



AHE ITAOCARA I

PROJETO BÁSICO OTIMIZADO

RELATÓRIO FINAL - VOLUME 1 - TEXTO



N.º: S0813B01-1-G00-REF-0001

N.º: ST-813-B-RE-G00-001

Rev.	Data	Descrição da revisão	ELAB.	VERIF.	APROV.	DATA	VISTO	APROV.
1	22/09/10	Atendendo Comentários da CEMIG	DAV	GB	MAS			
0	15/09/10	Emissão Inicial	DAV	GB	MAS			

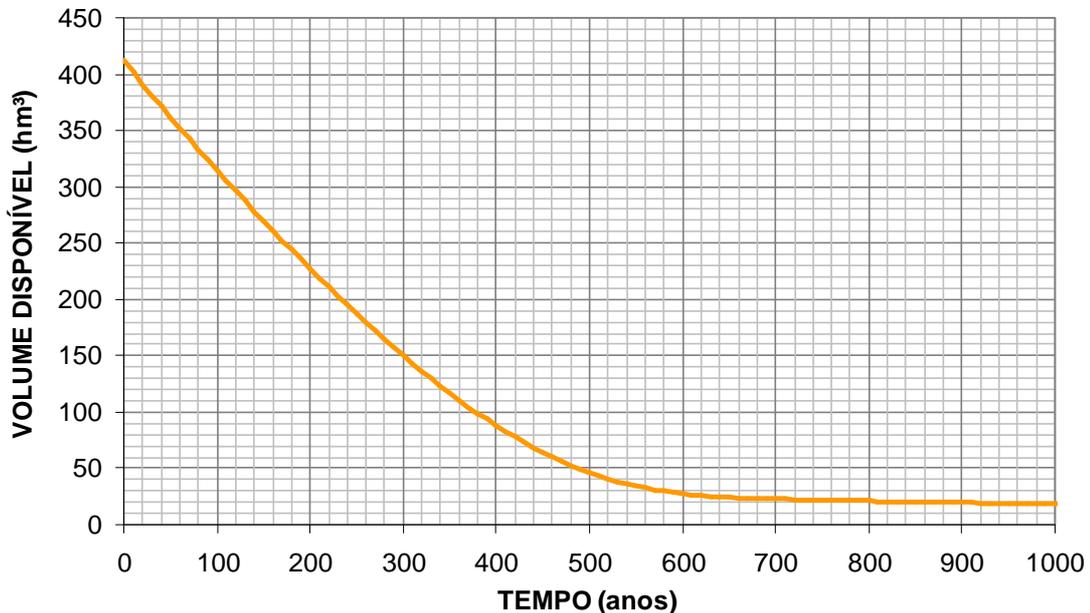
SPEC

CEMIG

SUMÁRIO

1. OBJETIVO DOS ESTUDOS
2. PREMISSAS BÁSICAS
3. VISITA DE RECONHECIMENTO AO LOCAL DO APROVEITAMENTO
4. ESTUDOS BÁSICOS
 - 4.1 Levantamentos Topobatimétricos e Medições de N.A.'s
 - 4.2 Hidrometeorológicos
 - 4.3 Geológico-Geotécnicos
 - 4.4 Definição da Curva Chave de Jusante
5. CONSOLIDAÇÃO DO ARRANJO GERAL
 - 5.1 Otimização do Arranjo Geral
 - 5.2 Novo Posicionamento das Estruturas Principais (Casa Força / Vertedouro)
 - 5.3 Definição dos Grupos Turbina / Gerador
 - 5.4 Tomada d'Água / Casa de Força
 - 5.5 Vertedouro
 - 5.6 Seqüência de Desvio do Rio
 - 5.7 Barragem de Terra / Enrocamento e Ensecadeiras
 - 5.8 Proteção das Margens do Braço Esquerdo à Jusante do Barramento
6. CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Redução do Volume do Reservatório do AHE Itaocara I pelo Assoreamento



4.3 Geológico-Geotécnicos

4.3.1 Caracterização Regional

A região em estudo está geotectonicamente contida na Província Mantiqueira, entidade geotectônica com franca orientação nordeste instalada a oeste do Cráton de São Francisco.

O Aproveitamento de Itaocara I será implantado no baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde este assume direção nordeste, paralelamente às direções das unidades lito-estratigráficas.

4.3.2 Aspectos Geológicos Regionais

No aspecto lito-estratigráfico, a região é caracterizada pelo predomínio de litotipos representativos das rochas metamórficas pré-cambrianas do Complexo Paraíba do Sul.

Também ocorrem na área as suítes ígneas associadas à deformação e metamorfismo da seqüência metamórfica do Complexo Paraíba do Sul, resultante do Ciclo Orogênico Brasileiro.

Secundariamente, sobre estas seqüências, são observados sedimentos cenozóicos de idades quaternárias.

• Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul corresponde as unidades basais das rochas Pré-Cambrianas de idade Proterozóica observadas na região em estudo, sendo composto por três unidades estratigráficas informais, a saber:

- Unidade Itaocara;
- Unidade Italva;
- Unidade São Fidelis.

O Aproveitamento Hidrelétrico de Itaocara I será implantado em rochas da Unidade Itaocara.

As Unidades Italva e São Fidelis ocorrem lateralmente ao reservatório e não tem influência direta no Empreendimento.

A Unidade Itaocara contem gnaisses e migmatitos porfiroclásticos ou não, e por vezes os gnaisses tem estrutura xistosa. Intercalados aos gnaisses e migmatitos ocorrem quartzitos e discretos níveis de mármore.

A faixa ocupada pela Unidade Itaocara mostra-se rebaixada em relação ao relevo regional, correspondente a zona derivada pelo rio Paraíba do Sul e seus afluentes pela margem esquerda. A topografia orienta-se preferencialmente segundo NE-SW, condicionando um sistema de drenagem secundária, paralela.

As rochas do Complexo Paraíba do Sul sofreram de modo geral, processos tectomagmáticos durante o mesozóico que resultaram na presença de inúmeros diques de diabásio intrudidos indiscriminadamente nas rochas cristalinas por toda a região.

4.3.3 Geologia Estrutural

A evolução tectono-magmática da região em estudo, está inserida no Domínio de Falhas Juiz de Fora/Paraíba do Sul, apresentando estruturas marcantes de direção NE-SW e estruturas secundárias perpendiculares associadas.

A característica estrutural mais proeminente da área é a extrema linealidade dos litótipos que apresentam franca orientação NE em concordância com as principais zonas de Cisalhamento regionais.

Dentre as zonas, destaca-se o Lineamento Além Paraíba, com orientação N60°-70° E, interpretada como uma falha direcional, responsável pela instalação do leito do rio Paraíba do Sul.

4.3.4 Geomorfologia

A área do reservatório do AHE Itaocara I está situada na Unidade Geomorfológica Alinhamento de Cristas do rio Paraíba do Sul.

É caracterizada por um relevo acidentado-ondulado a fortemente ondulado com cotas entre 120m e 310m e dissecado por cursos d'água, formando um paredão de drenagem fina com aprofundamentos variando de 50 a 140 metros.

A morfologia dessa unidade está intimamente relacionada com as características litroestruturais das rochas e das condições climáticas locais.

O relevo é suportado por rochas gnáissica-migmatíticas, em geral cataclásticas do Complexo Juiz de Fora e por muscovita-quartzo xistos da unidade listoestratigráfica Xisto Santana do Deserto, na maior parte da área do reservatório.

A presença de fraturas nas rochas condiciona trechos do rio Paraíba do Sul às suas direções e propicia o desenvolvimento de corredeiras, permitindo, também, que o intemperismo atinja maiores profundidades, formando solos residuais mais espessos.

O rio corre, em grande parte da sua extensão, sobre a rocha exposta.

O rio tem padrão anastomosado, onde algumas ilhas são barras de areias e argilas depositadas em pontos onde a rocha está mais superficial, permanecendo nos locais transitoriamente em função do regime de cheias do rio.

Já outras ilhas são fixas, caso da Ilha Serena que é interceptada transversalmente pelo eixo da UHE de Itaocara I, quando os sedimentos se consolidam com volumes tais que a energia do rio não é mais capaz de erodi-las, ou mesmo constituem-se de extensos afloramentos de rocha no leito do rio recobertos por solos residuais/coluvionares e com espessa cobertura vegetal arbórea e arbustiva.

As elevações são em forma de colinas, em geral orientadas segundo a direção ENE, convexo – côncavas, com alturas em torno de 120m e 140m em relação aos fundos dos vales.

Os principais depósitos sedimentares estão distribuídos ao longo do rio Paraíba do Sul, dando origem a planícies fluviais com cotas inferiores a 80m.

As feições do modelado mais comuns são as linhas de cristas, linhas de cumeadas (ou interflúvios) e sulcos estruturais.

Os morros apresentam solos residuais próximos ao topos e colúvios da meia encosta para base.

Ocorrem anfiteatros de erosão com ou sem depósitos de tálus, sendo esses depósitos oriundos de material deslizado.

As encostas apresentam áreas de erosão acelerada, indicadas por sinais de movimento de massa anteriores.

O movimento de massa mais comum é o rastejo ou “creep”, que ocorre mormente nos locais de declividades acentuadas.

Ocorrem cicatrizes de escorregamentos de solo e rocha com exposição de solo.

Tais cicatrizes ocorrem, também, cobertas por vegetação colonizadora (cicatrizes estabelecidas).

Os movimentos de massa concentrados e acelerados renovam a cobertura do solo, dando origem a sulcos erosivos e ravinas localizadas.

4.3.5 Avaliação Geológico-Geotécnica do Aproveitamento

O local selecionado para o eixo do empreendimento tem uma topografia acidentada, apresentando desníveis médios da ordem de 100,00m.

O Pré-Cambriano, representado por gnaisses, é aqui denominado de granitóides, devido sua aparência próxima a um granito. A rocha granitóide ocupa a calha do rio e grande parte da ombreira direita conforme inspeção de campo, bem como dos resultados das

investigações realizadas nos estudos de Viabilidade. Na região da calha e leito do rio, o maciço rochoso ora é recoberto por solos de alteração (Ilha Serena), ora por aluviões recentes, estes em cotas baixas nas margens do rio e em ilhas.

As informações aqui apresentadas tiveram por base o mapeamento geológico local, as investigações geológico-geotécnicas, bem como o conhecimento geológico da região com base no Mapeamento realizado pelo DRM-RJ que se encontram apresentadas no volume II do relatório final dos estudos de Viabilidade.

Também foram baseadas nas inspeções realizadas quanto da visita técnica de campo, em 27 e 28/04/2010.

Com base nas seções geológico-geotécnicas o maciço rochoso de fundação onde serão apoiadas as Estruturas Hidráulicas da AHE Itaocara I é representado por um granitóide com leve estruturação gnáissica ocorrendo por vezes, zonas com forte foliação, correspondentes aos xenólitos, que contem biotita-gnaisses cuja "xistosidade" apresenta-se bastante caótica, não obedecendo ao padrão regional.

A rocha de modo geral apresenta um grau de fraturamento baixo, entre F1 e F2 e mais raramente pequenos trechos de F3, a exceção dos primeiros metros, onde o maciço rochoso apresenta-se um pouco mais fraturado.

Os principais sistemas de fraturas no maciço rochoso são:

- N45°-50° E / Sub-vertical – paralelo à xistosidade das rochas locais;- N40° W / Vertical - perpendicular à xistosidade das rochas locais;- N50° W / Vertical - transversal à xistosidade das rochas locais;- N80°W a EW / Vertical - transversal à xistosidade das rochas locais.

A condutividade hidráulica do maciço rochoso de fundação, baseada nos ensaios de perda d'água executados em furos de sondagens mostraram-se valores baixos, entre H1 e H2. O horizonte mais superficial, não ensaiado, deverá provavelmente ser mais permeável, entre H2 e H3, em função de seu maior grau de fraturamento.

Recobrimdo ambas as margens e a meia encosta, ocorre uma camada pouco espessa de solo coluvionar, que devido à sua pouca espessura, às vezes não está representada nas seções geológicas e, imediatamente abaixo, solos de alteração de rocha que na maioria das vezes exibem um perfil completo desde solos residuais maduros até a rocha totalmente alterada; a espessura deste pacote é muito variável, pois está intimamente ligada a inclinação dos terrenos. Na região da ombreira esquerda os horizontes coluvionares, residuais e saprolitos são mais desenvolvidos se comparados com os da ombreira direita. A espessura total destes solos na ombreira varia de 2,0 a 15,0m.

A permeabilidade dos solos residuais é bastante variada com valores entre 10^{-2} e 10^{-7} cm/s e com resistência ao ensaio SPT variando entre 10 e 30 golpes.

Os solos residuais transicionam para solos saprolíticos com a profundidade. Este solo apresenta-se como um material arenoso a areno-argiloso, micáceo, caulínico, de cores variadas.

Os ensaios SPT mostraram valores elevados e com permeabilidade de ordem de 10^{-4} cm/s.

Para o fechamento da Barragem de Terra na ombreira esquerda deverá ser estudada a alternativa de um cut-off de modo a interceptar os horizontes permeáveis dos solos residuais e saprolíticos.

Em posição mais baixa, constituindo planícies aluvionares, ocorrem, junto às margens e ilhas, depósitos de sedimentos compostos essencialmente por areias puras, quando situados na calha do rio.

A espessura dos aluviões é da ordem de 3,0 a 5,0m, podendo não estar presentes em alguns trechos do rio. Os ensaios de SPT indicam valores baixos da ordem de 2 a 7 golpes e permeabilidade variável, de 10^{-2} a 10^{-7} cm/s.

Nas margens e ilhas, em cotas mais elevadas, as ocorrências são constituídas por solos residuais/saprolitos siltes-argilo-arenosos e argilas silto-arenosas.

4.3.6 Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas

No sítio da AHE Itaocara I foram realizadas dezenove (19) sondagens na região de fundação das Estruturas Hidráulicas, bem como sondagens investigativas acompanhadas de amostras deformadas onde foram realizados ensaios de caracterização.

A seguir são mostradas as tabelas resumos com as investigações e ensaios de laboratório realizados.

• Sondagens Geomecânicas

QUADRO A – RESUMO DAS SONDAGENS

SONDAGEM	LOCAL	ESTRUTURA	PROFUNDIDADE		SONDAGEM	LOCAL	ESTRUTURA	PROFUNDIDADE	
			SOLO (m)	ROCHA (m)				SOLO (m)	ROCHA (m)
SR1	MD	Ensecadeira Montante 2ª Fase	20,14	11,26	SR11	Ilha Serena	Ensecadeira Montante 1ª Fase	6,45	7,10
SR2	MD	Barragem MD	12,48	6,20	SR12	Ilha Serena	Barragem MD	6,00	7,04
SR3	MD	Barragem MD	0,46	7,07	SR13	Ilha Serena	Barragem MD	6,00	7,06
SR4	MD	Ensecadeira Jusante	8,14	6,86	SR14	Ilha Serena	Barragem MD	2,30	7,00
SR5	MD	Barragem MD	2,34	10,66	SR15	Canal E	Casa de Força	3,55	7,35
SR6	MD	Barragem MD	0,70	10,40	SM-01	ME	Barragem ME	4,06	3,94
SR7	Canal D	Barragem MD	0,00	7,05	SM-02	ME	Barragem ME	12,88	4,12
SR8	MD	Barragem MD	1,33	6,72	SM-03	ME	Barragem ME	12,92	4,20
SR9	Canal D	Barragem MD	0,00	6,38	SM-04	ME	Barragem ME	11,07	5,47
SR10	Ilha Serena	Barragem MD	3,37	7,13	SM-05	ME	Barragem ME	22,59	5,56

• Poços de Inspeção e Amostragem

Além das sondagens mecânicas foram abertos 24 poços nos quais foram coletadas amostras para ensaios de caracterização.

QUADRO B – RESUMO DOS POÇOS

POÇOS	LOCALIZAÇÃO	PROF.	POÇO	LOCALIZAÇÃO	PROF.
PBD-1	Ombreira Direita	2,30	PEB-3	M.E. Área de Empréstimo B	5,10
PBE-1	Ombreira Esquerda	4,00	PEC-1	M.E. Área de Empréstimo C	6,40
PBI-1	Ilha Serena	3,00	PEC-2	M.E. Área de Empréstimo C	5,00
PDI-1	M.E. Dique I	5,70	PEC-3	M.E. Área de Empréstimo C	6,10
PDI-2	M.E. Dique I	5,20	PEC-4	M.E. Área de Empréstimo C	3,50
PDII-1	M.E. Dique II	2,20	PED-1	M.E. Área de Empréstimo D	4,80
PDII-2	M.E. Dique II	5,10	PEE-1	M.D. Área de Empréstimo E	4,30
PDIII-1	M.E. Dique III	5,50	PEF-1	M.D. Área de Empréstimo F	4,40
PEA-1	M.E. Área de Empréstimo A	5,20	PEF-2	M.D. Área de Empréstimo F	5,10
PEA-2	M.E. Área de Empréstimo A	3,50	PEF-3	M.D. Área de Empréstimo F	2,50
PEB-1	M.E. Área de Empréstimo B	8,10	PEG-1	M.D. Área de Empréstimo G	4,40
PEB-2	M.E. Área de Empréstimo B	6,20	PEG-2	M.D. Área de Empréstimo G	5,30

4.3.7 Materiais de Construção

- **Área de Empréstimos de Solos**

O quadro a seguir apresenta as áreas de empréstimos de solos pesquisadas, com a respectiva avaliação de quantitativos, com base nos resultados apresentados pelos poços de inspeção e amostragem.

QUADRO C – RESUMO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMOS DE SOLOS

ÁREA DE EMPRÉSTIMO	LOCAL (MARGEM)	ÁREA PESQUISADA (m ³)	VOLUME ESTIMADO (m ³)
A	Esquerda	70.000	420.000
B	Esquerda	255.000	1.530.000
C	Esquerda	310.000	1.860.000
H	Esquerda	90.000	540.000
E	Direita	70.000	350.000
F	Direita	195.000	970.000
G	Direita	200.000	1.000.000
VOLUME TOTAL ESTIMADO			6.670.000

- **Jazidas de Areia**

Depósitos aluvionares arenosos foram identificados no leito do rio Paraíba do Sul, tanto a jusante como a montante do eixo.

A 800 metros a montante do eixo, foi identificada a jazida de areia 1, com cerca de 60000 m³ de areia quartzosa pouco micácea, bem graduada .

A jusante do eixo foi identificada a jazida de areia 2, localizada no Areal Serra da Bolívia, com cerca de 115000 m³.

- **Pedreiras**

A rocha proveniente das escavações obrigatórias é constituída de granitóide são ou pouco alterado, material adequado à utilização como agregado de concreto e enrocamento.

Os estudos geológicos identificaram quatro locais para implantação de pedreiras, três na margem esquerda e o quarto na ombreira direita, todos situados bem próximos do eixo do barramento.

4.3.8 Ensaios de Solos e Materiais de Construção

4.3.8.1 Ensaios Existentes

Para a fundação das obras de terra da barragem e dique foram realizados somente 4 ensaios de caracterização completa que caracterizaram solos argilosos de baixa plasticidade – CL na classificação USCS.

Para as amostras deformadas coletadas na fundação foram realizados também ensaios de compactação Proctor Normal para avaliar a sua utilização tendo em vista o aproveitamento dos solos oriundos das escavações obrigatórias (S1).

Nas amostras indeformadas coletadas em dois poços de fundação (barragem e dique) foram realizados também ensaios de permeabilidade.

Estes dados foram apresentados em tabelas com o gráfico das curvas granulométricas no desenho do Projeto Básico PJ0722-B-T03-GR-DE-102.

Para as jazidas de areia e cascalho foram apresentados os resultados dos ensaios tecnológicos no desenho PJ0722-B-T03-GR-DE-103 juntamente com o gráfico das curvas granulométricas das areias.

Com base nas informações contidas no desenho de Ensaios Geotécnicos – Áreas de Empréstimo – Margem direita e Margem Esquerda – PJ072-B-703-GR-DE-101, foram apresentados os resultados de ensaios de solos (S2) de caracterização completa que definiram predominantemente solos do tipo CL em ambas as margens dos empréstimos.

Foram realizados também ensaios de compactação Proctor Normal em todas amostras deformadas coletadas, e no caso dos empréstimos AE-A e AE-B de margem esquerda foram realizados dois ensaios de permeabilidade.

4.3.8.2 Ensaios de Solos Complementares

No Projeto Executivo deverão ser consolidadas as caracterizações e ensaios realizados durante o Projeto Básico.

Prevê-se novas amostragens em poços de inspeção tanto de solos de fundação (S1) quanto de solos das áreas de empréstimos (S2).

Para os novos poços de inspeção da fundação serão coletadas amostras deformadas e indeformadas.

Os ensaios previstos serão de caracterização completa e compactação Proctor Normal para as amostras deformadas, e para as amostras indeformadas prevê-se além da caracterização completa, ensaios especiais de compressão triaxial, adensamento oedométrico e permeabilidade de carga variável horizontal e vertical.

As amostras deformadas coletadas em poços das áreas de empréstimos (S2) serão caracterizadas, compactadas por Proctor Normal e submetidas a ensaios geomecânicos de

compressão triaxial, adensamento oedométrico e permeabilidade de carga variável horizontal e vertical.

Prevê-se ainda uma verificação da estabilidade desde solos com ensaios de dispersão de granulometria comparada e furo da agulha.

4.3.9 Tratamentos Previstos

Com base nos dados de sondagens, seções geológicas e observações feitas durante a visita técnica, foram estimados os tratamentos de fundação e de taludes de escavação necessários a implantação do empreendimento.

4.4 Definição da Curva Chave de Jusante

4.4.1 Objetivo

Este item do relatório tem como objetivo apresentar os estudos e levantamentos realizados nesta etapa de Otimização, que resultaram na redução dos níveis característicos a jusante das estruturas hidráulicas apresentados no Projeto Básico, conforme quadro seguinte:

Descrição	Vazão (m ³ /s)	Básico	Otimização
½ Turbina	165	61.8	59.5
1 Turbina	330	62.3	60.2
2 Turbinas	660	63.2	61.3
TR = 100 anos	5764	69.0	66.6
TR = 10.000 anos	9530	70.9	68.4

Observa-se que os níveis característicos do Projeto Básico referem-se a implantação das estruturas hidráulicas na margem direita, enquanto os mesmos níveis no Projeto de Otimização referem-se à implantação dessas na margem esquerda.

4.4.2 Histórico do Estudo

Tanto no Projeto Básico como nesta Otimização, as curva-chave a jusante das estruturas foram obtidas a partir da curva-chave do Posto Itaocara Jusante, apresentada no Relatório do Projeto Básico.

Foram realizados cálculos de remanso utilizando-se do modelo HEC-RAS e seções topobatimétricas levantadas em época, diversas, apresentadas na tabela seguintes:

HEC-RAS / Descrição	Viabilidade	Básico	Otimização
7- Barragem	M1	22	-
6 - Canal de Fuga	4	24	-
5 - Ilha Serena	-	25.5	-
4 - Ilha Serena	6	-	-
3 - Jusante	8	26	-
2 - Jusante	10	-	-
1,5 - Jusante	-	-	Roda d'Água Montante
1 - Soleira Natural	11	26.5*	-
0,8 - Jusante	-	-	Roda d'Água
0,7 - Jusante	12	-	-
0,5 - Posto	-	27*	Roda d'Água Jusante

Obs.: * As seções assinaladas foram adaptadas/obtidas no escritório.