóides que se apresentam sãos e medianamente a pouco fraturado em toda a extensão da sondagem. Superficialmente, foi atravessado solo de alteração até 2,25 m de profundidade.

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitem estabelecer as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-2, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 2 m de material de 1ª e 2 m de material de 2ª. Os taludes de escavação foram concebidos com inclinação de 2:1, devendo os cortes atingirem 25 m de altura máxima. As tubulações deverão ficar apoiadas em aterros compactados. O forebay de montante será escavado em solo de alteração e rocha alterada de migmatitos.

O levantamento das atitudes dos planos de foliação e de fraturamento revelou o predomínio de duas direções, perpendiculares e verticalizadas, uma com direção N10°E e a outra, N84°W. As escavações da EBV-2 desenvolvem-se na direção aproximada N12°W e ângulos de inclinação em torno de 63° (2V:1H). A ocorrência desses elementos estruturais, esconsos do eixo do forebay de montante poderá ensejar o estabelecimento de cunhas rochosas instáveis (Figura 6.1).

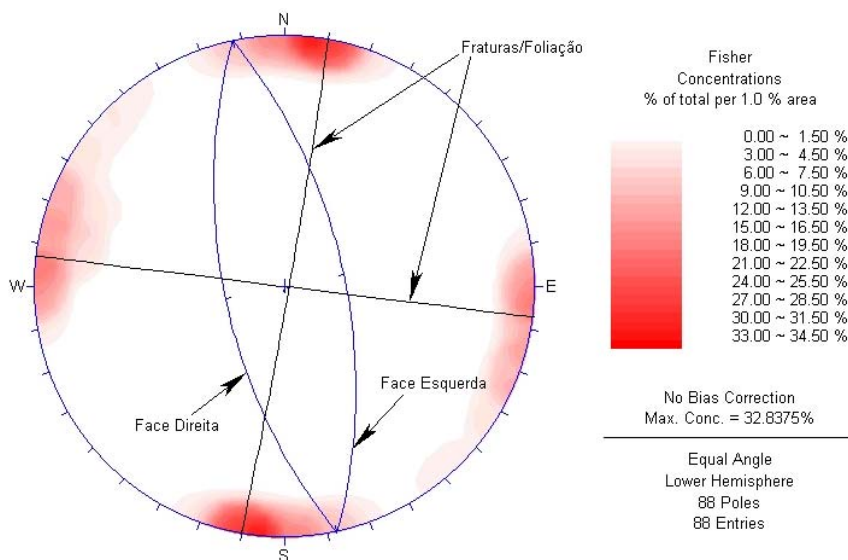


Figura 6.1 – Diagrama estrutural do forebay de montante da EBV-2.

6.3.3 EBV-3

A estação elevatória EBV-3 está situada entre as estacas 35+690 e 36+345, na área de domínio das rochas sedimentares da Bacia Jatobá, tendo sido observado no levantamento geológico a presença de blocos centimétricos e decimétricos de rocha, dispersos na superfície do terreno.

No local foram executadas, inicialmente, as sondagens SR 36, SR 37 e SR 38, objetivando posicionar a casa de bombas e, por último, foi executada a sondagem SR 39, também no



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

eixo da casa de bombas, afastada 50 m da sondagem SR 37. As localizações e os resultados dessas investigações estão indicadas no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0300.

Os resultados obtidos nas investigações mostraram um contexto geológico muito homogêneo no local de implantação da estação elevatória EBV-3, dominado por conglomerados com intercalações de argilitos e siltitos.

A sondagem SR 37, executada a partir da cota 419,00 foi executada até 35 m de profundidade para atingir a cota 391,02, prevista para a fundação da casa de bombas. Esta sondagem interceptou na superfície cerca de 1 m de solo coluvionar arenoso para depois atravessar uma seqüência espessa de conglomerado com intercalações carbonáticas e de argilito e siltito, ocorrendo estas últimas de 28,45 a 29,95 e de 32,00 a 32,65 m na cota de fundação. Uma segunda sondagem, SR 39, revelou o mesmo perfil geológico obtido na sondagem SR 37, confirmando a fundação da casa de bomba em argilito e siltito.

O conglomerado é constituído fundamentalmente por blocos centimétricos e decimétricos de gnaisse e granito, centimétricos e decimétricos, envoltos em uma matriz silto-arenosa, cuja caracterização em profundidade foi prejudicada pela dificuldade de recuperação das amostras. A camada de argilito/siltito apresenta-se dura e muito coerente com capacidade de suporte para as estruturas da casa de bomba, porém, apresenta características expansivas, tendo sido identificada a argila no ensaio de difração por raio X como sendo esmectita do grupo das montmorilonitas. Inicialmente os ensaios de pressão de expansão, em amostras desse argilito, resultaram valores muito dispersos de 2,87 e 17,10 kg/cm², exigindo a execução de mais ensaios. Os novos ensaios de pressão de expansão, segundo duas metodologias diferentes, forneceram valores mais baixos, da ordem de 1,33 kg/cm².

As sondagens SR 36 e SR 38, executadas em cotas mais elevadas, interceptaram igualmente o conglomerado até as profundidades de 25,00 e 27,38 m, respectivamente, eliminando a possibilidade de posicionar essa estação elevatória em terrenos de rochas cristalinas, localizadas mais a jusante.

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitiram estabelecer as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-3, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 2m de material de 1.ª categoria e 8 m de material de 2ª. Para profundidades maiores é possível que os materiais sejam escarificáveis, sendo no entanto considerados como material de 3ª categoria. Os taludes de escavação foram concebidos com inclinação de 1:1 e com as superfícies totalmente protegidas com concreto projetado, considerando a natureza friável da matriz silto-arenosa dos conglomerados e a altura dos cortes de até 39 m. As tubulações ficarão apoiadas em aterros compactados. O *forebay* de montante será escavado em solo de alteração de conglomerado, para o qual está prevista a aplicação de revestimento de geomembrana e concreto em seus taludes.

6.3.4 EBV-4

A estação elevatória EBV-4 está situada entre as estacas 96+576 e 97+190, na área de domínio das rochas cristalinas, predominando biotita gnaisse em contato com o muscovita quartzito.

No local foram executadas, inicialmente, as sondagens SR 60, SR 61, SR 62, SR 63 e SR 67, no sentido de montante para jusante. A presença de um resultado anômalo no que se refere à espessura da zona de alteração, na sondagem SR 62, exigiu a execução das sondagens inclinadas SR 62 A e SR 62 B. As localizações das sondagens, o mapeamento geológico e as seções geológicas são apresentadas no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0400.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

De uma maneira geral, as condições geológicas são bastante homogêneas com relação as profundidades de alteração, da ordem de 2 m, exceto com relação a espessura de alteração observada na sondagem SR 62, de 17m. A verificação com as sondagens SR 62 A e SR 62 B revelou que essa situação é localizada, estando a alteração associada à foliação e provavelmente a uma banda mais micácea.

A sondagem SR 60, cota 461,50, foi executada no início do *forebay* de montante e teve 18,71 m de profundidade, ficando abaixo da cota do greide, fixada na elevação 450,97. Esta sondagem interceptou, na superfície, solo coluvionar com 1,95 m de espessura capeando diretamente o maciço rochoso. O solo coluvionar é constituído por argila arenosa, marrom com fragmentos de rocha e cascalho. O maciço rochoso é constituído na sua parte superior, de 1,95 a 3,00 m, por rocha alterada dura de biotita gnaiss, extremamente fraturada e daí para baixo, por rocha sã, pouco a medianamente fraturada. A análise petrográfica desta rocha revelou tratar-se de um biotita-sillimanita gnaiss tonalítico, milonítico, constituída basicamente por quartzo (35-40%), biotita (20%), plagioclásio (15-20%), microclina (5-10%), granada (<5%) e minerais acessórios/secundários.

No eixo da casa de bombas, a sondagem SR 61 executada a partir da cota 464,90, confirmou a presença de pequena cobertura de solo, de 1,85 m. Em cotas inferiores aparece o biotita gnaiss, sã, medianamente a pouco fraturado com algumas passagens extremamente fraturadas. A fundação da casa de bomba, prevista para a cota 445,56, se dará em rocha sã, medianamente a pouco fraturada. A sondagem SR 62, cota 467,14, executada a cerca de 50 m de distância da sondagem SR 61, indicou a presença de rocha alterada mole até 8,90 m de profundidade e rocha alterada dura de biotita gnaiss, muito a extremamente fraturada até 18,24 m e daí até a profundidade final da sondagem, de 20,03, rocha sã, medianamente fraturada a pouco fraturada, confirmando as boas características geomecânicas da fundação.

As sondagens SR 63 e SR 67, executadas em cotas mais elevadas, interceptaram o quartzito, que se apresenta pouco alterado, muito a extremamente fraturado nos seus trechos superiores, condições estas a serem encontradas nas escavações do *forebay* de jusante. A análise petrográfica da amostra coletada na sondagem SR 67 classificou a rocha como sendo um muscovita quartzo milonítico, constituído por quartzo (70%), muscovita (15-20%), microclina (5-10%) e de minerais acessórios/secundários

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitiram estabelecer as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-4, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 2m de material de 1ª e 2 m de material de 2ª, exceto junto ao local da sondagem SR 62, onde a espessura de alteração é maior. Os taludes de escavação foram concebidos com inclinação de 2:1, devendo os cortes atingirem 25 m de altura máxima. As tubulações ficarão apoiadas em aterros compactados. O *forebay* de montante será escavado em rocha alterada de quartzito, medianamente a muito fraturada, para o qual está prevista a aplicação de revestimento de geomembrana e concreto nas suas paredes.

As escavações do *forebay* de montante e da casa de bombas desenvolvem-se na direção aproximada N50°E, com taludes, no trecho acima do canal, com inclinações próximas a 63° (2V:1H). Naquele local os biotita gnaisses apresentam fraturamento e foliação coincidentes em duas direções preferenciais: N43°E/vert. e N45°E/40°SE (Figura 6.2). Essa configuração, deixando as faces de escavação em ângulo agudo com as estruturas encontradas nas rochas, torna a face esquerda do talude bastante susceptível à interceptação de cunhas desfavoráveis.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

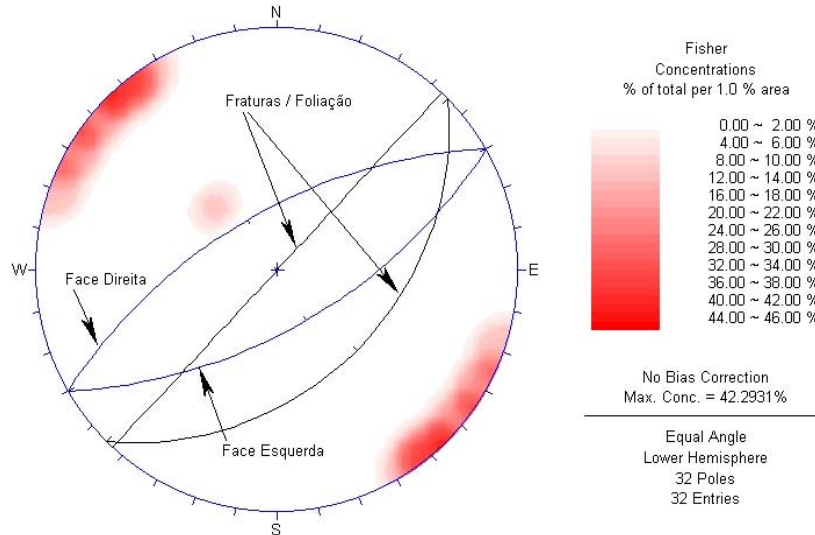


Figura 6.2 – Diagrama estrutural do forebay de montante da EBV-4.

Já o forebay de jusante tem seu desenvolvimento na direção aproximada N75°E, atravessando muscovita quartzitos com foliação e fraturamento paralelos na direção N52°E/vert. (Figura 6.3). Apesar das faces de escavação estarem esconsas às estruturas do maciço, essas últimas apresentam-se verticalizadas diminuindo a possibilidade de ocorrência das cunhas desfavoráveis. Porém, pela própria natureza da rocha, é esperado um processo de desagregação e tombamento de blocos nesse trecho.

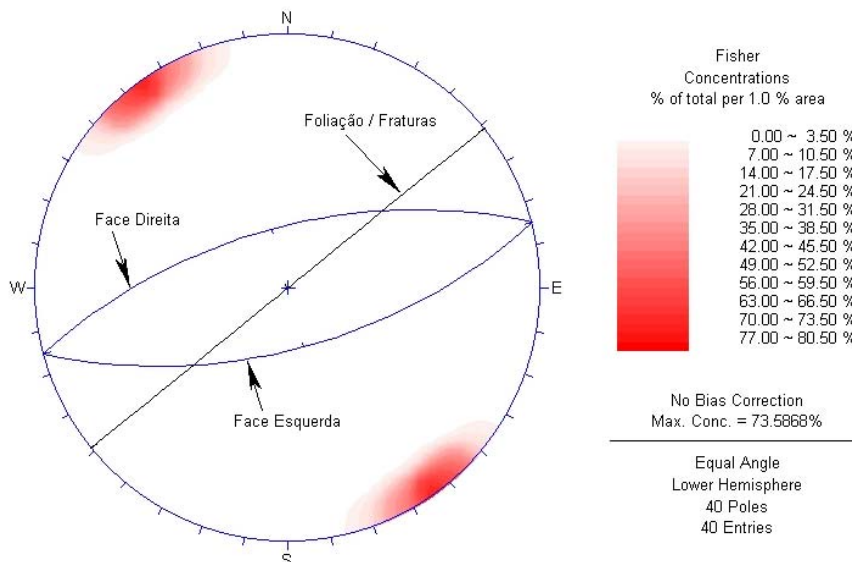


Figura 6.3 – Diagrama estrutural do forebay de jusante da EBV-4.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

EBV-5

A estação elevatória EBV-5 está situada entre as estacas 163+713 e 164+185, na área de domínio das rochas cristalinas, tendo sido observado no levantamento geológico a presença de biotita gnaiss.

No local, foram executadas as sondagens SR 127, SR 132, SR 133 e SR 134, no sentido de montante para jusante, cujas localizações e seções geológicas são apresentadas no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0500.

De uma maneira geral, as condições geológicas são bastante homogêneas com relação as profundidades de alteração, da ordem de 2 m, exceto com relação a espessura de alteração observada na sondagem SR 132, de 10,60 m. Esta alteração deve estar associada a planos de fraturamento paralelos aos planos de foliação ou a bandas mais biotíticas do maciço rochoso.

A sondagem SR 127, cota 512,70, foi executada no início do forebay de montante e teve 15,13 m de profundidade, ficando abaixo da cota do greide, fixada na elevação 501,02. Esta sondagem interceptou, na superfície, solo coluvionar/alteração com 0,90 m de espessura capeando diretamente o maciço rochoso. O solo coluvionar é constituído por argila siltosa, marrom e o solo de alteração constituído por silte arenoso, pouco micáceo. O maciço rochoso é constituído por rocha alterada dura de biotita gnaiss, extremamente fraturada até a profundidade de 12,30 m, passando para uma rocha sã, pouco fraturada.

Próximo ao local do eixo da casa de bombas, a sondagem SR 134 executada a partir da cota 513,50, confirmou a presença de rochas gnáissicas e de pequena cobertura de solo coluvionar, de 2,56 m. A rocha, um biotita gnaiss, apresenta-se pouco alterada e medianamente a muito fraturada com alguns trechos extremamente fraturados. Outras duas sondagens, SR 132 e SR 133, foram executadas a meia distancia das sondagens SR 127 e SR 134 e revelaram que o maciço rochoso apresenta-se pouco alterado e medianamente a muito fraturado.

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitiram estabelecer as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-5, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 2m de material de 1.ª categoria e 2 m de material de 2.ª, exceto junto ao local da sondagem SR 132, onde a espessura de alteração é maior. Os taludes de escavação foram concebidos com inclinação de 2:1, devendo os cortes atingirem 25 m de altura máxima. Prevê-se pelo estado de fraturamento do maciço rochosos que os taludes deverão ser tratados com concreto projetado. A fundação da casa de bombas apresenta maciço rochoso em condições geomecânicas adequadas à implantação das estruturas. As tubulações e o forebay de jusante ficarão apoiados em aterros compactados.

O levantamento estrutural do maciço de biotita gnaiss, na área de implantação da EBV-5, mostrou a ocorrência de planos de foliação com direção e mergulho preferenciais segundo N12°W/30-50°NE e de fraturamento em N64°E/vert., conforme é apresentado na Figura 6.4. Os taludes de escavação desenvolvem-se na direção N24°E com inclinação em torno de 63° (2V:1H). A foliação, com ângulos de mergulho menores que o das faces de escavação, sua direção oblíqua à dos taludes e a presença de fraturamento verticalizado e perpendicular possibilitam a instalação de cunhas instáveis, principalmente na face esquerda da escavação do forebay de montante.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

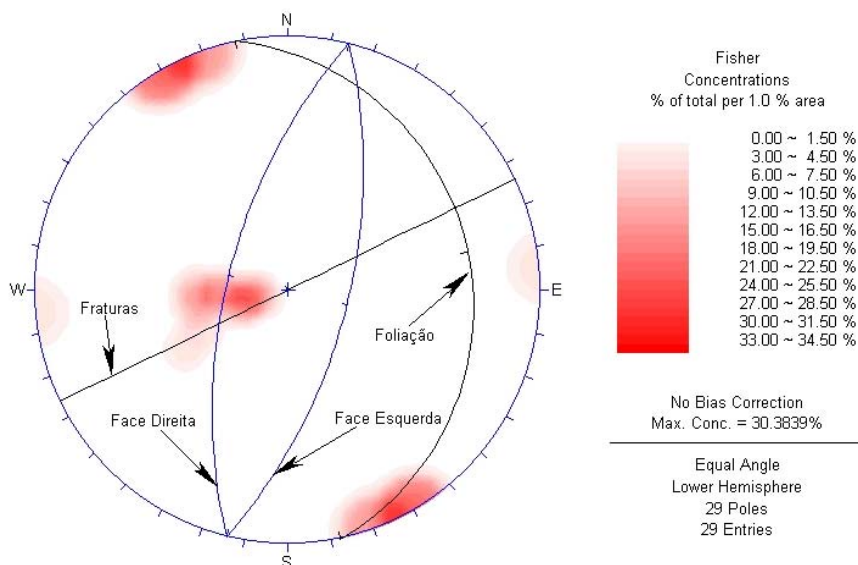


Figura 6.4 – Diagrama estrutural do forebay de montante da EBV-5.

EBV-6

A estação elevatória EBV-6 está situada entre as estacas 170+002 e 170+529, na área de domínio das rochas cristalinas, onde predomina biotita gnaiss e está presente, localmente, o granito gnaiss

No local foram executadas, inicialmente, as sondagens SR 135, SR 169, SR 136, SR 137 e SR 138, no sentido de montante para jusante que, entretanto, ficaram fora da área selecionada para a implantação da casa de bombas. Tal fato implicou na execução de um levantamento sísmico para complementar o conhecimento geológico. As localizações das sondagens, do levantamento sísmico e geológico e da seção geológica são apresentadas no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0600.

Os resultados das sondagens SR 137 e SR 138 deixam de ser descritos por estarem bem afastados do local de implantação das obras da EBV-6, valendo ressaltar que a rocha é igual àquela observada nas demais sondagens.

De uma maneira geral, observa-se no local solo coluvionar areno-argiloso na superfície com cerca de 1 m de espessura capeando solo de alteração de biotita gnaiss, constituído de silte arenoso micáceo com fragmentos de quartzo e feldspato, provavelmente derivados de veios pegmatóides. A espessura de solo é variável no local desde 4,29 m, observada na sondagem SR 135 até 9,70 m, observada na sondagem SR 169. Esse solo de alteração encontra-se capeando diretamente rocha alterada dura de biotita gnaiss, extremamente fraturada na sondagem SR 135 e pouco a medianamente fraturada nas demais sondagens.

O levantamento geofísico indicou uma espessura da ordem de 5 m de solo com velocidades sísmicas variando de 1.700 a 2.100 m/s e subjacente, um maciço rochoso com velocidade sísmica de 4.500 a 4.600 m/s, correlacionável a rocha pouco alterada ou sã, medianamente fraturada.

Em resumo, os dados obtidos nas sondagens e no levantamento de campo permitiram estabelecer as condições geológicas para a implantação das estruturas da estação elevatória EBV-6, prevendo-se que as escavações devam interceptar, em média, cerca de 3 m de material de 1ª e 3 m de material de 2ª categoria. Os taludes de escavação foram



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

concebidos com inclinação de 2:1, devendo os cortes atingirem 30 m de altura máxima. A casa de bombas terá como fundação maciço rochoso com características geomecânicas adequadas à implantação das estruturas. As tubulações adutoras e o forebay de jusante ficarão apoiadas em aterros compactados.

O levantamento das estruturas presentes no maciço do biotita gnaïsse mostra a presença de uma foliação com direção N55°W com mergulho ora verticalizado, ora inclinado entre 30° e 60°. Ocorrem dois sistemas de fraturas oblíquos e verticalizados, um em N30°E e outro em N73°E. As escavações da EBV-2 seguem na direção aproximada N60°E, ou seja, interceptando o ângulo agudo formado pelos dois intensos fraturamentos (Figura 6.5). Essa disposição, somada às duas foliações, sendo uma delas inclinada, deixa as faces de escavação do forebay de montante bastante susceptível à ocorrência de cunhas no maciço rochoso, principalmente na face esquerda da escavação.

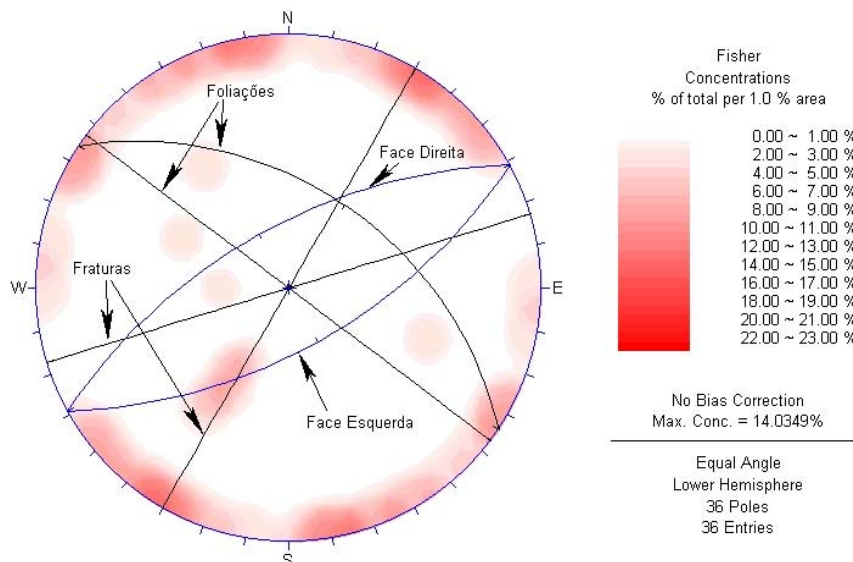


Figura 6.5 – Diagrama estrutural do forebay de montante da EBV-6.

6.4 Barragens

6.4.1 Barragem Areias

A Barragem Areias, com 25 m de altura máxima, constitui-se no primeiro reservatório do Eixo Leste, situada entre as elevatórias EBV-1 e EBV-2, ficando o reservatório entre as estacas 12+865 e 15+660. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas graníticas na margem direita em contato com rochas sedimentares da Bacia Jatobá na margem esquerda, esta recoberta por extenso coluvião. O contato geológico se dá por falha normal e ocorre ao longo do vale.

No local do eixo da barragem foram executadas 4 (quatro) sondagens rotativas, denominadas SR 11, SR 12, SR 13 e SR14, conforme pode ser observado no desenho de no EN.B/V.DS.GL.0016.

A sondagem SR 11, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo de alteração na superfície com espessura da ordem de 1,40 m capeando diretamente o maciço rochoso constituído por granito gnaïsse porfirítico, que se apresenta como rocha alterada mole até a



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

profundidade de 4,42 m. Daí, até a profundidade final de 10,50 m, a rocha apresenta-se são e pouco a medianamente fraturada. Ensaios de perda d'água mostraram que o maciço rochoso apresenta média a alta permeabilidade, ocorrendo condutividades hidráulicas equivalentes a $3,2 \times 10^{-4}$ e $6,3 \times 10^{-4}$ cm/s, respectivamente nos trechos de 4,50 a 7,50 m e de 7,50 a 10,50 m.

No leito do riacho, a sondagem SR 12 indicou a presença de aluvião na superfície com espessura de 0,80 m, constituído por argila arenosa com fragmentos de quartzo capeando diretamente o granito gnaisse porfirítico subjacente que se apresenta são e pouco a ocasionalmente fraturado e totalmente impermeável até a profundidade final da sondagem, de 10,00 m. A análise petrográfica de amostra coletada nesta sondagem, a 4,20 m de profundidade, revelou que a rocha é um hornblenda gnaisse granodiorítico, milonítico, constituída por plagioclásio (35-40%), quartzo (20%), microclina (15-20%), biotita (5-10%) e minerais acessórios/secundários.

Uma segunda sondagem no leito do riacho, SR 13, interceptou solo aluvionar com 1,70 m de espessura no seu trecho superficial, constituído por argila plástica pouco arenosa, mole, capeando solo de alteração. Este solo é constituído por silte argilo-arenoso, cinza, muito compacto, onde ensaios de infiltração indicaram perdas nulas. Segue-se abaixo, a partir de 3,50 m de profundidade, rocha alterada dura e extremamente fraturada de granito gnaisse porfirítico, com trechos de rocha alterada mole. Ensaios de perda d'água indicaram absorções nulas para o trecho rochoso, bastante estranho para uma rocha intensamente fraturada, que somente seriam justificadas pelo preenchimento das fraturas com material argiloso.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 14 interceptou solo coluvionar na superfície constituído por areia pouco argilosa marrom e com 0,25 m de espessura e logo abaixo, argilito da Formação São Sebastião. Este argilito, observado até a profundidade final do furo de 10,04 m, apresenta-se como solo argiloso muito compacto com índices SPT superiores a 25 golpes/30 cm finais. Ensaios de infiltração confirmaram a baixa permeabilidade do material, obtendo-se valores de $2,1 \times 10^{-6}$ e $3,0 \times 10^{-7}$ cm/s, respectivamente, para os trechos de 3 a 4 m e de 6 a 8 m.. Eventualmente, este argilito pode ter características expansivas, devendo ser melhor avaliado.

6.4.2 Barragem e Dique Braúnas

A Barragem Braúnas está situada entre as estações elevatórias EBV-2 e EBV-3 e tem cerca de 700 m de comprimento e altura máxima de 12 m. Inclui ainda um dique com 900 m de extensão e altura máxima de 10 m. O reservatório está compreendido entre as estacas 19+760 e 21+572.

O local de implantação deste conjunto de obras é constituído, em sua margem direita, por migmatito e na sua margem esquerda, pelo conglomerado de borda de bacia, tendo sido investigado no eixo da barragem pelas sondagens SR 22, SR 23, SR 24, SR 25 e SR 26, conforme indicado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0017.

a) Barragem

No local da barragem, a espessura de solo nas ombreiras é relativamente pequena, em torno de 1 m, sendo maior, de até 3 m, no leito do rio. A sondagem SR 22, executada na ombreira direita, interceptou 0,30 m de solo coluvionar argilo-arenoso e 1,60 m de solo de alteração. O solo de alteração, constituído por silte arenoso muito compacto, encontra-se sobreposto diretamente sobre a rocha alterada mole de migmatito até a profundidade de 2,0 m que passa abaixo a uma rocha são, pouco fraturada até a profundidade final do furo de 10,0 m. Os ensaios de perda d'água indicaram absorções baixas, variando de 1,0 a $8,0 \times 10^{-6}$ cm/s para



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

o maciço são. Uma segunda sondagem, SR 23, foi executada a meia encosta da ombreira direita, constatando as condições geológicas observadas na sondagem SR 22.

No leito do rio, foram executadas as sondagens SR 24 e SR 25 que indicaram a presença de solo de alteração desde a superfície capeando rocha alterada mole de migmatito. A sondagem SR 24 atravessou solo de alteração/rocha alterada mole até 7 m de profundidade, onde os índices SPT foram superiores a 30 golpes. Na seqüência aparece a rocha alterada dura, extremamente fraturada e a rocha sã, pouco a ocasionalmente fraturada, respectivamente, até 9 e 18m, esta no final do furo. Os ensaios de perda d'água nos trechos de rocha sã apresentaram absorções nulas. A sondagem SR 25 apresentou solo de alteração compacto e rocha alterada mole, respectivamente, até as profundidades de 0,50 e 1,50 m e na seqüência, um espesso veio pegmatóide alterado e extremamente fraturado com cerca de 7 m de espessura. Daí, até o final do furo, em 15,0 m, aparece um migmatito são, pouco fraturado e impermeável.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 26 interceptou 1 m de solo coluvionar argilo-arenoso capeando diretamente o conglomerado de borda de bacia, constituído por blocos decimétricos, de até 30 cm, de gnaiss e de granito porfirítico, envoltos por matriz silto-arenoso e/ou argilo-arenoso, compacta, até a profundidade final do furo de 10,0 m. A presença constante de blocos de rocha impediram uma melhor recuperação de amostras da matriz, assim como a realização de ensaios de permeabilidade e obtenção sistemática dos índices SPT.

b) Dique

O dique foi investigado através de mapeamento de campo, onde foram observados inúmeros e extensos afloramentos rochosos de granito pórfiro, cortados por veios pegmatóides. As espessuras de solo coluvionar são rasas, assim com o os dos pequenos depósitos arenosos aluvionares, ficando a fundação do dique assentada diretamente no maciço rochoso.

6.4.3 Barragem Mandantes

A Barragem Mandantes possui 1450 m de comprimento e altura máxima da ordem de 30 m e está situada entre as elevatórias EBV-2 e EBV-3, ficando o reservatório entre as estacas 32+370 e 34+473. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas sedimentares em toda a área do aproveitamento.

No local do eixo da barragem foram executadas 4 (quatro) sondagens rotativas, denominadas SR 29, SR 30, SR 31 e SR32, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0018.

A sondagem SR 29, executada na ombreira direita, mostrou a presença de 0,30 m de solo coluvionar na superfície capeando diretamente o conglomerado, constituído por blocos decimétricos de rochas gnáissicas e graníticas, principalmente, envoltos em matriz compacta argilo-arenosa e/ou areno-siltosa. Conforme ocorrido em outros locais, a obtenção dos índices SPT e a recuperação da matriz do conglomerado, foram prejudicadas pela presença constante e intensa de blocos de rocha. Amostras e valores obtidos de SPT indicam tratar-se de matriz areno-argilosa compacta a muito compacta. Os ensaios de infiltração indicaram absorções nulas, resultados estes que podem não refletir a permeabilidade dessa matriz. Uma segunda sondagem, SR 30, executada a meia encosta interceptou o arenito conglomerático, de granulação fina, muito siltosa, pouco coerente a incoerente, muito compacto e com permeabilidade muito baixa. O contato entre essas litologias se faz de forma gradativa e interdigitada, podendo ocorrer intercalações de argilito/siltito.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Na ombreira esquerda foram executadas as sondagens SR 31 e SR 32 que interceptaram, respectivamente 0,60 e 1,50 m de coluvião, recobrimo diretamente o mesmo arenito conglomerático que apresenta as mesmas características observadas na ombreira direita.

6.4.4 Barragem Salgueiro

A Barragem Salgueiro tem cerca de 900 m de comprimento e 30 m de altura máxima, e está situada imediatamente após a elevatória EBV-3, ficando o reservatório entre as estacas 37+738 e 39+895, onde o mapeamento geológico indicou a presença de granito gnaiss porfirítico. Localmente, na superfície da ombreira direita, ocorre espesso coluvião arenoso-argiloso com blocos de arenito silicificado.

No local do eixo da barragem foram executadas 5 (cinco) sondagens rotativas, denominadas SR 40, SR 41, SR 42, SR 43 e SR 44, e (nove) sondagens a percussão, denominadas SP 71, SP 72, SP 73, SP 74, SP 75, SP 76, SP 77, SP 78 e SP 79, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0019.

A sondagem SR 44, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo coluvionar na superfície com espessura de 2,15 m capeando solo de alteração de granito gnaiss porfirítico até a profundidade de 7,60 m. Daí até a profundidade final de 16,70 m, a rocha apresenta-se muito alterada e extremamente fraturada. Ensaio de infiltração d'água mostraram ser pouco permeável o solo de alteração, ocorrendo no trecho de 1 a 2 m uma permeabilidade equivalente a $1,2 \times 10^{-6}$ cm/s. No trecho de rocha alterada e fraturada, surpreendentemente não houve perda d'água, aspecto este que deverá ser melhor investigado no Projeto Executivo. Ainda na ombreira direita, foi aberta uma trincheira com trator de esteira D4 que mostrou uma espessura da ordem de 3 m para o coluvião, apresentando blocos decimétricos de arenito silicificado na base, envoltos em matriz arenoso-argilosa.

No leito do rio, a sondagem SR 43 indicou a presença de coluvião argilo-arenoso na superfície com espessura de 0,60 m, capeando solo de alteração do granito gnaiss porfirítico, este até a profundidade de 6,10 m. O solo de alteração é constituído por areia fina a média, siltosa englobando blocos de rocha e apresenta índices SPT elevados, superiores a 30 golpes/30 cm. Abaixo, ocorre rocha alterada dura e extremamente fraturada até a profundidade de 12,70 m e rocha sã, medianamente a pouco fraturada no trecho inferior. Os ensaios de infiltração confirmam a baixa permeabilidade do solo de alteração, indicando valores de até $4,8 \times 10^{-6}$ cm/s. Os ensaios de perda d'água indicaram valores de permeabilidade baixa para o maciço rochoso, variando entre 1,0 e $7,2 \times 10^{-5}$ cm/s.

Na ombreira esquerda, as sondagens SR 40, SR 41 e SR 42 revelaram condições de alteração menos intensa do que na ombreira direita, limitando-se o solo de alteração até a profundidade máxima de 5,72 m, observado na sondagem SR 41. Na seqüência, aparece o granito gnaiss porfirítico, em geral são, medianamente a pouco fraturado, exceto na SR 40 onde a rocha é pouco alterada. Os ensaios de perda d'água indicaram absorções nulas no maciço rochoso da SR 42 e SR 40 e permeabilidade baixa a média na SR 41 com valores de condutividade hidráulica variando $2,66 \times 10^{-4}$ a $8,6 \times 10^{-5}$ cm/s.

6.4.5 Barragem Muquém

A Barragem Muquém tem cerca de 700 m de comprimento e altura máxima de 12 m. O reservatório está compreendido entre as estacas 69+385 e 70+564. O local de implantação da barragem é constituído essencialmente por muscovita gnaisses, onde foram realizadas 11 (onze) sondagens rotativas, denominadas de SR 57A, SR 57B, SR 57C, SR-MU 1, SR-MU 2,



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

SR-MU 3, SR-MU 4, SR 172, SR 173, SR 174 e SR 175, cujas localizações estão indicadas no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL 0020.

A sondagem SR 172, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo coluvionar areno-argiloso na superfície com espessura de 0,45 m capeando rocha alterada mole de muscovita gnaisse até a profundidade de 1,18 m. Daí até a profundidade final de 10,00 m, a rocha apresenta-se sã e pouco fraturada. Ensaios de infiltração e de perda d'água indicaram absorções nulas, tanto para a rocha alterada mole como para a rocha sã, mostrando a baixa permeabilidade da fundação. O vertedouro será implantado nessa ombreira.

No leito do riacho, foram executadas as sondagens SR 173 e SR 174 que indicaram a presença de solo aluvionar na superfície com 3 m de espessura capeando solo de alteração de biotita gnaisse, respectivamente até as profundidades de 6,40 e 5,30 m. Por outro lado, o mapeamento geológico indicou que parte do leito do rio, mais próximo a SR 172, é constante a presença de afloramentos rochosos. O aluvião é constituído por areia de granulação fina a grossa, pouco permeável e compacta com índices SPT superiores a 25 golpes. O solo de alteração é constituído por silte arenoso, muito compacto e igualmente pouco permeável. Daí, para baixo, em ambas as sondagens, ocorrem rocha alterada mole e rocha alterada dura até as profundidades finais.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 175 revelou condições de alteração mais intensa do que na ombreira direita, ocorrendo o solo de alteração de biotita gnaisse até a profundidade de 8,00 m. Daí, para baixo, tem-se rocha alterada mole de biotita gnaisse até a profundidade final de 10 m. O solo de alteração é constituído por silte arenoso, compacto a muito compacto e de muito baixa permeabilidade..

6.4.6 Barragem Cacimba Nova

O reservatório Cacimba Nova, limitado entre as estacas 91+131 e 95+252, é formado por um extenso dique e uma estrutura vertente, onde o mapeamento geológico indicou a presença de aluvião em todo o vale do rio Cacimba Nova, ladeado por morros de rochas gnáissicas, conforme pode ser observado nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0021 e EN.B/V.DS.GL.0022.

As investigações no sítio do Cacimba Nova incluíram a execução de 3 (três) sondagens rotativas, denominadas SR 54, SR 55 e SR 56; de 15 (quinze) sondagens a percussão, denominadas de SP 114, SP 115, SP 116, SP 117, SPCN 01 a SPCN 11 e de 3 (três) perfis sísmicos.

Ao longo de todo o vale do riacho Cacimba Nova tem-se o aluvião com espessura superior a 10 m, conforme observado na sondagem SR 55. Outras sondagens, SP 114 e SP 115 atravessaram, respectivamente 9,35 e 8,35 m desse material, diminuindo no sentido das encostas dos morros, conforme apresentadas nas seções transversais. O aluvião é constituído por camadas de areia de granulação variada e de argilas arenosas que se intercalam aleatoriamente, ocorrendo na base, em geral, camadas de materiais mais grosseiros. Em geral, estes materiais estão depositados diretamente por sobre o maciço rochoso ou por sobre o solo de alteração, conforme observado, respectivamente, nas sondagens SR 55 e SR 54. Os índices SPT obtidos para esses materiais foram elevados, em geral superiores a 10 golpes/30 cm finais, atingindo até valores de impenetrável, que não condizem com a natureza dos aluviões. O ressecamento dos materiais ou a presença de cascalhos contribuem para mascarar esses resultados. Nos ensaios de infiltração, igualmente, os resultados foram surpreendentes, obtendo-se permeabilidades variando de $1,1 \times 10^{-6}$ a $7,5 \times 10^{-6}$ cm/s. Na camada basal de cascalho, obteve-se o valor de $5,6 \times 10^{-4}$ cm/s.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O solo de alteração, atravessado pelas sondagens executadas próximas às ombreiras, apresenta uma espessura máxima de 4 m, observada na sondagem SR 54. É constituído por material silte arenoso muito compacto com índices de resistência a penetração superiores a 30 golpes/30 cm. A sua permeabilidade é muito baixa, da ordem de $3,5 \times 10^{-6}$ cm/s.

O eixo de implantação do dique foi posicionado o mais próximo das encostas, buscando evitar as grandes espessuras de aluvião, ficando o vertedouro posicionado na ombreira de jusante.

6.4.7 Barragem e Dique Bagres

A Barragem Bagres tem 350 m de comprimento e altura máxima de 20 m. Inclui ainda um dique com 350 m de extensão e altura máxima de 15 m. Seu reservatório está limitado entre as estacas 102+472 e 104+260.

O local de implantação deste conjunto de obras é constituído essencialmente de biotita gnaisse e migmatito, tendo sido investigado o eixo da barragem pelas sondagens SR 64, SR 65, SR 66, SP 121, SP 122 e SP 123 e o eixo do dique pelas sondagens SR 176, SR 177 e SR 178, conforme indicado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0023.

a) Barragem

No local da barragem, a espessura de solo é relativamente pequena, variando de 1 a 3 m. A sondagem SR 64, executada na ombreira direita, interceptou 0,40 m de solo coluvionar, constituído por areia argilosa, marrom amarelado, sobreposto diretamente sobre o migmatito cinza escuro, este pouco alterado e extremamente fraturado até a profundidade de 6,10 m e são, pouco fraturado até 15,06 m, profundidade final do furo. A análise petrográfica da amostra coletada a 10,50 m de profundidade dessa sondagem revelou que a rocha é um clorita gnaisse monzogranítico constituída de quartzo (40%), microclina (30%), plagioclásio (20%), clorita (5-10%), piroxênio (,5%) e minerais acessórios/secundários. Os ensaios de perda d' água indicaram absorções nulas e permeabilidades baixas, equivalentes a $6,6 \times 10^{-6}$ e $1,2 \times 10^{-5}$ cm/s.

A sondagem SR 65, executada no leito do rio, interceptou 3,45 m de solo de alteração argilo-arenoso e, de 0,55 a 3,45 m, solo de alteração constituído por areia média, muito siltosa, marrom, muito compacta, permeabilidade de $1,7 \times 10^{-5}$ cm/s e daí, rocha alterada mole até 4,36 m. A partir dessa profundidade até 6,50 m, ocorre o migmatito pouco alterado e muito fraturado e permeabilidade baixa, equivalente a $1,3 \times 10^{-5}$ cm/s. Segue-se abaixo, o migmatito são, pouco a ocasionalmente fraturado, de permeabilidade muito baixa a impermeável.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 66 interceptou 2,0 m de coluvião arenoso passando para solo de alteração constituído por silte muito arenoso, compacto, até a profundidade de 3,45 m. A partir daí, até 6,80 m tem-se rocha alterada dura e logo abaixo, migmatito, cinza escuro, são a pouco alterado e medianamente fraturado até o final do furo, a 15,14 m.

b) Dique

As sondagens realizadas no eixo do dique revelaram a presença de gnaisse, indicando ser bastante homogênea a geologia no local de implantação das obras, apresentando porém, espessuras menores de solo. Em geral, a superfície das ombreiras é recoberta por solo coluvionar com espessura máxima de 1,0 m, sendo o leito do riacho recoberto por camada delgada de aluvião, não superior a 0,30 m. Abaixo, ocorre solo de alteração de gnaisse até uma profundidade máxima de 1,70 m, constituído por silte arenoso muito compacto e, em seguida, rocha alterada mole e/ou rocha alterada dura até 3m de profundidade. Abaixo, o



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

gnaisse apresenta-se são e pouco fraturado com permeabilidades muito baixas, onde a condutividade hidráulica varia entre $8,0 \times 10^{-6}$ a $6,7 \times 10^{-5}$ cm/s.

6.4.8 Barragem Copiti

A Barragem Copiti tem 25 m de altura máxima e tem o seu reservatório limitado entre as estacas 116+800 e 119+035, onde o mapeamento geológico indicou a presença de afloramentos de rochas gnáissicas e granito-gnáissicas.

No local do eixo da barragem foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas SR 74, SR 75 e SR 76, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0024.

A sondagem SR 74, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo coluvionar areno-argiloso na superfície com espessura da ordem de 1,60 m capeando diretamente o maciço rochoso constituído por hornblenda gnaisse, que se apresenta como rocha alterada dura, extremamente fraturada até a profundidade de 16,55 m. Daí até a profundidade final de 19,50 m, a rocha apresenta-se são e pouco fraturada. Ensaios de perda d'água mostraram que o maciço rochoso apresenta muito baixa a baixa permeabilidade, exceto no trecho mais superior de 2 a 4 m, onde a condutividade hidráulica é de $8,2 \times 10^{-4}$ cm/s.

No leito do rio, a sondagem SR 75 indicou a presença de coluvião argiloso na superfície com espessura de 0,55 m, capeando diretamente gnaisse anfíbolítico subjacente que se apresenta são e pouco fraturado até a profundidade final da sondagem de 15,08 m, exceto entre 6 e 8 m, onde apresenta-se muito fraturado. Os ensaios de perda d'água indicaram absorções nulas, indicando ser o maciço rochoso impermeável.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 76 interceptou 0,83 m de solo coluvionar na superfície constituído por argila arenosa marrom, capeando diretamente o maciço rochoso. O topo rochoso é constituído por material brechado, alterado e muito fragmentado até a profundidade de 2,20 m, seguindo-se o granito gnaisse alterado e medianamente fraturado até 4 m e daí, o granito gnáissico são, pouco a ocasionalmente fraturado até 11,56 m, profundidade final do furo. Ensaios de perda d'água indicaram absorções nulas para profundidades superiores a 5m, enquanto que o ensaio de infiltração realizado no trecho de 1 a 3 m indicou permeabilidade muito alta, de $1,7 \times 10^{-3}$ cm/s.

6.4.9 Barragem Moxotó

O reservatório Moxotó, compreendido entre as estacas 157+612 e 162+125, é formado por um extenso dique e uma estrutura vertente, onde o mapeamento geológico indicou a presença de aluvião em todo o vale do rio Moxotó, ladeado por morros de biotita gnaisse, conforme pode ser observado nos desenhos de n.ºs EN.B/V.DS.GL.0025 E EN.B/V.DS.GL.0026

As investigações no sítio do Moxotó incluíram a execução de 7 (sete) sondagens rotativas, denominadas de SR 120, SR 121, SR 122, SR 123, SR 124, SR 125 e SR 126, dispostas seqüencialmente de montante para jusante.

Ao longo de todo o vale do rio Moxotó tem-se o aluvião com espessura de até 14,50 m, conforme observado na sondagem SR 123. O aluvião é constituído por camadas de areia de granulação variada e de argilas arenosas que se intercalam aleatoriamente, ocorrendo na base, em geral, camadas de materiais mais grosseiros. Em geral, estes materiais estão depositados diretamente por sobre o solo de alteração. Os índices SPT obtidos para o solo aluvionar foram elevados, em geral superiores a 10 golpes/30 cm finais. Nos ensaios de infiltração, os valores de permeabilidade variaram de $1,2 \times 10^{-4}$ a $9,5 \times 10^{-7}$ cm/s.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O solo de alteração apresenta espessuras muito variáveis desde 0,65 até 11,20 m, esta observada na sondagem SR 122. É constituído por material silte arenoso compacto com índices de resistência a penetração superiores a 15 golpes/30 cm. A sua permeabilidade é baixa, variando de $6,9 \times 10^{-6}$ a $1,7 \times 10^{-5}$ cm/s.

O eixo de implantação do dique foi posicionado o mais próximo das ombreiras, buscando evitar aluviões e mais especificamente as suas grandes espessuras. O vertedouro de emergência ficou posicionado entre as estacas 161+200 e 161+250, onde o topo rochoso é mais raso.

6.4.10 Barragem Barreiro

A Barragem Barreiro possui 650 m de comprimento e cerca 20 m de altura máxima, tendo o seu reservatório limitado pelas estacas 166+681 e 168+347, onde o mapeamento geológico indicou a presença de afloramentos de biotita gnaisse.

No local do eixo da barragem foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas de SR 179, SR 180 e SR181, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0027.

A sondagem SR 181, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo coluvionar areno-argiloso na superfície com espessura de 0,70 m capeando diretamente solo de alteração que se estende até 1,45 m. Na seqüência tem-se rocha alterada mole até 9,75 m de profundidade, passando para rocha alterada dura, pouco fraturada até a profundidade final do furo, de 18,15 m. Ensaio de perda d'água indicaram altas absorções d'água no trecho de 14,00 a 16,05 m, obtendo-se uma pressão máxima de 1,8 kg/cm² para uma vazão de 100 l/min. Outros trechos apresentaram permeabilidades médias equivalentes a $4,2 \times 10^{-4}$ cm/s. Ensaio de infiltração no solo de alteração indicaram permeabilidades variando de $1,0 \times 10^{-6}$ a $4,0 \times 10^{-6}$ cm/s.

No leito do rio, a sondagem SR 180 indicou a presença de coluvião argiloso na superfície com espessura de 0,40 m, capeando solo de alteração, constituído por silte arenoso compacto, presente até 2,10 m de profundidade. Segue-se abaixo, rocha alterada mole e rocha alterada dura de biotita gnaisse, esta medianamente a pouco fraturada, até as profundidades de 4,00 e 10,05 m. Os ensaios de perda d'água indicaram absorções nulas, mostrando ser o maciço rochoso impermeável. No trecho de solo de alteração, os ensaios de permeabilidade indicaram valores da ordem de $3,6 \times 10^{-6}$ cm/s.

Na ombreira esquerda, a sondagem SR 179 interceptou 0,60 m de solo coluvionar na superfície constituído por areia fina argilosa marrom, capeando solo de alteração. Este solo, constituído de silte arenoso compacto encontra-se até 1,50 m de profundidade, capeando diretamente o biotita gnaisse. O topo rochoso é constituído por rocha alterada mole de material brechado, alterado e muito fragmentado até a profundidade de 2,20 m. Na seqüência tem-se o maciço são, pouco fraturado até a profundidade final de 10,01 m. Ensaio de perda d'água indicaram baixas absorções com permeabilidade máxima de $1,0 \times 10^{-5}$ cm/s, enquanto que o ensaio de infiltração realizado no trecho de 1 a 3 m indicou permeabilidade de até $1,1 \times 10^{-4}$ cm/s.

Outras investigações foram realizadas no eixo selecionado inicialmente, cerca de 1 km à montante do eixo definitivo, denominadas de SR 128, SR 129, SR 130 e SR 131, além das SP's 173 a 181, cujas descrições são apresentadas nos anexos I e II. Esse eixo foi abandonado devido à sua pequena área de reservatório, a qual não atendia as necessidades hidráulicas existentes, sendo então deslocado para jusante. A geologia observada nesse local é similar àquela descrita para o eixo definitivo.



6.4.11 Barragem Campos

A Barragem Campos, com 35 m de altura máxima, constitui-se no último reservatório do Eixo Leste, situada logo após a elevatória EBV-6, ficando o reservatório entre as estacas 176+765 e 177+570. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas granito-gnáissicas, do tipo porfírico, na ombreira direita e de biotita gnaisse na ombreira esquerda.

No local do eixo da barragem foram executadas 4 (quatro) sondagens rotativas, denominadas de SR 141, SR 142, SR 143 e SR 166, conforme pode ser observado no desenho de n.º EM.B/V.DS.GL.0028.

A sondagem SR 141, executada na ombreira direita, mostrou a presença de solo coluvionar na superfície com espessura de 0,45 m capeando solo de alteração de granito gnaisse até a profundidade de 6,50 m, constituído por silte arenoso compacto e índices SPT superiores a 30 golpes/30 cm finais. Daí até a profundidade de 8,50 m, a rocha apresenta-se como alterada mole que passa a rocha alterada dura e extremamente fraturada até 10,0 m. Em seqüência, até 15,20 m, profundidade final da sondagem, a rocha é sã, sendo extremamente fraturada até 12,10 m e medianamente fraturada no trecho restante. Ensaios de infiltração d'água mostraram que o solo de alteração é pouco permeável, variando a permeabilidade entre $1,6 \times 10^{-5}$ e $1,2 \times 10^{-6}$ cm/s. No trecho de rocha alterada e fraturada, a permeabilidade é muito baixa com valores de permeabilidade equivalentes entre $5,8 \times 10^{-6}$ e $5,8 \times 10^{-7}$ cm/s. No trecho de rocha sã, os ensaios de perda d'água indicaram permeabilidade baixa com condutividades hidráulicas equivalentes a 1,4 e $2,4 \times 10^{-5}$ cm/s.

No leito do riacho, a sondagem SR 142 indicou a presença de 0,40 m de aluvião na superfície, constituído por areia fina argilosa, marrom capeando solo de alteração da biotita gnaisse subjacente. Este solo é constituído por silte arenosos, marrom, compacto, com índices SPT's elevados, superiores a 19 golpes/30 cm. Ensaios de infiltração indicaram permeabilidades baixas de até $1,2 \times 10^{-6}$ cm/s. Até a profundidade de 9,30 m tem-se o biotita gnaisse como rocha alterada dura e extremamente fraturada e baixa permeabilidade, equivalente a $3,5 \times 10^{-5}$ cm/s. Daí para baixo, a rocha é sã, pouco fraturada, onde ensaios de perda d'água indicaram baixa permeabilidade, com condutividade hidráulica equivalente a $4,1 \times 10^{-5}$ cm/s.

Na ombreira esquerda, foram executadas as sondagens SR 143 e SR 166 que apresentaram cerca de 0,50 m de coluvião argilo-arenoso na superfície e espessa camada de alteração. A sondagem SR 143 interceptou solo de alteração e rocha alterada mole, respectivamente, até as profundidades de 7,40 e 10,45 m, seguindo-se rocha alterada dura e extremamente fraturada. Na sondagem SR 166, em cota mais elevada, o solo de alteração e a rocha alterada mole foram interceptados em profundidades mais rasas, respectivamente, a 2,03 e 4,65 m. Em cotas inferiores, ocorre rocha alterada dura, extremamente fraturada até 5,40 m e medianamente fraturada no trecho inferior. O solo de alteração é constituído por silte arenoso compacto a muito compacto, com permeabilidade baixa variando de $1,2 \times 10^{-6}$ a $3,6 \times 10^{-5}$ cm/s. Os ensaios de perda d'água indicaram para o trecho de rocha alterada dura, com permeabilidade baixa a muito baixa e valores variando de $3,0 \times 10^{-6}$ a $2,7 \times 10^{-5}$ cm/s.

6.5 Aquedutos

6.5.1 Aqueduto Jacaré

O Aqueduto Jacaré está situado entre as estacas 80+760 a 80+880, totalizando 120 m de extensão, onde a geologia é constituída por muscovita gnaisses e biotita muscovita gnaisses, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.031. No leito do rio ocorrem sedimentos aluvionares.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

No local foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas de SR 48, SR 49 e SR 50, localizadas, a primeira na ombreira de montante e as demais no leito do rio.

Em ambas as ombreiras o mapeamento geológico mostrou a presença de afloramentos rochosos, em parte recobertos por coluviões arenosos com espessura da ordem de 0,5 a 1,0 m. A sondagem SR 48, executada na ombreira de montante, indicou a presença de rocha alterada mole e de rocha alterada dura até a profundidade de 4,18 m, passando daí para baixo a rocha sã, pouco fraturada. O nível d'água foi detectado a 3,46 m de profundidade.

No leito do rio, as sondagens SR 49 e SR 50 indicaram a presença de aluvião bastante espesso, respectivamente, de 7,80 e 5,77m, onde o trecho superior é constituído por argila arenosa e o trecho médio inferior por areia de granulação média a grossa com cascalhos. O aluvião encontra-se diretamente por sobre gnaisses que se apresenta, no seu metro superior, muito alterado e extremamente fraturado, passando abaixo a rocha alterada dura, medianamente fraturada. O nível d'água está posicionado no aluvião entre 5 e 6m.

6.5.2 Aqueduto Caetitu

O Aqueduto Caetitu está situado entre as estacas 114+885 e 115+005, totalizando uma extensão de 120 m. A geologia é constituída por muscovita biotita gnaisses e biotita gnaisses. Nas proximidades, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0032, ocorrem gnaisses e muscovita quartzito, este restrito a uma elevação junto à ombreira de jusante. No leito do rio ocorrem sedimentos aluvionares.

No local, afastado cerca de 50 m, foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas de SR 71, SR 72 e SR 73, localizadas, a primeira na ombreira de montante, a segunda, no leito do rio e a terceira, na ombreira de jusante.

As sondagens mostraram condições geológicas e geotécnicas bastante particulares no local, observando-se um processo de alteração mais intenso na ombreira de montante, onde a sondagem SR 71 atravessou 6,07 m de solo de alteração e a sondagem SR 73 da ombreira de jusante, apenas 1,20 m, o que coloca o topo rochoso mais raso nessa região. Este solo de alteração constituído por silte arenoso apresenta-se muito compacto com índices SPT da ordem de 30 golpes/5 cm. O topo rochoso é constituído em suas partes superiores por rocha alterada dura, extremamente fraturada que passa em profundidade a rochas menos fraturadas.

No leito do rio, a sondagem SR 72 indicou 3,67 m de aluvião constituído por areia média a grossa pouco siltosa, fofa a pouco compacta, sobreposta a solo de alteração de biotita gnaisses. Este solo, semelhante ao observado nas ombreiras, desenvolve-se até 6,33 m de profundidade, passando gradativamente a rocha alterada mole no seu metro superior e à rocha alterada dura, muito fraturada até 10 m de profundidade. Abaixo, ocorre rocha sã, pouco fraturada. O nível d'água está posicionado no aluvião a 0,47 m de profundidade, o que parece ser pouco provável, sendo importante rever a sua posição..

6.5.3 Aqueduto Branco

O Aqueduto Branco está situado entre as estacas 147+800 e 147+950 e apresenta uma extensão de 150 m. A geologia é constituída exclusivamente por migmatitos, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0033. No leito do rio ocorrem sedimentos aluvionares.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

No local foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas de SR 103, SR 104 e SR 105, localizadas, a primeira na ombreira de montante, a segunda, no leito do rio e a terceira, na ombreira de jusante.

As sondagens mostraram condições geológicas e geotécnicas bastante particulares no local, observando-se um processo de alteração pouco mais intenso na ombreira de jusante, onde a sondagem SR 105 atravessou 0,70 m de coluvião, solo de alteração muito compacto até 5,05 m e rocha alterada dura de migmatito, muito a extremamente fraturada até 7,70 m de profundidade, passando a partir daí para uma rocha sã, pouco fraturada. Na ombreira de montante, a sondagem SR 103 atravessou 0,70 m de coluvião e solo de alteração até 3,30 m de profundidade, passando imediatamente ao gnaiss migmatítico sã, pouco a ocasionalmente fraturado.

No leito do rio, a sondagem SR 104 indicou 3,00 m de aluvião constituído por argila arenosa marrom escuro, dura, sobreposto diretamente sobre o migmatito, que se apresenta sã e pouco a ocasionalmente fraturado. O nível d'água não foi interceptado em nenhuma das sondagens, acreditando-se que as escavações para a implantação dos pilares ocorram em terrenos secos.

6.5.4 Aqueduto Barreiros

O Aqueduto Barreiros está situado entre as estacas 151+000 e 151+210, totalizando uma extensão de 210 m. A geologia é constituída principalmente por gnaiss de granulação média e cor cinza. No leito do rio, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.OO34, ocorrem sedimentos aluvionares.

No local, foram executadas 3 (três) sondagens rotativas, denominadas de SR 111, SR 110 e SR 112, localizadas, a primeira na ombreira de montante, a segunda, no leito do rio e a terceira, na ombreira de jusante.

As sondagens mostraram condições geológicas e geotécnicas bastante particulares no local, observando-se um processo de alteração mais intenso na ombreira de montante, onde a sondagem SR 111 atravessou 8,40 m de solo de alteração e a sondagem SR 112 da ombreira de jusante, 3,35 m, o que coloca o topo rochoso mais raso nessa região. Este solo de alteração é constituído por silte arenoso compacto com fragmentos de quartzo e feldspato. O topo rochoso é constituído em suas partes superiores por rocha alterada mole, extremamente fraturada que passa em profundidade a rochas menos alteradas e menos fraturadas, a 8,80 e 6,50 m, respectivamente, nas sondagens SR 111 e SR 112. O nível d'água, em ambas as ombreiras, foi detectado à 5,50 m de profundidade.

No leito do rio, a sondagem SR 110 indicou 6,10 m de aluvião constituído por argila arenosa, marrom escuro, nos seus 2,45 m superficiais e areia fina a grossa, pouco siltosa, na base. O aluvião está sobreposto ao solo de alteração do gnaiss subjacente. Este solo, semelhante ao observado nas ombreiras, desenvolve-se até 10,30 m de profundidade, passando gradativamente à espessa camada de rocha alterada mole até 15,78 m. Daí para baixo, segue-se uma rocha sã, pouco a medianamente fraturada. O nível d'água está posicionado no solo de alteração a 7,38 m de profundidade.

6.6 Túnel

Um único túnel está previsto ao longo do traçado do Eixo Leste, denominado Monteiro, cujas condições geológicas e geotécnicas são comentadas a seguir.



6.6.1 Túnel Monteiro

O Túnel Monteiro tem 6.489 m de extensão, limitado entre as estacas 193+060 e 199+549, com uma seção arco retângulo de 5,20 m de largura e altura. O piso é totalmente regularizado com concreto magro, estando o seu grade na cota 592,78 no emboque e na cota 590,19 no desemboque, conferindo uma inclinação de 0,04% (40 cm/1.000m).

Conforme indicado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.0013, o túnel está localizado no domínio das rochas cristalinas, devendo interceptar na sua primeira metade e no seu trecho final, biotita gnaisse e na sua segunda metade, o migmatito. Exatamente na parte central do túnel, recobrando o biotita gnaisse, ocorre um espesso depósito aluvionar na superfície.

O emboque foi estabelecido na estaca 193+050, onde a sondagem SR 167, cota 617,70, indicou a presença de solo de alteração até 11,09 m de profundidade capeando rocha alterada dura de biotita gnaisse, extremamente fraturada até 13,49 m e rocha alterada dura, medianamente a muito fraturada até 17 m. A partir daí, a sondagem intercepta rocha sã, pouco fraturada que se encontra cerca de 3 m acima da abóbada prevista para a cota 598. Levantamentos com sísmica de refração confirmam esse perfil indicando uma velocidade de onda sísmica entre 5.050 e 5.250 m/s para o maciço rochoso sã e entre 4.285 e 4.340 m/s para a rocha alterada dura, o que confere ao maciço, segundo classificação de Barton, respectivamente, classes B e C. Para a determinação das classes do maciço rochoso com base no levantamento sísmico efetuado, foi utilizado o critério de Barton para essa associação, em que:

$$V_p = \log Q_c - 3.500(m/s), \text{ onde:}$$

V_p = velocidade de propagação de ondas p;

Q_c = índice de qualidade ($Q_c = Q/100 \times \sigma_c$).

Entretanto, considerando a pequena cobertura será prudente considerar o maciço rochoso da abóbada como classe C ou D.

No desemboque, estaca 199+549, as sondagens SR 159 e SR 160 indicaram uma cobertura mínima de rocha da ordem de 11 m e a presença de biotita gnaisse sã e pouco fraturado na região da abóbada, caracterizando um maciço rochoso classe B, segundo Barton. O perfil sísmico indicou para o maciço rochoso sã uma velocidade sísmica entre 5.000 e 5.200 m/s, confirmando as boas características geomecânicas observadas.

Ao longo do túnel foi executado um levantamento sísmico para a avaliação do maciço rochoso, observando-se, regra geral, que para uma profundidade de 20 m a velocidade sísmica é superior a 5.000 m/s, indicando um maciço rochoso com boas características geomecânicas, classes A e B. Excepcionalmente, entre as estacas 198+900 e 199+300 foi interceptada uma zona de baixa velocidade sísmica de 2.100 a 3.000 m/s, admitindo-se no projeto um maciço rochoso da classe D. A sondagem SR 182, executada na estaca 199+100, mostrou que, neste trecho, o maciço rochoso apresenta-se alterado e muito fraturado, classe D, confirmando os resultados obtidos no levantamento sísmico. Para este trecho, estabeleceu-se a seção S3 para escavação e estabilização. Na sela topográfica existente na estaca 193+800 foi executada a sondagem SR 157, inclinada de 30 °, que interceptou rocha alterada dura, extremamente fraturada e rocha sã, pouco fraturada, respectivamente, a 9 e 12,5 m de profundidade, garantindo uma cobertura de rocha da ordem de 17 m. Ensaios de perda d'água indicaram permeabilidades médias com



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

equivalentes de permeabilidade da ordem de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s e localmente, perda total no fecho da abóbada. Tal fato, entretanto, deve ser considerado como esporádico, devendo o maciço rochoso apresentar baixa permeabilidade ao longo das escavações do túnel.

Ainda ao longo do túnel, entre as estacas 196+100 e 196+400, conforme citado acima, o mapeamento geológico identificou a presença de um extenso depósito aluvionar, plano, na cota 622, onde foi executada a sondagem SR 158 e um perfil sísmico. Observou-se na sondagem SR 158 que o aluvião é constituído por areia fina pouco argilosa e apresenta uma espessura de 13,85 m. Abaixo, ocorre cerca de 2 m de solo de alteração e 4 m de rocha alterada dura e extremamente fraturada até atingir rocha sã, medianamente a muito fraturada até 27,70 m. Esta condição de rocha ocorre entre as cotas 602 e 594 e deverá ser interceptada pelo túnel, cuja abóbada está por volta da cota 597. Abaixo da cota 594 até o piso, cota 592,45, ocorre rocha sã, pouco a ocasionalmente fraturada. No levantamento sísmico constatou-se uma assimetria no fundo da calha aluvionar e uma espessura maior de aluvião, da ordem de 18 m, com velocidade sísmica de 1.800 m/s, levando admitir que a cobertura de rocha sobre o túnel seja menor. Considerando-se o caráter pontual da investigação e a pequena cobertura de rocha nesse trecho, adotou-se no projeto um maciço classe G numa extensão de 100 m, onde está prevista seção de escavação S5 que inclui revestimento estrutural. Adjacente a este trecho e em ambas as extremidades foi prevista seção de escavação S4 por uma extensão de 100 m para cada lado.

7 . MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

7.1 Generalidades

As condições geológicas da região, aliadas às características lineares da obra, impuseram uma sistemática bastante particular à pesquisa de materiais naturais de construção ao longo do traçado do Eixo Leste.

O balanceamento de materiais ao longo do canal direcionou a pesquisa de materiais aos locais de barramento, ficando as demais obras supridas pela compensação dos materiais ao longo do canal. Por outro lado, a pequena espessura de solos em áreas de cristalino, o caráter expansivo dos argilitos/folhelhos e a granulometria fina dos arenitos condicionaram o estabelecimento de áreas de empréstimo. Existem restrições com relação às jazidas de areia em algumas áreas, o que não ocorre com relação às necessidades de material pétreo.

7.2 Áreas de Empréstimo

A pesquisa de áreas de empréstimo ficou restrita aos locais próximos aos barramentos e dentro dos futuros reservatórios, sendo os aterros atendidos pela compensação de materiais de escavação obrigatória de cortes vizinhos. Eventualmente, a necessidade de pequenos volumes de solo nos aterros, a serem utilizados na construção dos taludes finais do canal, será suprida localmente, com as investigações de áreas próximas ao canal.

Em cada local de barramento foram estudadas áreas de empréstimo, sempre que possível, dentro do perímetro do reservatório, buscando assim, causar o menor impacto ambiental possível. As áreas de empréstimo foram investigadas através de sondagens à trado em malhas com espaçamento de 200 m e poços de inspeção, sendo as suas profundidades limitadas pelo impenetrável. A cada metro foram coletadas amostras que, posteriormente, foram selecionadas e enviadas para a execução dos ensaios geotécnicos. Em geral observou-se que os solos apresentam-se ressecados, dificultando a penetração do trado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

No Quadro 7.1 são apresentados os volumes disponíveis de solos para empréstimo em cada barramento. Os resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório são apresentados no Anexo IV – Ensaios de Laboratório.

Quadro 7.1 – Volumes de Solos Disponíveis para Empréstimo

LOCAL (Reservatórios)	ÁREA PESQUISADA (m ²)	ESPESSURA MÉDIA (m)	VOLÚME DISPONÍVE L (m ³)	TIPO DE SOLO
Areias	880.000	0,90	490.000	Coluvião / Solo de Alteração
Braúnas	1.020.000	0,40	170.000	Coluvião / Solo de Alteração
Mandantes	660.000	0,90	390.000	Coluvião / Solo de Alteração
Salgueiro	595.000	1,10	460.000	Aluvião / Solo de Alteração
Muquém	720.000	0,50	200.000	Coluvião / Aluvião
Cacimba Nova	365.000	1,60	405.000	Coluvião/Aluvião/Solo de Alt.
Bagres	355.000	1,00	275.000	Coluvião/Aluvião/Solo de Alt.
Copiti	400.000	1,00	275.000	Aluvião / Solo de Alteração
Moxotó	930.000	1,70	1.450.000	Coluvião/Aluvião/Solo de Alt.
Barreiro	700.000	1,00	480.000	Coluvião / Solo de Alteração
Campos	880.000	1,00	550.000	Coluvião / Solo de Alteração

7.3 Depósitos de Areia e Cascalho

A ocorrência de depósitos de areia e cascalho ao longo do Eixo Leste tem distribuição bastante reduzida e errática, sendo raros os locais que poderão ser utilizados como jazidas.

O regime pluvial, ocasionando enxurradas em leitos rochosos, ensejou a formação de depósitos de material granular localizados e de pequenos volumes, constituídos em geral, por areias de granulometria fina a média, misturados a restos de vegetais.

Excepcionalmente, em condições geológicas particulares, foram observadas grandes espessuras de deposição de areia, como a do leito do rio Moxotó e do Cacimba Nova, ambas em áreas de rochas cristalinas. Nos trechos de rochas sedimentares, mais especificamente no leito do rio Mandantes, ocorrem extensos depósitos de areia, porém de granulometria fina.

Depósitos de cascalho ocorrem principalmente na forma de terraços fluviais capeando as formações sedimentares, estas distribuídas no trecho inicial do Eixo Leste. Foram observadas ainda, ocorrências de cascalho associadas às rochas cristalinas, originadas da desagregação de veios quartzosos, constituindo depósitos superficiais de volumes muito reduzidos.

A necessidade desses materiais principalmente nas obras de barramento conduziu a execução de investigações desses em suas proximidades, sendo os resultados dos ensaios de caracterização apresentados no Anexo IV – Ensaios de Laboratório.

7.4 Materiais Pétreos

A ocorrência de rochas cristalinas de boas características geomecânicas ao longo de todo o traçado do Eixo Leste praticamente elimina a implantação de pedreiras para a obtenção



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

desses materiais e atender as necessidades das obras seja na obtenção de agregados e finos para concreto como para transições e blocos para enrocamentos.

A pequena espessura de solo e a presença de extensos afloramentos rochosos e as boas condições topográficas colaboram para explorações bastante econômicas dos materiais pétreos, tendo sido dispensada a execução de sondagens rotativas para a pesquisa desses materiais.

Uma suíte de rochas, representada principalmente por granitos, migmatitos e gnaisses, com características tecnológicas adequadas e bastante conhecidas no meio técnico, tornou desnecessária a execução de ensaios geomecânicos na determinação de suas propriedades para utilização nas transições, enrocamentos e concreto. Análises em lâminas petrográficas foram elaboradas no sentido de uniformizar a classificação litológica e verificar a presença de quartzo deletério através da presença de extinção ondulante, sendo suas descrições microfotografias apresentadas no Anexo IV – Ensaio de Laboratório.

Várias explorações rudimentares de material pétreo foram observadas na região, muitas delas abandonadas, ressaltando-se porém a existência de uma instalação de pedreira no município de Sertânia (Foto 7.1), cujo britador tem capacidade para produzir cerca de 4.000 m³/mês. Essa pedreira atende as necessidades de 34 cidades da região e tem possibilidades de ampliar a sua produção.



Foto 7.1 – Aspecto da frente de lavra da pedreira em Sertânia

8 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos geológicos e geotécnicos realizados permitiram investigar com bom grau de detalhamento as condições de fundação e de escavação das obras do Eixo Leste e a disponibilidade e características dos materiais naturais de construção.

No caso das escavações dos canais ao longo do traçado do Eixo Leste foi determinada a espessura média dos materiais de escavação para os tipos principais de rocha, tendo sido observadas espessuras maiores de material de 1^a e de 2^a categoria nas rochas sedimentares no trecho entre o reservatório de Itaparica e a estação elevatória EBV-3, do que nos trechos de rochas cristalinas.

Algumas áreas do embasamento cristalino, como entre as estacas 144+100 e 147+100, indicaram grandes espessuras de materiais de 1.^a e 2.^a categoria, associadas às rochas mais



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

biotíticas. Outras vezes, grandes espessuras em rochas cristalinas foram observadas localmente, como na sondagem SR 62 da EBV-4, associada à uma faixa paralela à foliação, verificada através das sondagens SR 62 A e SR 62 B, inclinadas. Ressalte-se porém que os maciços rochosos cristalinos apresentam-se, em alguns trechos, muito fraturados até 10 m de profundidade, na condição de rocha alterada dura, que poderá ser escarificável, sendo no projeto considerado como material de 3ª categoria.

Com relação aos canais em aterros, as fundações foram investigadas por sondagens a percussão que se mostraram pouco eficientes, seja em razão dos solos ressecados e endurecidos, seja pelas pequenas espessuras. Entretanto, observou-se que, em geral, os solos fofos de origem coluvionar, a serem removidos, são pouco espessos, da ordem de 1 m, enquanto que os solos subjacentes, são compactos, inclusive os aluviões, conforme detectado nas barragens Cacimba Nova e Moxotó.

Os locais das estações elevatórias apresentam boas condições de fundação no âmbito das rochas cristalinas, ficando as estruturas em rochas sãs e pouco a ocasionalmente fraturadas, como ocorre com as EBV's 2, 4, 5 e 6. As estações elevatórias EBV-1 e EBV-3 ficarão fundadas em rochas sedimentares muito compactas com capacidade de suporte adequada para a casa de bomba, apesar das características geomecânicas inferiores em relação às rochas cristalinas. A fundação da EBV-1 é constituída por conglomerado polimítico, compacto, porém friável. A fundação da EBV-3 é constituída por argilito/siltito com laminação sub-horizontal, compacto e duro, entretanto, expansivo, tendo os ensaios de pressão de expansão indicado resultados muito discrepantes, variando desde 287 a 1710 kPa, o que faz recomendar que novos ensaios sejam executados para a determinação correta desses valores. Nos ensaios de difração por raios X, a argila foi identificada como esmectita do grupo da montmorilonita, portanto com características expansivas.

No estudo das barragens, as condições de fundação observadas aliadas a disponibilidade de materiais naturais de construção permitiram definir as seções de barragem, carecendo, entretanto, de um maior detalhamento para o projeto de tratamento de fundações, o que deverá ser executado por ocasião do Projeto Executivo.

Com relação aos aquedutos, as investigações permitiram definir as condições gerais de fundação e, conseqüentemente, os tipos de fundação, devendo no Projeto Executivo serem executadas sondagens nos locais exatos das fundações dos pilares para a determinação correta das profundidades de escavação.

O Túnel Monteiro teve o seu maciço rochoso adequadamente investigado para o Projeto Básico, exceto com relação ao trecho de maior cobertura, constituído por migmatitos, no qual foi realizado apenas o levantamento sísmico. É de se esperar que não deva ocorrer nenhuma surpresa nesse trecho, dada as excelentes características geomecânicas dessa rocha e onde não foi identificado nenhum indício de lineamentos e/ou falhamentos que possam afetar as suas condições de estabilidade.

As investigações realizadas para a pesquisa de materiais naturais de construção mostraram não haver maiores problemas com relação a disponibilidade e características dos mesmos para atender as obras do Eixo Leste e, mais especificamente, para a construção das barragens.



9 . ANÁLISE DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO

9.1 Ensaio Realizados

Foram programados e realizados ensaios geotécnicos de laboratório com finalidade de proceder à caracterização dos materiais e obtenção das características de permeabilidade, resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo e fundação das barragens e canais, bem como das jazidas de areia das barragens, que serão construídas no trecho V da Transposição de Águas do Rio São Francisco. Foram também realizados ensaios de expansão visando a obtenção da deformação e pressão de expansão em amostras da EBV-3.

Nos materiais de empréstimo de solo argiloso foram realizados ensaios de caracterização (granulometria por peneiramento e sedimentação, limites de Atterberg e densidade real dos grãos), compactação e determinação da umidade natural em amostras deformadas.

Os ensaios de caracterização e compactação foram realizados de acordo com as seguintes Normas da ABNT:

- Determinação da Massa Específica dos Grãos - NBR 6508
- Limite de Liquidez - NBR 6459
- Limite de Plasticidade - NBR 7180
- Análise Granulométrica - NBR 7181
- Ensaio de Compactação - NBR 7182

Foram realizados ensaios de permeabilidade em permeâmetro de carga variável e ensaios triaxiais rápidos saturados por contrapressão em corpos de prova moldados com grau de compactação de 95% e umidade ótima do ensaio de compactação Proctor Normal visando a obtenção de parâmetros para realização das análises de percolação e estabilidade das barragens.

Nas Especificações de compactação das barragens o grau de compactação médio solicitado é de 98%, sendo tolerado 2% dos valores inferiores a 95%. Assim, os ensaios foram realizados com corpos de prova moldados junto ao limite inferior admissível para obtenção de parâmetros a favor de segurança.

Na fundação das barragens foram coletados blocos indeformados para a talhagem de corpos de prova para realização de ensaios de permeabilidade em permeâmetro de carga variável, e triaxiais adensados rápidos saturados para obtenção dos parâmetros de permeabilidade e resistência dos solos da fundação.

Os ensaios triaxiais foram realizados com pressões confinantes de 0,5, 1,0 e 2,0 kgf/cm².

Os materiais coletados nas jazidas de areia foram submetidos a análise granulométrica por peneiramento, densidade máxima e mínima e ensaio de permeabilidade a carga constante.

Os ensaios de expansão foram realizados a volume constante e volume variável em testemunhos de sondagem e em bloco indeformado coletado na EBV-3.

Na tabela I, anexa, são resumidos os resultados obtidos dos ensaios geotécnicos realizados em amostras deformadas dos materiais de empréstimo e em amostras indeformadas da fundação das barragens.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Na tabela II, anexa, são resumidos os resultados de ensaios geotécnicos realizados em amostras deformadas coletadas nas jazidas de areia.

Na tabela III, anexa, são resumidos os resultados de ensaios de expansão realizados em amostras indeformadas (testemunhos e blocos indeformados), coletados na EBV-3.

9.2 Áreas de Empréstimo de Solo e Fundação das Barragens

9.2.1 Barragem Areias

9.2.1.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média foi de 3,19% com desvio padrão de 1,93%.

Foram ensaiadas quatro amostras, sendo uma classificada como colúvio, duas como solo de alteração de granito, e uma como solo de alteração de argilito, sendo que a fração granulométrica predominante é areia com porcentagem de 40 a 79% com exceção da amostra indeformada de solo de alteração de argilito que apresenta fração predominantemente argilosa (43%).

O Índice de Plasticidade foi de 5 a 32% e o Limite de Liquidez de 16 a 59%, sendo os materiais classificados como CL e CH na classificação de Casagrande.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima de 8,4 e 13,3%, situadas abaixo do Limite de Plasticidade, e a densidade seca máxima foi de 1,839 e 1,979 g/cm³.

Em função dos resultados obtidos estima-se a adição em média de cerca de 147 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

A amostra moldada com GC=95% e h=hot apresentou permeabilidade de $2,8 \times 10^{-8}$ cm/s, coesão efetiva de 0,13 kgf/cm² e 23° de ângulo de atrito efetivo.

9.2.1.2 Fundação

Foram ensaiadas duas amostras indeformadas da fundação, sendo uma de argilito siltito (PIA- 04, 1,5 a 1,80 m de profundidade) e outra de solo de alteração de granito (PIA - 02, 0,60 a 1,00 m de profundidade).

Os valores de permeabilidade obtidos foram de $2,1 \times 10^{-7}$ cm/s para o solo de alteração de argilito e $1,7 \times 10^{-7}$ cm/s para o solo de alteração de granito, enquanto que os parâmetros de resistência foram $c'=0,15$ kgf/cm² e $\phi'=23^\circ$ e $c'=0$ e $\phi'=54^\circ$, respectivamente.

9.2.1.3 Parâmetros do Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
 $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Aluvião $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade média ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.2 Barragem Braúnas

9.2.2.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média foi de 5,37% com desvio padrão de 2,29%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização duas amostras da área de empréstimo, ambas classificadas como colúvio com fração granulométrica predominante de areia com porcentagem de 50 e 56%. A amostra indeformada da fundação apresentou 67% de areia.

O Índice de Plasticidade foi de 11 a 27% e o Limite de Liquidez de 25 a 53%, sendo material classificado como CL e CH na classificação de Casagrande.

O ensaio de compactação apresentou umidade ótima de 10,50 e 16,0%, situadas abaixo de Limite de Plasticidade e densidade seca máxima de 1,960 e 1,732 g/cm³.

Estima-se a adição em média de cerca de 147 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação sem considerar as perdas por evaporação.

A amostra moldada com GC=95% e h=hot apresentou permeabilidade de $2,4 \times 10^{-7}$ cm/s, coesão efetiva de 0,23 kgf/cm² e ângulo de atrito de 32°.

9.2.2.2 Fundação

Foi ensaiado um bloco indeformado da fundação de solo de alteração de migmatito obtendo-se permeabilidade de $3,7 \times 10^{-6}$ cm/s, coesão efetiva de 0 e ângulo de atrito de 33°.

9.2.2.3 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado $c' = 0,0, 0,1$ e $0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 20^\circ$
 $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade média ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.2.3 Barragem Mandantes

9.2.4 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média foi de 4,04% com desvio padrão de 2,93%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização 2 amostras de colúvio, 3 amostras de aluvião e 3 amostras de solo de alteração.

A fração granulométrica predominante é areia com porcentagem variando de 58% a 79% com exceção da amostra do PI - 03 prof. de 0,0-1,67 m, cuja fração predominante é pedregulho (50%).

O Índice de Plasticidade variou de não plástico a 22% e o Limite de Liquidez variou de não líquido a 36%, sendo os materiais classificados com CL na classificação de Casagrande.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima variando de 9,2 a 14,8%, valores estes situados abaixo do Limite de Plasticidade e a densidade seca máxima variou de 1,808 a 2,031 g/cm³.

Estima-se a adição em média de cerca de 150 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Foram realizados ensaios de permeabilidade e triaxiais com corpos de prova moldados com GC=95% e h=hot em três amostras da área de empréstimo, sendo uma solo de alteração, outra de aluvião e outra de colúvio.

Os ensaios de permeabilidade indicaram valores de $1,8 \times 10^{-8}$ a $2,6 \times 10^{-7}$ cm/s, a coesão efetiva variou de 0,0 a 0,27 kgf/cm² e o ângulo de atrito efetivo variou de 25 a 34°.

9.2.4.1 Fundação

Foi ensaiado um bloco indeformado da fundação constituído por solo de alteração tendo-se obtido permeabilidade de $7,9 \times 10^{-8}$ cm/s e coesão efetiva de 0,33 kgf/cm² e ângulo de atrito de 25°.

9.2.4.2 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Colúvio $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,20$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.2.5 Barragem Salgueiro

9.2.5.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 4,35% com desvio padrão de 1,44%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização 13 amostras, sendo 6 de colúvio, 4 de solo de alteração de granito gnaisse, 1 de solo de alteração de conglomerado, 1 amostra de solo de alteração de argilito e 1 amostra de aluvião. A fração granulométrica predominante é areia variando de 38 a 82%, constando-se a fração pedregulho em todas as amostras com teor variando de 7 a 38%. Somente na amostra de solo de alteração de argilito (PIS, prof. 0,0-0,3) a fração pedregulho não foi encontrada e a fração granulométrica predominante é silte (47%).

Os ensaios de compactação mostraram umidade ótima variando de 8 a 14,1% e densidades secas variando de 1,744 a 2,085 g/cm³.

Estima-se a adição em média de cerca de 141 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar perdas por evaporação.

A amostra moldada com GC = 95% e h=hot de solo de alteração de granito apresentou permeabilidade de $1,1 \times 10^{-6}$ cm/s, coesão efetiva de 0,12 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 33°.

9.2.5.2 Fundação

Não foi ensaiado bloco indeformado da fundação uma vez que a amostra coletada era muito dura impossibilitando a talhagem dos corpos de prova.

9.2.5.3 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Colúvio $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,20$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.6 Barragem do Muquém

9.2.6.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 3,10% com desvio padrão de 2,07%.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Foram submetidas a ensaios de caracterização 3 amostras de colúvio e 3 amostras de solo de alteração, sendo que a fração granulométrica predominante é a areia com porcentagem variando de 43 a 70%.

O Índice de Plasticidade variou de 8 a 18% e o Limite de Liquidez variou de 21 a 49%, sendo os materiais classificados como CL e ML na classificação de Casagrande.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima variando de 9,2 a 15,9%, valores estes abaixo do Limite de Plasticidade e densidade seca máxima variando de 1,698 a 2,035 g/cm³.

Estima-se a adição em média de cerca de 165 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar perdas por evaporação.

O ensaio com corpo de prova moldado com GC=95% e h=hot apresentou permeabilidade de $7,2 \times 10^{-8}$ cm/s, coesão efetiva de 0,05 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 28°.

9.2.6.2 Fundação

Foi ensaiado um bloco indeformado de solo alteração da fundação tendo-se obtido permeabilidade de $3,1 \times 10^{-7}$ cm/s, coesão efetiva de 0,25 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 25°.

9.2.6.3 Parâmetros do Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Colúvio $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,20$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.7 Dique Cacimba Nova

9.2.7.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 6,27% com desvio padrão de 4,42%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização 2 amostras de colúvio, 2 de solo de alteração e 2 de aluvião, sendo que a fração granulométrica predominante é a areia com porcentagem variando de 41 a 60%. O material foi classificado como CL na classificação unificada de Casagrande.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima variando de 10,9 a 15,7% e densidade seca máxima variando de 1,736 a 1,939 g/cm³.



Estima-se a adição em média de 138 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para a correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar perdas por evaporação.

Foram ensaiadas 2 amostras com corpos de prova moldados com GC=95% e h=hot, sendo uma de solo de alteração de gnaiss e outra de aluvião. A amostra de solo de alteração apresentou permeabilidade de $1,1 \times 10^{-7}$ cm/s, coesão efetiva nula e ângulo de atrito de 30° . A amostra de aluvião apresentou permeabilidade de $1,3 \times 10^{-8}$ cm/s, coesão efetiva de 0,09 kgf/cm² e ângulo de atrito de 25° .

9.2.7.2 Fundação

Foram ensaiados dois blocos indeformados de material da fundação, sendo um de solo de alteração de gnaiss (PI CN-05 de 0,70-1,10m) e outro de aluvião (PI CN-06 de 0,60-1,0m). O solo de alteração apresentou permeabilidade de $3,5 \times 10^{-7}$ cm/s e o resultado dos ensaios triaxiais indicaram coesão efetiva de 0,32 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 22° . O aluvião apresentou permeabilidade de $1,7 \times 10^{-5}$ cm/s e o resultado dos ensaios triaxiais mostraram coesão efetiva de 0,19 kgf/cm² e ângulo de atrito de 18° .

9.2.7.3 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Aluvião $c' = 0,15$ kgf/cm² e $\phi' = 19^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.8 Barragem de Bagres

9.2.8.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 6,47% com desvio padrão de 5,36%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização duas amostras de solo de alteração, uma de colúvio e outra de aluvião. A fração granulométrica predominante é a areia com porcentagem variando a 42% a 66%, com exceção da amostra de aluvião (67% de argila), sendo os materiais classificados como CL (2 amostras) e CH (2 amostras) pela classificação de Casagrande.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima variando de 12,5 a 24,4% e densidade seca máxima de 1,474 a 1,853 g/cm³. O solo aluvionar (porcentagem de argila de 67%, LL=64%, umidade ótima de 24,4% e densidade seca máxima 1,474 g/cm³) pode apresentar dificuldade no manuseio para compactação devido a alta plasticidade, baixa umidade natural e elevada umidade ótima, sendo assim, preterido como material de empréstimo.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Estima-se a adição em média de cerca de 156 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Foi ensaiada uma amostra de solo de alteração com corpos de prova moldados em laboratório com GC=95% e h= hot. A permeabilidade obtida foi de $1,3 \times 10^{-8}$ cm/s e o resultado dos ensaios triaxiais mostraram coesão efetiva nula e ângulo de atrito de 32°.

9.2.8.2 Fundação

Foi ensaiada uma amostra indeformada de solo de alteração da fundação que apresentou permeabilidade de $6,2 \times 10^{-8}$ cm/s. Os ensaios triaxiais apresentaram coesão efetiva de 0,11 kgf/cm² e ângulo de atrito de efetivo 24°.

9.2.8.3 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Colúvio $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,20$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.9 Barragem de Copiti

9.2.9.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média foi de 3,25% com desvio padrão de 2,12%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização 3 amostras de solo de alteração e duas amostras de solo aluvionar. A fração granulométrica predominante é areia com porcentagem variando de 45% a 63%, com exceção da amostra indeformada da fundação que apresentou pedregulho como fração granulométrica predominante com porcentagem de 50%.

O material foi classificado como CL na classificação de Casagrande, sendo que uma das amostras de aluvião com 5% de argila mostrou-se não plástica.

Os ensaios de compactação apresentaram umidade ótima variando de 6,7% a 12,5% e densidade seca máxima 1,901 a 2,114 g/cm³. Os valores elevados de densidade seca máxima estão associados aos valores baixos de umidade ótima, que por sua vez, estão relacionados aos solos mais arenosos com baixas porcentagens de argila.

Estima-se a adição em média de cerca de 124 l de água por metro cúbico de aterro compactado para correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Foi ensaiada uma amostra de solo de alteração com corpos de prova moldados em laboratório com grau de compactação de 95% e umidade ótima de compactação. A permeabilidade obtida foi de $1,4 \times 10^{-8}$ cm/s e o resultado dos ensaios triaxiais mostraram coesão efetiva nula e ângulo de atrito efetivo de 26° .

9.2.9.2 Parâmetros de Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
 $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- aluvião $c' = 0,05$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,20$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.10 Dique Moxotó

9.2.10.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 9,58% com desvio padrão de 3,08%.

Foram ensaiadas 2 amostras de solo coluvionar, 2 amostras de solo de alteração e uma amostra de aluvião. A fração granulométrica predominante é areia com porcentagens variando de 35% a 59%, a não ser no caso da amostra de aluvião cuja fração granulométrica predominante é silte com porcentagem de 45%.

Os materiais foram classificados como CL e CH na classificação de Casagrande.

O resultado dos ensaios de compactação mostrou umidade ótima variando de 13,2 a 18,4% e densidade seca máxima variando de 1,603 a 1,878 g/cm³. A umidade ótima obtida foi sempre abaixo do Limite de Plasticidade (LP).

Estima-se a adição em média de cerca de 102 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Foram ensaiados 2 amostras das áreas de empréstimo com corpos de prova moldados em laboratório com grau de compactação de 95% e umidade ótima de compactação, sendo uma de colúvio e a outra de solo de alteração. A amostra de colúvio (37% de argila) apresentou permeabilidade de $8,8 \times 10^{-8}$ cm/s, coesão efetiva de 0,19 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 20° . A amostra de solo de alteração (18% de argila) apresentou permeabilidade de $8,8 \times 10^{-8}$ cm/s, coesão efetiva de 0,13 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 24° .



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.2.10.2 Parâmetros do Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi' = 28^\circ$
- Aluvião $c' = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi' = 19^\circ$

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a $5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e $5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

9.2.11 Barragem Barreiro

9.2.11.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 4,61% com desvio padrão foi de 1,93%.

Foram ensaiadas 4 amostras, sendo 3 amostras de solo de alteração e 1 amostra de colúvio. A fração granulométrica predominante é areia com porcentagem variando de 49% a 62%. O bloco indeformado da fundação apresentou fração granulométrica predominantemente argilosa (50%).

Os materiais foram classificados como CL na classificação unificada de Casagrande, sendo uma amostra de solo de alteração classificada como CH (bloco indeformado da fundação).

O resultado dos ensaios de compactação mostrou umidade ótima variando de 10,6 a 13,3% e densidade seca máxima variando de 1,815 a 1,987 g/cm^3 . A umidade ótima obtida foi sempre abaixo do Limite de Plasticidade (LP).

Estima-se a adição em média de cerca de 137 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Foi ensaiada uma amostra de solo de alteração da área de empréstimo com corpos de prova moldados com grau de compactação de 95% e umidade ótima de compactação. Ensaio de permeabilidade com carga variável apresentou permeabilidade de $6,8 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$. Os ensaios triaxiais mostraram coesão efetiva de $0,17 \text{ kgf/cm}^2$ e ângulo de atrito efetivo de 32° .

9.2.11.2 Fundação

Foi ensaiada uma amostra indeformada de solo da fundação com porcentagem de argila elevada (50%), tendo-se obtido permeabilidade de $3,3 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$, coesão efetiva de $0,15 \text{ kgf/cm}^2$ e ângulo de atrito de 19° .

9.2.11.3 Parâmetros do Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi' = 28^\circ$
- Aluvião $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi' = 25^\circ$



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s
- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.2.12 Barragem de Campos

9.2.12.1 Área de Empréstimo de Solo

A umidade natural média obtida foi de 4,61% com desvio padrão de 1,93%.

Foram submetidas a ensaios de caracterização 5 amostras, sendo uma de colúvio de 4 de solo de alteração. A fração granulométrica predominante é a areia com porcentagem variando de 52 a 74%, sendo que uma amostra apresenta a fração predominantemente argilosa (44%).

Três amostras foram classificadas como CL e a amostra de solo de alteração mais argilosa foi classificada como CH na classificação de Casagrande.

O resultado dos ensaios de compactação mostrou umidade ótima variando de 10,6 a 17,5% e densidade seca máxima variando de 1,688 a 1,975 g/cm³. A umidade ótima obtida foi sempre inferior ao Limite de Plasticidade (LP).

Estima-se a adição em média de cerca de 153 litros de água por metro cúbico de aterro compactado para correção da umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Foi ensaiada uma amostra de solo de alteração da área de empréstimo com corpos de prova moldados com grau de compactação de 95% e umidade ótima. Ensaio de permeabilidade com carga variável apresentou permeabilidade de $3,3 \times 10^{-7}$ cm/s. Os ensaios triaxiais apresentaram coesão efetiva de 0,6 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 24°.

9.2.12.2 Fundação

Foi coletada uma amostra indeformada do solo de alteração da fundação que apresentou permeabilidade de $1,8 \times 10^{-8}$ cm/s. Os ensaios triaxiais apresentaram coesão efetiva de 0,11 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 29°.

9.2.12.3 Parâmetros do Projeto

Nas análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado $c' = 0,0$ e $0,1$ kgf/cm² e $\phi' = 28^\circ$
- Solo de alteração $c' = 0,2$ kgf/cm² e $\phi' = 25^\circ$ e 28°

Nas análises de percolação foram adotados os seguintes parâmetros:

- Maciço compactado 10^{-6} a 5×10^{-5} cm/s
- Filtros vertical e horizontal de areia 10^{-2} e 10^{-3} cm/s



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Filtro sanduíche $1,7 \times 10^{-1}$ cm/s (permeabilidade ponderada)
- Aluvião da fundação 10^{-6} e 10^{-5} cm/s
- Solo de alteração 5×10^{-6} e 5×10^{-5} cm/s

9.3 Jazidas de Areia

Nas jazidas de areia foram coletadas amostras que foram submetidas a análise granulométrica por peneiramento densidade máxima e mínima e permeabilidade com carga constante.

As análises granulométricas mostraram que as frações granulométricas predominantes são areia grossa e média. Nas amostras coletadas no riacho Copiti a fração granulométrica predominante é areia grossa, enquanto que nos riachos Mandantes e Muquém a fração predominante é areia média.

Nas amostras coletadas constatou-se a presença da fração pedregulho com teor mais significativo ocorrendo nas duas amostras da jazida riacho do Sal (45 e 54%).

A porcentagem que passa na peneira 200 e que indica a porcentagem de finos silto-argilosos em geral foi de 0 a 2%, com exceção de uma amostra do riacho Copiti e outra do riacho Salgado que apresentaram valores de 4 e 8% respectivamente.

A densidade máxima variou de 1,709 a 1,926 g/cm³ e a densidade mínima variou de 1,418 a 1,526 g/cm³. A amostra que apresentou os valores mais elevados tanto de densidade máxima como de densidade mínima é bem graduada com 42% de pedregulho, enquanto que a amostra que apresentou os valores mais baixos é uniforme com 62% de areia grossa.

Os ensaios de permeabilidade a carga constante realizados em corpos de prova moldados com densidade relativa de 50% mostraram coeficiente de permeabilidade variando de 1,4 a $1,7 \times 10^{-2}$ cm/s, verificando-se uma tendência de acréscimo da permeabilidade com o diâmetro D10 da amostra.

9.4 Ensaios de Expansão

Para determinação das pressões e deformações de expansão foram realizados dois tipos de ensaio a volume constante e volume variável.

O ensaio a volume constante consiste em inundar o corpo de prova e aplicar simultaneamente o carregamento, impedindo a expansão e mantendo-o com a mesma altura inicial.

O ensaio a volume variável consiste em aplicar uma baixa pressão sobre o corpo de prova, aguardar a estabilização das deformações, após o que é feita a inundação deste. As deformações decorrentes da expansão são observadas até sua estabiliza o. A partir daí   feito o carregamento do corpo de prova até uma pressão tal que o c.p. retorne a altura inicial, antes da inunda o, sendo esta por defini o a pressão de expansão. A partir daí, o carregamento prosseguiu em estágios, efetuando-se posteriormente o descarregamento do corpo de prova.

O ensaio realizado desta forma atende às recomenda es do Método A da ASTM D4546-90 "Standard Methods for One Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils".

Foram realizados 4 ensaios a volume constante com corpos de prova talhados a partir de testemunhos das sondagens SR-37, SR-39 e SRC-01. Três ensaios apresentaram valores da



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

pressão da expansão de 1,55 a 2,87 kgf/cm², sendo que um ensaio apresentou um resultado com ordem de grandeza discrepante em relação aos demais, com valor de 17,10 kgf/cm².

Foram realizados 2 ensaios a volume variável em corpos de prova obtidos a partir de testemunhos de sondagem e 2 ensaios em corpos de prova talhados a partir de amostra indeformada de solo da EBV-3. As deformações provocadas pela inundação foram baixas variando de 0,06 a 0,85% e as pressões de expansão também foram baixas variando de 0,08 a 0,50 kgf/cm².

9.5 Conclusões

9.5.1 Solos das Área de Empréstimo

Os materiais das áreas de empréstimo de solos para construção das barragens e aterros dos canais e elevatórias são predominantemente arenosos.

Não foi possível estabelecer uma correlação entre a origem geológica e as características granulométricas e de plasticidade dos materiais, sendo que as amostras mais argilosas ensaiadas em geral, referem-se ao material aluvionar.

Na Carta de Plasticidade as amostras situaram-se sempre acima da linha A sendo classificadas como CL e CH, com predominância significativa de amostras CL.

A umidade natural obtida foi sempre abaixo da umidade ótima de compactação, coerente com o clima semi-árido local, indicando que haverá necessidade de proceder à correção da umidade natural para efetuar a compactação nas faixas especificadas.

Como média geral para as várias barragens, será necessário adicionar 142 l de água por metro cúbico de aterro compactado para correção de umidade natural do solo até as condições ótimas de compactação, sem considerar as perdas por evaporação.

Os ensaios de compactação mostraram em geral densidades secas elevadas e umidades ótimas baixas, valores coerentes com as características arenosas dos materiais. As condições ótimas da curva de compactação situaram-se entre a curva correspondente ao grau de saturação de 80% e a curva de Kuczinski.

As características granulométricas, de plasticidade e compactação, indicaram um material de fácil trabalhabilidade e manuseio ao ser compactado. Os problemas referem-se à correção da umidade e homogeneização do material previamente à compactação.

A metodologia para correção e homogeneização da umidade será testada em aterros experimentais, podendo ser utilizada dentre outras, as seguintes alternativas:

- correção em praças de tratamento ou na praça de compactação utilizando-se carros-pipa munidos de aspersores com homogeneização feita com grade de disco pesada ou escarificadores de motoniveladoras;
- irrigação por aspersão do material solto, previamente escavado e depositado em praças de tratamento;
- construção de diques e inundação das áreas de empréstimo, determinando-se a profundidade e variação da umidade com o tempo de inundação.

Os ensaios de permeabilidade realizados em corpos de prova moldados mostraram coeficientes de permeabilidade baixos indicando que os materiais são adequados para utilização no maciço impermeável das barragens.

Os ensaios triaxiais realizados em corpos de prova moldados mostraram em geral um desenvolvimento de pressões neutras positivas com o carregamento axial, sendo exceção os



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

corpos de prova das barragens Braúnas e Barreiros ($\sigma_3=0,5$ kgf/cm²), Salgueiro ($\sigma_3=0,5$ e 1,0 kgf/cm²) e Moxotó (amostra ST4+24+25, $\sigma_3=0,5, 1,0$ e 2,0 kgf/cm²). Este aspecto caracteriza um comportamento de areia fofa ou argila normalmente adensada, não usual para um material compactado.

A análise das curvas tensão x deformação e pressão neutra x deformação, mostra que uma vez alcançada a máxima tensão desviatória, ou máxima pressão neutra, estas se mantêm em nível praticamente constante por uma gama extensa de deformações específicas.

P.T. da Cruz no livro 100 Barragens Brasileiras classificou o comportamento quanto à resistência ao cisalhamento de vários solos de empréstimo compactados de barragens brasileiras submetidos a ensaios triaxiais (tipos I a VI).

Os solos do trecho V do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco se enquadram melhor no comportamento do tipo V bastante característico dos solos naturais pré-adensados saturados ou quase saturados, ou ainda compactados com umidade acima da umidade ótima. Este comportamento, embora menos favorável, ainda pode ser considerado bom.

Na bibliografia citada (pag.211) é mencionada uma provável causa para este comportamento não tão favorável, que pode se aplicar aos solos locais.

"Quando a densidade "in situ" inicial é elevada, e a compactação de campo se dá em níveis inferiores de densidade, o solo compactado resulta, em muitos casos, num aglomerado de torrões mais densos entremeados de solo solto".

Desta forma, o desenvolvimento de pressões neutras relativamente elevado para o baixo nível de pressões confinantes estaria associado ao solo solto e mais úmido que envolveria os torrões secos e mais densos e acabaria governando a resistência ao cisalhamento do solo. A densidade "in situ" dos solos de empréstimo é aproximadamente igual à densidade seca máxima do ensaio de compactação Proctor Normal e os corpos de prova foram compactados com GC=95%, portanto com densidade inferior à densidade "in situ". Assim, a hipótese acima se aplica bem às condições dos solos locais.

9.5.2 Solos da Fundação

Os ensaios de permeabilidade realizados em c.p.s talhados a partir das amostras indeformadas apresentaram coeficientes de permeabilidade baixos, sempre inferiores aos admitidos nas análises de percolação.

Os ensaios triaxiais da fundação mostraram 3 tipos de comportamento.

O primeiro refere-se a materiais de elevada densidade natural (2,28 g/cm³) com características de rocha alterada mole resistência ao cisalhamento elevada e desenvolvimento de pressões neutras negativas na ruptura como obtido na amostra do PIA-2 da barragem Areias.

O segundo refere-se a um comportamento intermediário com desenvolvimento de pressões neutras na ruptura ora positivo, ora negativo, e resistência intermediária (c' de 0,0 a 0,25 kgf/cm² e ϕ' de 23° a 33°).

O terceiro caracteriza um comportamento normalmente adensado com elevado desenvolvimento de pressão neutra na ruptura e baixa resistência ao cisalhamento como a amostra do solo aluvionar PICN-6 do dique de Cacimba Nova, e amostra de solo de alteração muito argilosa (50%) PIBR-1 da barragem Barreiros que mostraram coesão efetiva de 0,15 e 0,19 kgf/cm² e ângulo de atrito efetivo de 19 e 18° respectivamente.



9.5.3 Areias

Todas as amostras de areia ensaiadas apresentaram-se adequadas para utilização como material de filtro e transição, tanto no que se refere a granulometria quanto à permeabilidade. A única ressalva foi a amostra Riacho Salgado 2, cujo ensaio de granulometria mostrou porcentagem de 8% passando na peneira 200, sendo que o máximo admissível é de 5%.

9.5.4 Expansibilidade

Os ensaios de expansão realizados apresentaram em geral baixas deformações de expansão e pressões de expansão moderadas (0,08 a 2,87 kgf/cm²) com exceção da amostra EBV-3, SR-37 que apresentou pressão de expansão de 17,1 kgf/cm². O material possui indiscutivelmente caráter expansivo uma vez que apresentou 93% dos argilo-minerais pertencentes ao grupo das esmectitas, sendo discutível o valor elevado da pressão de expansão encontrada, conforme justificativa a seguir.

Valores desta magnitude da pressão de expansão não foram encontrados nos solos expansivos do Brasil como os massapês do Recôncavo Bahiano e solos de argilito-siltito do Reassentamento da Borda do Lago de Itaparica. Aí o valor máximo encontrado foi de 5,5 kgf/cm² conforme o trabalho "Expansive Soils in Brasil" de Milton Vargas e outros publicado no volume "Supplementary Contributions" do XII ICSMFE, Rio de Janeiro 1989.

Neste trabalho é apresentada uma correlação da pressão de expansão com densidade seca do material para os solos expansivos de Itaparica segundo a equação abaixo:

$$pe = (124 \gamma_s - 1810) \pm 93$$

pe = pressão de expansão (kPa)

γ_s = densidade seca do material (kN/m³)

Extrapolando a equação para a amostra da EBV-3 com $\gamma_s = 22,27$ kN/m³ resulta o limite superior de $pe = 1044$ kPa ou 10,44 kgf/cm², ainda bem inferior ao valor 17,10 kgf/cm² encontrado.

Na SR-37 executada no local da EBV-3 foram detectadas intercalações de folhelho (argilito) de 28,45 a 29,95 m e de 32,00 a 32,65 m no maciço de conglomerado.

A cota da fundação da EB encontra-se a 29,00 m de profundidade, desta forma cerca de 1,00 m de material expansivo permanecerá abaixo da cota de fundação.

Este material por se encontrar abaixo do lençol freático sofrerá expansão logo após o alívio das tensões decorrentes da escavação, que provocará redução da densidade, decréscimo da resistência e acréscimo na compressibilidade do material. Este fenômeno será mais intenso junto à superfície de escavação, sendo atenuado com o aumento da profundidade.

Dependendo das condições do material após a escavação será feita remoção parcial e, na pior das hipóteses, remoção integral e sua substituição por concreto simples ou poroso ou ainda material granular compactado.

Eventuais intercalações do argilito acima da cota de escavação, especialmente aquelas situadas abaixo do lençol freático poderão condicionar a estabilidade dos taludes dependendo dos parâmetros de resistência dos plano de fraqueza, associados à laminação horizontal do folhelho/argilito.

Recomenda-se proceder à amostragem complementar dos folhelhos/argilitos, se possível através de blocos indeformados, para realização de ensaios de expansão e resistência ao



cisalhamento dos planos de laminação que poderão condicionar a estabilidade dos taludes de escavação e condições da fundação da Estação de Bombeamento.

9.6 Tabelas

Tabela I - Amostras de Solo das Áreas de Empréstimo e Fundação

Tabela II - Amostra de Areia

Tabela III - Ensaio de Expansão



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I - BARRAGEM AREIAS

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF. (m)	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL) (%)	LIMITE PLASTICIDADE (LP) (%)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE (cm/s)	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENS. SECA MAX (g/cm³)		UMIDADE NATURAL (%) *	DENSIDADE NATURAL (g/cm³) *	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO (°)	
AREIAS	ST-3	0,0-0,32		6,50															
	ST-15	0,0-0,50		6,10															
	ST-23	0,0-0,50		1,60															
	ST-23	0,50-1,0		1,70															
	ST-23	1,0-1,50		1,90															
	ST-23	1,50-2,0		1,90															
	ST-23	2,0-2,30		2,40															
	ST-39	0,0-0,50		2,90															
	ST-39	0,50-1,05		7,00															
	ST-43	0,0-0,50		3,20															
	ST-43	0,50-1,0		3,90															
	ST-43	1,0-1,50		2,60															
	ST-43	1,50-2,0		2,00															
	ST-43	2,0-2,50		6,30															
	ST-52	0,0-0,50		1,20															
	ST-52	0,50-1,0		1,60															
	ST-52	1,0-1,50		1,70															
	ST-52	1,50-2,0		2,90															
	ST-22+33+34+40		CO		5	16	11	13	7	79	1	8,4	1,979						
	ST-42+43+44+49+50		SA-GR		31	53	22	37	18	40	5	13,4	1,840	2,8.10 ⁻⁸	13,5	1,981	0,13	23	
	PIA-04	1,5-1,8	SA-ARG		32	59	27	43	29	28	-			2,1.10 ⁻⁷	12,4	1,985	0,15	23	
	PIA-02	0,60-1,00	SA-GR		9	25	16	2	14	49	35			1,7.10 ⁻⁷	3,4	2,285	0	54°	

Ensaios com c.p.s moldados com GC=95% **AL-aluvião**
 h=hot **COL-colúvio**
 Amostra indeformada da fundação **SA-solo de alteração**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I - BARRAGEM BRAÚNAS

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF. (m)	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL(%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL) (%)	LIMITE PLASTICIDADE (LP) (%)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE (cm/s)	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENS. SECA MAX. (g/cm³)		UMIDADE NATURAL (%) *	DENSIDADE NATURAL (g/cm³) *	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO (°)	
BRAÚNAS	ST-7	0,0-0,50		5,2															
	ST-10	0,0-0,53		8,8															
	ST-21	0,0-0,52		5,7															
	ST-23	0,0-0,50		6,7															
	ST-27	0,0-0,30		8,1															
	ST-32	0,0-0,23		2,5															
	ST-32	0,23-0,30		3,1															
	ST-36	0,0-0,35		2,4															
	ST-48	0,0-0,50		7,0															
	ST-51	0,0-0,40		4,2															
	ST-33+34+42+48+49+54		CO		11	25	14	9	21	56	14	10,5	1,960	2,4.10 ⁻⁷	10,4	2,057	0,23	32	
	ST-39+45+46+51+52+57		CO		27	53	26	30	15	50	5	16,2	1,732						
	PIB-02	1,0-1,3	SA-MG		13	36	23	10	18	67	5			3,7.10 ⁻⁶	7,2	1,904	0	33	

	Ensaio com c.p.s moldados com GC=95%	AL-aluvião
	h=hot	COL-colúvio
	Amostra indeformada da fundação	SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I - BARRAGEM MANDANTES

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF. (m)	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP) %	LIMITE LIQUIDEZ (LL) (%)	LIMITE PLASTICIDADE (LP) (%)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE (cm/s)	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENS. SECA MAX. (g/cm³)		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO (°)	
MANDANTES	ST-11	0,0-0,50		2,10															
	ST-11	0,50-0,84		8,90															
	ST-12	0,0-0,50		1,00															
	ST-12	0,50-0,82		6,80															
	ST-28	0,0-0,50		0,70															
	ST-31	0,0-0,50		10,30															
	ST-31	0,50-1,0		2,70															
	ST-31	1,0-1,50		2,20															
	ST-38	0,0-0,50		1,60															
	ST-38	0,50-1,0		2,30															
	ST-38	1,0-1,52		2,00															
	ST-39	0,0-0,50		4,20															
	ST-45	0,0-0,50		6,50															
	ST-45	0,50-1,0		4,10															
	ST-45	1,0-1,5		5,20															
	PI-01	0,0-0,26	CO			NL	NP	5	10	79	6	9,9	1,903						
	PI-01	0,26-0,90	SA-ARN		17	36	19	19	19	59	3	14,8	1,808	1,8.10 ⁻⁸	15,5	1,986	0,10	26°	
	PIM-01	1,18-1,48	SA-ARN		19	36	17	24	13	61	2			7,9.10 ⁻⁸	7,9	2,008	0,33	25°	
	PI-03	0,0-1,67	AL		15	32	17	9	5	36	50	12,4	1,895	5,6.10 ⁻⁸	12	2,024	0,27	25°	
	ST-4+24+25		CO		10	24	14	13	8	72	7	9,2	2,031	2,6.10 ⁻⁷	9,2	2,112	0,00	34°	
	ST-16+26+43		AL		4	16	12	19	10	62	9	12,2	1,888						
	ST-40-44		AL		16	34	18	19	13	63	5	13,2	1,856						
	TRINCH MANDANTES		SA-CON		22	44	22	12	8	58	22								

Ensaios com c.p.s moldados com GC=95%
h=hot

Amostra indeformada da fundação

AL-aluvião
COL-colúvio
SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p

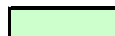


Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I - BARRAGEM SALGUEIRO

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF. (m)	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL) (%)	LIMITE PLASTICIDADE (LP) (%)	GRANULOMETRIA				CONPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE (cm/s)	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENS. SECA MAX. (g/cm³)		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO (°)	
SALGUEIRO	ST-1	0,15-0,65		7,20															
	ST-2	0,25-0,50		5,50															
	ST-2	0,50-1,0		2,80															
	ST-2	1,0-1,50		3,30															
	ST-3	0,3-0,50		6,80															
	ST-3	0,50-1,0		3,40															
	ST-4	0,0-0,33		3,90															
	ST-14	0,0-0,30		3,80															
	ST-40	0,0-0,50		3,30															
	ST-44	0,0-0,50		3,40															
	ST-44	0,50-1,0		4,00															
	ST-44	1,0-1,2		4,90															
	ST-2+8+9+12+13+20		CO		8	22	14	8	13	41	38	8,4	2,057						
	ST-1+10+11+15+20		CO		22	38	16	10	9	65	16	13,3	1,833						
	ST-2+3+6+8+10+11		AL		37	61	24	25	12	48	15	16	1,744						
	PI-02	0,0-0,33	CO		9	26	17	11	12	46	31	8,1	2,034						
	PI-02	0,33-1,50	SA-GR		16	40	24	13	13	47	27	10,5	1,969						
	TRINCHEIRA I	0,40-1,20	SA-GR		19	44	25	10	8	58	24	12,4	1,882	1,1.10 ⁻⁶	12,5	2,018	0,12	33°	
	TRINCH 1	1,20-1,65	SA-GR		16	33	17	10	6	82	2	14,1	1,779						
	TRINCH 2	0,15-0,80	CO		11	24	13	17	7	59	17	8,0	2,085						
	TRINCH 2	0,80-2,34	SA-CON		17	38	21	25	12	46	17	10,8	2,042						
	TRINCH 1	0,0-0,40	CO		19	43	24	22	8	57	13	13,9	1,823						
	TRINCH 1	1,65-2,3	SA-GR		17	37	20	8	17	68	7	13,3	1,878						
	PIS	0,0-0,3	SA-ARG		17	37	20	15	47	38									
	Eixo Barragem-Terraço Trincheira		CO		13	28	15	19	6	48	27								



Ensaio com c.p.s moldados com GC=95%

h=hot

AL-aluvião

COL-colúvio

SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I - BARRAGEM MUQUÉM

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF. (m)	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL) (%)	LIMITE PLASTICIDADE (LP) (%)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE (cm/s)	ENSAIOS TRIAXIAIS			
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENS. SECA MAX. (g/cm³)		UMIDADE NATURAL (%)	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO (°)
MUQUÉM	ST-6	0,00		4,90														
	ST-9	0,0-0,28		0,80														
	ST-9	0,28-0,52		0,50														
	ST-15	0,0-0,31		3,80														
	ST-18	0,0-0,50		0,70														
	ST-25	0,0-0,65		4,20														
	ST-29	0,0-0,58		7,50														
	ST-35	0,0-0,50		1,90														
	ST-35	0,50-1,0		2,50														
	ST-35	1,0-1,33		2,40														
	ST-39	0,0-0,50		3,30														
	ST-39	0,50-1,0		4,70														
	ST-21	0,0-0,55	SA-GN		18	45	27	30	20	47	3	15,9	1,698	7,2.10 ⁻⁸	16,0	1,874	0,05	28
	ST-44	1,0-1,30	CO		10	25	15	27	7	62	4	9,3	2,035					
	ST-35	0,0-1,05	CO		8	21	13	10	14	70	6	9,2	1,968					
	PI-03	1,0-2,0	SA-GN		18	49	31	14	16	57	13	14,2	1,838					
	PI-04	0,0-0,46	CO		12	33	21	15	12	43	30	10,6	1,912					
	PIMU-3	0,7-1,0	SA-GN		18	40	22	20	20	47	3			3,1.10 ⁻⁷	6,7	1,980	0,25	25°

Ensaios com c.p.s moldados com GC=95%

h=hot

AL-aluvião

COL-colúvio

Amostra indeformada da fundação

SA - solo de alteração

Valores médios dos c.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



TABELA I – DIQUE CACIMBA NOVA

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO	ÂNGULO DE ATRITO	
CACIMBA NOVA	ST-12	0,0-0,50		6,40															
	ST-12	0,50-1,0		9,80															
	ST-12	1,0-1,7		8,20															
	ST-13	0,0-0,50		9,40															
	ST-13	0,50-1,15		8,40															
	ST-32	0,0-0,50		8,40															
	ST-101	0,0-1,0		4,60															
	ST-101	1,0-2,0		4,50															
	ST-101	2,0-2,6		4,60															
	ST-104	0,0-1,0		2,80															
	ST-104	1,0-2,1		2,60															
	ST-114	0,0-0,55		1,60															
	ST-115	0,0-1,0		3,80															
	ST-115	1,0-2,0		3,60															
	ST-115	2,0-2,8		3,80															
	ST-122	0,0-1,0		2,70															
	ST-122	1,0-2,0		2,60															
	ST-122	2,0-3,0		2,80															
	ST-124	0,0-0,70		1,6															
	ST-131	0,0-1,0		0,8															
	ST-131	1,0-2,1		0,5															
	ST-132	0,0-0,1		10,3															
	ST-132	1,0-2,02		10,6															
	ST-6	0,0-1,0		9,8															
	ST-6	1,0-2,0		10,7															
	ST-6	2,0-3,0		20,6															
	ST-7	0,0-0,5		9,5															





Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – DIQUE CACIMBA NOVA

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO	
	ST-7	0,50-1,0		5,6															
	ST-17	0,0-0,5		3															
	ST-17	0,50-1,0		3															
	ST-18	0,0-0,5		12,6															
	ST-18	0,50-1,0		11,6															
	ST-4+5+6+8+13+14		SA-GN		23	49	26	25	29	41	5	15,7	1,736	1,1.10 ⁻⁷	15,7	1,906	0	30°	
	ST-6+9+12+15		CO		8	23	15	18	24	56	2	10,9	1,939						
	ST-7+10+13		CO		18	38	20	34	20	41	5	14,6	1,800						
	PI-02	0,0-1,0	AL		11	28	17	27	23	42	8	14,1	1,845	1,3.10 ⁻⁸	14,2	2,005	0,09	25°	
	PI CN-05	0,70-1,10	SA-GN		15	35	20	22	34	42	2			3,5.10 ⁻⁷	7,8	2,001	0,32	22°	
	PI CN-06	0,6-1,0	AL		12	27	15	20	18	60	2			1,7.10 ⁻⁵	3,7	1,713	0,19	18°	

	Ensaio com c.p.s moldadas com GC=95%	AL-aluvião
	h=hot	COL-colúvio
	Amostra indeformada da fundação	SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – BARRAGEM BAGRES

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUEDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO	
BAGRES	ST-13	0,0-0,50		4,00															
	ST-13	0,50-1,0		4,00															
	ST-15	0,0-0,50		6,40															
	ST-15	0,50-0,98		5,80															
	ST-29	0,0-0,60		3,30															
	ST-29	0,60-1,22		4,90															
	ST-30	0,0-0,65		3,90															
	ST-46	0,0-1,0		14,60															
	ST-46	1,0-2,0		17,80															
	ST-46	2,0-2,9		17,20															
	ST-55	0,0-0,8		4,20															
	ST-63	0,0-0,6		2,80															
	ST-63	0,60-1,20		2,80															
	ST-75	0,0-0,50		2,70															
	ST-75	0,50-1,0		2,70															
	ST-12+16+17+19+20+22+23		SA-MG		16	32	16	28	13	57	2	12,5	1,853	1,3.10 ⁻⁸	12,6	1,981	0	32	
	ST-40+41+44+54+55+56+60		CO		5	18	13	11	14	66	9	8,9	1,985						
	ST-46	0,00 a 2,80	AL		35	64	29	67	23	10	-	24,4	1,474						
	PI BA-01	0,3-0,70	SA-MG		30	51	21	37	16	42	5			6,2.10 ⁻⁸	8,2	1,976	0,11	24°	

Ensaio com c.p.s moldados com GC=95%

h=hot

AL-aluvião

COL-colúvio

Amostra indeformada da fundação

SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – BARRAGEM COPITI

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS			
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO
COPITI	ST-1	0,20-0,45		6,40														
	ST-3	0,15-1,75																
	ST-5	0,0-0,50		1,40														
	ST-5	0,50-1,0		1,60														
	ST-9	0,0-0,65		2,00														
	ST-11	0,0-0,50		1,80														
	ST-11	0,50-1,05		2,00														
	ST-14	0,0-0,70		2,60														
	ST-17	0,20-0,70		5,80														
	ST-17	0,70-1,20		6,90														
	ST-18	0,0-1,0		1,40														
	ST-18	1,0-2,0		2,20														
	ST-19+22+23+28+29		SA-GR		21	41	20	24	17	49	10	12,5	1,901	1,4.10 ⁻⁸	12,6	2,035	0	26°
	ST-19+20+21+22+23+24		AL			NL	NP	5	10	63	22	8,7	2,028					
	PI-06	0-0,60	AL		4	15	11	5	8	45	42	6,7	2,114					
	PI-06	0,60-0,96	SA-GR		10	24	14	13	12	50	25	9,8	1,981					
	PI CO-07	0,40-0,80	SA-GR		9	20	11	6	10	34	50							



Ensaio com c.p.s moldados com GC=95%

h=hot

AL-aluvião

COL-colúvio

SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p

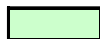


Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – DIQUE MOXOTÓ

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO	
MOXOTÓ	ST-12	0-1,7		8,20															
	ST-21	0-1,4		13,50															
	ST-8	0-0,7		6,40															
	ST-31	0,0-1,5		8,00															
	ST-46	0,0-2,3		15,50															
	ST-51	0,0-1,05		10,70															
	ST-63	0,0-0,9		4,70															
	ST-77	0,0-2,5		9,90															
	ST-83	0,0-2,3		8,60															
	ST-91	0,0-1,1		8,60															
	ST-113	0,0-1,7		11,30															
	ST-101+102		CO		27	50	23	37	13	45	5	13,2	1,878	8,8.10 ⁻⁸	13,0	2,019	0,19	20°	
	ST-116+117		CO		21	44	23	25	18	35	22	15	1,801						
	ST-25+27+114+115		SA-GN		30	57	27	37	20	37	6	17	1,717						
	ST-27+29+54+55		SA-GN		14	33	19	18	20	59	3	13,2	1,824	8,8.10 ⁻⁸	12,7	1,956	0,13	24°	
	ST-11+37+42		AL		27	53	26	39	45	16	-	18,4	1,603						



Ensaio com c.p.s moldadas com GC=95%

AL-aluvião

h=hot

COL-colúvio

* Valores médios dos c.p

SA-solo de alteração



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – BARRAGEM BARREIRO

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS				
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO	
BARREIRO	ST-2	0,0-0,50		5,20															
	ST-2	0,50-1,0		5,80															
	ST-6	0,0-0,50		6,90															
	ST-6	0,50-1,05		6,40															
	ST-19	0,0-0,50		2,80															
	ST-19	0,50-1,0		3,20															
	ST-19	1,0-1,95		3,40															
	ST-25	0,0-0,7		7,40															
	ST-38	0,0-0,80		2,40															
	ST-43	0,0-0,60		2,60															
	ST-1+2+10+11		CO		11	28	17	13	17	60	30	10,6	1,987						
	ST-16+45+46+48+49		SA-GN		12	31	19	11	14	62	13	11,4	1,938	6,8.10 ⁻⁸	11,5	2,056	0,17	32°	
	ST-18+20+21+22		SA-GN		15	38	23	22	16	49	13	13,3	1,815						
	PI BR-01	0,4-0,80	SA-GN		28	53	25	50	17	33				3,3.10 ⁻⁸	9,2	1,987	0,15	19°	

	Ensaios com c.p.s moldadas com GC=95%	AL-aluvião
	h=hot	COL-colúvio
	Amostra indeformada da fundação	SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I – BARRAGEM CAMPOS

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E FUNDAÇÃO

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE	ENSAIOS TRIAXIAIS			
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.		UMIDADE NATURAL (%)*	DENSIDADE NATURAL (g/cm³)*	COESÃO (kgf/cm²)	ÂNGULO DE ATRITO
CAMPOS	ST-6	0,0-0,6		5,90														
	ST-11	0,0-0,50		10,50														
	ST-11	0,50-1,0		13,60														
	ST-16	0,0-0,50		1,50														
	ST-16	0,50-1,0		1,20														
	ST-16	1,0-1,50		1,20														
	ST-20	0,0-0,50		8,60														
	ST-20	0,50-1,1		13,40														
	ST-24	0,0-0,50		3,70														
	ST-24	0,50-0,90		5,80														
	ST-29	0,0-0,50		1,90														
	ST-29	0,50-1,0		2,20														
	ST-29	1,0-1,5		2,20														
	ST-29	1,5-2,0		2,20														
	ST-33	0,0-0,50		2,60														
	ST-33	0,50-1,15		4,50														
	ST-47	0,0-0,50		5,4														
	ST-47	0,50-0,90		6,5														
	ST-27+31+34+35		CO		6	19	13	11	12	74	3	11,1	1,975					
	ST-40+42		SA-GN		40	68	28	44	14	32	10	17,5	1,688					
	ST-25+26+38+41		SA-GN		14	35	21	14	11	52	23	14,4	1,823					
	PI B	0,0-2,0	SA-GN		10	26	16	13	14	68	5	10,6	1,957	3,3.10 ⁻⁷	10,7	2,065	0,60	24°
	PI CP-01	0,4-0,8	SA-GN		16	32	16	26	14	49	11			1,8.10 ⁻⁸	4,5	1,968	0,11	29°



Ensaio com c.p.s moldados com GC=95%

AL-aluvião



Amostra indeformada da fundação

COL-colúvio

SA-solo de alteração

* Valores médios dos c.p



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA I –

AMOSTRAS DE SOLO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DO CANAL

LOCAL	AMOSTRA FURO	PROF.	ORIGEM GEOLÓGICA	UMIDADE NATURAL	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)%	LIMITE LIQUIDEZ (LL)	LIMITE PLASTICIDADE (LP)	GRANULOMETRIA				COMPACTAÇÃO	
								% ARG.	% SILTE	% AREIA	% PEDREG.	UMIDADE ÓTIMA	DENS. SECA MAX.
EST. 151	ST-07	0,1-0,85		9,30									
	ST-23	0,0-0,50		4,00									
	ST-23	0,50-1,0		3,00									
	ST-40	0,0-0,8		4,40									
	ST-53	0,0-0,85		8,70									
	ST-67	0,0-0,80		9,30									
	ST-84	0,0-0,50		4,30									
	ST-1+2+3+5		AL		11	24	13	18	19	37	-	11,2	1,950
	ST-37-40+41+42		SA		13	31	18	8	12	64	-	12	1,926
	ST-66+68		AL		27	52	25	29	14	37	20	18,4	1,714
EST. 127	ST-1+2+3+4		SA		26	47	21	43	12	39	6	16,7	1,746
	ST-18+19+20		SA		7	22	15	17	14	46	23	10,6	1,951
EST. 141	ST-105+106+107+108+109		SA		5	15	10	6	17	67	10	8,3	2,004
EBV-1	CONGLOMERADO		SA		9	21	12	5	6	30	59		
EBV-6	PI-01	0,20-0,83	CO		17	40	23	27	8	53	12	13,6	1,831
EBV-6	PI-02	0,25-0,76	SA		26	52	26	36	9	33	22	12,9	1,834
EBV-1	PI-01	0,0-0,80	SA		26	49	23	15	17	33	35	11,8	1,925
EBV-1	PI-02	0,0-1,00	SA		28	54	26	15	15	36	34	11,9	1,910

AL-aluvião

COL-colúvio

SA-solo de alteração



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA II

AMOSTRAS DE AREIAS

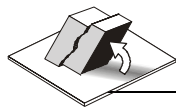
LOCAL	AMOSTRA / FURO	DIO (mm)	% < # 200	A FINA (%)	A MÉDIA (%)	A GROSSA (%)	PEDREG. (%)	DENSIDADE MÁXIMA (g/cm ³)	DENSIDADE MÍNIMA (g/cm ³)	PERMEABILIDADE (cm/s)
R. COPITI-ESCRIVÃO		0,25	2	4	44	38	12			
R. COPITI-SAMANBAIA		0,22	2	6	52	26	14			
R. COPITI-CAETITU 1		0,40	1	2	22	48	27			
R. COPITI-CAETITU 2		0,20	4	6	20	48	22			
R. COPITI-POÇO DA CRUZ		0,25	2	6	27	40	25			
R. COPITI-POÇO DA CRUZ		0,22	1	7	42	40	10			
R. VASSOURAS 1		0,38	1	1	28	45	25			
R. VASSOURAS 2		0,25	4	3	61	30	2			
R. SALGADO 1		0,45	1	1	18	48	32			
R. SALGADO 2		0,15	8	6	23	38	25			
R. MANDANTES 1		0,25	0	6	39	32	23			
R. MANDANTES 2		0,25	2	5	42	38	13			
R. MANDANTES 3		0,25	1	4	47	31	17			
R. DO SAL-ST-12		0,25	0	5	27	23	45			
R. DO SAL-ST-34		0,25	2	5	33	6	54			
R. DO MUQUEM-1		0,18	2	3	56	29	10			
R. DO MUQUEM		0,25	2	6	52	39	1	1,817	1,502	1,5·10 ⁻²
R. MUQUEM	ST-2+6+7+12+15+16+18+24	0,25	2	6	52	39	1	1,785	1,469	1,5·10 ⁻²
R. DO SAL	ST-7+8+31+34	0,25	1	4	27	26	42	1,926	1,526	1,6·10 ⁻²
R. DO SAL	ST-12+28	0,25	1	5	34	30	30	1,859	1,518	1,4·10 ⁻²
R. SALGADO	ST-3 3	0,45	0	1	19	48	32	1,737	1,449	1,7·10 ⁻²
R. COPITI-ESCRIVÃO	ST-1 1	0,3	2	3	39	45	11	1,719	1,424	1,5·10 ⁻²
R. COPITI-CAETITU	ST-4 4	0,45	1	1	19	62	17	1,709	1,418	1,6·10 ⁻²
R. COPITI - POÇO DA CRUZ	ST-3 3	0,3	2	2	31	50	15	1,731	1,447	1,5·10 ⁻²
R. COPITI-SAMAMBAIA	ST-1 1	0,35	0	3	28	37	32	1,798	1,493	1,5·10 ⁻²
R. MANDANTES	ST-5+30 ST-5+30	0,25	1	4	45	35	15	1,795	1,496	1,6·10 ⁻²



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

TABELA III
ENSAIOS DE EXPANSÃO

LOCAL	AMOSTRA	PROF	DENSIDADE NATURAL (g/cm ³)	UMIDADE (%)	TIPO DE ENSAIO	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO kgf/cm ²
EBV-3	SR-37	28,45-29,95	2,27	5,7	Volume constante		2,87
EBV-3	SR-37	32,00-32,65	2,23	4,6	"		17,10
EBV-3	SR-39	27,66-36,10	2,34	9,8	"		1,80
EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,12	11,56	"		1,55
EBV-3	SR-39	27,66-36,10	2,28	8,5	Volume variável	0,85	0,50
EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,11	11,13	"	0,06	0,08
EBV-3		0,00-0,30	1,833	11,9	"	0,52	0,33
EBV-3		0,00-0,30	1,857	11,6	"	0,62	0,33



Projeto da Transposição de Águas do Rio São Francisco

*Sugestões para a Investigação de Campo, Projeto e
Especificações Construtivas de Túnel*

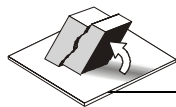
por Dr Nick Barton

Cliente: Funcate, *Atenção de Ricardo Abrahão*
Data: 1 Julho 2000



ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	2
2	INVESTIGAÇÕES DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEAS.....	2
2.1	O sistema Q nos afloramentos e testemunhos	3
2.2	Extrapolção da estimativa do valor Q usando a refração sísmica.....	3
2.3	Medidas de tensão para reduzir surpresas na construção de túneis	4
2.4	Medidas de permeabilidade em furos inclinados.....	5
2.5	Ensaio de Laboratório	6
3	CRITÉRIO DE PROJETO DOS TÚNEIS	7
3.1	Classes de rocha fornecerão as classes de suporte dos túneis	7
3.2	Métodos Construtivos e suas Especificações	9
3.3	TBM ou DB	10
4	REFERÊNCIAS	11
5	LISTA DE FIGURAS.....	11



1 INTRODUÇÃO

Foi realizada uma reunião no escritório da Funcate em São José dos Campos, em 21 de junho de 2000, visando avaliar o projeto dos túneis. Um trabalho prévio do autor sobre o Túnel Cuncas, com 16 km de extensão, para o consórcio Engecorps – Harza em dezembro de 1999, serviu de base para a avaliação.

Este relatório tem por finalidade desenvolver aspectos gerais sobre investigações, classificação de maciço rochoso, projeto, especificações e métodos construtivos relativos aos túneis mais importantes.

Tabela 1. Alguns dados importantes dos túneis mais longos

Túnel	Trecho	Faixa de profundidade (m)	largura (m)	comprimento (m)	Rocha
Parnamirim	VI	≈ 40	5.3	1800	Xisto
Monteiro	V	≈ 40–100	4.1	4900	Gnaisse mig.
Major Sales	IV	≈ 50–100	6.8	4500	gnaisse
Cuncas II	III	≈ 150–250	6.7	4100	gnaisse
Cuncas I *	II	≈ 200–400	9.2	16000	mig. gnaisse, filito xisto, granito

* (ou, alternativamente, traçado mais a oeste com túneis de 7500 e 6000 m, e maior extensão de canais)

Nas investigações realizadas até agora (Estudos de Viabilidade) pelo Consórcio Engecorps/Harza, foram feitas sondagens nas áreas dos portais de cada túnel como listado a seguir. Essas sondagens serão complementadas por investigações mais detalhadas já nos próximos meses. A maioria das sondagens realizadas nas áreas dos portais tiveram profundidades variando de 15 a 20, 25, 35, ou mesmo até 50 m.

Tabela 2. Identificação das sondagens feitas durante a Viabilidade

Tunel	Sondagens na Viabilidade
Parnamirim	SM 615 618
Monteiro	SM 561 562
Major Sales	SM 407 408* 409 410
Cuncas II	SM 305 307
Cuncas I	SM 210H 211

* furados em zona de falha

H somente 3m de testemunho

2 INVESTIGAÇÕES DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEAS

O período significativamente curto para a realização das investigações do Projeto Básico, projetadas para complementar as da fase de Estudos de Viabilidade significa que todos meios de simplificação e extrapolação devem ser usados para ampliar as informações do local a um custo mínimo.



Enquanto o GPR e o VLF são técnicas úteis para auxiliar os geólogos a definir contatos, lençol freático, falhas, etc. elas não fornecem “números” para o projeto dos túneis e estimativas de custo. Elas são importantes indicadores das condições de contorno da geologia e da geologia estrutural, dentro do qual se deve desenvolver a classificação do maciço rochoso; os “números” necessários para a estimativa do método de escavação, custos e planejamento.

2.1 O sistema Q nos afloramentos e testemunhos

A estrutura básica que liga a investigação de campo aos aspectos contratuais do projeto do túnel é o sistema Q.

Na Figura 1 encontra-se uma adequada folha de registros para ser utilizada nos mapeamentos, tanto dos afloramentos como nos testemunhos. (Ela foi utilizada pelo autor no Túnel Cuncas I, na fase dos estudos de viabilidade na comparação entre TBM e DB).

A configuração da distribuição estatística da qualidade da rocha auxilia o desenvolvimento dos gráficos longitudinais de qualidade de rocha x comprimento; em outras palavras, velocidade e custo da construção do túnel. A correlação com os detalhes de suporte do túnel, mostrados na figura 2, serão discutidos adiante.

A idéia é obter-se, para cada túnel, a seguinte indicação aproximada:

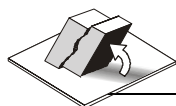
Túnel X	Q =	40–100	10–40	4–10	1–4
		1500 m	2300 m	3700 m	1100 m

A escala de Q provavelmente estender-se-á até a classe mais baixa ($Q = 0.001–0.01$) com a esperança de ocorrer tal rocha ruim somente em algumas dezenas de metros.

2.2 Extrapolação da estimativa do valor Q usando a refração sísmica

Quando a perfilagem de Q é dificultada por falta de afloramentos nas proximidades do túnel e quando as sondagens são muito espaçadas, a incerteza e o risco de surpresas na construção podem ser consideravelmente reduzidas usando-se a refração sísmica. O modelo morfológico atual: solo, rocha alterada, rocha mais sã, nos primeiros 5 a 25 m de profundidade, é bem ajustado à interpretação da velocidade sísmica com as correlações entre as ondas P (V_p) e o valor de Q. Entretanto, camadas com menores velocidades tendem a ser perdidas, por exemplo em séries sedimentares.

A figura 3 mostra a configuração que foi desenvolvida por tentativa e erro, por vários anos, comparando-se a qualidade de testemunhos obtidos em profundidades de 10 a 50 m com as velocidades sísmicas. A correlação básica $V_p–Q$ para rocha dura está mostrada pela linha escura na figura 3, e.g.:

**Tabela 3. Correlação aproximada entre VP x Q para rocha dura**

Q =	0.1	1	10	100	
V _p ≈	2.5	3.5	4.5	5.5	km/s

A equação correspondente é a seguinte:

$$V_p \approx \log Q + 3.5 \quad (\text{km/s}) \quad (1)$$

Uma correlação aperfeiçoada é obtida normalizando-se o valor de Q pela resistência à compressão simples diferente de um valor típico de 100 MPa. ($Q_c = Q \times \sigma_c / 100$). Podem também ser feitas correções para a porosidade da matriz rochosa usando-se as curvas da Figura 3.

Em princípio, a distribuição estatística das velocidades, quando corretamente interpretada, pode ser convertida em uma distribuição estatística dos valores de Q e, como conseqüência, das quantidades de suporte, e das estimativas de prazo e custos. Em outras palavras, como a velocidade sísmica se relaciona com o custo, a estimativa de custo do túnel pode ser melhorada com uma boa campanha de sísmica.

A palavra “extrapolação” foi usada no título desta subseção. No momento, consideramos a extrapolação lateral (ou melhor longitudinal), tanto da perfilagem de testemunhos, como dos afloramentos para outras localidades ao longo do traçado do túnel onde informações “consistentes” serão obtidas. Um problema potencialmente mais difícil é a extrapolação em profundidade.

Desde que a qualidade da rocha **geralmente** tende a aumentar com a profundidade, o uso da velocidade sísmica de 25 m de profundidade (e sua conversão para o valor Q) **geralmente** estará do lado conservador. É claro que podem existir exceções se camadas subjacentes forem de pior qualidade (i.e. arenito com baixo grau de fraturamento sobre filitos com alto grau de fraturamento). Também existirão problemas de qualidade de tensão/deformação nos túneis. Se a profundidade (i.e. tensão) se torna desfavoravelmente alta em relação à σ_c (resistência à compressão) as relações σ_v / σ_c ou σ_1 / σ_c sugerirão um valor de SRF que reduzirá o valor de Q. Esse valor reduzido de Q não seria previsível a partir da sísmica feita na superfície, mas sim pela perfilagem na zona de menor qualidade ao redor do próprio túnel. Portanto, a interpretação das medidas de V_p baseadas em mecânica das rochas é importante.

2.3 Medidas de tensão para reduzir surpresas na construção de túneis

Falhamentos transcorrentes seguidos de rotação de tensões e “rifts” relacionados a falhamentos normais indicam a possibilidade de estruturas geológicas importantes e provavelmente fraturamento dominante com baixos níveis de tensão normal.



Num projeto de transposição em região árida, a perda d'água devido à locação de túneis acima do lençol freático é uma possibilidade, principalmente se tensões são baixas e as permeabilidades altas. As tensões representam uma condição de contorno importante e fundamental na interpretação da geologia estrutural dos revestimento dos túneis (ou do não revestimento).

Em relação ao potencial de vazamento e às altas permeabilidades na direção das juntas – provavelmente ao longo de estruturas sub-verticais não amostradas pelos furos verticais – é importante medir-se a tensão principal menor usando o ensaio minifrac (fraturamento hidráulico), utilizando-se o cálculo da densidade da cobertura para a tensão vertical e a teoria da elasticidade para estimar a tensão principal maior (pelo menos em rocha dura competente).

A *direção* de σ_H e a *magnitude* de σ_h são fundamentais na interpretação dos parâmetros de projeto de túneis, tal como a anisotropia de propagação da velocidade sísmica e dificuldades preliminares na interpretação da qualidade da rocha.

É altamente recomendável que os ensaios minifrac sejam feitos nas sondagens mais profundas, perfuradas nos locais dos maiores túneis como no caso do túnel Cuncas I. Sugere-se medidas em mais de uma das principais unidades geológicas existentes.

2.4 Medidas de permeabilidade em furos inclinados

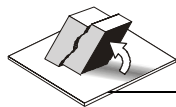
A transposição de águas por mais de 31 km em túneis longos, com a cota do túnel acima do nível da água geralmente, antevê o risco de perda de água, apesar da transposição não ser pressurizada. É importante medir a permeabilidade ao redor dos emboques e perto de falhas, e se ter alguns furos representativos no maciço com maior grau de fraturamento.

Já que muitas das juntas têm mergulhos íngremes ou até sub-verticais, deve-se ter este fato em mente quando se efetuar os furos, tanto para determinação da qualidade das rochas (i.e. valor de Q), como da permeabilidade. Furos verticais podem influenciar os resultados.

Ensaio alternados de injeção e de bombeamento deveriam ser realizados para a obtenção de valores de permeabilidade confiáveis representativos (mais ou menos) e valores Lugeon pouco menos representativos, com cada tipo de teste sendo convertido em permeabilidades expressas em m/s.

O excesso de pressão de injeção no ensaio Lugeon, expresso em l/min/m/l MPa é algo deformante, e foi correlacionado em termos aproximados, com o valor Q. O limite inferior do valor Lugeon ($1L \approx 10^{-7}$ m/s) é aproximadamente igual ao inverso do valor Q (normalizado para $\sigma_c/100$ como anteriormente).

$$L \approx 1/Qc$$



Em outras palavras para rochas duras com resistência a compressão nominal da ordem de 100 MPa, podemos esperar os seguintes valores muito aproximados de correlações entre Q, Vp e L.

Tabela 4 - Relações aproximadas para rochas duras que podem ser úteis na extrapolação de informações escassas

valor Q	0.01	0.1	1	10	100
≈ Vp (km/s)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
≈ L	100	10	1	0.1	0.01
≈ K (m/s)	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}

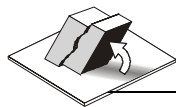
Estas relações podem ser úteis onde o tempo é limitado e as construções largamente espaçadas (i.e. túneis longos), recebendo, inevitavelmente investigações insuficientes. Como pode ser observado acima, o intervalo total de valores Q (0,001 a 1000) teoricamente poderia implicar num intervalo de permeabilidades potenciais de 10^{-4} m/s (1000 Lugeon) a 10^{-10} m/s (0.001 Lugeon). O fato de que valores muito baixos de Q podem freqüentemente estar associados com a presença de argila, o que freqüentemente tende a baixar a permeabilidade, causará obviamente exceções à super-simplificada relação observada acima onde os valores Q são muito baixos.

2.5 Ensaios de Laboratório

O empreiteiro que construirá os túneis deverá levar seriamente em consideração o processo de perfuração com TBM para os túneis mais longos, preferencialmente ao processo de perfuração e escavação com explosivos (DB). Qualquer que seja a alternativa escolhida há uma necessidade séria de dados de ensaios padrão de laboratório para se determinar as características de resistência e abrasão da rocha. Os milhares de quilômetros percorridos pelos cortadores do TBM (com cargas de corte abaixo de, digamos, 15 a 30 tnf) ou os milhares de quilômetros de perfuração a percussão para a seção plena com DB significa que as estimativas de custo e programação são afetadas pelos resultados.

No mínimo, os seguintes testes de laboratório são sugeridos para serem conduzidos em amostras intactas e totalmente representativas dos principais tipos de rocha, i. e. xisto, filito, gnaiss, gnaiss migmatítico, granito, etc.

- resistência a compressão simples (σ_c)
- velocidade sônica (Vp)
- point load (I_{50})
- porosidade (n%)
- conteúdo de quartzo (2%)



Devido ao limitado tempo disponível, sugere-se um mínimo de 10 amostras para cada tipo de rocha principal, selecionadas a partir de testemunhos recentes. Seria lógico selecionar estas amostras a partir de testemunhos selecionados que já tenham sido classificados pelo sistema Q, e o processo supervisionado por um geólogo experiente.

Para a escavação pelo processo TBM a adição do teste CLI (Cutter Life Index) da NTH (Universidade de Trondheim) seria uma sábia precaução e um dado a mais para a elaboração do projeto básico. Detalhes podem ser encontrados em Barton-2000. Amostras de aproximadamente 20-30kg são suficientes e poderiam ser remetidas à Universidade de Trondheim para os ensaios padrão TBM de rocha dura.

3 CRITÉRIO DE PROJETO DOS TÚNEIS

O objetivo principal das discussões anteriores sobre a necessidade de investigações de campo é o de assegurar a qualidade do projeto básico dos túneis além de simplificá-lo. Quanto mais baixo o nível de informações, devido ao curto período de investigação, maior será o custo do projeto final, sem mencionar os impactos adversos no cronograma de construção devido ao aparecimento de surpresas não detectadas e investigadas. A declaração de que o proprietário da obra sempre arca com os custos da obra com investigações de campo oportunas e efetivas ou inoportunas e sem verba, parece ser verdade para esta grande transposição.

3.1 Classes de rocha fornecerão as classes de suporte dos túneis

A divisão de cada túnel (tabela 1) em trechos, estimados através de determinadas classes de qualidade do maciço rochoso, como discutido na Seção 2.1, será um dos objetivos preliminares das investigações de campo. Conforme já apresentado, essa divisão levará em conta a forma de interpretação dos testemunhos de sondagem, do mapeamento de superfície e das extrapolações na qualidade dos maciços, também utilizando extensos perfis de sísmica de refração.

Os cinco principais túneis apresentados na Tabela 1 têm diâmetros de 4,1, 5,3, 6,7, 6.8 e 9.2 metros. A Figura 2 apresenta os sistemas de suporte para túneis recomendados segundo o Sistema Q. Existe, portanto, uma importante decisão a ser tomada: a escolha do ESR (eixo y do lado esquerdo do gráfico). O diâmetro (SPAN) dividido pelo ESR indica o nível apropriado de suporte permanente (e reforço do maciço rochoso).

No Sistema Q original, de 1974, um valor de ESR igual a 1,5 foi recomendado para túneis de passagem d'água, incluindo adução e túneis pressurizados não revestidos. Pequenos blocos podem escapar do revestimento de concreto projetado (S, Smr ou Sfr) e cair a muitos quilômetros da casa de força sem afetar a produção de energia,



fazendo assim com que o proprietário tenha uma economia considerável, no caso de túneis longos, devido à redução do concreto projetado empregado no revestimento.

Na atualização sistema Q para recomendação do S(fr) de 1993, (Grimstad & Barton, 1993), foram convencidos pelo Norwegian State Power Board (Statkraft) a aumentar um pouco o valor de ESR para 2.0, no caso de túneis hidráulicos.

Tirando as zonas de emboque e as zonas com alteração intensa, onde um valor mais conservativo de ESR deve ser usado (ESR = 1.6), é mais seguro usar um valor de ESR igual a 2.0.

Com cinco diâmetros diferentes e variando de 4.1 a 9.2 metros, e um valor comum de ESR = 2.0 estaremos encontrando classes de suporte com valores de SPAN/ESR variando entre 2.0 a 4.6 metros (SPAN / 2.0).

Esse quadro, quando transferido para a Figura 2, mostra que os menores túneis necessitarão de suporte somente no intervalo de Q entre 0.001 e 1.0, enquanto que o maior túnel (Cuncas I) deverá receber suporte num intervalo maior, com valores de Q entre 0.001 a 6.

Decisões sobre a qualidade do maciço serão cruciais em maciços das classes D e C, já que esses maciços estão no limite da utilização ou não de suportes.

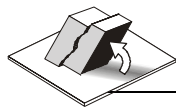
Classe D Q = 1 a 4
Classe C Q = 4 a 10

Quando o maciço for classificado como B ou A ($Q > 10$), não será necessário o uso de suportes, salvo os maciços onde houver evidência (através da investigação) que ocorrerá fuga d'água quando o túnel estiver em operação. Neste caso, o invert do túnel deverá receber um revestimento de 5 cm de concreto projetado com fibras. A utilização de fibra é sugerida por razões de durabilidade do revestimento.

É recomendável que as classes dos maciços apresentada na Figura 2 sejam utilizadas como base nas caracterizações de campo, ou seja, nas classificações dos maciços. O número de metros ou quilômetros de cada classe em cada túnel será um dado imprescindível para as estimativas de custos e cronogramas executivos.

Tabela 5. Definições recomendadas para classes de rocha e suportes de túneis

Classes	Valores de Q
A	> 40
B	10–40
C	4–10
D	1–4
E	0.1–1
F	0.01–0.1
G	0.001–0.01



3.2 Métodos Construtivos e suas Especificações

As definições dos valores de qualidade dos maciços e das classes de suporte apresentadas na Tabela 5 irão formar as bases iniciais das especificações dos sistemas de suporte e reforço do maciço. Túneis com tamanhos diferentes precisam de diferentes tipos de suporte, mesmo estando na mesma classe. Tomando os extremos do SPAN/ESR= 2.0 a 4.6 m, pode-se propor:

Tabela 6. Os prováveis extremos dos suportes necessários

Classes	Valores de Q	Diâmetro = 4.1 m	Diâmetro = 9.2 m
A, B	> 10	nenhum	nenhum
C	4–10	nenhum	B 2.1–2.4 m, S 4 cm
D	1–4	nenhum	B 1.7–2.1 m, S 5 cm
E	0.1–1	B 1.3–1.7 m, S(fr) 9–5 cm	B 1.3–1.7 m, S 12–5 cm
F	0.01–0.1	B 1.0–1.3 m, S(fr) 14–9 cm	B 1.0–1.3, S 20–12 cm
G	0.001–0.01	B 1.0 m, S(fr) 20–14 cm + RRS	B 1.0 m, S 25–20 cm + RRS

Nas áreas de emboque de túneis com grandes diâmetros, onde aplica-se $J_n=2x(J_n \text{ observado})$, para ser mais conservador, e $SFR=2.5$ (reflexo da baixa tensão, e da proximidade da superfície), é provável a necessidade da utilização de concreto moldado como suporte para os túneis maiores (largura 9,2 m). Já para túneis com menores seções, S(fr) – concreto projetado com fibras - deverá ser suficiente, com um reforço por chumbador como acima mostrado.

Devido à utilização de concreto projetado com reforço de cambotas metálicas, necessário nas piores classes (emboques, zonas de falhas, etc.), que possui uma rugosidade não desejada (ondulações de 20 a 40cm de altura a cada 2 a 3 metros), este suporte com aspecto “corrugado” deverá ser substituído (ou suplementado) por arcos de concreto, que são ainda mais caros. Sobre-escavações em rochas mais brandas irão usualmente deixar o espaço necessário para que o concreto moldado não interfira na seção de projeto. Essa avaliação será parte da discussão sobre o coeficiente de Manning, mais adiante.

Escavação em plena seção é considerada perfeitamente viável para todos os tamanhos de túneis. **Sub-escavações** com, talvez, mais de 10cm, e **somente em áreas isoladas** podem ser estipuladas como o limite de pagamento. Sobre-escavações podem ser limitadas por cláusulas que estipulem avanços aceitáveis. Danos excessivos se efetivarão nas piores classes de rocha, o que irá requerer um maior volume de concreto, o que não será interessante para a empreiteira com contrato de preço fechado. A empreiteira, portanto, deverá ser persuadida a seguir um esquema de compromisso com uma velocidade de avanço razoável, ou seja, um avanço que não cause danos excessivos no maciço causando um grande aumento nos sistemas de suporte.

**Tabela 7 - Tamanho do avanço em relação à classe de rocha.**

Classes	Valores de Q	Avanços
A, B	> 10	4 m
C	4–10	4 m
D	1–4	3 m
E	0.1–1	2 m
F	0.01–0.1	1.5 m
G	0.001–0.01	1.0 m

Pré-splitting é um item muito caro para um túnel hidráulico e deve ser, se possível, evitado. A rugosidade das paredes pode ser reduzida pela utilização de concreto projetado simples, no caso de se estar muito próximo do coeficiente de Manning assumido, devido à um padrão de overbreak que ocorre em xistos (túneis Parnamirim e Cuncas I) ou filitos (Cuncas I). (O autor irá obter informações junto à Universidade de Trondheim a respeito de coeficientes de Manning típicos de túneis de adução não revestidos e túneis sobre pressão. Essas informações serão posteriormente enviadas para a Funcate).

3.3 TBM ou DB

Num recente discussão com o Consórcio Engecorps/Harza a respeito da viabilidade do túnel Cuncas I, o autor confrontou o uso do TBM e do DB para os quatro tipos principais de rochas que haviam sido assumidas para aquele túnel (até aquele momento), a saber: arenito, filito, xisto e granito, com variações no grau de fraturamento. Sabe-se, agora, que o arenito está somente sotoposto às rochas metamórficas.

Para o Projeto Básico é importante descrever as condições esperadas para o método TBM em todos os túneis longos do Projeto, isso se faz particularmente importante no caso de pressões políticas para um cronograma apertado onde poderão ser melhor escolhidos os TBM a serem utilizados, ou mesmo um modelo híbrido de TBM/DB para conseguir uma maior rapidez na execução. Uma escolha acertada da empreiteira junto ao dono do TBM disponível para o caso pode ajuda-la a cumprir cronogramas “impossíveis”.

Dessa forma, a investigação de campo torna-se extremamente importante. Muitos quilômetros de rochas com altas velocidades sísmicas ($V_p \geq 5.0$ km/s) podem comprometer a velocidade de avanço do TBM, assim como zonas de velocidade sísmica muito baixa ($V_p \leq 2.5$ km/s), como zonas de falha, também podem comprometer seu desempenho. As velocidades sísmicas ideais para o TBM devem estar entre $3.0 < V_p < 4.5$ km/s, considerando o pequeno diâmetro dos túneis envolvidos.

Esses valores deverão ser convertidos, juntamente com outros dados de investigação num valor estimado de Q_{TBM} , de modo que a taxa de penetração PR (Penetration Rate) e a taxa de avanço AR (Advance Rate), ambas em m/hr, possam ser estimadas



para a distribuição dos valores de Q e de Q_{TBM} ao longo de cada túnel. (A carga nos cortadores do TBM, ou seja, em última análise o projeto da máquina, também entra no cálculo do Q_{TBM}). Dessa forma poderão ser feitas comparações com cronogramas feitos para o método DB que são muito correlacionáveis com a distribuição de valores de Q .

Como uma estimativa preliminar, que deverá ser ajustada pela experiência das empreiteiras brasileiras (ou estrangeiras), pode-se esperar as seguintes taxas de avanço para um túnel de 6 metros de diâmetro, executado pelo método DB.

Tabela 8 – Taxa de avanço semanal aproximada

Valores Q	m/semana
0.001 – 0.01	5
0.01 – 0.1	10
0.1 – 1	25
1 – 10	50
10 – 100	70
100 – 1000	90

4 REFERÊNCIAS

Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. 1974. Engineering classification of rockmasses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*. 6: 4: 189-236.

Barton, N. 2000. *TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock*. 173 p. Rotterdam: Balkema.

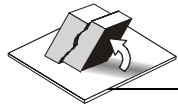
Grimstad, E. & Barton, N. 1993. Updating of the Q-System for NMT. Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete - Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, 1993. (Eds Kompen, Opsahl and Berg). Norwegian Concrete Association, Oslo.

5 LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planilha do sistema Q - “método do histograma” para a caracterização da qualidade do maciço em afloramentos e testemunhos

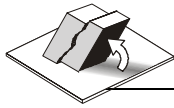
Figura 2: Associação entre as classes de rocha e as classes de suporte de túneis

Figura 3: Relação entre velocidade sísmica (V_p) e a qualidade do maciço rochoso

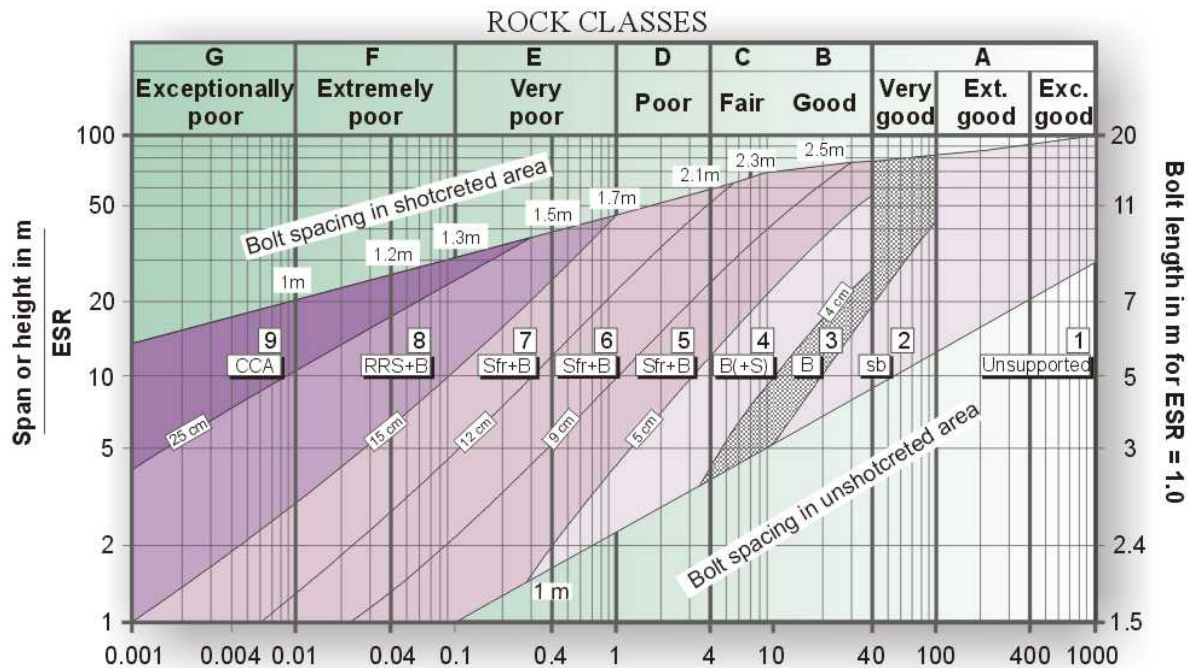


Q (typical range) = (-----)X(-----)X(-----)		Q (mean) = (-----)X(-----)X(-----)																																																																																					
B L O C K S I Z E S	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">V. POOR</th> <th style="width: 12.5%;">POOR</th> <th style="width: 12.5%;">FAIR</th> <th style="width: 12.5%;">GOOD</th> <th style="width: 12.5%;">EXC.</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	V. POOR	POOR	FAIR	GOOD	EXC.																																																																		RQD % Core pieces ≥ 10 cm J_n Number of joint sets															
	V. POOR	POOR	FAIR	GOOD	EXC.																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">EARTH FOUR</th> <th style="width: 12.5%;">THREE</th> <th style="width: 12.5%;">TWO</th> <th style="width: 12.5%;">ONE</th> <th style="width: 12.5%;">NONE</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	EARTH FOUR	THREE	TWO	ONE	NONE																																																																		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>20</td><td>15</td><td>12</td><td>9</td><td>6</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>.5</td> </tr> </table>	20	15	12	9	6	4	3	2	1	.5						
EARTH FOUR	THREE	TWO	ONE	NONE																																																																																			
20	15	12	9	6	4	3	2	1	.5																																																																														
T A N (ϕ_r) and T A N (ϕ_p)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">FILLS</th> <th style="width: 25%;">PLANAR</th> <th style="width: 25%;">UNDULATING</th> <th style="width: 12.5%;">DISC</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	FILLS	PLANAR	UNDULATING	DISC																																																					J_r Joint roughness - least favourable J_a Joint alteration - least favourable																													
	FILLS	PLANAR	UNDULATING	DISC																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">THICK FILLS</th> <th style="width: 12.5%;">THIN FILLS</th> <th style="width: 12.5%;">COATED</th> <th style="width: 12.5%;">UNFILLED</th> <th style="width: 12.5%;">HEAL</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	THICK FILLS	THIN FILLS	COATED	UNFILLED	HEAL																																																																		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>20</td><td>13</td><td>12</td><td>10</td><td>8</td><td>6</td><td>5</td> <td>12</td><td>8</td><td>6</td><td>4</td> <td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0.75</td> </tr> </table>	20	13	12	10	8	6	5	12	8	6	4	4	3	2	1	0.75
THICK FILLS	THIN FILLS	COATED	UNFILLED	HEAL																																																																																			
20	13	12	10	8	6	5	12	8	6	4	4	3	2	1	0.75																																																																								
A C T I V E S T R E S S	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">EXC. INFLOWS</th> <th style="width: 12.5%;">HIGH PRESS</th> <th style="width: 12.5%;">WET</th> <th style="width: 12.5%;">DRY</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	EXC. INFLOWS	HIGH PRESS	WET	DRY																																																					J_w Joint water pressure SRF Stress reduction factor																													
	EXC. INFLOWS	HIGH PRESS	WET	DRY																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">SQUEEZE</th> <th style="width: 12.5%;">SWELL</th> <th style="width: 12.5%;">FAULTS</th> <th style="width: 12.5%;">STRESS/STRENGTH</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	SQUEEZE	SWELL	FAULTS	STRESS/STRENGTH																																																					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>.05</td><td>.1</td><td>.2</td><td>.32</td><td>.5</td><td>.66</td><td>1</td> <td>20</td><td>15</td><td>10</td><td>5</td> <td>10</td><td>7.5</td><td>5</td><td>2.5</td> <td>100</td><td>50</td><td>20</td><td>10</td><td>5</td><td>2.5</td><td>1</td><td>2.5</td> </tr> </table>	.05	.1	.2	.32	.5	.66	1	20	15	10	5	10	7.5	5	2.5	100	50	20	10	5	2.5	1	2.5							
SQUEEZE	SWELL	FAULTS	STRESS/STRENGTH																																																																																				
.05	.1	.2	.32	.5	.66	1	20	15	10	5	10	7.5	5	2.5	100	50	20	10	5	2.5	1	2.5																																																																	

Figura 1 Planilha do sistema Q - "método do histograma" para a caracterização da qualidade do maciço em afloramentos e testemunhos



ROCK MASS CLASSIFICATION



$$\text{Rock mass quality } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

REINFORCEMENT CATEGORIES

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1) Unsupported 2) Spot bolting, sb 3) Systematic bolting, B 4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4-10cm), B(+S) | <ul style="list-style-type: none"> 5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, SFr + B 6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12cm, SFr + B 7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15cm, SFr + B 8) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9cm, SFr + B Cast concrete lining, CCA |
|---|--|

Figura 2 Associação entre as classes de rocha e as classes de suporte de túneis

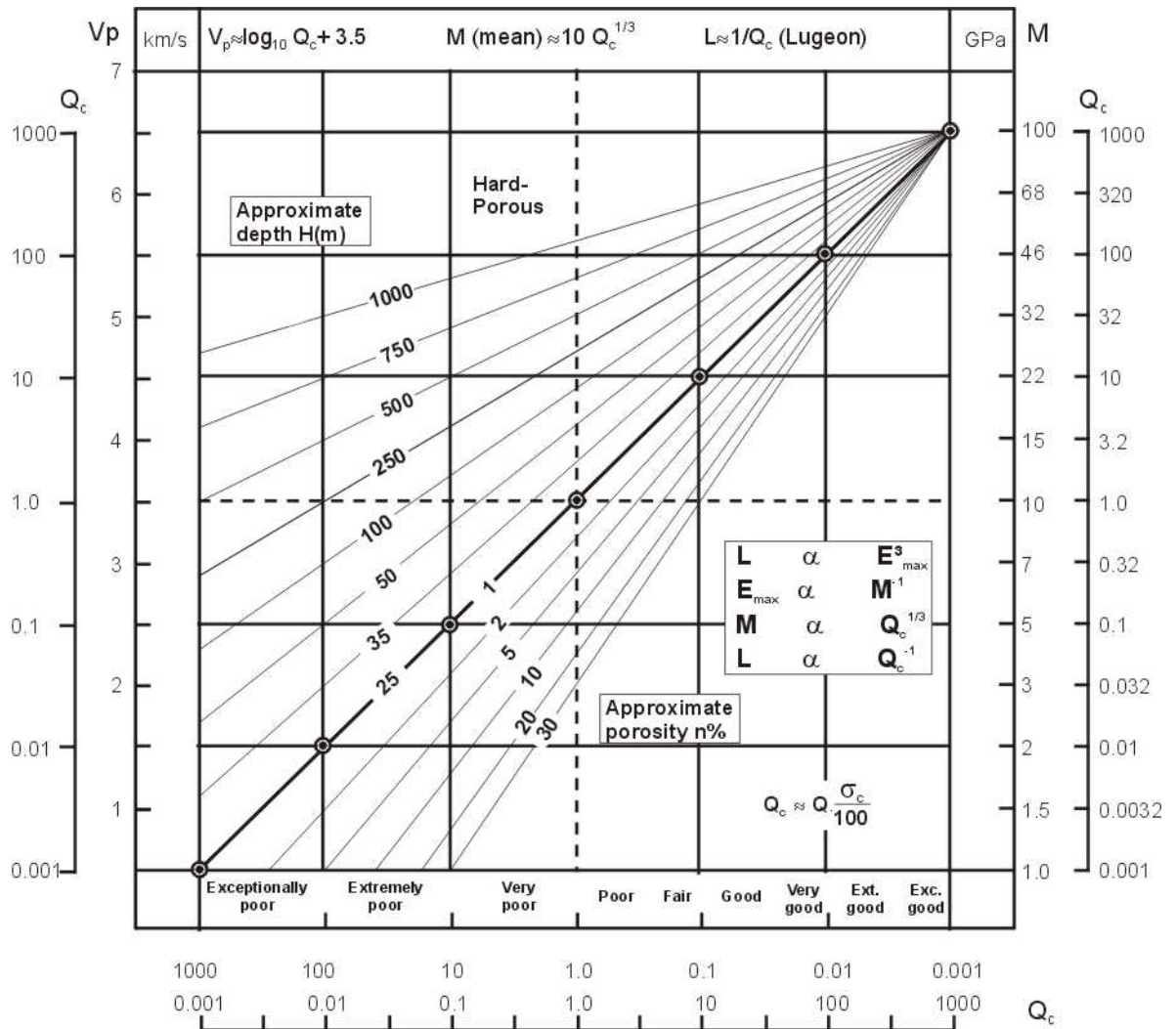
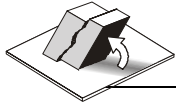


Figura 3 Relação entre velocidade sísmica (V_p) e a qualidade do maciço rochoso