CESAN
qualidade em saneamento



CONTRATO 0190/2022
OF Nº E-GPJ-016-001-2022

MUNICÍPIO DE DOMINGOS MARTINS

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU

PROJETO GERAL

CRITÉRIOS DE PROJETO CIVIS

A-062-000-00-0-RT-0083

Interteche CONSULTORES S.A.

Julho / 2023

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO GERAL
CADERNO DE PROJETO EXECUTIVO

Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
2	ALTERAÇÃO DE CÓDIGO	JPA	RM	JUL/23
1	ALTERAÇÃO DE CPA	JPA	RM	JUL/23
0	VERSÃO APROVADA	ACFS	RM	MAR/23
C	INCLUIDO ITEM 3.1	ACFS	RM	FEV/23
B	ADIÇÃO DOS ITENS 2, 3 E 7	GERAL	ACFS	FEV/23
A	EMISSÃO INICIAL	GERAL	ACFS	NOV/22

REVISÕES

Intertechne CONSULTORES S.A.

CESAN
qualidade em saneamento

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO BÁSICO

Elaborado por	GERAL	Monica Carvalho Gerente do Projeto
Verificado por	RM	
Supervisor	RM	José F. Pinheiro Machado
Data	NOV/22	Resp. Técnico CREA PR 20532/D

CÓDIGO INTERTECHNE	Rev.
22AL-BI-4-GE-G00-00-C-00-CP-0001	2

CÓDIGO UNIFICADO	Rev.
A-062-000-00-0-RT-0083	2

JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978

Assinado de forma digital por JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978
Dados: 2023.07.20 09:13:42 -03'00'

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO GERAL
CADERNO DE PROJETO EXECUTIVO

ÍNDICE

1. OBJETIVO 5
2. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DO EMPREENDIMENTO 6
2.1. TEMPOS DE RECORRÊNCIA PARA PROTEÇÃO DAS OBRAS DA BARRAGEM 6
2.2. VAZÃO SANITÁRIA 6
2.3. ÁREAS MÍNIMAS PARA CASA DE COMANDO 6
3. CONDIÇÕES GERAIS DO EMPREENDIMENTO 6
3.1. PROJETO EXECUTIVO 7
3.1.1 ATIVIDADES PRINCIPAIS A REALIZAR 7
3.1.2 INTERFACES DE PROJETO 9
3.1.3 SERVIÇOS DE APOIO TÉCNICO À OBRA 9
3.1.4 ATIVIDADES DE COORDENAÇÃO 10
3.2. ESTRUTURAS ESPECÍFICAS 10
3.2.1 Barragem 10
3.2.2 Vertedouro 10
3.2.3 Desvio do Rio 11
3.2.4 Identificação e Sinalização 11
3.2.5 Enchimento do Reservatório 11
4. CRITÉRIOS HIDRÁULICOS 11
4.1. NÍVEIS DE ÁGUA 11
4.1.1 Níveis Máximo e Mínimo Normal no Reservatório 11
4.1.2 Níveis de Água a Jusante 11
4.2. BORDA LIVRE 12
4.3. VAZÕES 12
4.3.1 Vazões Médias Mensais 12
4.3.2 Vazão Remanescente para Enchimento do Reservatório 12
4.3.3 Cheia de Projeto do Vertedouro 12
4.3.4 Vazões de Desvio 13
4.4. RESERVATÓRIO 13
4.4.1 Enchimento do reservatório 13
4.5. ESTRUTURAS HIDRÁULICAS 13

4.5.1 Vertedouro 13
4.5.2 Desvio do Rio 14
5. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL 15
5.1. MATERIAIS 15
5.1.1 Concreto 15
5.1.2 Aço 16
5.1.3 Outros Materiais 16
5.2. AÇÕES DE PROJETO 17
5.2.1 Geral 17
5.2.2 Cargas Permanentes 17
5.2.3 Empuxo Hidrostático 17
5.2.4 Subpressão 18
5.2.5 Aterro 18
5.2.6 Ações Hidrodinâmicas 19
5.2.7 Ações Devidas ao Vento 19
5.2.8 Ações Acidentais 19
5.2.9 Retração do Concreto e Efeito de Temperatura 21
5.3. CASOS DE CARREGAMENTO 21
5.4. SEGURANÇA GLOBAL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO 22
5.4.1 Introdução 22
5.4.2 Análise de Tensões e Tensões Admissíveis 23
5.4.3 Análise de Estabilidade 25
5.5. DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO 27
5.5.1 Verificação de Resistência 27
5.5.2 Análise Estrutural 27
5.5.3 Dimensionamento 27
5.5.4 Combinação de Carregamentos 28
5.5.5 Instabilidade e Efeitos de 2ª Ordem 29
5.5.6 Deformações Elásticas 29
5.5.7 Coeficientes de Segurança 29
5.5.8 Cobrimento de Armadura 30
5.5.9 Espaçamento das Barras 30
5.5.10 Armaduras Mínimas 30
5.5.11 Emendas 31
5.5.12 Armadura Contra a Retração 31
5.6. JUNTAS E REQUISITOS ESPECIAIS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO 32
5.6.1 Juntas nas Estruturas de Concreto 32
5.6.2 Dispositivos de Vedação 32
5.6.3 Dispositivos de Ancoragem 32
6. PROJETO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 32

6.1. ATERROS....32
6.1.1 Materiais de Construção....32
6.2. DIMENSIONAMENTO....35
6.2.1 Análises de Percolação....35
6.2.2 Análises de Estabilidade....36
6.2.3 Análises de Tensões e Deformações....38
6.3. ESCAVAÇÕES A CÉU ABERTO....39
6.3.1 Tipos de Escavação....39
6.3.2 Observações Gerais....39
6.3.3 Condições Geomecânicas....40
6.3.4 Projeto Geométrico....40
6.3.5 Investigações....40
6.3.6 Previsão das Condições Executivas....41
6.3.7 Projeto Geomecânico....43
6.3.8 Orientações Gerais Quanto à Geometria dos Taludes e Dispositivos de Proteção....45
6.3.9 Mapeamento Geológico e Parâmetros Principais de Caracterização de Maciços Rochosos....45
6.4. TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES....49
6.4.1 Tratamento e Liberação de Fundações....49
6.4.2 Tratamentos Profundos....49
6.5. INSTRUMENTAÇÃO....50
6.5.1 Geral....50
6.5.2 Obras de Terra e Enrocamento....50
6.5.3 Estruturas de Concreto....51
7. DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS TÉCNICOS....51
7.1. CODIFICAÇÃO CESAN....51
7.2. APRESENTAÇÃO DE DOCUMENTOS TÉCNICOS....51
7.2.1 Análise dos documentos submetidos....52
7.2.2 Regras de versionamento dos documentos....52
8. PRODUTOS DO PROJETO EXECUTIVO....52
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....53

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO GERAL
CADERNO DE PROJETO EXECUTIVO

1. OBJETIVO

O presente documento tem por objetivo orientar as diversas áreas de projeto na execução de suas atividades na fase de desenvolvimento do Projeto Executivo da usina.

O Projeto Executivo deverá ser elaborado por empresa especializada nesse tipo de atividade (**PROJETISTA**), a serviço do Construtor do empreendimento (**EMPREITEIRO**). Os trabalhos serão submetidos à aprovação da CESAN (**CONTRATANTE**) ou de preposto apontado pela mesma oportunamente.

Também apresenta as diretrizes gerais que serão utilizadas na verificação da estabilidade e dimensionamento das estruturas de concreto e da barragem de solo da Barragem dos Imigrantes. Este critério visa definir condições para que as estruturas apresentem bom desempenho e durabilidade, sempre considerando os aspectos de segurança, confiabilidade e economia.

Os critérios estão sujeitos a alteração no decorrer do desenvolvimento do projeto, em face de novos resultados de ensaios de laboratório, ou em função de novos parâmetros obtidos nas fases de investigação relativas aos materiais de fundação e construção. Parâmetros utilizados no dimensionamento poderão ser otimizados no decorrer do desenvolvimento do projeto, porém, em qualquer caso, deverão estar sempre de acordo com as normas da ABNT, ou, na inexistência destas, de acordo com critérios e normas de órgãos reconhecidamente idôneos.

Estes critérios são fundamentados nas seguintes fontes:

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.;
- ANA – Agência Nacional de Águas – Diretrizes para a Construção de Barragens
- USACE – United State Army Corps of Engineers;
- USBR – United States Department of Interior Bureau of Reclamation;
- ACI – American Concrete Institute;
- AISC – American Institute of Steel Construction;
- CEB – Comitée Européen Du Beton;
- DIN – Deutsch Industrie Normen;
- ISRM – International Society for Rock Mechanics
- Observações e experiência de outros aproveitamentos projetados anteriormente pelo CONTRATADO.

2. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DO EMPREENDIMENTO

O Projeto Básico para esse empreendimento foi elaborado pela empresa Intertechne, em 2022 e apresentado para a **CESAN** em 2023.

As condições específicas exigidas para a **BARRAGEM DOS IMIGRANTES** as quais deverão ser observadas pela **CONTRATADA** durante o projeto e execução, estão citadas nos itens a seguir.

2.1. TEMPOS DE RECORRÊNCIA PARA PROTEÇÃO DAS OBRAS DA BARRAGEM

Para o dimensionamento do sistema de desvio do rio, a CONTRATADA deverá adotar as vazões resultantes do estudo de frequência de cheias para a seção do aproveitamento. Caso o cronograma de construção permita, as proteções poderão considerar a sazonalidade hidrológica existente considerando vazões históricas associadas a períodos de seca ao longo do ano.

A proteção do desvio deverá considerar a cheia com tempo de recorrência de no mínimo 50 anos.

2.2. VAZÃO SANITÁRIA

O projeto deverá prever a implantação de dispositivo que assegure a manutenção de vazão exigida pelos órgãos competentes (vazão sanitária ou remanescente) para todo o período de construção e operação do EMPREENDIMENTO.

2.3. ÁREAS MÍNIMAS PARA CASA DE COMANDO

A contratada deverá projetar e construir o empreendimento com as áreas mínimas conforme quadro a seguir.

Tabela 2.2 Áreas Mínimas Requeridas

Compartimento	Área (m²)
Sala de Comando	8
BWC e Copa	3,5
Almoxarifado / Oficina	14
Galeria Elétrica	20

3. CONDIÇÕES GERAIS DO EMPREENDIMENTO

Na concepção das diversas estruturas do **EMPREENDIMENTO** deverão ser atendidos os aspectos básicos relacionados à boa técnica, às particularidades locais, à funcionalidade e durabilidade das estruturas, ao conforto das equipes de operação e manutenção, além de aspectos relacionados à segurança externa. Os principais aspectos estão colocados a seguir.

3.1. PROJETO EXECUTIVO

Para permitir a construção do empreendimento, a **PROJETISTA** deverá submeter à aprovação da **CONTRATANTE**, um projeto executivo onde constarão todos os detalhes construtivos das obras e sistemas do empreendimento.

Todos os dimensionamentos das estruturas civis do **EMPREEENDIMENTO**, serão objeto de memórias de cálculo a serem apresentadas pela **PROJETISTA** para análise e aprovação pela **CONTRATANTE** antes do desenvolvimento dos respectivos projetos.

Estão previstas as emissões das seguintes memórias de cálculo:

- Memória de cálculo de consolidação dos dimensionamentos hidráulicos;
- Memórias de cálculo de estabilidade de taludes;
- Memórias de cálculo da verificação de estabilidade das estruturas;
- Memória de cálculo de drenagem superficial;
- Memórias de cálculo de dimensionamento estrutural dos componentes do empreendimento (tomada de desvio, passarela, vertedouro e tomada para outros usos).

Eventualmente, devido a condições especificas encontradas durante a implantação, poderá ser necessária a emissão de memórias complementares.

O Projeto Executivo das Obras Civis corresponde à caracterização das obras civis das estruturas permanentes do empreendimento, no nível compatível com a realização física destas obras.

O Projeto Executivo das Obras Civis será preparado a partir das definições da Projeto Básico e em sincronia com o desenvolvimento da construção.

O detalhamento das estruturas civis deverá contemplar as interfaces com os equipamentos eletromecânicos principais e os sistemas auxiliares mecânicos e elétricos no que concerne à ocupação adequada de espaços e aos processos construtivos e de montagem previstos.

As atividades de cálculo e detalhamento de todas as estruturas somente serão iniciadas após o recebimento de todas as informações necessárias dos equipamentos, fornecidas pelos fabricantes.

3.1.1 ATIVIDADES PRINCIPAIS A REALIZAR

a) Preparação dos Desenhos de Construção necessários à realização física do Empreendimento. Serão preparados desenhos requeridos para atender às necessidades normais dos serviços de construção civil, cobrindo as seguintes atividades e estruturas:

- Desenhos gerais do arranjo e das estruturas;
- Desenhos de escavação a céu aberto;
- Desenhos de referências topográficas e de locação das obras;
- Detalhes típicos de construção;
- Dados hidrológicos e hidráulicos de importância para as atividades construtivas;
- Dados de campanhas adicionais de investigação geotécnica e geológica;

- Sequência da operação de desvio e controle do rio durante a construção;
- Ensecadeiras e obras de proteção do sítio da construção durante o desvio;
- Escavações em solo e rocha;
- Tratamentos das superfícies escavadas;
- Tratamentos de fundações – injeções e drenagens;
- Barragens de terra;
- Vertedouro labirinto
- Tomada de Água para outros usos;
- Casa de Comando;
- Canais de Adução/Fuga e Aproximação/Restituição;
- Projeto de instrumentação civil, com os procedimentos de leitura dos instrumentos (antes, durante e depois do enchimento) e emissão de 03 relatórios sobre as leituras (30 dias, 6 e 12 meses após o enchimento);
- Acabamentos arquitetônicos na Casa de Comando;
- Complementos metálicos: plataformas, escadas, guarda-corpos e tampas metálicas;
- Paisagismos na área interna e anexa à estrutura da Casa de Comendo;
- Projeto de drenagem nas águas pluviais e drenagem profunda;
- Projeto dos acessos internos definitivos;
- Planos de fôrma deslizante, camadas de concretagem e classes de concreto;
- Plataformas e escadas metálicas (se houver);
- Interface das peças fixas de 1° estágio e ranhuras das comportas.
- Projeto das instalações hidrossanitárias (esgoto e água potável);
- Projeto da ETE nas instalações hidrossanitárias;

b) Preparação de memórias de cálculo e instruções específicas eventualmente necessárias para implementação ou justificação de detalhes particulares da construção.

c) Preparação das listas de armaduras, listas de peças embutidas, listas de acabamentos arquitetônicos e listas de materiais necessárias para

aquisição, preparação e montagem ou construção de partes específicas das obras.

d) Preparação dos procedimentos para desvio do rio e enchimento do reservatório;

e) Avaliação mensal dos relatórios de controle tecnológico e estatístico do concreto e dos aterros.

f) Relatórios mensais de progresso relativos às atividades do Projeto Executivo Civil.

g) Preparação dos desenhos Como Construído relativos ao projeto executivo. Não serão necessários os Como Construído dos desenhos de armaduras e relativos a obras temporárias (por exemplo: ensecadeiras), bem como documentos tipo texto (memórias, relatórios, especificações técnicas etc.).

3.1.2 INTERFACES DE PROJETO

A **PROJETISTA** terá no escopo as atividades de exame de documentos do Projeto Eletromecânico, bem como Projeto dos Equipamentos Eletromecânicos com o objetivo da verificação de suas interfaces físicas com os projetos das estruturas civis desenvolvidos pela **PROJETISTA**.

3.1.3 SERVIÇOS DE APOIO TÉCNICO À OBRA

Trata-se de um profissional ou um grupo de profissionais a serem alocados no sítio das obras, durante um período a ser determinado entre a **CONTRATANTE** e a **PROJETISTA** em função do cronograma da obra e dentro das condições comerciais apresentadas em item especifico desta Proposta, para a execução das atividades apresentadas a seguir.

Caracterização dos Serviços

Os Serviços de ATO correspondem às tarefas técnicas relacionadas com o Projeto Executivo dos itens do escopo da **PROJETISTA**, executadas no canteiro das obras por técnicos da **PROJETISTA**. Estes técnicos constituem o Grupo de Engenharia Residente (GER) que se reporta diretamente ao Gerente de Projeto da **PROJETISTA** e atua como uma extensão, no canteiro de obras, do Grupo de Projeto que desenvolve o Projeto Executivo.

Os Serviços de ATO têm por objetivo:

- Assistir ao **EMPREITEIRO** na interpretação e análise dos desenhos de construção preparados pela **PROJETISTA** no âmbito do Projeto Executivo Civil;
- Avaliar o desenvolvimento da construção das Obras Civis quanto às suas interfaces e em conformidade com os projetos elaborados pela **PROJETISTA**;
- Elaborar adequações nos projetos civis, desde que autorizadas pelo Gerente de Projeto da **PROJETISTA** e pela **CONTRATANTE**;
- Assistir a **CONTRATANTE** nas relações técnicas com o **EMPREITEIRO** e FABRICANTES, no âmbito da obra, em questões relacionadas com o projeto de engenharia;

- Elaborar o mapeamento geológico-geotécnico das escavações e definir contenções adicionais quando necessário, para permitir ajustes de projeto e registro das condições encontradas. O **EMPREITEIRO** deverá liberar as áreas em condições adequadas para a execução do mapeamento e fornecer os serviços de topografia necessários ao desenvolvimento desta atividade;
- Analisar e emitir parecer sobre registros de injeções de fundação, contatos concreto-rocha, concreto-revestimentos metálicos, gerados pelo **EMPREITEIRO**;
- Coletar e receber informações para a preparação de desenhos Como Construído.

Atividades Principais Realizadas

Os serviços de ATO são constituídos por trabalhos de assistência à obra e, portanto, não têm uma programação rígida pré-estabelecida de produtos. Serão preparados, na medida das necessidades da obra, desenhos, croquis, relatórios, atas de reunião, pareceres, etc.

3.1.4 ATIVIDADES DE COORDENAÇÃO

A **PROJETISTA** enviará o cronograma do projeto executivo no prazo máximo de 30 dias corridos após a aprovação do cronograma completo do Empreendimento: de projeto, fabricação, transporte, montagem e comissionamento pela **CONTRATANTE**.

3.2. ESTRUTURAS ESPECÍFICAS

3.2.1 Barragem

A seleção do tipo de barragem está apresentada no Projeto Básico, e foi definida observando as Frações de Inovação. A barragem apresenta condições de segurança adequadas e atende aos requisitos constantes deste documento e demais exigências legais que estejam em vigor por ocasião da implantação do **EMPREENDIMENTO**.

Deverão ser elaborados, além da análise de estabilidade e do estudo de caracterização e de utilização dos agregados/materiais de jazidas disponíveis no local, o estudo térmico levando em consideração a geração autógena de calor do concreto e as condições ambientais, no caso de barragem de concreto a gravidade, ou de deformações, nos demais casos. Esses estudos deverão ser realizados conforme critérios indicados neste documento e apresentados e justificados nas memórias de cálculo.

Deverá ser previsto um sistema de auscultação para monitoramento do desempenho da barragem para as fases de construção, enchimento e operação.

A crista da barragem deve ter largura suficiente para permitir as atividades de operação e manutenção da própria barragem e do vertedouro quando incorporado.

3.2.2 Vertedouro

A **CONTRATADA** deverá dimensionar o vertedouro para a vazão máxima de projeto estabelecida no **PROJETO BÁSICO**, devendo ser verificada a condição de passagem da vazão decamilenar afluente definida no **PROJETO BÁSICO** garantindo-se uma borda livre em relação à crista da barragem conforme estabelecido nestes requisitos.

Deverão ser elaboradas análises de estabilidade dessas estruturas, conforme critérios indicados neste documento, e apresentadas em memória de cálculo.

3.2.3 Desvio do Rio

Desde que sejam atendidos os requisitos constantes deste documento, a escolha da maneira como será realizado o desvio do rio para a construção do barramento ficará a critério da **CONTRATADA**. A vazão de desvio para esta fase da obra será definida de acordo com o tipo de barragem, conforme item 2.1.

As elevações das cristas das ensecadeiras ou septos utilizados durante a obra nas suas diversas fases deverão ser avaliadas e definidas pela **CONTRATADA**.

Deverão ser elaboradas análises de estabilidade dessas estruturas, conforme critérios indicados neste documento, e apresentadas em memória de cálculo.

O projeto deverá prever a remoção de todas as ensecadeiras e septos até uma elevação que garanta a não interferência dessas estruturas temporárias sobre o desempenho ou segurança das estruturas definitivas.

3.2.4 Identificação e Sinalização

Deverá ser prevista pelo projeto, e implantada, a sinalização de segurança do reservatório, incluindo placas, boias, cabos e blocos de ancoragem.

Os equipamentos, instrumentos e tubulações deverão ser devidamente identificados, bem como os acessos, áreas externas e internas, devidamente sinalizados pela **CONTRATADA**.

3.2.5 Enchimento do Reservatório

O projeto deverá prever a implantação de dispositivo que assegure a manutenção de vazão mínima exigida pelos órgãos competentes para todas as etapas do enchimento do reservatório. Esta vazão deverá ser monitorada à jusante do barramento pela **CONTRATADA** durante o enchimento do reservatório.

4. CRITÉRIOS HIDRÁULICOS

Os critérios hidráulicos definidos neste capítulo procuram estabelecer os princípios gerais do projeto hidráulico. Servirão de base para a avaliação dos projetos, que deverão, nos seus itens específicos, sugerir as soluções particulares aos critérios gerais aqui definidos, caracterizando e justificando as adaptações e alterações adotadas.

4.1. NÍVEIS DE ÁGUA

4.1.1 Níveis Máximo e Mínimo Normal no Reservatório

Nível máximo normal ..... El. 120,00 m

Nível mínimo normal ..... El. 90,00 m

Nível máximo maximorum (TR 10.000 anos: 655 m³/s) ..... El. 122,31 m

4.1.2 Níveis de Água a Jusante

A metodologia para a obtenção dos níveis de jusante está apresentada no documento E-062-00-00-5-MC-0002-3. Os níveis de água de jusante foram obtidos por meio da determinação da vazão escoada em uma seção do rio utilizando a expressão de Manning e admitindo-se uma declividade da linha de energia de 0,1% e um coeficiente de Manning de 0,035.

Deve-se comentar que este é um método aproximado e caso se variem os parâmetros de declividade e de rugosidade, pode-se obter diversos valores de níveis de jusante. O procedimento também parte da premissa de que o regime é uniforme, o que implica na existência da mesma seção transversal do escoamento ao longo do rio que não é compatível com as condições naturais do rio. A definição dos níveis a jusante deve ser necessariamente baseada em levantamentos de campo consistindo na instalação de régua liminimétrica, medições de perfis de linha de água e medições diretas de vazão cobrindo ao menos um período hidrológico completo.

Nesse sentido, a especificação técnica apresentada no documento 22AL-BI-4-GE-G00-00-C-13-ET-0001 / A-062-000-00-0-ET-0011, solicita os serviços de levantamentos hidrométricos a serem realizados para o empreendimento Barragem dos Imigrantes. Portanto, recomenda-se que, durante o Projeto Executivo, seja realizada a análise dos níveis de jusante com as medições de campo, a fim de confirma-los, considerando que podem afetar as condições de restituição do fluxo descarregado pelo vertedouro, as condições de restituição do túnel de desvio (ensecadeira de jusante) e a definição da cota de acesso das válvulas dispersoras na saída do túnel de desvio.

Nível de Água para TR 10 anos (211 m³/s)..... El. 74,63 m

Nível de Água para TR 50 anos (316 m³/s)..... El. 75,50 m

Nível de Água para TR 100 anos (360 m³/s)..... El. 75,81 m

Nível de Água para TR 1.000 anos (507 m³/s)..... El. 76,73 m

Nível Máximo Maximorum (TR 10.000 anos: 655 m³/s) ..... El. 77,51 m

4.2. BORDA LIVRE

As cotas de coroamento das estruturas deverão respeitar as bordas livres indicadas a seguir, para o nível máximo normal do reservatório:

Borda livre mínima para as estruturas de concreto ..... 1,0 m

Borda livre mínima para a barragem de terra ou enrocamento ..... 3,0 m

4.3. VAZÕES

4.3.1 Vazões Médias Mensais

A série disponível de vazões médias mensais na região do empreendimento compreendida entre outubro de 1949 e outubro de 2018 está apresentada no documento *A-062-000-00-0-RT-0080-0A*, referente ao relatório técnico de hidrologia, emitido em dezembro de 2018.

4.3.2 Vazão Remanescente para Enchimento do Reservatório

Conforme parecer técnico sobre o projeto executivo, emitido em fevereiro de 2022, durante a etapa inicial de enchimento do reservatório, deverá ser restituída a jusante uma vazão de 1,5 m³/s (vazão sanitária).

4.3.3 Cheia de Projeto do Vertedouro

O vertedouro será dimensionado de modo a escoar uma cheia com tempo de recorrência de 10.000 anos de 655 m³/s com reservatório na elevação El. 122,31 m.

4.3.4 Vazões de Desvio

A borda livre mínima nas ensecadeiras será de 1,0 m.

As enchentes a serem adotadas para as diversas fases do desvio e os tempos de recorrência correspondentes são os seguintes:

Desvio de 1ª fase – septos e/ou ensecadeira de proteção provisórios para a escavação dos canais e região das estruturas: tempo de recorrência de 10 anos anual .... 211 m³/s

Desvio de 2.a fase - ensecadeiras para a construção da barragem: Tempo de recorrência de 50 anos anual..... 316 m³/s

4.4. RESERVATÓRIO

4.4.1 Enchimento do reservatório

Os estudos efetuados com avaliações probabilísticas do tempo de enchimento do reservatório foram elaborados com base na série de vazões médias mensais, na série das vazões de uso consuntivo e vazões sanitárias, e no cronograma de construção do empreendimento.

Durante o enchimento do reservatório da Barragem dos Imigrantes deverá ser mantida a vazão residual de 1,5 m³/s.

4.5. ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

4.5.1 Vertedouro

Geral

O Vertedouro será projetado de maneira a conduzir as vazões de cheia restituindo-as a jusante em condições de segurança e sem perturbações de nível prejudiciais à operação do aproveitamento.

Na definição da curva de descarga do vertedouro serão contempladas as perdas de carga contínuas e localizadas existentes ao longo da estrutura e nos canais de aproximação e restituição do vertedouro. Para a estimativa da perda de carga contínua nos canais será considerado um coeficiente de Strickler de 28 $m^{1/3}/s$ e ao longo da estrutura será considerado um coeficiente de Strickler de 70 $m^{1/3}/s$.

A capacidade de descarga do vertedouro deverá ser suficiente para possibilitar a passagem da cheia de projeto, com tempo de recorrência de 10.000 anos (vazão de projeto igual a 655 m³/s) com o nível no reservatório na El. 122,31 m. A capacidade de descarga do vertedouro também será verificada para a passagem da HMMP, referente à uma vazão de 735 m³/s.

Calha

A perda de carga ao longo da estrutura será avaliada através do método da camada limite (ver “Hydraulic Design of Spillways”, 1965) ou através do *Standart Step Method* (escoamento gradualmente variado). Cada método será aplicado para a sua faixa de validade. Os referidos cálculos de perda de carga deverão ser contemplados na estimativa das profundidades ao longo da calha e na estimativa da energia residual do escoamento. Nestas avaliações será considerada uma altura de rugosidade de 0,6 mm e um coeficiente de Strickler de 70 $m^{1/3}/s$ para o concreto.

Dissipação da Energia

A profundidade da bacia será prevista para a vazão de projeto do vertedouro, enquanto o seu comprimento revestido será projetado para uma enchente de período de recorrência de 100 anos (360 m³/s) e comprimento total para a HMMP (735 m³/s).

4.5.2 Desvio do Rio

Os níveis de água e velocidades referentes ao desvio de primeira fase serão definidos com base nas curvas-chave de jusante naturais do rio, tanto a montante quanto a jusante. Já para o desvio de segunda fase, os níveis serão definidos com base na curva-chave natural de jusante e na curva de descarga do vertedouro, uma vez que esse irá operar durante essa fase da obra.

Fechamento do rio

As cotas de implantação das obras de desvio e ensecadeiras serão definidas de modo a limitar o desnível por ocasião do fechamento do rio, em um valor compatível com o método de fechamento previsto. Para fechamento por diques de enrocamento em ponta de aterro, em princípio o desnível em cada dique não deverá ser superior a 3,0 m por ocasião do fechamento. A dimensão do enrocamento para a operação de fechamento do rio (em ponta de aterro) será estimada através da expressão de Isbash. Os cálculos teóricos deverão ser fiéis às condições previstas para o fechamento no protótipo (vazões, pesos específicos, tempo da operação, etc).

Estabilidade de enrocamento

As dimensões dos enrocamentos de proteção para revestimento de canais ou para construção dos diques de fechamento em água corrente, serão definidas, em princípio com base na fórmula de Isbash.

5. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

5.1. MATERIAIS

5.1.1 Concreto

Classes de Concreto

Os concretos destinados às diversas partes das estruturas serão classificados de acordo com a resistência característica de projeto (fck), sendo os locais de aplicação de cada classe indicados nos desenhos. São previstas as seguintes classes de concreto:

Tabela 5.1 Classes de Concreto

Classe	Resistência Característica à Compressão (fck)		Faixa de Teor de Aglomerante Cimento+Mat. Pozolânico (kg/m³) ou Relação A/C	Utilização
	Valor MPa	Idade (Dias)		
H	30	90	Relação A/C ≤ 0,45	• concreto armado resistente à abrasão (t = 1,645) • superfícies hidráulicas sujeitas a velocidades >12m/s (ver notas 2 e 3) (t=1,645) • concreto secundário das guias de comportas (t = 1,645)
G	25	90	265 a 285	• concreto armado(t = 1,645) • superfícies hidráulicas sujeitas a velocidades entre 4 m/s e 12m/s (ver nota 3) (t=1,645)
F	30	28	Relação A/C≤ 0,45	• concreto armado resistente à abrasão (t=1,645) • concreto protendido (t = 1,645) • peças pré-moldadas (t = 1,645) • superfícies hidráulicas sujeitas a velocidades > 12m/s (ver notas 2 e 3) (t=1,645) • concreto secundário das guias de comportas (t = 1,645)
E	25	28	345 a 380	• concreto protendido (t = 1,645) • concreto armado (t = 1,645) • peças pré-moldadas (t = 1,645)
D	20	28	280 a 320	• concreto armado (t = 1,645) • concreto armado por ex. dos pilares e muros do vertedouro (t = 1,282) • regiões sujeitas a solicitações dinâmicas t = 1,645 • peças pré-moldadas (t = 1,645) • superfícies hidráulicas sujeitas a baixas velocidades de água < 4 m/s (ver nota 3) (t =1,645)
C	20	90	215 a 240	• concreto armado (t = 1,645) • concreto armado por ex. dos pilares e muros do vertedouro (t = 1,282) • regiões sujeitas a solicitações dinâmicas (t = 1,645) • superfícies hidráulicas sujeitas a baixas velocidades de água < 4 m/s (ver nota 3) (t =1,645)
B	15	90	160 a 190	• concreto armado de características massivas (t = 1,282) • impermeabilização de fundação (t = 0,842) • concreto de face ou de envelopamento do CCR (t = 0,842)
A	9	90	100 a 150	• preenchimento de cavidades e irregularidades de fundação (t = 0,842) • concreto massa (t = 0,842)

Notas: 1- Se a estrutura for solicitada em idade superior a 28 ou 90 dias, a idade de referência poderá ser aumentada, desde que na nova idade seja atendida à resistência característica do concreto;

2- Os concretos classe F ou H, quando utilizado em superfície hidráulica de alta velocidade, deverão ter sua relação a/c (material cimentício) limitada em 0,45, a não ser que seja comprovada para uma relação a/c maior através de ensaios de abrasão/erosão, cuja perda de massa não poderá ser superior a 4%;
3- A idade de controle do concreto de superfície hidráulica é de 90 dias, podendo ser reduzida em função da idade efetiva de carregamento.
4- Os consumos de cimento de cada dosagem serão definidos nos estudos das dosagens experimentais, a serem realizados pela CONTRATADA oportunamente;
5- Quando for apresentado o estudo de dosagem com os agregados processados na obra, o cimento e pozolana selecionados, será emitida a tabela de traços que permitirá a discussão do consumo do material cimenticio da obra.,

As idades de controle apresentadas na tabela acima poderão ser alteradas em função do cronograma da obra, desde que previamente aprovadas pelo projetista.

Propriedades

As propriedades do concreto, na falta de determinação experimental, obedecerão às determinações da NBR 6118 no que diz respeito à resistência a compressão, resistência à tração, módulo de deformação longitudinal, coeficiente de Poisson, coeficiente de dilatação térmica, etc.

5.1.2 Aço

Aço para Concreto Armado

As barras de aço para armadura de concreto obedecerão às especificações normativas brasileiras, em particular à NBR 7480 – Barras e Fios de Aço Destinados a Armadura para Concreto Armado.

Será utilizado em todas as estruturas de concreto armado o aço CA-50 com coeficiente de conformação superficial $\eta \geq 1{,}5$. Salvo em casos de conveniência prática ou econômica, poderão ser utilizadas barras lisas de aço CA-25.

Aço para Concreto Protendido

Os aços de protensão deverão obedecer às disposições das Especificações EB-780 (fios) e EB-781 (cordoalhas) e à especificação brasileira NBR-7482 e NBR-7483.

Os projetos deverão ser concebidos considerando-se a utilização de aços de baixa relaxação (RB).

A definição do uso de fios ou de cordoalhas e das bitolas é função das cargas.

Aço para Estruturas Diversas

Os aços projetados para estruturas metálicas e peças metálicas, deverão estar conforme as prescrições das normas brasileiras da ABNT aplicáveis, ou das normas americanas AISC, ASME e ASTM, quando for o caso.

5.1.3 Outros Materiais

No caso da previsão de uso de outros materiais, tais como alumínio, madeira, plásticos, borrachas etc., serão adotadas as prescrições das normas brasileiras da ABNT, e quando estas forem omissas, de outras normas, de órgãos reconhecidamente idôneos, nacionais ou internacionais.

5.2. AÇÕES DE PROJETO

5.2.1 Geral

Os carregamentos dos diversos elementos estruturais serão definidos em função das cargas permanentes e acidentais atuantes.

As cargas temporárias originárias dos métodos construtivos, cargas de equipamentos ou estruturais adjacentes poderão ter seus valores estimados até que sejam disponíveis os valores finais.

5.2.2 Cargas Permanentes

No cálculo do peso próprio serão adotados, na falta de determinação experimental, os valores característicos dos pesos específicos dos respectivos materiais indicados abaixo.

Tabela 5.2 Pesos específicos dos materiais

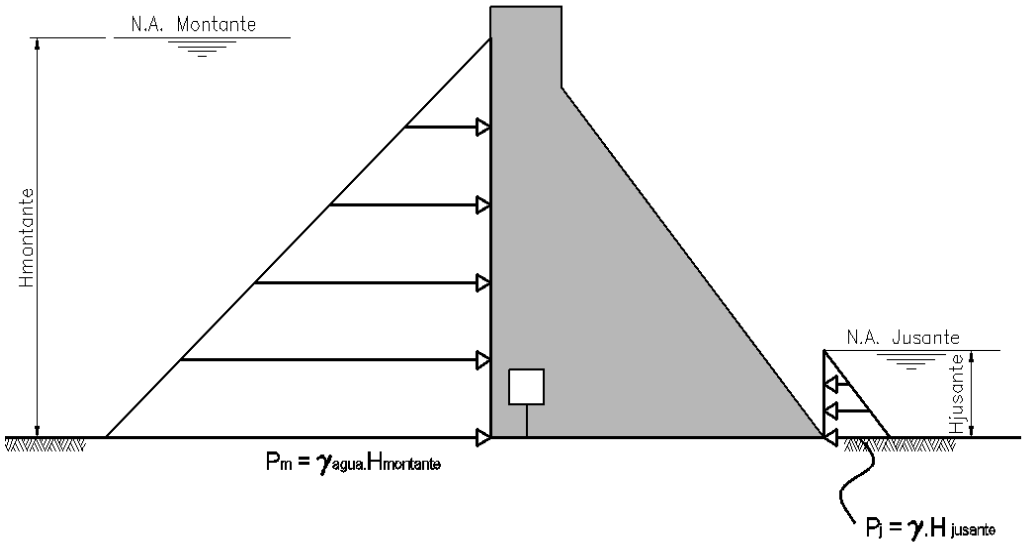
Material	Peso Específico (kN/m³)
Concreto Armado	24
Concreto Massa	23,5
Concreto Compactado a Rolo (CCR)	23,5
Aço	78,5
Madeira	5,5 a 11,0
Água	10
Alvenaria de tijolos rebocada	18
Revestimentos em Geral	22
Enrocamento compactado	22
Enrocamento lançado	20
Enrocamento submerso	10
Solo compactado seco	18
Solo compactado húmido	20
Solo lançado	17
Solo submerso	10

Valores considerados para materiais com a umidade natural.

5.2.3 Empuxo Hidrostático

Na avaliação do empuxo hidrostático a montante, devem ser considerados os níveis possíveis de água influenciados pelo reservatório, enquanto que, a jusante os níveis de água a serem considerados são influenciados pelas condições hidráulicas de jusante.

Figura 5.1 Empuxo hidrostático



5.2.4 Subpressão

A subpressão devido aos níveis de água de montante e de jusante existe na massa de concreto, no contato concreto-rocha e na rocha de fundação abaixo do contato concreto-rocha. Os critérios utilizados para definição da subpressão, apresentados a seguir, são propostos pelos “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidroelétricas” da Eletrobrás.

Critério de Subpressão no Contato Concreto-Rocha

O diagrama de subpressão será sempre considerado atuante em 100% da superfície e nas diferentes hipóteses de carregamento.

No pé de montante e de jusante a subpressão é dada pelas colunas de água medidas pelos níveis de água de montante e de jusante, respectivamente, até o plano de contato concreto-rocha.

Como não haverá galeria na barragem será considerado sempre o diagrama de subpressões sem alívio, ou seja, a subpressão varia linearmente entre os valores da coluna de água de montante e jusante.

Critério de Subpressão na Massa de Concreto e nas Juntas de Construção

A subpressão na massa de concreto e nas juntas de construção segue as mesmas recomendações da subpressão no contato Concreto-Rocha

Critério de Subpressão em Planos Inferiores ao Contato Concreto-Rocha

Aplicam-se os mesmos critérios recomendados para o contato Concreto-Rocha, com particular cuidado às condições hidrogeológicas de alimentação e descarga.

5.2.5 Aterro

As pressões horizontais do aterro exercidas nos paramentos, muros ou paredes são calculadas empregando o método das cunhas (Coulomb generalizado) em função dos ângulos de atrito, considerando-se o solo em repouso. A pressão é calculada pela expressão:

$$p = \gamma_{aterro} \cdot H \cdot K_0$$

$$K_0 = 1 - sen\phi$$

Onde:

p = Pressão do aterro na profundidade H

γ_{aterro} = Peso específico do aterro

H = Profundidade

K_0 = Coeficiente de empuxo no repouso

Φ = Ângulo de atrito interno do aterro

5.2.6 Ações Hidrodinâmicas

Em curvas, transições convergentes ou divergentes, seções contraídas e em outras disposições construtivas que ocasionem uma mudança na velocidade ou na direção do escoamento, devem ser considerados os efeitos de cargas hidrodinâmicas.

Serão considerados os carregamentos, fornecidos pela hidráulica, provenientes de:

- operações de abertura / fechamento de válvulas e comportas;
- operação das turbinas;
- sobrelevação da pressão hidrostática nos condutos forçados;
- pressões hidráulicas, devido ao escoamento, nas paredes laterais do vertedouro, transições convergentes ou divergentes.

5.2.7 Ações Devidas ao Vento

Para as forças de vento em geral, deve ser considerada, onde aplicável, a norma da ABNT (NBR-6123), suplementada, sempre que necessário, por outras normas autorizadas.

5.2.8 Ações Acidentais

Ações Acidentais Uniformemente Distribuídas

Na Tabela 5.3 são relacionadas as cargas acidentais uniformemente distribuídas, em regiões típicas da Usina.

Tabela 5.3 Cargas acidentais

Regiões Típicas	Carga (kN/m²), Salvo Quando Indicado
Armazém	
- peças pesadas	15
- peças leves	7,5
Carga acidental mínima, exceto em cobertura	5
Carga horizontal em corrimãos e guarda-corpos	0,8 a 1,0 (kN/m) aplicada no topo
Cobertura não sujeita a carregamento especial	2,5
Escadas e corredores	5
Escritórios e sala de visita	5
Galerias	
- de cabos	10
- de tubulação	10
Grades e tampas, normalmente não carregadas	
- internas	10
- externas	5
Oficinas e Galerias da Casa de Força	
- eléctrica	15
- mecânica	25
Pisos	
- área de montagem	50
- acesso ao gerador/turbina	50
Plataformas	
- de operação das comportas	15 (mínimo)
- de operação em geral	5 (mínimo)
- dos transformadores	25
Salas	
- de baterias	15
- de bombas	20
- de comando	10
- de depósito de óleo	25
- dos equipamentos de manobra	15

Ações Acidentais Móveis

O dimensionamento de estruturas sujeitas a carregamentos móveis tais como ponte sobre o vertedouro, passadiço da tomada de água, dentre outras, seguirão as orientações das normas da ABNT.

Para ponte rolante e guindastes, além dos esforços provenientes do peso próprio e dos carregamentos previstos, na ausência de informações de fabricantes deverão ser considerados:

- Esforço lateral de tração..... 10% capac. nominal + peso do troley
- Esforço longitudinal de tração .....15% da carga estática máxima
- Esforço vertical máx. (estático).....1,4 vezes a capacidade
- Esforço vertical máx. (dinâmico).....1,2 vezes a capacidade

5.2.9 Retração do Concreto e Efeito de Temperatura

A fim de controlar o efeito da variação da temperatura e da retração deverão ser adotadas medidas especiais, tais como: colocação de armadura mínima, disposição adequada de juntas de contração e de construção e utilização de métodos apropriados de mistura, lançamento e cura do concreto. Estas medidas poderão ser adotadas isoladamente ou combinadas entre si de maneira que os esforços de origem térmica não sejam significativos, não sendo necessário considerá-los no projeto.

5.3. CASOS DE CARREGAMENTO

Os seguintes casos de carregamento devem ser considerados nos estudos de estabilidade e nas análises de tensões.

- Caso de Carregamento Normal (CCN)

Os casos de carregamento normal estão relacionados às funções primárias das estruturas. Espera-se que os casos de carregamento normal ocorram frequentemente durante a vida útil da estrutura. Um evento normal é de ocorrência comum.

- Caso de Carregamento Excepcional (CCE)

Corresponde a combinações de cargas possíveis de existir durante a vida útil da estrutura, porém com baixa probabilidade de ocorrência.

- Caso de Carregamento Limite (CCL)

Corresponde a combinações de carga com muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da estrutura, utilizado para uma verificação última e levando em conta coeficientes de segurança condizentes a esta situação.

- Caso de Carregamento de Construção (CCC)

Correspondem às combinações de carregamento de construção. Pressupõem-se neste caso as condições de carregamento que poderão ocorrer anteriormente ao período de funcionamento da Obra como um todo, não referindo-se exclusivamente à construção da estrutura em si.

Para as estruturas do barramento da Barragem dos Imigrantes devem ser considerados os casos de carregamentos apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Casos de carregamento

Cond. de Car.	Decrição
CCC	Estrutura de Concreto Concluída
	Sem consideração de água a montante e a jusante
CCN	N.A. máximo normal a montante

	N.A. a jusante para um período de retorno de 10 anos ou para a vazão máxima turbinada *
	Subpressão
CCE1	N.A. a montante para um período de retorno de 10.000 anos
	N.A. a jusante para um período de retorno de 10.000 anos
	Subpressão
CCE2	N.A. máximo normal a montante
	N.A. a jusante para um período de retorno de 10 anos ou para a vazão máxima turbinada *
	Carregamento Sísmico
	Subpressão
CCL	N.A. a montante para um período de retorno de 10.000 anos
	N.A. a jusante para um preríodo de retorno de 10.000 anos
	Carregamento Sísmico
	Subpressão

* A verificação da estabilidade será realizada para a condição normal mais crítica de cada estrutura.

5.4. SEGURANÇA GLOBAL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

5.4.1 Introdução

A análise de segurança global deverá ser feita para todas as estruturas, submetidas aos diversos casos de carregamentos. Englobará a análise de tensões e estabilidade no contato concreto-rocha. Em situações que se tenham indícios de possíveis problemas em outros planos, estes também deverão ser analisados, seja em planos inferiores ao da fundação ou no próprio corpo da estrutura.

A análise de tensões tem por objetivo verificar se as tensões na base estão dentro dos limites admissíveis, bem como verificar se ocorrerá abertura de fratura e se esta se encontra dentro dos limites admissíveis. As análises de estabilidade visam o cálculo dos fatores de segurança e a verificação se estes estão dentro dos limites admissíveis.

A análise das estruturas do barramento é feita considerando cada estrutura como um corpo rígido, e deve comprovar a segurança das estruturas nas seguintes condições:

- Flutuação;
- Tombamento (tendência de giro);
- Deslizamento.

A análise das estruturas ilhadas que não têm influência na segurança da barragem é feita considerando cada estrutura como um corpo rígido. Como as estruturas ilhadas têm suas cargas hidráulicas equilibradas, não são realizadas as verificações de tensões na base. Portanto, deve-se comprovar a segurança das estruturas nas seguintes condições:

- Flutuação;
- Deslizamento.

Deve-se considerar os resultados de investigações geológicas e geomecânicas.

Deve-se considerar os efeitos de subpressão, conforme critérios já estabelecidos.

As cargas acidentais de projeto devem ser completamente desprezadas em análise de estabilidade, sempre que as forças verticais atuarem como fatores de estabilidade.

5.4.2 Análise de Tensões e Tensões Admissíveis

Geral

As análises de tensões deverão ser elaboradas para todas as estruturas, considerando os possíveis casos de carregamento. Deve-se determinar o diagrama linear de tensões atuando na base das estruturas, ou em qualquer plano que se considere necessário, para todos os casos de carga.

Nos Casos de Carregamento Normal (CCN), no contato concreto-rocha, o diagrama linear de tensões deve permanecer totalmente comprimido. Para os demais casos de carregamento admite-se uma abertura do contato limitada a 1/3 da seção de contato concreto / fundação.

As tensões atuantes calculadas considerando todos os carregamentos devem ser menores ou iguais às tensões admissíveis indicadas abaixo. Quando a tensão de tração atuante é maior que a tensão de tração admissível, considera-se que ocorre a formação de fratura.

Tensões Admissíveis no Concreto

Para efeito de tensões admissíveis nas estruturas de concreto massa e CCR serão distinguidos os dois tipos de tensões normais que poderão ocorrer: compressão e tração.

As tensões admissíveis serão sempre fornecidas em função da resistência característica do concreto à compressão (fck), que deverá ser especificada nos desenhos do projeto executivo.

Tensões Admissíveis do Concreto à Compressão

As tensões admissíveis do concreto à compressão constam do quadro a seguir:

Tabela 5.5 Tensões admissíveis à compressão no concreto

Caso de Carregamento	Tensão Admissível à Compressão
CCN	0,50 fck
CCE	0,60 fck
CCL	0,65 fck
CCC	0,55 fck

Tensões Admissíveis do Concreto à Tração

As tensões admissíveis do concreto à tração constam do quadro a seguir:

Tabela 5.6 Tensões admissíveis à tração no concreto

Caso de Carregamento	Tensão Admissível à Tração
CCN	0,050 fck
CCE	0,060 fck
CCL	0,065 fck
CCC	0,055 fck

Tensões Admissíveis nas Juntas de Construção

As tensões admissíveis à compressão nas juntas de construção são iguais às tensões admissíveis no concreto.

Quando a tensão de tração for perpendicular às juntas de construção, a tensão admissível à tração nas juntas de concreto massa convencional limpo por jato de água com alta pressão é de 70% da tensão admissível à tração no concreto. Esta relação também é válida para o Concreto Compactado com Rolo quando as juntas são apropriadamente limpas e cobertas com argamassa de ligação.

Tensões Admissíveis nas Fundações

A capacidade de carga das fundações é relacionada à tensão normal máxima, definidamediante critérios que atendam as condições de ruptura, e as limitações relativas aos recalques excessivos, prejudiciais ao comportamento e perfeita utilização da estrutura.

A tensão normal máxima admissível na fundação deverá ser obtida a partir da seguinte relação:

$$\sigma\,\mathrm{t,adm} = \frac{capacidade\ de\ carga\ da\ fundação}{coeficiente\ de\ segurança}$$

A capacidade de carga do material de fundação deverá ser determinada por métodos adequados, utilizando-se como subsídios os resultados de ensaios "in situ" e os de laboratório.

Já para o coeficiente de segurança, são recomendados os valores especificados na Tabela 5.7:

Tabela 5.7 Coeficientes de segurança

Caso de Carregamento	Coeficiente de Segurança
CCC	2,0
CCN	3,0
CCE	1,5
CCL	1,3

Formação e Propagação de Fratura

A formação e propagação de fratura são fundamentadas na comparação entre a tensão de tração normal ao plano em análise com a tensão de tração admissível neste plano. Em geral, quando a tensão admissível à tração é excedida, é assumida a formação de fratura e sua propagação até o ponto em que a tensão de tração solicitante se iguale à tensão de tração admissível.

No contato concreto-rocha, ou planos de contato geologicamente desfavoráveis rocha-rocha, a análise de formação e propagação de fratura é feita considerando que não existe resistência a tração e que as tensões na base possuem distribuição linear, limitando o percentual de base comprimida resultante conforme indica a Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Percentual de base comprimida

Casos de carregamento	Compressão
CCN	Toda a base comprimida (100%)
CCE	2/3 da base comprimida (67%)
CCL	2/3 da base comprimida (67%)
CCC	2/3 da base comprimida (67%)

Nos casos que ocorrer descolamento da base, no plano de análise concreto/fundação, o cálculo da subpressão deverá ser atualizado, considerando o valor integral da coluna de água montante no trecho descolado, e os valores dos coeficientes de segurança deverão ser recalculados.

5.4.3 Análise de Estabilidade

Para as análises de estabilidade das estruturas, a verificação da segurança será assim definida:

Segurança a Flutuação

O Fator de Segurança à Flutuação (FSF) é definido como a relação entre o somatório das forças gravitacionais e o somatório das forças de subpressão e será dado pela expressão abaixo:

$$FSF = \frac{\Sigma V}{\Sigma U}$$

Onde:

FSF = Fator de Segurança à Flutuação.

∑ V = Somatório das Forças Gravitacionais.

∑ U = Somatório das Forças de Subpressão.

Despreza-se, em geral, o efeito do atrito nas faces laterais do bloco.

Segurança ao Tombamento

A segurança ao tombamento será verificada pela taxa de compressão da base da estrutura.

As tensões atuantes no contato concreto-fundação são verificadas através do percentual de base comprimida para cada caso de carregamento.

Segurança ao Deslizamento

Considera-se que a segurança ao deslizamento está verificada se:

$$FSD = \frac{\frac{\Sigma N_i tg(\phi_i)}{CSD\phi} + \frac{\Sigma C_i A_i}{CSDc}}{\Sigma T_i} \geq 1{,}0$$

Onde:

FSD = Fator de Segurança ao Deslizamento;

CSDϕ = Coeficiente de Segurança ao Deslizamento por redução da resistência devida ao atrito;

CSDc = Coeficiente de Segurança ao Deslizamento por redução da resistência devida a coesão;

Ni = Resultante das forças normais à superfície de deslizamento em análise;

ϕi = Angulo de atrito característico da superfície de deslizamento em análise;

Ci = Coesão característica ao longo da superfície de deslizamento;

Ai = Área efetiva de contato da estrutura no plano em análise;

Ti = Resultante das forças paralelas à superfície de deslizamento.

Fatores de Segurança mínimos admissíveis

Para que a segurança à flutuação seja garantida, os Fatores de Segurança à Flutuação (FSF) das estruturas, não devem ser inferiores aos valores apresentados a seguir:

Tabela 5.9 Coeficientes de segurança para a flutuação

FATOR DE SEGURANÇA	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
Flutuação (FSF) ≥	1,3	1,1	1,1	1,2

Para que a segurança ao tombamento seja garantida as porcentagens de área comprimida devem seguir as condições apresentadas na Tabela 5-10.

Tabela 5-10 – Porcentagens de Área Comprimida

Casos de carregamento	Compressão
CCN	Toda a base comprimida (100%)
CCE	2/3 da base comprimida (67%)
CCL	2/3 da base comprimida (67%)

CCC	2/3 da base comprimida (67%)

Para que a segurança ao deslizamento seja verificada, o Fator de Segurança ao Deslizamento (FSD) deverá ser maior ou igual a 1,00 conforme já estabelecido. Os CSDϕ e CSDc utilizados na equação de FSD são os apresentados abaixo.

Tabela 5.11 Coeficientes de segurança para o deslizamento

Coeficientes de segurança	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
CSDc	3,0	1,5	1,3	2,0
CSDø	1,5	1,1	1,1	1,3

5.5. DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

5.5.1 Verificação de Resistência

As verificações das resistências em estruturas de concreto armado ou protendido, exceto as de concreto massa, deverão ser feitas obedecendo às prescrições e normas da ABNT, complementadas, onde o projetista julgue necessário, pelo Eurocode 2 e ACI-318.

As lajes espessas ou nervuradas, e paredes espessas com bw ≤ 5h poderão prescindir de armadura de cisalhamento desde que a força de cálculo atuante Vsd seja menor ou igual a um dos dois valores das forças resistentes VRd1 e Vco, definidas nos itens 17.4.2.2 e 19.4.1 respectivamente da NBR 6118.

As estruturas de concreto massa serão verificadas quanto à sua resistência através das prescrições e procedimentos adiante estabelecidos.

Nos casos em que as normas e os códigos citados não se apliquem poderão ser usados outros critérios oriundos de instituições internacionais reconhecidas, desde que previamente aprovados.

5.5.2 Análise Estrutural

Os esforços solicitantes nas estruturas de concreto serão determinados em regime linear por processos clássicos.

Estruturas complexas, ou de comportamento estrutural não susceptível de análise pelas teorias clássicas, exigirão análises pelo Método dos Elementos Finitos (MEF).

5.5.3 Dimensionamento

Estruturas de Concreto Armado

São estruturas cujo comportamento enquadra-se nas teorias clássicas do cálculo estrutural tais como: estruturas reticuladas (vigas, pilares, pórticos, arcos e grelhas) e estruturas laminares (cascas, placas e chapas).

O dimensionamento das estruturas reticuladas e das placas submetidas à flexão será feito por verificações dos estados limites (último e de utilização), com os coeficientes de

segurança e minoração indicados no item 5.5.7 e características dos materiais e outros requisitos estabelecidos nas Normas Brasileiras em sua última edição, complementadas onde necessário, pelo Eurocode 2 ou ACI-318.

O dimensionamento das estruturas laminares de concreto armado, submetidas, simultaneamente, à flexão e a esforços atuantes no plano, será feito por processos que desconsideram a resistência à tração no concreto e que admitem a existência de uma deformação positiva na direção principal produzindo fissuras ortogonalmente a esta direção e formando bielas de compressão entre essas fissuras.

A verificação da fissuração será feita sempre de acordo com a NBR 6118 ou, no caso de estruturas em contato com a água, será verificado que as tensões em serviço do aço não ultrapassem os seguintes valores:

- fyd = 200 MPa para Caso de Carregamento Normal.
- fyd = 300 MPa para Caso de Carregamento Excepcional.

Estruturas de Concreto-Massa

São estruturas de grandes dimensões, ou estruturas de gravidade ou, ainda, aquelas nas quais os efeitos de variação de temperatura devido ao calor de hidratação do cimento e de retração higrotérmica passam a ser significativos, e, também, estruturas de grandes dimensões cujo comportamento não pode ser satisfatoriamente definido a partir das teorias clássicas da análise estrutural.

Tais estruturas poderão ser ainda de concreto simples (sem armadura) ou com armadura para resistir aos diversos esforços.

No caso de estruturas de concreto massa sem armadura, submetidas a estados múltiplos de tensão, decorrentes da ação do peso próprio e demais esforços, considera-se que a verificação da resistência dessas estruturas estará assegurada, quando o círculo de Mohr, correspondente aos valores de cálculo das ações (majorados por coeficiente de segurança), estiver no interior da envoltória de Mohr, traçada com os valores característicos da resistência do concreto massa especificado.

Será adotada, na falta de determinação experimental da envoltória de Mohr relativa ao concreto massa, a envoltória proposta por T. Langendonck.

Concreto pré-moldado

Projeto, execução e transporte (içamento) de elementos pré-moldados, deverão seguir os requisitos da NBR 9062 e complementado por El Debs (2017), quando conflitantes ambos os critérios serão aceitos.

5.5.4 Combinação de Carregamentos

Para cada estrutura em particular deverão ser selecionadas as cargas que realmente devem participar da análise estrutural e do seu dimensionamento.

Assim, despreza-se o efeito do vento no cálculo das estruturas de contenção, salvo quando tais estruturas estejam vazias, embora o seu efeito deva ser considerado no dimensionamento de certas estruturas como, por exemplo, a cobertura da Casa de Força.

As combinações de carregamentos para efeito de dimensionamento estrutural não deverão incluir ações sísmicas.

As seguintes condições serão observadas no que diz respeito aos esforços externos ativos:

- cargas variáveis serão consideradas em intensidade e direção do modo mais desfavorável.
- cargas acidentais, uniformemente distribuídas ou concentradas serão consideradas na combinação mais desfavorável em termos de intensidade, localização, direção e sentido.
- combinações mais desfavoráveis de N.A's de montante e jusante com os correspondentes diagramas de subpressão.
- peças e elementos estruturais na região da fundação e no interior das estruturas serão analisados com e sem subpressão.
- os empuxos de terra nas estruturas levarão em conta a ocorrência de lençol freático, caso exista sobrecargas e esforços devidos à compactação.
- os esforços de ondas podem ser desprezados nos estudos das estruturas de massa; serão, no entanto, levados em consideração no dimensionamento das estruturas menores, como comportas e outras.

5.5.5 Instabilidade e Efeitos de 2ª Ordem

Deverá ser dada especial atenção às verificações de instabilidade e efeitos de 2ª ordem seja para peças isoladas, seja para conjuntos estruturais onde esses efeitos sejam significativos.

5.5.6 Deformações Elásticas

As estruturas deverão ser verificadas quanto ao estado limite de deformação segundo NBR-6118.

5.5.7 Coeficientes de Segurança

Tabela 5.12 Coeficientes de segurança para o dimensionamento das estruturas de concreto

Caso de Carregamento	Tipo de Estrutura	Verificação	Coeficientes		
			γf	γc	γs
Normal	Estrutura de massa	Ausência de Armadura	2,0	-	-
		Necessidade de Armadura	1,4	1,4	1,15
	Estrutura de Concreto Armado ou Protendido (Reticuladas / Laminares)	Estado Limite Último	1,4	1,4	1,15
		Estado de Utilização	1,0	1,0	1,0
Construção/ Excepcional	Estrutura de massa	Ausência de Armadura	1,6	-	-
		Necessidade de Armadura	1,2	1,4	1,15
	Estrutura de Concreto Armado ou Protendido (Reticuladas / Laminares)	Estado Limite Último	1,2	1,4	1,15
Limite	Estrutura de massa	Ausência de Armadura	1,4	-	-
		Necessidade de Armadura	1,1	1,2	1,0

Caso de Carregamento	Tipo de Estrutura	Verificação	Coeficientes		
			γf	γc	γs
	Estrutura de Concreto Armado ou Protendido (Reticuladas / Laminares)	Estado Limite Último	1,1	1,2	1,0

γf = Coeficiente de majoração das cargas;

γc = Coeficiente de minoração da resistência do concreto;

γs = Coeficiente de minoração da resistência do aço.

5.5.8 Cobrimento de Armadura

O cobrimento mínimo das armaduras, inclusive da armadura de distribuição e dos estribos, é o indicado na tabela abaixo, conforme o tipo de estrutura e condições de exposição.

Tabela 5.13 Cobrimentos mínimos para estruturas de concreto

Tipo de Estrutura	Cobrimento Mínimo (cm)
Estruturas sem risco de incêndio, em ambiente abrigado, sem contacto com o solo:	
Lajes;	4,0
Paredes, vigas e pilares;	4,0
Estruturas sujeitas a incêndio;	Ver NBR-15200
Estruturas não abrigadas ou em contato com o solo;	5,0
Estruturas enterradas ou submersas, sujeitas a corrente de água;	7,5
Estruturas sujeitas a corrente de água em alta velocidade (soleira de vertedouro, etc).	10,0

5.5.9 Espaçamento das Barras

O espaçamento das barras para as estruturas do tipo "Concreto Armado" deve atender ao disposto na NBR-6118.

O espaçamento das barras para as estruturas do tipo "Concreto Massa" não deve ser inferior a 15 cm. No caso de uso de emendas por luvas rosqueadas, soldadas, ou outros dispositivos devidamente justificados, como luvas com preenchimento metálico, o espaçamento mínimo poderá ser de 12,5 cm.

5.5.10 Armaduras Mínimas

a) Armadura Mínima em Vigas e Lajes

- Flexão simples
  - a armadura mínima deverá ser calculada de acordo com o item 17.3.5 e 19.3.3 da NBR-6118, limitada a 1,33 vezes a armadura teoricamente calculada.

b) Armadura Mínima em Pilares

A armadura longitudinal mínima deverá ser calculada de acordo ao item 17.3.5.3 da NBR 6118.

c) Armadura de Pele

A armadura mínima de pele deverá ser calculada de acordo ao item 17.3.5.2.3 da NBR 6118.

5.5.11 Emendas

As emendas poderão ser do tipo traspasse, solda ou luva, respeitando-se a NB-6118/2014.

São permitidas as emendas por traspasse nas barras de bitolas até 32mm, com comprimentos de ancoragem calculados pelas expressões da NB-6118.

Nas emendas com luvas o alongamento determinado para o segmento emendado, para uma carga correspondente a 70% da tensão de escoamento, não deverá ser superior àquele determinado para o segmento padrão.

5.5.12 Armadura Contra a Retração

Serão previstas, quando necessário, armaduras adicionais para absorver os esforços resultantes da retração e/ou da variação de temperatura.

Para as estruturas de concreto armado, nos casos cobertos pelas normas da ABNT, a armadura contra a retração deverá ser calculada de acordo com as referidas normas.

Nos casos especiais que não estão previstos nas Normas da ABNT, deverão ser utilizadas armaduras mínimas como as indicadas a seguir:

Lajes Expostas, Concretadas sobre Rocha

Devem ser consideradas inteiramente fixas na rocha. Somente a face superior da laje necessita ser armada. Exceto quando predominarem outras condições de carregamento, adotar para a armação da face exposta 0,2 % da área da secção transversal de concreto dispostas nas duas direções, ou a seguinte armação máxima em cada direção:

- Para lajes expostas a escoamento ..... 20 mm cada 20 cm
  .....ou ø 25 mm cada 25 cm
- Para lajes expostas a subpressão e pressão de percolação..... ø 20 mm cada 30 cm
- Para fundações secas ..... ø 12,5 mm cada 30 cm

Superfícies Executadas contra Rocha

As superfícies contra a rocha devem ser armadas para as tensões de retração decorrentes dos vínculos impostos pela superfície da rocha. Adotar 0,15% da área da seção transversal ou no máximo uma barra de diâmetro 20mm, cada 30 cm, em cada direção.

A armação na face oposta será calculada como se não houvesse rocha, exceto nos casos especiais onde é provida ancoragem na rocha.

Concreto Maciço do Primeiro e Segundo Estágio da Casa de Força

O concreto maciço aparente do primeiro e do segundo estágio no interior da Casa de Força será armado com um mínimo de uma barra de diâmetro 20mm cada 30cm, em cada direção.

Concreto Massa

Para as estruturas de concreto massa que necessitem de armadura para evitar o fraturamento devido a retração, deverá ser utilizada como armadura mínima a menor das armaduras indicadas a seguir:

- 0,2% da área de concreto, dispostas em cada uma das direções XX e YY.
- Armação em cada direção de 25mm cada 30cm ou equivalente (20mm cada 25cm, etc).

5.6. JUNTAS E REQUISITOS ESPECIAIS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO

5.6.1 Juntas nas Estruturas de Concreto

Os tipos de juntas que serão utilizadas nas estruturas de concreto são:

- Juntas de Construção;
- Juntas de Contração;
- Juntas de Dilatação.

5.6.2 Dispositivos de Vedação

As vedações, de modo geral, deverão ser de cloreto de polivinil (PVC), podendo em casos especiais, ser de aço, de cobre, aço inoxidável ou perfis hidroexpansivos.

5.6.3 Dispositivos de Ancoragem

- Chumbadores;
- Ancoragens Ativas;
- Ancoragens Passivas.

6. PROJETO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

6.1. ATERROS

6.1.1 Materiais de Construção

Os estudos devem ser desenvolvidos de modo a prover a maximização do aproveitamento dos materiais provenientes das escavações obrigatórias na construção da barragem.

A pesquisa de materiais de construção deve ser conduzida de acordo com critérios que são evolutivos com a fase do projeto, desde os estudos preliminares até o projeto executivo.

Experiências existentes com materiais semelhantes utilizados em outras obras fornecerão indicações para definição dos principais aspectos a pesquisar nos

programas de investigação e ensaios e, principalmente, da intensidade com que os estudos serão necessários.

Materiais para Zonas Impermeáveis

Os materiais utilizáveis em zonas das ensecadeiras e no corpo da barragem onde o objetivo é primordialmente a vedação são aqueles cuja característica principal, a baixa permeabilidade, é conferida por um percentual expressivo de partículas finas. O valor mínimo aceitável para o coeficiente de permeabilidade deverá ser igual a 10^{-5} cm/s.

Para cada jazida de material argiloso devem ser definidos o contorno geométrico e os volumes disponíveis dos diferentes tipos de materiais. A coleta de amostras para ensaios de laboratório deve ser feita simultaneamente às investigações geológico-geotécnicas nas diversas fases do projeto e deverá considerar a representatividade das amostras perante a variabilidade dos materiais.

- Ensaios de Laboratório:

  Os ensaios serão realizados sobre amostras representativas de cada área de empréstimo e jazidas, selecionadas após classificação táctil-visual. A caracterização tecnológica dos diversos tipos de material será feita através de ensaios "in situ" (densidade e umidade naturais), de ensaios de caracterização e compactação, permeabilidade, adensamento e compressão triaxial em laboratório. A quantidade de cada tipo de ensaio será função do conhecimento prévio de materiais semelhantes e da provável homogeneidade/heterogeneidade das jazidas.

  Serão adotados parâmetros que levem em consideração a representatividade das amostras dos solos ensaiados em relação ao universo dos disponíveis para utilização. Caso o aterro apresente zoneamento com diferentes materiais, em cada zona serão estabelecidos parâmetros específicos.

  Os ensaios de compactação a serem executados deverão reproduzir em laboratório as condições de campo. Com este objetivo, as condições de compactação a serem especificadas para as zonas impermeáveis serão testadas em laboratório e verificadas, caso necessário, em pista experimental, para cada material típico. Serão levados em consideração na programação dos ensaios os resultados de pesquisas já publicadas na literatura técnica pertinente sobre o comportamento de materiais semelhantes, bem como a experiência da Projetista, a fim de se minimizar o número de ensaios a executar.

  Os parâmetros de resistência ao cisalhamento a serem aplicados nas análises de dimensionamento dos aterros da barragem de terra e das ensecadeiras serão obtidos em ensaios de compressão triaxial adensados e drenados CIUsat ou CD. Em todos os casos de verificação da estabilidade serão aplicados parâmetros efetivos, exceto em situações especiais definidas no projeto.

Materiais para Filtros e Transições

Poderão ser utilizados materiais naturais ou processados. Naturais serão os materiais obtidos através de escavações convencionais mecanizadas, dragagem ou mesmo escavações com o uso de explosivos e aplicados na obra, sem necessidade de qualquer tipo de beneficiamento. Materiais processados serão aqueles produzidos artificialmente pelo beneficiamento de materiais naturais. Os tipos de beneficiamentos mais utilizados são: lavagem, peneiramento ou britagem.

- Materiais Naturais – Areias

A caracterização geotécnica deverá compreender a descrição da homogeneidade granulométrica das areias, as necessidades de beneficiamento dos materiais por peneiramento e/ou lavagem, a forma dos grãos, a permeabilidade e outras informações julgadas de interesse.

Na definição dos tipos e quantidade de ensaios relacionados, será sempre considerada a experiência obtida com utilização de materiais similares utilizados em outras obras, a possibilidade de definição dos parâmetros através da análise táctil-visual e dos locais previstos para sua utilização. Os ensaios previstos englobam:

- Granulometria;
- Permeabilidade;
- Compacidade relativa (densidade máxima, mínima e natural);
- Teores de matéria orgânica e torrões de argila;
- Densidade dos grãos.

- Materiais Processados

  Os materiais processados por britagem ou não para as transições poderão ser obtidos de pedreiras ou de escavações obrigatórias.

  Os parâmetros de projeto correspondentes aos materiais processados para filtros e transições deverão ser obtidos de obras de condições semelhantes ou no decorrer da própria obra.

Enrocamentos

Os enrocamentos serão obtidos principalmente de escavações em rocha obrigatórias para implantação de estruturas de concreto e, eventualmente por escavações em pedreira.

- Tipos de Ensaios

  Os tipos e quantidades de ensaios a serem executados dependerão de onde será utilizado o material rochoso e sua localização na seção da barragem.

  Deve ainda ser considerado o conhecimento das características do material, através da bibliografia, comparação dos resultados de ensaios executados em materiais similares utilizados em outras obras e na própria obra e da possibilidade de caracterização táctil-visual.

  A seguir estão relacionados os ensaios que poderão ser executados em amostras de rocha:

  - Massa específica;
  - Ciclagem natural;
  - Ciclagem água/estufa;
  - Abrasão Los Angeles;
  - Resistência a compressão simples;
  - Resistência a compressão puntiforme;
  - Análise petrográfica;
  - Absorção;

- Porosidade;

Caso necessário, as condições de compactação a serem especificadas para as zonas de enrocamento deverão ser verificadas em aterros experimentais, nos quais serão executados ensaios para determinação da granulometria antes e após a compactação, e densidades "in situ".

- Seleção de Parâmetros de Projeto

  Os parâmetros de projeto dos enrocamentos serão estabelecidos partir de resultados de obras já construídas em condições similares, ou da própria obra durante a construção e, principalmente, da literatura técnica especializada.

  A deformabilidade será obtida considerando resultados de instrumentação da própria obra durante a construção, de obras semelhantes, obtendo-se os módulos de deformação levando em consideração as características distintas dos enrocamentos no zoneamento da barragem, espessuras de camadas compactadas, densidades/índice de vazios e energia de compactação.

  Da mesma forma a resistência ao cisalhamento dos enrocamentos compactados poderá ser obtida de ensaios executados em outras obras, da pesquisa bibliográfica e de correlações de índices.

6.2. DIMENSIONAMENTO

6.2.1 Análises de Percolação

As análises de percolação, quando aplicáveis, têm por objetivo prever a distribuição de pressões neutras e o valor das vazões percoladas pelas fundações e pelo aterro da barragem e demais áreas de interesse, de modo a fornecer subsídios para estudos de estabilidade e para dimensionamento dos dispositivos de impermeabilização e drenagem da fundação.

Parâmetros de Análise

O modelo hidrogeológico do maciço rochoso é a base fundamental para a elaboração das análises de percolação pela fundação. O modelo constará essencialmente da distribuição espacial dos vários materiais que possuem características hidrogeológicas individualizáveis.

A elaboração do modelo hidrogeológico constará basicamente de:

- Identificação dos materiais e horizontes com características hidrogeológicas individualizáveis;
- Definição dos parâmetros hidrogeológicos de cada material e horizonte, inclusive sua anisotropia, se for o caso;
- Distribuição espacial dos vários materiais. O modelo deve ser o mais próximo possível da realidade que permita a aplicação de técnicas de análise numérica, em geral bidimensional (método dos elementos finitos, p. ex.);

O programa de investigações geotécnicas deve ser executado tendo sempre em conta a necessidade de estabelecer o modelo hidrogeológico aqui definido.

A seleção dos parâmetros será baseada na interpretação estatística dos resultados obtidos em investigações de campo e laboratório e ainda na experiência anterior com materiais e condições semelhantes.

Métodos de Análise

A definição das redes de fluxo será baseada em programas computacionais já reconhecidos no meio técnico, baseados no método dos elementos finitos, ou, eventualmente, no método das diferenças finitas. Os resultados permitirão avaliar os gradientes, pressões neutras e vazões atuantes nas fundações e nos aterros da estrutura de barramento bem como sob as diversas estruturas de concreto, possibilitando o dimensionamento dos respectivos sistemas de drenagem e impermeabilização e, quando aplicáveis, cálculos de estabilidade.

Dimensionamento de Transições

Os materiais de filtro e transição, quando usados como elementos drenantes, deverão ter permeabilidade compatível com a sua utilização e apresentar percentagem de finos passando na peneira 200, desde que não coesivos, inferior a 5%.

No dimensionamento, os critérios convencionais de transicionamento granulométrico dos materiais adjacentes são apresentados a seguir:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$$

Onde "d" é o diâmetro das partículas dos materiais a serem protegidos (base) e "D" é o diâmetro das partículas dos materiais de filtro. Na definição de faixas pode-se considerar para "d" o valor inferior da faixa e "D" o limite superior da faixa.

Para o projeto dos filtros, drenos e zonas de transição (qualidade e granulometria dos materiais a serem usados, assim como cuidados de colocação), deverão ser seguidas as recomendações de Sherard, J.L. (1984) e Sherard, J.L. (1989).

6.2.2 Análises de Estabilidade

Casos de Carregamento

As seguintes estruturas de terra e/ou enrocamento serão analisadas com relação a estabilidade de seus taludes de montante e jusante:

- Barragem;
- Ensecadeiras.

A análise de estabilidade da barragem será efetuada para esforços correspondentes às seguintes situações de carregamento:

- Final de construção:

Admite-se a construção "instantânea" da barragem, sem a carga hidráulica do reservatório e, no caso dos materiais impermeáveis, poro-pressões geradas em decorrência do processo de compactação ainda não integralmente dissipadas.

Segundo os resultados dos ensaios do solo da área de empréstimo, a camada de solo residual de gnaisse que deverá ser utilizado no corpo da barragem possui uma fração finos entre acima de 50%, atingindo frações de argila acima de 30%, apresentando características plásticas, de baixa permeabilidade e coesiva. Segundo Cruz (1996), para esse tipo de solos residuais o Ru varia entre 0,02 e 0,08. Dessa forma, foi adotado para análise realizadas para a barragem da Barragem dos Imigrantes o parâmetro Ru constante e igual a 0,05.

Regime permanente de operação

Esta análise corresponde à condição normal de funcionamento.

A condição de Operação Normal considera nível de água de montante Máximo Normal, e considera poropressões no maciço e fundação associadas às linhas freáticas adotadas.

Deve-se adotar o nível de jusante Normal e, adicionalmente deve ser verificada a condição com nível de jusante na elevação referente ao NA Jusante Máximo.

A linha freática adotada deve considerar NA constante a montante do filtro vertical admitindo-se uma perda de carga no aterro até a interseção com o filtro vertical. A partir do filtro vertical, no interior do tapete drenante, adota-se um gradiente de 10%.

- Regime Permanente com sismo

Essa condição é semelhante à de Operação Normal, mas considera “Sismo de Projeto”, com aceleração máxima de 0,05g horizontal e 0,03g vertical.

- Rebaixamento Rápido

Para o caso de rebaixamento rápido, a verificação será realizada considerando a descida instantânea do nível de água máximo normal (120,00 m) ao nível mínimo normal (90,00 m), de modo que o regime de fluxo no interior do núcleo se mantém estacionário, condicionado pelo nível máximo do reservatório. É analisado o talude de montante para esta condição.

Como fator de segurança, uma vez que o barramento ter a função de abastecimento de água e com rebaixamento do reservatório frequente, foi adotado o valor de FS igual a 1,30.

Parâmetros de Análise

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos diversos materiais envolvidos nas análises de estabilidade deverão ser obtidos de ensaios de laboratório, da experiência de obras realizadas com materiais similares ou de referências da literatura técnica.

- Enrocamentos

  Para os enrocamentos, deverão ser adotados parâmetros de resistência ao cisalhamento não lineares, que considerem a variação do ângulo de atrito interno em função do nível das tensões atuantes, os quais poderão ser estimados com base na teoria de N. Barton e B. Kjaernsli ("Shear Strengh of Rockfill", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, GT7, 1981), entre outras disponíveis na literatura técnica.

- Materiais de Fundação

  Os parâmetros geomecânicos para os horizontes rochosos e de solo/rocha decomposta de fundação serão obtidos através de investigações/ensaios de campo, da literatura técnica ou da experiência adquirida com materiais semelhantes, levando-se em conta, quando for o caso, a influência de zonas com distintos graus de alteração e/ou fraturamento, e eventuais juntas/descontinuidades, além de ensaios geotécnicos de laboratório, onde pertinentes.

Métodos de Análise

Os processos de análise de estabilidade dos taludes a serem utilizados serão baseados na teoria do equilíbrio-limite, empregando métodos computacionais difundidos, tanto para análises em superfícies de ruptura circulares quanto para mistas e lineares, utilizando os métodos de análise de Bishop, Morgenstern e Price ou de Spencer.

Critérios de Aceitação

Serão considerados estáveis os taludes que possuírem coeficientes de segurança mínimos iguais ou superiores aos valores indicados abaixo.

Tabela 6.1 – Critérios de Aceitação

Condição de Carregamento	Coef. de Segurança
Final de Construção	1,3
Regime Permanente	1,5
Regime Permanente c/ Sismo	1,1
Rebaixamento rápido	1,3

6.2.3 Análises de Tensões e Deformações

Quando necessário, as análises de tensão-deformação terão as seguintes finalidades principais:

- Verificar a compatibilidade ou contraste de deformações entre os diversos materiais constituintes da barragem e suas fundações;
- Subsidiar um refinamento do projeto de instrumentação, realçando os pontos críticos a serem instrumentados;
- Otimizar e ajustar o projeto de escavações, procurando compatibilizar os recalques diferenciais e reduzir concentrações acentuadas de tensões.

As análises de tensão-deformação, em princípio, serão realizadas para as condições de período construtivo e regime permanente de operação.

As análises serão efetuadas pelo método dos elementos finitos ou das diferenças finitas, para cada uma das condições acima, utilizando programas computacionais que permitam a simulação de construção em etapas e operação, com utilização de modelos constitutivos apropriados.

Sempre que disponíveis, as análises considerarão, os dados de instrumentação de campo para aferição dos parâmetros elásticos dos diversos materiais.

Os parâmetros de compressibilidade e deformabilidade dos materiais do maciço da barragem e da fundação serão determinados a partir dos resultados das investigações geológico-geotécnicas de campo e de laboratório, devidamente ajustados por experiência com materiais e condições de carregamento semelhantes e dados bibliográficos.

6.3. ESCAVAÇÕES A CÉU ABERTO

O projeto das escavações visa basicamente definir a forma e dimensões dos taludes, de modo a atender aos requisitos de estabilidade de ordem hidráulico-estrutural e aos aspectos construtivos.

Intrinsecamente ligado ao projeto de escavações está o projeto dos tratamentos dos taludes. Além disso, a importância e finalidade da escavação e, principalmente, se haverá ou não material lançado sobre ela, são fatores que influenciam diretamente o seu projeto final.

Os métodos de análise de estabilidade dependerão das várias situações a serem analisadas.

Quando aqui citadas, as classes de maciço rochoso referem-se à classificação RMR proposta por Bieniawski (1989).

6.3.1 Tipos de Escavação

Escavações Definitivas: Terão utilidade durante toda a vida do aproveitamento e deverão ser projetadas de modo a apresentar segurança compatível com a das estruturas relacionadas.

Escavações Provisórias: Terão utilização apenas durante uma determinada fase da construção, com vida útil menor que as escavações definitivas. Poderão incorporar quase sempre riscos maiores e tratamentos menos rigorosos. Dentre as escavações provisórias cabe distinguir aquelas que são feitas para fundação de estruturas e que, portanto, serão cobertas pelos materiais correspondentes. Sua estabilidade e critérios executivos, incluindo minimização de danos devem estar compatibilizados com as exigências da fundação.

6.3.2 Observações Gerais

Na definição da segurança para os vários taludes de escavação, os níveis de risco admissíveis para os mesmos devem ser considerados em função de sua localização e sua importância na segurança e na economia do aproveitamento, em parte ou como um todo.

As dificuldades executivas como os acessos às áreas a serem escavadas são pontos importantes a serem considerados no projeto. Inclui-se aqui também a proximidade destas áreas às estruturas que exijam o estabelecimento de cuidados executivos de modo a minimizar danos, seja pelo lançamento de fragmentos ou pelas vibrações induzidas.

O modelo geológico estrutural deve ser a principal ferramenta de análise. A partir dele, devem ser definidos os modelos geológico-geotécnicos para análises. A partir dessas análises resultarão os arranjos, dimensões, inclinações, bancadas, proteções, tratamentos, etc.

Os parâmetros a serem utilizados nos estudos de estabilidade podem ser obtidos de obras similares ou da própria obra, a partir dos ensaios dos materiais locais. O modelo e as análises de estabilidade devem subsidiar a previsão dos possíveis tratamentos com base na relação custo/benefício, comparando fatores de segurança vs custos de tratamento.

6.3.3 Condições Geomecânicas

Os vários tipos de materiais envolvidos nas escavações, suas feições geológicas e a posição do nível de água formam as condicionantes principais a influenciar o projeto das escavações, tanto na definição do método de escavação necessário (comum, a fogo, especial etc.), como no estabelecimento das inclinações a serem adotadas para os taludes e no tipo e intensidade dos tratamentos recomendados. O objetivo principal do projeto de escavação é aperfeiçoar o balanço de custos entre volumes escavados e tratamentos necessários ao maciço remanescente, ressaltando-se, entretanto que a aplicabilidade dos materiais nas obras definitivas influenciará também no projeto final, podendo ser de interesse a ampliação dos volumes escavados.

6.3.4 Projeto Geométrico

O projeto geométrico de talude deverá incluir:

- Altura de bancadas;
- Inclinação dos taludes;
- Largura de cada berma (e suas declividades).

O projeto geométrico da escavação compreende a elaboração dos desenhos que permitam a sua perfeita locação no campo, os quais poderão ser elaborados incluindo todas as categorias envolvidas ou por categoria de escavação: escavação comum, escavação em rocha e escavação especial.

Os tratamentos a serem realizados nas superfícies escavadas poderão ser indicados nos desenhos gerais e, caso necessário, detalhados em desenhos específicos.

A forma final do talude deverá ser função não apenas de sua estabilidade e requisitos hidráulico-geotécnicos, mas também deverá ter em conta as condições de manutenção a longo prazo.

6.3.5 Investigações

A investigação geológica básica englobará o mapeamento de superfície e as sondagens mecânicas (percussão, rotativa, poços e trado). Essa investigação poderá ser complementada por trincheiras, galeria, amostragens especiais e ensaios in-situ.

A previsão dos volumes e dos tipos de materiais muitas vezes torna aconselhável ou mesmo exige que métodos complementares de investigação sejam aplicados, como por exemplo a geofísica (sísmica de refração e reflexão, eletroresistividade, etc.), para permitir uma melhor interpretação dos dados pontuais de sondagens diretas.

Toda importância deverá ser dada à caracterização geomecânica dos materiais envolvidos, incluindo as condições hidrogeológicas, de modo que se possa proceder à verificação das condições de estabilidade. Caso necessário, serão programadas amostragens dos materiais para ensaios de complementação de informações.

6.3.6 Previsão das Condições Executivas

Classificação dos Materiais a serem Escavados

Os seguintes materiais serão diferenciados:

- Escavação comum, incluindo todos os materiais que possam ser escavados sem necessidade de uso de bico de lâmina ou escarificador de trator pesado (tipo D8) e que não estejam saturados;
- Escavação especial, que inclui os materiais que exijam o uso sistemático de bico de lâmina e escarificador de trator pesado (tipo D8), uso de rompedor hidráulico e eventual necessidade de desmonte a fogo de grandes matacões de rocha.
- Escavação em rocha, incluindo os materiais que só podem ser escavados com detonação de explosivos.

Influência da Água Subterrânea

A posição do nível d´água subterrâneo é um fator preponderante na estabilidade de taludes. No caso de barragens, é muito importante ter-se em conta sua posição antes e depois de cheio o reservatório.

Em maciços heterogêneos, especial atenção deverá ser dada a possibilidade de ocorrência de aquíferos artesianos e suspensos

A existência da água deve ser sempre definida juntamente com as características de permeabilidade e eventualmente de erodibilidade dos materiais associados, de modo que os tratamentos eventualmente necessários possam ser adequadamente dimensionados.

Estabilidade de Taludes

A avaliação das condições de estabilidade dos taludes deverá ser feita para cada um dos materiais envolvidos, procurando-se sempre agrupá-los quando possuem comportamentos semelhantes. Procurar-se-á trabalhar sempre com um número mínimo de horizontes ou materiais, de modo a simplificar o projeto, desde que representativo das condições geológico-geotécnicas presentes. Os maciços terão que ser adequadamente zoneados em função de um critério de classificação geomecânica aplicável a taludes (p. ex. critério de Romana, 1997 – Anexo 1).

A garantia de estabilidade dos taludes será em princípio e sempre que possível obtida através da definição de uma inclinação adequada. Quando tal não for possível, os tratamentos necessários terão que ser previstos e dimensionados.

O estudo geotécnico deve fornecer os dados necessários para definir os tipos de ruptura possível, o que permitirá escolher o método de análise utilizável, quando isto for justificável ou necessário. A seguir se mencionam os típicos modos de ruptura baseados na teoria de equilíbrio limite que podem ser identificados mediante o sistema de classificação SMR proposto por Romana (1997):

- deslizamento de uma ou mais descontinuidades geológicas (ruptura tipo planar, cunha ou tetraédrica);
- deslizamento com trajetória de ruptura circular ou quase circular através de todo o maciço rochoso;
- ruptura por tombamento;
- rupturas compostas.

Para os estudos e análises de estabilidade, a definição dos parâmetros poderá ser feita com base em estudos estatísticos de materiais semelhantes em obras conhecidas e observações no próprio local das futuras obras. Ensaios geomecânicos/geotécnicos poderão ser requeridos em situações especiais, quando for necessária uma análise mais pormenorizada da estabilidade do talude. Métodos empíricos para definição de parâmetros de maciços rochosos e de descontinuidades de rochas poderão ser utilizados, tais como os citados a seguir:

- critério proposto por Hoek e Brown (2002) para estimativa das propriedades de resistência e deformabilidade de maciços rochosos;
- critérios do JRC e JCS para a estimativa dos parâmetros de resistência ao corte de planos de descontinuidades propostas por Barton e Choubey (1977), junto com alguns critérios estabelecidos pelo ISRM, caso sejam aplicáveis.

Proteção Superficial

Os materiais escavados deverão ser avaliados também com a finalidade de se definir sua desagregabilidade e erodibilidade, principalmente junto à superfície de escavação final prevista e, em especial, quando sujeitos a fluxo contínuo ou intermitente de água. Estas informações permitirão prever os tratamentos superficiais a serem aplicados para cada caso e tendo em conta a importância das fundações e dos taludes, provisórios ou definitivos.

A necessidade de proteção superficial será definida em função das características de erodibilidade dos materiais do terreno, tendo-se em conta as características dos diversos horizontes a serem escavados. O projeto deverá ter em conta, além do material, a inclinação do talude e as possibilidades de manutenção.

Sempre que possível, os métodos escolhidos devem ter em vista a minimização dos serviços de manutenção durante a operação do aproveitamento.

Necessidade de Controle de Vibrações

A execução de detonações próximas às estruturas existentes (inclusive injeções de fundação já executadas) ou em construção pode exigir um projeto de escavação que limite adequadamente as vibrações produzidas ou o lançamento de fragmentos.

A minimização de danos aos materiais remanescentes, quando necessária, exigirá um projeto de escavação específico, incluindo métodos especiais de fogo de contorno e limitação das cargas adjacentes.

O tipo de fogo de contorno mais indicado deve ser indicado em projeto, mas suas características principais, como espaçamento dos furos e carregamento serão definidas pelo Construtor durante as obras.

As equações dinâmicas características do maciço que orientarão a definição das relações “carga x distância” em função do nível de vibração limitado, poderão ser obtidas de bibliografia relacionada a maciços e obras semelhantes para os desmontes iniciais. Durante essa fase deverão ser obtidos dados relativos às vibrações produzidas a diferentes distâncias nos locais a serem protegidos, para definição da lei de propagação do maciço local. Durante a fase inicial das escavações será obtida uma curva carga distância escalonada com distâncias representativas e razões de carga a utilizar para diferentes situações. Eventualmente, no decorrer da obra poderão ser necessários outros ensaios uma vez que a curva se modifica com o tipo, forma e volume da escavação.

Acompanhamento Executivo

O projeto de escavação deverá contemplar uma metodologia de acompanhamento executivo de modo a caracterizar as condições a serem encontradas e sugerir adaptações eventualmente necessárias.

6.3.7 Projeto Geomecânico

A definição da declividade dos taludes de escavação poderá, em muitos casos, ser baseada na experiência com casos semelhantes; entretanto, em função da responsabilidade e das dimensões dos taludes ou da ocorrência de materiais pouco convencionais, poderão ser feitas análises de estabilidade baseadas em resultados de ensaios de laboratório e de investigações geomecânicas detalhadas. No caso de escavações em rocha as descontinuidades e suas condições serão consideradas.

Os recursos a serem empregados nas análises de estabilidade dependerão das diversas situações a serem analisadas, podendo ser pertinentes análises mais simplificadas e empíricas, ou análises que requeiram utilização de programas computacionais (por exemplo, SWEDGE, Rocscience/Canadá, SLOPE/W e SEEP/W, Geoslope/Canadá etc.).

Estabilidade Superficial

A estabilidade da face das escavações é governada principalmente pela disposição estatística das descontinuidades, mesmo de pequena persistência, tendo em conta também a dispersão existente em suas atitudes.

A inclinação e altura da face das bancadas deverão em princípio ser otimizadas de modo que sejam minimizados os tratamentos e as contenções necessárias. No caso de taludes de encosto de estruturas pode ser de interesse minimizar os volumes do material a ser lançado (por ex.: concreto), o que pode levar à adoção de taludes mais íngremes, bermas menores etc., com contenções provisórias ou definitivas (quando sua instabilização implicar na possibilidade de transferência de carga à estrutura adjacente não dimensionada para tanto) mais intensas, se for o caso.

Estabilidade Geral dos Taludes

A estabilidade global de um talude é governada pela eventual ocorrência de descontinuidades de grande extensão, compatíveis com as dimensões dos taludes.

A estabilidade geral dos taludes será garantida sempre que possível por uma inclinação média conveniente, obtida pela adequada combinação dos seguintes parâmetros: inclinação das faces, altura das bancadas e largura das bermas. Para as verificações de estabilidade serão consideradas as sobrecargas permanentemente atuantes (edificações e equipamentos) e sobrecargas eventuais. Na eventualidade de uma potencial ruptura global de um talude de dimensões significativas, consideram-se como tratamentos estabilizantes tanto o retaludamento como a drenagem profunda.

A largura mínima das bermas deverá também ser definida como suficiente para acomodar os eventuais volumes passíveis de escorregar.

Quando não houver bermas entre bancadas, serão sempre previstas banquetas mínimas de 0,50 m entre bancadas para encabeçamento dos equipamentos de perfuração.

A geometria dos taludes provisórios será definida com base na experiência já adquirida ao longo dos estudos, na experiência com obras e materiais semelhantes, e durante a própria execução das obras.

Embora não seja uma situação prevista para as obras da Barragem dos Imigrantes, taludes naturais que possam, eventualmente, representar riscos à segurança das obras serão também objeto de análise com os mesmos critérios considerados para os taludes das escavações definitivas.

Projeto de Drenagem para Escavação

Dois tipos de drenagens deverão ser considerados para os taludes: a superficial e a profunda.

A drenagem superficial controlará o efeito das chuvas sobre os taludes, através da implantação de dispositivos adequados para drenagem pluvial.

A drenagem profunda, eventualmente necessária, terá por objetivo manter o lençol freático com nível controlado ou evitar surgências de água em pontos críticos do talude. Os elementos de drenagem a serem contemplados serão constituídos em princípio por drenos profundos. A definição das dimensões, quantidade dos elementos drenantes e geometria dependerão de cada caso; além disso, o projeto deverá ter em conta, se for o caso, a necessidade de controle de possíveis carreamentos de material, dimensionando adequadamente filtros necessários.

Todo o projeto de drenagem profunda deve ter em conta a possibilidade de variação do N.A. tanto sazonal como após o enchimento do reservatório.

Tratamento de Taludes Rochosos

Os tratamentos dos taludes rochosos serão superficiais ou profundos, dependendo do tipo de instabilizações potenciais detectadas.

- Tratamentos superficiais

  São aqueles destinados a conter a queda de blocos, visando à estabilização das bancadas individuais. Serão localizados ou sistemáticos.

  Serão constituídos basicamente por:

  - Barras de ancoragens passivas e/ou tirantes;

  - Concreto projetado com ou sem tela metálica, com ou sem fibras de aço;

  - Furos/tubos de drenagem rasos; e

  - Tela metálica flexível (removível ou permanente).

- Tratamentos profundos.

São aqueles aplicados para prover a estabilização de pontos específicos do talude:

  - Tirantes especiais;

  - Drenagem profunda.

  - Solo reforçado e

  - Projetos especiais

  Os tratamentos localizados serão apenas mencionados nos desenhos de escavação, mas deverá ser elaborado um documento específico sobre os critérios de sua aplicação no campo, em função de um programa de acompanhamento executivo.

6.3.8 Orientações Gerais Quanto à Geometria dos Taludes e Dispositivos de Proteção

Os taludes de corte a serem realizados durante as escavações em solo e em rocha, na fase do projeto básico, terão as seguintes geometrias:

- Taludes temporários em solo, com posterior reaterro: Inclinação máxima de 0,75:1,0 (H:V);

- Taludes permanentes em solo: Inclinação máxima de 1,2:1,0 (H:V) bancada máxima 10m e largura de berma mínima 3m; e

- Taludes em rocha: Inclinação máxima de 0,25:1,0 (H:V) com berma de 3,0m a cada 10m de altura.

As condições de estabilidade, entretanto, serão verificadas ao longo do desenvolvimento do projeto básico.

Os critérios de estabilidade serão definidos ao longo do desenvolvimento do projeto, devendo, entretanto, os fatores de segurança atenderem aos critérios de projeto civil da Eletrobrás, além dos critérios da Agência Nacional de Águas (ANA), NBR 11.682 e critérios de barragens de terra e enrocamento da USACE.

6.3.9 Mapeamento Geológico e Parâmetros Principais de Caracterização de Maciços Rochosos

Bases dos Mapeamentos

Para os taludes rochosos verticais e sub-verticais a base para o mapeamento poderá ser através de fotografias digitais impressas ou de forma convencional em papel milimetrado. No caso das superfícies rochosas das fundações, tanto das estruturas de concreto quanto da barragem de terra, por impossibilidade de posicionamento adequado para fotografar, a base para a execução dos mapeamentos será levantada em papel milimetrado, formatos A4 ou A3.

Em ambos os casos, os mapeamentos finais serão apresentados em desenhos desenvolvidos no programa AutoCad, em escala 1:100 (formato A1) e 1:200 (formato A3).

Sequência dos Trabalhos

a)Taludes Verticais e Sub-verticais Principais

Após a exposição das superfícies finais de escavação de cada bancada e a remoção cuidadosa de blocos soltos, a seqüência dos trabalhos deverá ser a seguinte:

- Marcação topográfica de apoio para a realização do mapeamento;
- Registro fotográfico e montagem do jogo de fotos que servirá de base para o mapeamento ou então da base desenvolvida em papel milimétrico;
- Levantamento de campo e definição, na montagem fotográfica, das principais feições geológicas ocorrentes no trecho exposto, e classes dos maciços segundo a classificação RMR proposta por Bieniawski (1989), conjugada à classificação do “Slope Mass Rating” (SMR) proposta por Romana em 1985;
- Indicação dos tipos de tratamento com as respectivas localizações, características e quantidades de aplicação;
- Execução do mapeamento gráfico de detalhe.

No caso de ocorrerem trechos de baixa qualidade geomecânica, que requeiram a aplicação de tratamentos para garantir a segurança dos serviços, no prosseguimento das escavações, estes serão indicados no campo ou nos desenhos, na forma de croquis, e posteriormente incorporados ao mapeamento final, constituindo assim um desenho executivo de tratamentos, que servirá, após a execução dos trabalhos, como desenho “Como Construído”.

Os tratamentos definidos no projeto como obrigatórios também serão executados independentemente da elaboração final do desenho de mapeamento/tratamento, e nele serão incluídos.

b) Superfícies Rochosas de Fundação das Estruturas de Concreto e da Barragens de Terra

Após a exposição das fundações e execução da limpeza superficial, a sequência dos trabalhos deverá ser a seguinte:

- Avaliação/mapeamento preliminar para definição de eventuais remoções de porções do maciço rochoso, de modo a atender as especificações para as fundações;
- Marcação topográfica de apoio para a realização do mapeamento;
- Levantamento, no papel milimetrado já com a marcação topográfica lançada, das principais feições geológicas ocorrentes no trecho exposto e, classificação do maciço segundo os critérios RMR;
- Reavaliação do maciço com base no mapeamento, para eventual definição de novas porções do maciço a serem removidas e/ou tratadas;
- Execução de mapeamento gráfico de detalhe.

Especialmente na fundação das estruturas de concreto, os serviços de mapeamento no campo poderão se desenvolver concomitantemente com os serviços complementares de tratamento da fundação.

Classificação do Maciço e Dimensionamento do Suporte

Na definição das classes de maciço rochoso será aplicada a classificação RMR proposta por Bieniawski (1989), conjugada à classificação geomecânica dos taludes em rocha pelas diretrizes do Sistema SMR (Slope Mass Rating), desenvolvido por Romana (1985), como já comentado anteriormente.

Nas superfícies rochosas das fundações das barragens e de todas as estruturas de concreto, o mapeamento geológico-geomecânico norteará a execução dos tratamentos especificados para essas superfícies.

Sistema de Classificação

O sistema de classificação adotado, e que terá suas simbologias lançadas nos desenhos de mapeamento, considera os seguintes parâmetros:

A: Alteração

- A1 Rocha Sã: Apresenta-se na sua coloração original. Os xistos e quartzitos possuem coloração cinza e branco amarelada, respectivamente, dependendo da respectiva composição. Os minerais constituintes das rochas são visíveis a olho nu e mostram um aspecto são, sem evidência de intemperismo. As paredes das fraturas ora presentes possuem superfícies às vezes sãs, mas em geral com uma

leve alteração/oxidação. Os maciços de rocha estão associados a um baixo grau de fraturamento (F1/F2) e alto grau de coerência (C1).

- A2 Rocha Pouco Decomposta: Rocha levemente descolorida, sem brilho, conferindo um aspecto visual “pálido” à rocha. Os minerais possuem uma alteração incipiente, mantendo porém a respectiva coloração original. As fraturas possuem paredes sempre oxidadas, de coloração cinza amarronzada, sem apresentar preenchimento de material desagregado. Quando associada a graus de fraturamento mais elevados (F3, F4), as paredes das fraturas apresentam-se pouco decompostas. Está freqüentemente relacionada ao grau de coerência C2.
- A3 Rocha Medianamente Decomposta: Coloração bege, minerais constituintes em franco processo de decomposição (os feldspatos caulinizam-se e as micas alteram-se), paredes das fraturas oxidadas e eventualmente preenchidas com material desagregado provenientes da decomposição da própria matriz. Pode associar-se a graus de fraturamento elevados (F4/F5) e comumente apresenta ao longo de seu trecho, intercalações decimétricas com material mais decomposto (A4) com baixa recuperação nas sondagens. Sempre associada ao grau de consistência C3.
- A4 Rocha Muito Decomposta: Coloração bege variegada com outras tonalidades. Minerais constituintes muito decompostos, paredes das fraturas contendo películas milimétricas de material decompostos e oxidados, comumente preenchidas por material desagregado proveniente da decomposição da própria matriz e eventualmente por material transportado. Associa-se sempre a graus de fraturamento elevado (F4/F5), apresentando comumente perda de recuperação nas sondagens. Sempre associada ao grau de consistência C4.
- A5 Saprolito: Material com coloração variegada, predominantemente bege, minerais constituintes totalmente decompostos, preserva estruturas da rocha original e pode apresentar bolsões de material desagregado, também presentes preenchendo fraturas preservadas. Sempre associado ao grau de consistência C5.

C: Coerência

- C1 Rocha Muito Coerente – Produz som metálico ao golpe do aço, quebra com dificuldade ao golpe do martelo, sua superfície é dificilmente riscada pelo aço.
- C2 Rocha Coerente – Produz som mais fraco ao golpe do aço, quebra com relativa facilidade ao golpe ou martelo, muito facilmente ao longo dos planos de fraqueza, ao ser riscada pelo aço deixa sulcos superficiais.
- C3 Rocha Medianamente Coerente – Produz som oco ao golpe do aço, quebra também com relativa facilidade ao golpe do martelo, fragmentos dificilmente quebradiços à pressão dos dedos, sulco leve ao ser riscada pôr lamina de aço. A resistência para 5% a 30% da resistência da rocha sã.
- C4 Rocha Pouco Coerente – Quebra facilmente ao golpe do martelo, bordas dos fragmentos podem ser quebradas com relativa facilidade à pressão dos dedos, sulcos profundos ao corte pelo aço.
- C5 Rocha sem Coerência (Friável) – Esfarela-se ao golpe do martelo, fragmentos podem ser desagregados à pressão dos dedos, pode ser cortada com o aço e riscada com a unha.

  Obs.: As características de coerência nos graus C4 e, principalmente, C5, são pioradas com o aumento do teor de umidade.

F: Fraturamento

- F1 Muito Pouco Fraturada – Menos de 1 fratura por metro.
- F2 Pouco Fraturada – De 2 a 5 fraturas por metro.
- F3 Muito Fraturada – De 6 a 10 fraturas por metro.
- F4 Extremamente Fraturada – De 11 a 20 fraturas por metro.
- F5 Fragmentada – Mais de 20 fraturas por metro.

H: Condutividade Hidráulica

- H1 Estanque - < 0,1 Hv (~ 10^{-5} cm/s)
- H2 Pouco Permeável - 0,1 Hv ≤ H ≤ 1,0 Hv (~10^{-5} a 10^{-4} cm/s)
- H3 Medianamente Permeável - 1,0 Hv < H ≤ 5,0 Hv (~10^{-4} a 5 x10^{-4} cm/s)
- H4 Muito Permeável - 5,0 Hv < H ≤ 10,0 Hv (~5x10^{-4} a 10^{-3} cm/s)
- H5 Francamente Permeável - H > 10,0 Hv (~ >10^{-3} cm/s)

Características das Superfícies das Juntas/Fraturas

RG – Rugosa;

LI – Lisa;

ES – Estriada;

PL – Plana;

ON – Ondulada;

IR – Irregular, Angulosa.

Características de Alteração das Paredes das Juntas/Fraturas

Sem Alteração;

Com Oxidação ou Alteração Moderada;

Com Alteração Terrosa.

Característica de Preenchimento das Juntas/Fraturas

PB – Preenchimento Brando;

PR – Preenchimento Resistente;

SP – Sem Preenchimento.

Dinâmica da Interação Trabalhos de Campo/Escritório

O dimensionamento dos tratamentos e suportes nas escavações a céu-aberto será efetuado segundo os critérios expostos no item 4. Os tratamentos finais recomendados deverão ser comparados com aqueles constantes nos respectivos desenhos de projeto, registrados conjuntamente com o mapeamento geomecânico, e prontamente remetido para os escritórios da Projetista, para análise crítica e confirmação ou eventuais ajustes nos trabalhos propostos.

6.4. TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES

O tratamento das fundações das estruturas hidráulicas abrange, conceitualmente, dois campos de atuação diversificados: um, que se desenvolve em superfície e trata dos trabalhos de tratamento e liberação das fundações, e outro, em subsuperfície, compreende os tratamentos profundos.

6.4.1 Tratamento e Liberação de Fundações

Os critérios para tratamento e liberação das fundações deverão ser definidos em função do tipo de estrutura a ser implantada (barragem de terra, estruturas principais de concreto, muros, etc.) e das características do maciço rochoso. Essas características serão estabelecidas para as diversas classes (tipos) de maciço encontrado e para planos de fraqueza (descontinuidades e zonas alteradas) cuja presença possa vir a ser constatada nas fundações.

As zonas de fraqueza localizadas na rocha de fundação, tais como descontinuidades, zonas cisalhadas e material solto serão devidamente tratadas através de limpeza, escavações localizadas e enchimento com concreto massa ou injeções de calda de cimento e/ou argamassa, tratamentos estes a serem aplicados antes do lançamento do concreto estrutural.

Sempre que camadas de material extremamente fraturado ou alterado estiverem presentes na fundação, estas deverão ser objeto de considerações e tratamentos especiais. A heterogeneidade inerente a estes tipos de rocha e a própria variabilidade de suas características dentro de uma mesma área, torna obrigatória a adoção de tratamentos que incluem desde a execução de injeções de contato, até a remoção completa destes materiais na área de fundação.

6.4.2 Tratamentos Profundos

O tratamento das fundações das estruturas constará da implantação de cortinas de vedação, de sistemas de drenagem, além de eventuais injeções de consolidação.

<u>Injeções</u>

- Injeções de Impermeabilização

  A cortina de injeção tem como objetivo minimizar:

  - O fluxo de água ao sistema de drenagem;
  - As fugas de água significativas pela fundação das obras.

  A cortina de injeção está prevista para serem implantadas no eixo da barragem de terra, sendo que nas estruturas de concreto são executadas a partir de lajes construídas no pé das mesmas.

  Está prevista a realização de uma linha de cortinas de injeção, composta por furos exploratórios, primários, secundários e terciários. Todos estes furos apresentam a seguinte configuração:

  - Furos exploratórios espaçados a cada 24 m e com profundidades variando de 8 a 18 m;
  - Furos primários espaçados a cada 8 m e com profundidades variando de 8 a 18 m;
  - Furos secundários espaçados a cada 8 m e com profundidades variando de 6 a 13 m;

- Furos terciários espaçados a cada 4 m e com profundidades variando de 6 a 10 m.

Modificações na profundidade das cortinas deverão ser avaliadas em função das particularidades das condições hidrogeológicas do maciço de fundação e das reais condições de campo encontradas durante o processo de escavação. As reais condições de campo deverão ser avaliadas em função da campanha de investigação complementar e dos ensaios de perda d'água.

Injeções de Consolidação

Estas Injeções serão realizadas em função da necessidade de se consolidar o maciço rochoso escavado para implantação da fundação das estruturas de concreto e danificado durante o próprio processo de escavação, necessidade esta detectada durante os trabalhos de liberação das fundações.

- Injeções de Colagem

  As injeções de colagem são realizadas com objetivo de preencher os vazios entre o concreto e a rocha.

6.5. INSTRUMENTAÇÃO

6.5.1 Geral

A instrumentação visa a observação da obra na fase construtiva e de operação, ao longo de sua vida útil.

A instrumentação a ser prevista para a Barragem dos Imigrantes deverá atender aos seguintes objetivos:

- Comparar os resultados obtidos com estimativas e/ou os cálculos teóricos de deformação, estabilidade e percolação realizados.
- Detectar alterações anômalas e perigosas alertando sobre condições não previstas de comportamento das estruturas e fundações.
- Na fase de construção, realimentar o projeto com valores observados, para eventuais adequações, se for o caso.

6.5.2 Obras de Terra e Enrocamento

Visando atender os objetivos acima citados, está prevista a instalação dos seguintes instrumentos na barragem:

- Marcos de deslocamentos superficiais ao longo da crista da barragem para controle de deslocamentos através de uma rede de auscultação planimétrica e altimétrica;
- Marcos fixos, instalados fora das barragens e estruturas, como ponto de referência para controle de deslocamentos.
- Medidores de vazão triangular de infiltração através da barragem e fundação.
- Piezômetros de tubo aberto instalados na fundação e maciço compactado da barragem de terra e elétricos de corda-vibrante instalados no núcleo de vedação em contato com os muros de concreto; e
- Eventuais medidores adicionais de recalque e inclinômetros poderão ser considerados, se necessários.

6.5.3 Estruturas de Concreto

O projeto das estruturas de concreto deverá prever a adequada instrumentação através de medidores de deslocamentos para permitir através da auscultação da instrumentação, a validação do modelo numérico de cálculo e sua calibração para previsibilidade comportamental das estruturas ao longo da vida operacional.

Dependendo das necessidades em cada estrutura, os seguintes valores serão observados:

- Deslocamentos relativos de crista: através de pêndulos diretos.
- Temperatura do concreto - através de termômetros para a medida da evolução da temperatura provocada pelo calor gerado nas reações de hidratação no cimento.
- Movimento de juntas de contração: através de medidores tri-ortogonais em juntas entre os blocos das estruturas, a partir de galerias.
- Deformação do maciço rochoso de fundação através de extensômetros múltiplos de hastes a partir das galerias das estruturas, com direções e profundidade a serem definidas em projeto.
- Subpressões no contacto concreto/rocha e na fundação: através de piezômetros de tubo aberto e/ou elétricos de corda vibrante principalmente nos blocos típicos (secções transversais) e ao longo do eixo das estruturas a fim de ser determinada a linha piezométrica.
- Vazões pelas galerias de drenagem: por meio de medidores de vazão.

Vazões e pressões na linha de drenos: a linha de drenos ao longo da galeria de drenagem integra o sistema de auscultação, devendo ser possibilitada a medida da vazão e pressão em cada dreno.

7. DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS TÉCNICOS

7.1. CODIFICAÇÃO CESAN

Todos os documentos submetidos pela **CONTRATADA** à análise da **CONTRATANTE** no Share Point deverão possuir codificação baseada em critérios de rastreabilidade estabelecidos pela **CONTRATANTE**. Este código varia de acordo com o **EMPREENDIMENTO**, a empresa que emite o documento, a etapa, o município e o distrito da obra, a instalação, a natureza do projeto, o tipo de documento e a sequência de emissão, conforme procedimento de codificação constante dos **REQUISITOS DE PROJETO**.

Para facilitar a numeração dos documentos, os códigos deverão ser preenchidos pela **CONTRATADA** a partir de uma lista de opções disponível durante o preenchimento dos campos no Share Point.

7.2. APRESENTAÇÃO DE DOCUMENTOS TÉCNICOS

Conforme já mencionado, a **CONTRATANTE** utiliza o sistema de gerenciamento eletrônico de documentos Share Point. Este programa permite a organização, controle de acesso e de visualização dos arquivos, controle do fluxo de submissão e liberação (incluindo o registro de datas) e o controle de revisões, dentre outras funcionalidades disponíveis para os documentos gerenciados neste sistema.

Deverão ser submetidos os documentos que consistem em representações gráficas no plano (tais como desenhos técnicos), textos e planilhas (tais como memoriais, especificações técnicas, entre outros.), destinados à posterior impressão em papel para arquivamento, execução da obra ou operação.

Os documentos deverão ser submetidos em formatos não-editáveis até sua aceitação, ou seja, após a aceitação deverá ser emitida uma revisão numérica (p.ex.: R0, R1, R2...) onde devem ser apresentados acompanhados os demais documentos técnicos em formatos editáveis. No caso de modelos será aceito o formato IFC, não-editável, e no caso de documentos de desenho ou documentos oriundos de planilhas eletrônicas, editores de texto e apresentações, o formato não-editável aceito será o PDF.

Todos os modelos eletrônicos e documentos técnicos desenvolvidos pela **CONTRATADA** serão transferidos e permanecerão como propriedade exclusiva da **CONTRATANTE**, que deles poderá fazer o uso que bem lhe aprouver, resguardados os direitos autorais de seus criadores e a legislação pertinente.

7.2.1 Análise dos documentos submetidos

Após avaliação da CONTRATANTE, os documentos aceitos (desenhos e demais documentos técnicos do projeto) deverão ser apresentados pela **CONTRATADA** em formato editável. Os documentos editáveis recebidos deverão ter informações e representações gráficas compatíveis com os documentos não editáveis recebidos.

7.2.2 Regras de versionamento dos documentos

Cabe ao profissional ou empresa responsável pela elaboração, versionar o documento que será submetido à **CONTRATANTE**, bem como versionar o documento após análise.

Cabe ao profissional ou à empresa responsável pela elaboração do documento, elaborá-lo e, necessariamente, verificá-lo, compatibilizá-lo e revisá-lo antes da submissão à análise da **CONTRATANTE**.

O código de versionamento de documentos a serem submetidos à **CONTRATANTE** deve seguir o procedimento de codificação constante dos **REQUISITOS DE PROJETO**.

Quando um documento for submetido à análise da **CONTRATANTE**, conforme esteja em processo de aceitação ou já aceito, o código de versionamento terá representação alfabética ou numérica também atendendo ao procedimento de codificação constante dos **REQUISITOS DE PROJETO**.

8. PRODUTOS DO PROJETO EXECUTIVO

No *Anexo I – Produtos do Projeto Executivo* está apresentada uma sugestão de escopo para o projeto executivo da Barragem dos Imigrantes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fernandez. G., “Behavior of Pressure Tunnels and Guidlines for Liner Design”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 120 (10), October 1994.

Sherard, J.L.; Dunningan, L.P.; Talbot, J.R. “Basic Properties of Sand and Gravel Filters”, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, Nº 6, June 1984

J.L. Sherard, L.P. Dunningan (1989), Critical Filters for Impervious Soils, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, Nº 7, June 1989.

U. S. Bureau of Reclamation, “Design of Small Dams”, Washington, D.C. (1960)

U. S. Corps of Engineers, “EM–1110-2-1603 - Hydraulic Design of Spillways”, Washington, D.C. (1990)

ELETROBRÁS, “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas”, Outubro 2003.

U.S. Army Corps of Engineers – “EM 1110-2-2200 – Gravity Dam Design”, Washington, D.C. (1995)

U.S. Army Corps of Engineers – “EM 1110-2-2100 – Stability Analysis of Concrete Structures”, Washington, D.C. (2005)

U.S. Army Corps of Engineers – “EM 1110-2-6053 – Earthquake Design and Evaluation of Concrete Hydraulic Structures”, Washington, D.C. (2007)

U.S. Army Corps of Engineers – “ERDC/ITL TR-00-1 – Evaluation and Comparison of Stability Analysis and Uplift Criteria for Concrete Gravity Dams by Three Federal Agencies”, Washington, D.C. (2000)

Parâmetros de Qualidade do Maciço Rochoso (Taludes)

1. Critérios para Classificação Geomecânica de Taludes em Rocha

Os critérios adotados são baseados no sistema RMR (*Rock Mass Rating*), com as modificações sugeridas por ROMANA, M., 1985, tal como descrito em BIENIAWSKI, Z.T, *Engineering Rock Mass Classifications*, 1989. Os parâmetros considerados podem ser medidos ou estimados.
Diretriz básica para classificação de taludes:

a - Delimitar as áreas similares, com mesmo padrão de fraturamento;

b - Determinar para cada área o índice RMR (soma das notas dos parâmetros), utilizando o Tabela 9.1;

c - Para cada área supramencionada, determinar as juntas mais desfavoráveis e classificá-las de acordo com os fatores de ajustes, em função das atitudes do talude/juntas e do tipo de escavação empregada (F1, F2, F3 e F4), utilizando o Tabela 9.2;

d - Determinar para cada junta o índice SMR (*Slope Mass Rating*), utilizando a fórmula: SMR = RMR + (F1 x F2 x F3) + F4

e - Efetuar o ajuste do índice SMR obtido para cada junta, em função do tipo de talude, utilizando o Tabela 9.3;

f - Definir os tratamentos de acordo com a classe de maciço obtido, utilizando o Quadro 3–4.

A seguir é apresentada uma tabela para classificação geomecânica de taludes, contendo um exemplo prático, a qual será utilizada para registro e análise dos dados do mapeamento.

Tabela 9.1 – RMR 1979 - Parâmetros Classificatórios e Notas Resultantes

Parâmetros			**Intervalo de Valores**						
1	**Resistência das amostras de rocha**	Fragmento	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 –2 MPa	Usar valores de Comp. Simples		
		Comp. Simples	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Nota		**15**	**12**	**7**	**4**	**2**	**1**	**0**
2	**RQD (%)**		90 - 100	90 – 75	75 – 50	50 – 25	< 25		
	Nota		**20**	**17**	**13**	**8**	**3**		
3	**Espaçamento das descontinuidades**		> 2 m	2 – 0,6 m	600 mm – 200 mm	200 mm – 60 mm	< 60 mm		
	Nota		**20**	**15**	**10**	**8**	**5**		
4	**Condições das descontinuidades**		Superfície muito rugosa descontínua, sem separação, paredes sãs	Superfície rugosa, abertas < 1 mm, paredes pouco alteradas	Superfície rugosa abertura < 1 mm, paredes alteradas	Superfície estriada ou preenchimento < 5 mm ou abertura 1-5 mm, contínuas	Preenchimento friável > 5 mm ou abertura > 5 mm, contínuas		
	Nota		**30**	**25**	**20**	**10**	**0**		

Parâmetros		Intervalo de Valores				
5	**Água nas Juntas**	Seco	Úmido	Molhado	Gotejamento	Fluxo
	Nota	**15**	**10**	**7**	**4**	**0**

(O RQD poderá ser obtido pela contagem volumétrica das juntas, Jv.)

RMR - soma das notas obtidas nos cincos itens da tabela acima.

Tabela 9.2 – Fatores de Ajustes para as Juntas

Casos		Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito Desfavorável
P	$\lvert \alpha j - \alpha t \rvert$	> 30º	30º – 20º	20º – 10º	10º – 5º	< 5º
T	$\lvert \alpha j - \alpha t - 180^o \rvert$					
P/T	**F1**	**0,15**	**0,40**	**0,70**	**0,85**	**1**
P	$\lvert \beta j \rvert$	< 20º	20º – 30º	30º – 35º	35º – 45º	> 45º
P	**F2**	**0,15**	**0,40**	**0,70**	**1**	**1**
T	**F2**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
P	$\beta j - \beta t$	> 10º	10º – 0º	0º	0º – (-10º)	< - 10º
T	$\beta j + \beta t$	< 110º	110º – 120º	> 120º	--	--
P/T	**F3**	**0**	**– 6**	**–25**	**– 50**	**–60**

P = ruptura plana

T = tombamento

αt = azimute do mergulho do talude

αj = azimute do mergulho da junta

βt = inclinação do talude

βj = mergulho da junta

Método de Escavação:	Talude Natural	Pré-Fissuramento	Pós-Fissuramento	Detonação Regular	Detonação Deficiente
F4	**+ 15**	**+ 10**	**+ 10**	**0**	**- 8**

Notas:

F1 - reflete o paralelismo entre o talude e a direção da descontinuidade.
F2 - referente ao mergulho da descontinuidade no plano de escorregamento.
F3 - referente à relação entre o ângulo do talude e o mergulho da descontinuidade.
F4 - o ajuste para esse fator é dependente do método de escavação realizada.
SMR = *Slope Mass Rating*
As classes de maciço são obtidas através da seguinte ponderação:
SMR = RMR + (F1 x F2 x F3) + F4
Em função da finalidade do talude, provisório ou definitivo, das condições, da altura e bermas envolvidas, torna-se conveniente ponderar os resultados do SMR obtido, multiplicando-o por um dos seguintes fatores:

Tabela 9.3 – Ajustes em Função do Tipo de Talude

Tipo de Talude	Fator
Taludes provisórios verticais com menos de 10,0 m de altura	1,3
Taludes provisórios verticais com mais de 10,0 m de altura	1,0
Taludes provisórios inclinados	1,5
Taludes definitivos inclinados, limitados inferiormente por berma com largura de 4,00 m ou mais	1,3
Taludes definitivos verticais com menos de 10,0 m de altura em que os blocos mais instáveis já caíram ou foram removidos	1,3
Taludes definitivos verticais com mais de 10,0 m de altura	0,9
Taludes definitivos subjacentes a estruturas pesadas de concreto	0,7

Tabela 9.4 – Classes de Maciço – SMR

CLASSES	V	IV	III	II	I
DESCRIÇÃO	Muito ruim	Ruim	Razoável	Bom	Muito bom
SMR	0 - 20	21 – 40	41 - 60	61 – 80	81 - 100
ESTABILIDADE	Completamente instável	Instável	Parcialmente estável	Estável	Completamente estável
RUPTURA	Grande ruptura planar ou circular	Planar ou grandes cunhas	Planar em algumas juntas ou muitas cunhas	Alguns blocos	Nenhuma
SUPORTES	Retaludamento	Retaludamento parcial	Sistemáticos	Ocasional	Nenhum
PROBALIDADE DE INSTABILIZAÇÕES	0,9	0,6	0,4	0,2	0

2. Relação entre os Valores de SMR (Slope Mass Rating) e os Tratamentos Típicos

Os tratamentos típicos em taludes são mostrados nos desenhos do Projeto Executivo, consistindo basicamente da aplicação de concreto projetado com tela metálica ou com fibras e barras de ancoragem. Alguns tratamentos poderão ser sistemáticos e outros localizados.
Os valores SMR obtidos através da tabela de cálculos permitem classificar trechos de taludes nas categorias I (muito boa) até V (muito pobre), conforme o Quadro 2 -4. Em função da classificação de cada trecho é definido o tipo de tratamento, condicionado às peculiaridades observadas no campo.

- Classe I – SMR de 81 a 100 – sem tratamento ou com tratamentos esporádicos e localizados;
- Classe II – SMR de 61 a 80 – tratamentos esporádicos ou localmente sistemáticos nas áreas a serem definidas nos mapeamentos;
- Classe III – SMR de 41 a 60 – tratamentos sistemáticos na proporção prevista nos desenhos, localmente reforçados por tratamentos adicionais (barras e concreto projetado), a serem indicados nos mapeamentos, inclusive no que se refere à orientação e comprimento das barras de ancoragem, bem como à espessura do concreto projetado;
- Classe IV – SMR de 21 a 40 – remoção cuidadosa de todos os blocos instáveis, tratamentos sistemáticos em 100% da área de acordo com as previsões de projeto, acrescidos de tratamentos adicionais (barras de ancoragem, concreto projetado e eventualmente, tirantes);

- Classe V – SMR de 0 a 20 – Retaludamento da escavação.

Não fazem parte das previsões os tratamentos eventualmente necessários para atender a peculiaridades decorrentes das análises de estabilidade das diferentes estruturas, os quais serão projetados em adição aos previstos nesta Especificação Técnica.
Os métodos e considerações adotados nesta Especificação Técnica, embora utilizados de forma corrente, são tentativos, portanto devem ser analisados e, se necessário, ajustados durante o desenvolvimento dos trabalhos.

TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE TALUDES

A) DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

LOCAL: Vertedouro	
ELEVAÇÃO: 150	EIXO DE REFERÊNCIA: LB do vertedouro
ESTACA: 20 J a 80J	
RESPONSÁVEL:	DATA: 20/01/2002

B) CARACTERÍSTICAS DO TALUDE

Azimute do Mergulho do Talude	**αt =**	90
Inclinação do Talude	**βt =**	80

C) RMR - PARÂMETROS CLASSIFICATÓRIOS E NOTAS RESULTANTES

PARÂMETRO	NOTA
1) Resistência da Rocha	7
2) RQD % = 115-3,3.Jv	17
3) Espaçamento das Descontinuidades	15
4) Condições das Descontinuidades	20
5) Água nas Juntas	10
RMR	**69**

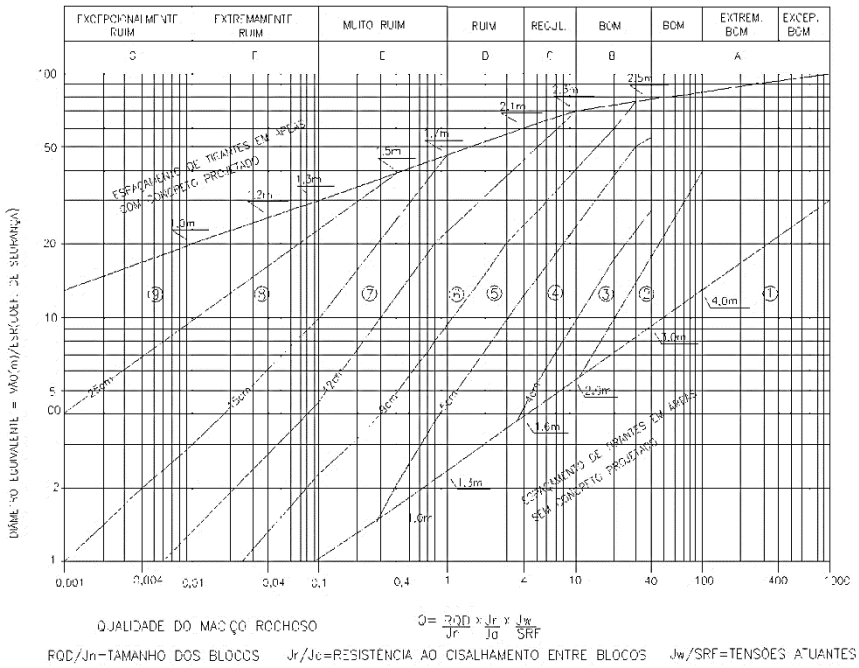
D) FATORES DE AJUSTES PARA AS DESCONTINUIDADES

CARACTERÍSTICAS DAS DESCONTINUIDADES								
	JUNTA 1		JUNTA 2		JUNTA 3		JUNTA 4	
Azimute do Mergulho	**αj_1 =**	0	**αj_2 =**	360	**αj_3 =**	1	**αj_4 =**	90
Ângulo de Mergulho	**βj_1 =**	45	**βj_2 =**	45	**βj_3 =**	45	**βj_1 =**	45

PARA RUPTURA PLANA	JUNTA 1		JUNTA 2		JUNTA 3		JUNTA 4	
F1	90	0.15	270	0.15	89	0.15	0	1
F2	45	1	45	1	45	1	45	1
F3	-35	60	-35	60	-35	60	-35	60
F4		10		10		10		10
SMR	**70**		**70**		**70**		**19**	
SMR X AJUSTE 1.3	**91**		**91**		**91**		**25**	
CLASSE	**I**		**I**		**I**		**IV**	

PARA TOMBAMENTO	JUNTA 1		JUNTA 2		JUNTA 3		JUNTA 4	
F1	270	0.15	90	0.15	269	0.15	180	0.15
F2		1		1		1		1
F3	125	25	125	25	125	25	125	25
F4		10		10		10		10
SMR	**75**		**75**		**75**		**75**	
SMR X AJUSTE 1.3	**98**		**98**		**98**		**98**	
CLASSE	**I**		**I**		**I**		**I**	

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU



CATEGORIA DE SUPORTE

1–AUTOPORTANTE

2–TIRANTES ESPORÁDICOS

3–TIRANTES SISTEMÁTICOS

4–TIRANTES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO PADRÃO <5cm

5–TIRANTES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS 5 A 9cm

6–TIRANTES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS 9 A 12cm

7–TIRANTES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS 12 A 15cm

8–TIRANTES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS >15cm E CAMBOTAS DE CONCRETO PROJETADO ARMADO

9–REVESTIMENTO DE CONCRETO CONVENCIONAL

Anexo I – Produtos do Projeto Executivo

BARRAGEM DOS IMIGRANTES - CADERNO DE PROJETO EXECUTIVO		
	Serviço	**Observações**
2	Desenho de Detalhe	Incluso Desenho As-Built
1.1	Obras Civis	Desvio, vertedouro, barragens, descarga de fundo, captação, plataforma, subestação e casa de comando
	Hidráulica	
	Manual de desvio do rio	
	Manual de fechamemto do desvio e enchimento do reservatório	
	Manual de Operação do Vertedouro / Descarga de fundo	
	Geologia e Geotecnia	
	Desenhos de referências topográficas (marcos e linhas de referência)	
	Desenhos e memória de cálculo de escavação comum e em rocha	
	Desenhos e memorias de cálculo de tratamentos de escavação	
	Desenhos e memórias de cálculo de tratamentos de fundação e injeções	
	Desenhos e memórias de cálculo de aterro (barragem, ensecadeiras e plataforma	
	Desenhos de instrumemtação de auscultação	
	Desenho de acessos definitivos no interior do empreendimento	
	Estruturas e arquitetura	
	Desenhos de arranjo das estruturas	(Barragem, vertedouro, descarrega de fundo, desvio, captação, subestação)
	Desenhos da geometria das estruturas de concreto (inclui etapas de concretagem)	
	Memorias de cálculo de dimemsionamemto estrutural (bidimemsionais)	
	Desenhos de detalhamento da armadura e lista de ferro	
	Desenhos de complementos metálicos	
	Desenhos de arranjo e acabamentos de edificacões operacionais	
	Paisagismo das zonas definitivas de obra	
1.2	Sistemas Mecánicos	
	Peças fixas de 1o estágio de hidromecânicos, equip. de levantamento, transformadores e outros	Desenhos e detalhes típicos
	Sistemas auxiliares mecânicos	(Desenhos isometricos, ortogonais, e lista de
	Drenagem e esgotamento	
	Esgoto sanitário	
	Medições hidráulicas	
	Ventilação e ar acondicionado	
	Detecção e extinção de incêncio	
1.3	Sistemas Elétricos	
	Sistemas auxiliares elétricos	(Plantas, detalhes típicos, diagramas funcionais)
	Entrada de energia no projeto	
	Alimentação de emergencia (grupo gerador diesel)	
	Distribução de energia aos componentes do empreendimento	
	Caminhos para cabos isolados	
	Iluminação, tomadas elétricas e força motriz	
	Aterramento e proteção contra descargas atmosféricas	
	SCADA operação	
	SCADA de Telecom, CCTV e controle de acesso	
1.4	Interface e Integração funcional	
	Verificação de compatibilidade física entre as obras civis e equipamentos eletromecânicos	
	Verificação de compatibilidade funcional entre os sistemas eletromecânicos	
1.5	Sistema de conexão	
	Definição do local de início da conexão da Linha de Abastecimento de Emergência do empreendimento no posto de abastecimento.	
	Desenho da linha de transmissão para alimentar o empreendimento	
1.6	Acesso principal ao empreendimento	
	Geometria e movimemtação de terra	
	Pavimentação	
	Drenagem pluvial	
	Sinalização vertical e horizontal	
1.7	Canteiro	
1.8	Engenharia residente (equipe de campo)	Definir equipe por demanda
	Assessoria para interpretação de detalhes e relacionamento técnico com outros atores	
	Adaptações de Desenhos de construção (notas de campo)	
	Mapeamento geológico-geotécnico e classificação de escavações e fundações	
	Coordenação das informações necessárias para a elaboração de "As-Built"	
1.9	Coordenação e planejamento de Testes e comissionamento	
	Coordenação e planejamento de Testes e comissionamento	
	Elaboração dos Manuais de testes de comissionamento e de Operação e Manutenção dos equipamentos permanentes	
1.10	Controle tecnólogico de materiais e de concreto	
	Apoio a Controle tecnológico de concreto	
1.11	Estudos e Plantas relativas a métodos construtivos	Quando necessários