



TERMO DE REFERÊNCIA

ESTABILIZAÇÃO ESTRUTURAL DEFINITIVA E ELABORAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DO TÚNEL DO TIBAU – PIRATININGA – NITERÓI/RJ

1. OBJETO

Contratação de empresa especializada para **Estabilização Estrutural definitiva** e elaboração de **Projeto Executivo do Túnel do Tibau**.

2. JUSTIFICATIVA

O Túnel do Tibau, que faz a ligação da Lagoa de Piratininga ao mar, foi construído através do Projeto de Renovação do Sistema Lagunar de Piratininga-Itaipu da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), no período de 2004 a 2008, com a finalidade de melhorar a renovação, circulação e a qualidade ambiental das águas do Sistema Lagunar. O túnel do Tibau possui aproximadamente 920 m de comprimento, 5 m de largura e 4,5 m de altura.

Em abril de 2019, constatou-se uma diminuição do fluxo de água na lagoa de Piratininga vinda do mar, mesmo após período de intensa pluviosidade, indicando que havia uma obstrução no interior do Túnel do Tibau. Outro indício da obstrução no túnel foi uma elevação do nível da Lagoa de Piratininga posteriormente as chuvas intensas sem a diminuição da elevação posterior que o túnel proporcionaria.

A fim de restaurar o fluxo de água do túnel do Tibau, tendo em vista as consequências decorrentes desta obstrução, em agosto de 2020 a Prefeitura de Niterói contratou a empresa Ecoblasting Ltda para realizar a desobstrução do túnel e elaborar de forma conceitual um relatório de estabilização do túnel. Após a retirada das rochas que estavam obstruindo o túnel, em dezembro de 2021, ocorreram colapsos nos mesmos pontos onde já se tinha ocorrido obstrução, denominadas capelas 1 e 2.

Após novos colapsos em janeiro de 2022, decidiu-se pela paralisação das atividades, considerando o alto risco de queda de blocos e assim risco de vida aos operários. Destaca-se que antes do início das chuvas mais intensas, o maciço não apresentava relevante percolação de água nos trechos colapsados, que estavam sob as atividades de desmonte e limpeza de rocha e, portanto, até aquele momento não tinham sido constatados colapsos relevantes.

A partir dos relatórios feitos pela empresa Ecoblasting, nos quais foram informados o volume de rochas desmontadas e removidas, bem como proposições de soluções para estabilização do túnel do Tibau, a Prefeitura de Niterói contratou através de carta convite, empresa para elaboração do Projeto Básico de Estabilização Estrutural definitiva do Túnel do Tibau. Assim, em junho de 2022 a empresa Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais foi contratada para elaboração do Projeto Básico de Estabilização do túnel do Tibau o qual foi entregue em março/2023.



Assim, objetivando resolver definitivamente o problema do túnel em questão, a Prefeitura Municipal de Niterói pretende contratar empresa especializada para elaboração do Projeto Executivo e execução das Obras de Estabilização estrutural definitiva do Túnel do Tibau.

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO DAS OBRAS

A área de abrangência do estudo é considerada a área interna do túnel do Tibau, seu emboque na lagoa e desemboque para o mar, a Figura 1 apresenta a localização com o traçado simplificado, e Figura 2 apresenta uma imagem aérea do local do emboque.



Figura 1: Trajetória do túnel do Tibau (traçado do estudo de alternativa para o EIA/RIMA).



Figura 2: Vista aérea da lagoa e local do emboque do túnel do Tibau (Regea, 2022).

4. O PROJETO

O Projeto de Estabilização Estrutural definitiva do túnel do Tibau objetiva a restauração do túnel de modo que o fluxo de água entre o mar e a lagoa seja reestabelecido. Tendo em vista a atual situação de riscos de novos deslocamentos de rochas no interior do túnel do Tibau, os seguintes projetos executivos deverão ser elaborados previamente à execução da obra de estabilização do túnel do Tibau:

- Projeto civil básico de reforma do sistema de contenção do lado da lagoa.
- Projeto básico da instalação da comporta stop log.
- Projeto geotécnico básico para estabilização das áreas colapsadas.

5. PADRÕES DE APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS

O PROJETO EXECUTIVO a ser entregue deverá conter a seguinte estrutura:

- a) Índice;
- b) Apresentação:
 - Identificação da Empresa;
 - Identificação da PMN;
 - Identificação do Projeto;
 - Dados Contratuais (número, data assinatura e da ordem de serviço, prazo contratual). Os projetos deverão ser elaborados e apresentados de forma precisa e completa, limpa e clara e deverão conter todos os elementos necessários para a perfeita compreensão e entendimento das soluções adotadas.
- c) Apresentação Gráfica e Formato: os desenhos deverão obedecer aos seguintes padrões:
 - Modelo de Prancha A1 (regra geral para todos os projetos);
 - Os textos deverão ser de tamanho A4 com formatação segundo as normas da ABNT, letra Arial 12, espaço 1. A impressão deverá ser feita em impressora mínima de 300DPI.



d) Arquivos digitalizados: os estudos e desenhos deverão ser entregues da seguinte forma:

- Em arquivos dwg e em arquivos tipo PDF. Os arquivos com saída em dwg poderão ser elaborados em outros aplicativos;

- Gravados em CD (duas cópias);

Os arquivos deverão ter a seguinte organização no CD:

- Pasta com o nome da obra;

- Subpasta por tipo de projeto:

A nomenclatura dos arquivos deverá obedecer a seguinte estrutura: código do arquivo_ Nº_prancha; conteúdo resumido; exemplo: TOPOG_01_Trecho_XX. A seguir no Quadro 1, apresentam-se exemplos para a nomenclatura dos arquivos.

Quadro 1 – Exemplos para a nomenclatura dos arquivos a serem entregues para a PMN

NOME DO PROJETO	CÓDIGO	NUMERAÇÃO
Estudos Topográficos	TOPOG	01/XX
Projeto Geométrico	GEOM	01/XX
Orçamento	ORÇAM	X
Planilha de Composição de Preços Unitários	PLANI	X
Memorial Descritivo	MEMO	X

Obs.: XX representa o número da última prancha do projeto.

- Duas versões do projeto plotadas e assinadas: sendo um para revisão final e outra com a versão definitiva do projeto aprovado pela PMN;

- Os textos em extensão do tipo doc ou aplicativo similar;

- As planilhas em extensão do tipo xls ou aplicativo similar;

- O material necessário para a compreensão do projeto deverá ser editado de forma que seja perfeitamente legível em impressão monocromática.

- Os arquivos NÃO deverão ser entregues compactados (ZIP, etc.).

- Os arquivos tipo dwg deverão conter o arquivo das penas utilizadas, prefixos dos nomes dos layers e a codificação da tabela acima, facilitando a compatibilização dos projetos.



e) Padrões de Desenho: a simbologia e os padrões de desenho serão fornecidos pela PMN, inclusive o modelo do carimbo.

f) Volume de entrega: os volumes de entrega deverão ser montados em capas duras, conforme padrão fornecido pela PMN, com a seguinte ordem:

. Folha título;

. Ficha técnica;

. Índice;

. Mapa de Situação;

. Plantas (desenhos) de Projeto;

O Memorial Descritivo deverá ser entregue em volume encadernado com espiral e capa padronizada pela PMN.

6. OBRAS

As obras de estabilização do túnel do Tibau deverão ser realizadas em 3 etapas, sendo estas: reforma do sistema de contenção do lado da lagoa, instalação da comporta tipo stop-log do lado do costão rochoso e estabilização das áreas colapsadas.

6.1 Reforma do Sistema de Contenção do lado da Lagoa

A estrutura de controle presente na Lagoa de Piratininga próximo ao Tibau, é composta de muros para controle e limitação do fluxo de água entre a lagoa e o oceano, atualmente, não cumpre a função projetada em sua totalidade. Os muros de concreto armado no local formam um compartimento ligado ao canal de emboque do túnel, com 120 cm acima do nível de escavação da rocha e na parte frontal, virada para a lagoa. Há uma parede onde atualmente estão instaladas 6 comportas, porém, essa estrutura não está cumprindo a função para qual foi projetada, uma vez que o nível de água da Lagoa do Tibau está perenemente maior que a estrutura de contenção, resultando na perda da função de contenção e controle do nível da lagoa.

A estrutura conta ainda com um passadiço para acesso às comportas e de uma monovia metálica em perfil duplo U de chapa dobrada, apoiada sobre pilares de concreto armado 25 x 25 cm, para movimentação do equipamento. Os muros e a parede frontal têm 25 cm de largura e os passadiços estão projetados com 20 cm de espessura. Todos os muros e paredes estão assentes sobre a rocha, e serão utilizados em conjunto com as estruturas implementadas pela reforma do sistema. Uma parte importante da solução de drenagem do túnel para promover reformas, é a vedação do lado da Lagoa. O sistema atual,



de controle de fluxo de água, é do tipo vertedouro fixo, que limita um nível mínimo da lagoa. A empresa Hydrosience realizou campanha de medição de 21 de setembro de 2018 a 27 de março de 2019. Nesse período de campanha, o menor nível d'água aferido da Lagoa de Piratininga foi 0,46 m. Já o maior nível d'água foi 0,76 m. Como informação adicional, o nível da Lagoa não deve ser maior do que os níveis atuais, e por isso o sistema atual de alvenaria não pode ter sua cota elevada.

Partindo do suposto que um sistema fixo de contenção, poderia elevar os níveis de água da Lagoa ao barrar o fluxo da água, e também considerando, que um ajuste na alvenaria do sistema de controle de fluxo requer a construção temporária de ensecadeira de terra. Assim, propõe-se sistema móvel de contenção da água, com uso de peças em concreto pré-moldado e membranas geotêxteis. Nessa concepção, peças de concreto pré-moldado serão posicionadas com uso de guindastes ou braços telescópicos tipo munck, no perímetro do sistema atual, acomodando as peças sobre geotêxtil de PVC flexível, que posteriormente será utilizado para envolver as barreiras em concreto, de maneira a vedar a entrada de água oriundo da Lagoa para o túnel.

6.2 Instalação da Comporta tipo Stop-log

Para controle do fluxo no lado mar está se prevendo uma comporta tipo Stop log. A partir dos resultados de altura e energia incidente de onda (estimado no Produto 2, relatório 2148-R02-22) deverá ser dimensionado o stop log no desemboque, que permita que seja selado e drenado, para a realização das obras de estabilização e reforma do túnel. Assim, essa etapa deve contemplar aspectos mecânicos/geotécnicos/estruturais/civis de implantação do stop log.

A concepção do stop log incluiu:

- Levantamento planialtimétrico de precisão;
- Projetos de geotécnico de chumbadores/tirantes para amarração das formas e estruturas de concreto/metálicas;
- Especificação do Stop log;
- Canteiro de obras;
- Fluxograma e planejamento da instalação; e
- Especificação e composição de preços para a instalação.

6.3 Estabilização das Áreas Colapsadas

Pelo levantamento geológico realizado foi possível constatar que o revestimento executado na construção do túnel é composto por concreto projetado e tirantes. Constatou-se também que as



patologias identificadas na inspeção prévia correspondem em geral à ocorrência de desmoronamentos de maiores e menores dimensões, locais sem espessura de concreto adequada e chumbadores de aço rompidos ou deteriorados. Há apenas um local onde houve um desmoronamento de maior volume, formando uma cavidade, usualmente chamado de “capela” na linguagem “tuneleira”, com dimensões da ordem de 18m de altura, 10m de largura e 5m de comprimento.

A partir da descrição das patologias é possível concluir que no estado atual do túnel o suporte presente para estabilização da cavidade do túnel encontra-se insuficiente. É fato também que tirantes de aço não são adequados para estabilização definitiva do maciço, considerando as condições de agressividade do meio ambiente marítimo, uma vez que são corroídos pela salinidade da água.

Assim, para a recuperação do túnel será necessário que o revestimento seja recomposto somente com concreto projetado, sem uso de telas ou armadura metálicas e tirantes ou chumbadores. Nessa condição, para a estabilização da cavidade do túnel somente com o uso de concreto projetado, será necessário que a geometria da face interna do revestimento seja regularizada de forma que a geometria da seção transversal seja formada por curvaturas suaves, sem formar saliências.

O revestimento não deverá apresentar trechos com convexidades persistentes, isto é, quando a seção apresentar geometria com curvatura convexa, esta convexidade não deverá persistir por mais de 5m de extensão. Caso ocorra esta situação, a seção deverá ser preenchida com concreto projetado até que a forma convexa seja atenuada formando uma leve curvatura côncava.

Para a regularização da geometria do revestimento foi prevista a aplicação de uma espessura mínima de concreto de 20cm. Ou seja, a espessura média teórica do revestimento considerando os preenchimentos para formação da curvatura corresponderia aproximadamente a 30cm.

A geometria regularizada forma o revestimento de um túnel de dimensões relativamente pequenas, com diâmetro da ordem de 4m, ou raio de 2m. Com base na experiência de projetos de diversos túneis é possível afirmar que a espessura mínima de 20cm é bastante superior à necessidade estrutural. Como referência, a espessura de 20cm seria suficiente para um túnel com diâmetro da ordem de 10m em condições geológicas equivalentes. Porém, para a condição do túnel Tibau de ambiente marítimo e água corrente, considera-se prudente adotar uma espessura mais conservadora e que permita garantir uma melhor execução do revestimento.

Uma vez que o túnel apresenta pontos em que o maciço está instável, com risco de quedas de blocos, será necessário considerar que a recuperação do revestimento de suporte tenha que ser realizada progressivamente por uma frente de avanço de modo que não haja tráfego de pessoas em trecho não recuperado. Tal consideração poderá afetar significativamente o cronograma de obras.



Ainda, vale ressaltar que os serviços deverão ser realizados dentro das técnicas tradicionais, com equipamentos usualmente utilizados em obras e seguindo as especificações regulamentadas. Os materiais deverão ser de marcas e de procedência reconhecidas no mercado e boa qualidade. Em caso de uso de materiais duvidosos ou de má qualidade, a fiscalização poderá exigir a substituição dos mesmos, sendo os eventuais prejuízos de responsabilidade exclusiva da empresa contratada.

7. CONSIDERAÇÕES GERAIS

- Os serviços serão executados na forma da lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016.
- O prazo para a execução dos serviços será de 24 (vinte e quatro) meses, a contar da data expressa na Ordem de Início.
- As medições serão mensais e o faturamento proporcional aos serviços executados.
- O fornecimento de materiais, equipamentos e mão-de-obra deverão ser completos.
- Os serviços deverão atender as normas da ABNT ou, na falta destas, outros procedimentos que são necessários na forma da lei.
- Todas as despesas com mão-de-obra, equipamentos, ferramentas, materiais e serviços, ou providências que sejam necessárias, ficarão por conta da empresa contratada.
- Todas as licenças junto a quaisquer outros órgãos, necessárias para a execução da obra serão de responsabilidade da empresa contratada.
- O B.D.I. Utilizado é de 29%.
- Os itens utilizados nesse memorial descritivo foram obtidos a partir da planilha orçamentária que utilizou os catálogos de referências oficiais (EMOP, SCO, SINAPI e etc.), cuja data base é Maio/2024.

MEMORIAL DESCRITIVO

NATUREZA DO TRABALHO

Elaboração de Projeto Básico para estabilização estrutural definitiva do Túnel do Tibau, contendo metodologia detalhada, estimativa de custo e prazo da obra e tudo mais concernente à etapa de Projeto Básico.

Produto 3 – Projetos civis básicos de instalação de comporta/Stop log no desemboque do túnel e reforma do sistema de contenção de águas da lagoa no emboque do túnel

Produto 4 – Projeto geotécnico básico para a estabilização das áreas colapsadas

INTERESSADO

Secretaria Municipal de Obras - SMO

Prefeitura Municipal de Niterói-RJ

CONTRATO
SMO/UGP/CAF
nº 005/2022

CÓDIGO REGEA
2148-R03-22

REVISÃO
2

LOCAL E DATA
São Paulo
Dezembro.2022

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Histórico e Justificativa	1
2 MEMORIAL DESCRITIVO	3
2.1 Localização da área	3
2.2 Projeto civil básico de reforma do sistema de contenção do lado da lagoa	4
2.2.1 Descrição dos blocos pré-moldados	6
2.2.2 Descrição do geotêxtil	8
2.2.3 Serviços preliminares para reforma do sistema de contenção do lado da lagoa	8
2.2.3.1 Limpeza do sistema atual	8
2.2.3.2 Transporte e alocação do material	8
2.2.3.3 Lista de materiais	9
2.2.4 Instalação e recomendações	10
2.2.5 Recomendação de serviços de inspeção da obra civil	10
2.3 Projeto básico da instalação da comporta/Stop log	11
2.3.1 Levantamento planialtimétrico de detalhe	11
2.3.2 Descrição da ancoragem na rocha	12
2.3.3 Descrição dos moldes e armação de concreto	12
2.3.4 Descrição da comporta/Stop log	13
2.3.5 Descrição do canteiro de obras	13
2.3.6 Serviços preliminares para a instalação	16
2.3.6.1 Limpeza da área	16
2.3.6.2 Lista de materiais	16
2.3.7 Instalação e recomendações	18
2.3.8 Tolerâncias admissíveis da obra civil	19
2.4 Projeto geotécnico básico para a estabilização das áreas colapsadas	20
2.4.1 Descrição da situação geológica e estrutural do túnel	20
2.4.2 Descrição da solução de recuperação	20
2.4.3 Estimativa de quantidade de concreto	22
2.4.4 Recuperação da capela da progressiva 410m (distante 110m do Desemboque mar)	25
3 RESPONSABILIDADE TÉCNICA	28
ANEXO A - ART	29
ANEXO B - DESENHOS DO MEMORIAL DESCRITIVO PARA REFORMA DO EMBOQUE	30
ANEXO C - DESENHOS DO MEMORIAL DESCRITIVO PARA INSTALAÇÃO DE STOP LOG DO DESEMBOQUE	31
ANEXO D - DESENHOS DO MEMORIAL DESCRITIVO PARA ESTABILIZAÇÃO DO TÚNEL	32

1 INTRODUÇÃO

Este memorial descritivo refere-se à contratação de serviços de engenharia para Elaboração de Projeto Básico para estabilização estrutural definitiva do Túnel do Tibau, contendo metodologia detalhada, estimativa de custo e prazo da obra e tudo o mais concernente à etapa de Projeto Básico.

Este memorial foi fundamentado no termo de referência constante/especificação do projeto que faz parte do contrato SMO/UGP/CAF nº 005/2022 de autoria da Secretaria Municipal de Obras - SMO da Prefeitura Municipal de Niterói-RJ. Para melhor entendimento do disposto neste documento serão utilizadas as seguintes convenções e abreviaturas:

- CONTRATANTE - Prefeitura Municipal de Niterói-RJ;
- CONTRATADA - Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais; e
- FISCALIZAÇÃO - Comissão designada pela CONTRATANTE como responsável pela Fiscalização do contrato.

Este relatório apresenta o produto 3 e 4 do cronograma físico-financeiro do Plano de Trabalho:

- Projeto básico de instalação da comporta do lado do costão rochoso, incluindo dimensionamento da comporta tipo stop-log, que atenda as solicitações apresentadas no modelo matemático marinho;
- Projeto civil básico de reforma do sistema de contenção do lado da lagoa;
- Projeto geotécnico básico para a estabilização das áreas colapsadas, a citar rupturas de 110m, 240m, 470m e na junção do túnel principal com a entrada lateral, além de indicar tipologia de reforço de pontos eventualmente críticos, em metragem estimada ao longo de cerca de 400m de túnel.

A Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, para execução deste estudo geológico, está apresentada no Anexo A.

1.1 HISTÓRICO E JUSTIFICATIVA

O Túnel do Tibau, que liga a Lagoa de Piratininga ao mar, foi construído no período de 2004 a 2008, através do Projeto de Renovação do Sistema Lagunar de Piratininga-Itaipu da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) com a finalidade de favorecer uma maior renovação, circulação e melhoria da qualidade ambiental das águas do Sistema Lagunar. O túnel possui 915,91 m de comprimento, 5 m de largura e 4,5 m de altura.

Constatou-se uma diminuição do fluxo de água entre o oceano e a lagoa de Piratininga, devido a uma evidente obstrução no interior do Túnel do Tibau. Um indicativo de obstrução do túnel foi uma elevação do nível da Lagoa de Piratininga posteriormente ao período de intensa pluviosidade sem uma diminuição de elevação posterior que o túnel proporcionaria.

Em trecho extraído do termo de referência, “*Ainda, foi realizada uma visita técnica por especialista geólogo-geotécnico que verificou as condições do túnel do Tibau. Nesta inspeção constatou-se que a metodologia mais indicada a ser utilizada para o desmonte das rochas, em função das condições atuais, deveria ser isenta de métodos que comprometam a estabilidade da estrutura, tais como explosões, devendo-se utilizar métodos não invasivos tipo desmonte a frio ou similar.*”. Apenas ressalta-se aqui, que essa atividade não foi realizada pela contratada, mas sim pela contratante, em situação prévia ao processo de contratação desse serviço.

Tendo em vista as consequências decorrentes desta obstrução, ações imediatas foram tomadas para uma restauração do fluxo de água do túnel. Sendo assim, a Prefeitura de Niterói contratou a Eco Blasting (contrato SEPLAG/UGP/CAF N° 001/2020), empresa especializada em desmonte de rochas para desobstrução e desassoreamento do Túnel do Tibau, cujo escopo de atividades listava-se:

- Plano de trabalho (metodologia construtiva);
- Mobilização do serviço;
- Vedação das extremidades, desassoreamento e esgotamento do Túnel;
- Relatório de Avaliação Geológica;
- Execução do desmonte e transporte da rocha;
- Desmontagem da vedação e verificação do escoamento do Túnel;
- Relatório técnico final;
- Relatório técnico de proposições de Estabilidade.

No tocante aos projetos de estabilização, o diagnóstico apontou um aumento das cavidades colapsadas, com intensa queda de blocos após período chuvoso, o diagnóstico apresentou:

- A. Vistoria do túnel - outubro de 2020;
- B. Período entre as vistorias de outubro de 2020 e janeiro de 2021;
- C. Vistoria do túnel - janeiro de 2021;
- D. Considerações sobre os elementos de contenção do túnel;
- E. Reclassificação do maciço rochoso nas áreas com ruptura;
- F. *As built* do traçado do túnel;
- G. Análise de estabilidade cinemática; e
- H. Mensuração das cavidades colapsadas.

Sobre o diagnóstico apresentado (ECO BLASTING, 2021), foi apresentado a metodologia e volume de rochas desmontados e removidos, e um monitoramento das quedas de blocos para a continuidade das atividades principais do contrato. Ao fim, foi apresentado um Relatório Técnico de Proposições de Soluções para Estabilização do Túnel do Tibau, Niterói-RJ. Com diretrizes para o processo de contratação das atividades do presente relatório, como principal aspecto, destaca a adoção de medidas para se fechar a passagem de água do túnel, e com isso, sob condições drenadas, estabilizar os colapsos já diagnosticados, e ainda inspecionar a totalidade do túnel, nas partes submersas.

2 MEMORIAL DESCRITIVO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de abrangência do estudo é considerada a área interna do túnel do Tibau, seu emboque na lagoa e desemboque para o mar, a Figura 2.1-1 apresenta a localização com o traçado simplificado, e Figura 2.1-2 apresenta uma imagem aérea do local do emboque.

Figura 2.1-1. Trajetória do túnel do Tibau.



Fonte: Eco Blasting (2021).

Figura 2.1-2. Vista aérea da lagoa e local do emboque do túnel.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2 PROJETO CIVIL BÁSICO DE REFORMA DO SISTEMA DE CONTENÇÃO DO LADO DA LAGOA

A Estrutura de Controle presente na Lagoa do Tibau, obra composta de muros para controle e limitação do fluxo de água entre a lagoa e o oceano, atualmente, não cumpre a função projetada em sua totalidade. Os muros de concreto armado no local formam um compartimento ligado ao canal de emboque do túnel, com 120 cm acima do nível de escavação da rocha e na parte frontal, virada para a lagoa, há uma parede onde atualmente estão instaladas 6 comportas, porém, essa estrutura não está cumprindo a função para qual foi projetada, uma vez que o nível de água da Lagoa do Tibau está perenemente maior que a estrutura de contenção, resultando na perda da função de contenção e controle do nível da lagoa.

A estrutura conta ainda com um passadiço para acesso às comportas e de uma monovia metálica em perfil duplo U de chapa dobrada, apoiada sobre pilares de concreto armado 25 x 25 cm, para movimentação do equipamento. Os muros e a parede frontal têm 25 cm de largura e os passadiços estão projetados com 20 cm de espessura. Todos os muros e paredes estão assentes sobre a rocha, e serão utilizados em conjunto com as estruturas implementadas pela reforma do sistema.

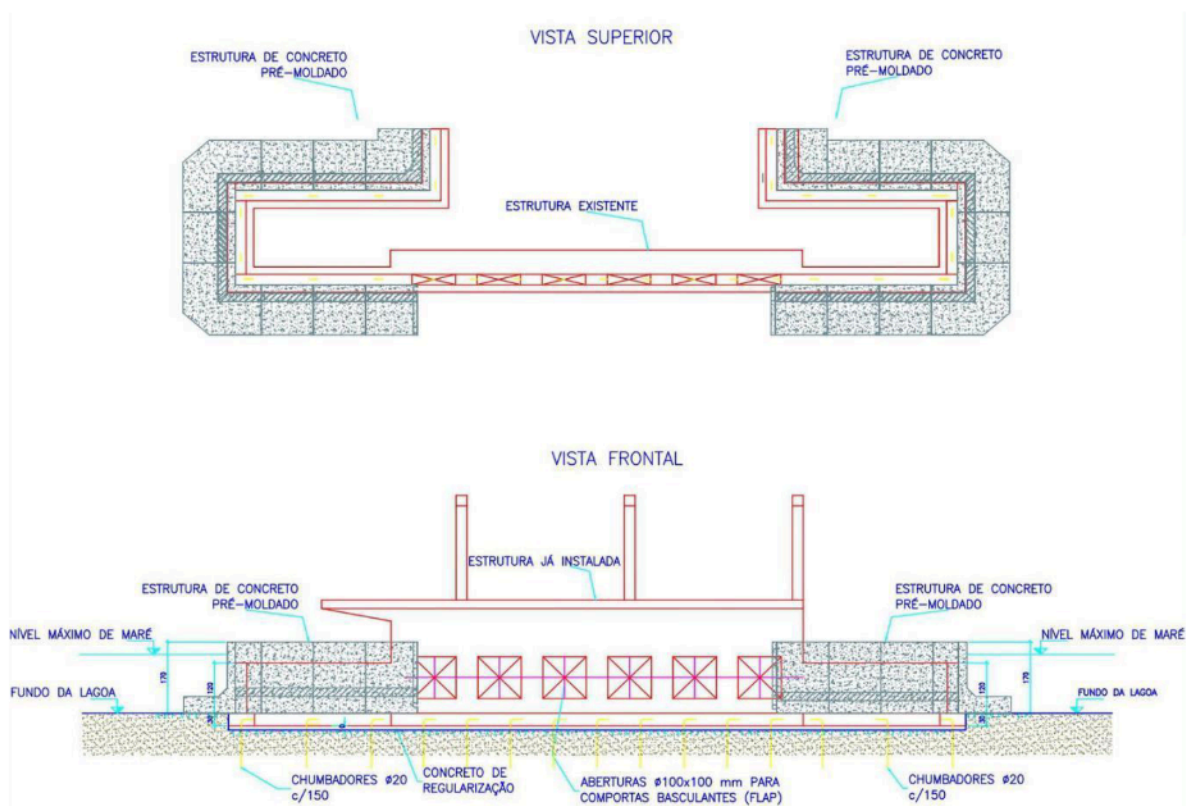
Uma parte importante da solução de drenagem do túnel para promover reformas, é a vedação do lado da Lagoa. O sistema atual, de controle de fluxo de água, é do tipo vertedouro fixo, que limita um nível mínimo da lagoa. A empresa Hydrosience realizou campanha de medição de 21 de setembro de 2018 a 27 de março de 2019. Nesse período de campanha, o menor nível d'água aferido da Lagoa de Piratininga foi 0,46 m. Já o maior nível d'água foi 0,76 m.

Como informação adicional, o nível da Lagoa não deve ser maior do que os níveis atuais, e por isso o sistema atual de alvenaria não pode ter sua cota elevada. Partindo do suposto que um sistema fixo de contenção, poderia elevar os níveis de água da Lagoa ao barrar o fluxo da

água, e também considerando, que um ajuste na alvenaria do sistema de controle de fluxo requer a construção temporária de ensecadeira de terra. Optou-se por especificação de sistema móvel de contenção da água, com uso de peças em concreto pré-moldado e membranas geotêxteis.

Nessa concepção, peças de concreto pré-moldado serão posicionadas com uso de guindastes ou braços telescópicos tipo munck, no perímetro do sistema atual, acomodando as peças sobre geotêxtil de PVC flexível, que posteriormente será utilizado para envolver as barreiras em concreto, de maneira a vedar a entrada de água oriundo da Lagoa para o túnel. A concepção das peças pré-moldadas e o posicionamento está apresentada na **Figura 2.3-1**. O **Anexo B** apresenta o **Desenho 1**, com plantas e cortes em detalhe com o layout dos blocos pré-moldados.

Figura 2.2-1. Concepção para a posição da barreira ao redor da estrutura.



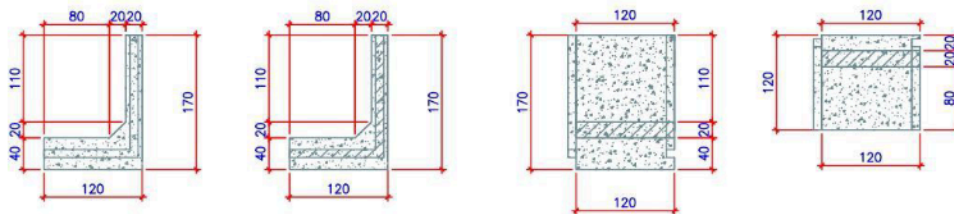
Fonte: elaborado pelos autores.

2.2.1 DESCRIÇÃO DOS BLOCOS PRÉ-MOLDADOS

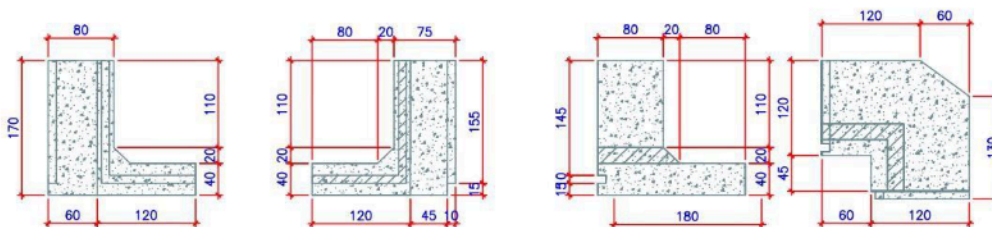
Os detalhes do muro em blocos pré-moldados para contenção de água estão apresentados na **Figura 2.2-2** a seguir. O **Anexo B** apresenta o **Desenho 2**, com plantas e cortes em detalhe de cada um dos blocos pré-moldados.

Figura 2.2-2. Concepção para a construção das peças pré-moldadas.

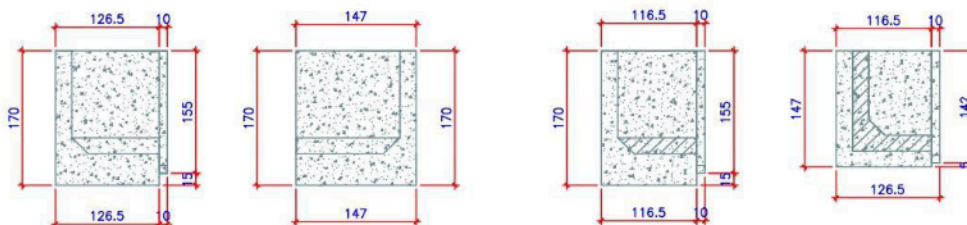
DETALHE PEÇA PRÉ-MOLDADA BLOCOS:
2,3,5,7 ao 12,14,16 e 17.



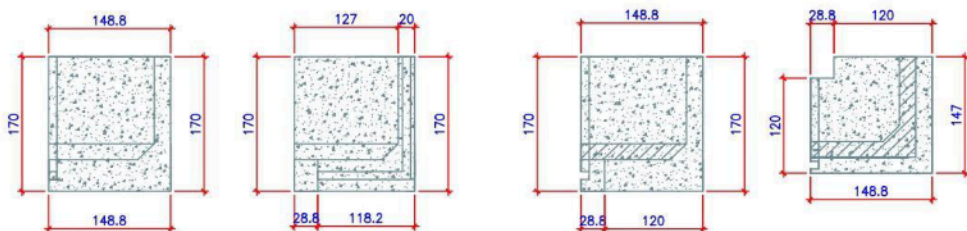
DETALHE PEÇA PRÉ-MOLDADA BLOCOS:
4,6,13 e 15.



DETALHE PEÇA PRÉ-MOLDADA BLOCO:
1.



DETALHE PEÇA PRÉ-MOLDADA BLOCO:
18.



Fonte: elaborado pelos autores.

2.2.2 DESCRIÇÃO DO GEOTÊXTIL

Como parte da solução de fechamento do fluxo de água para permitir a reforma do túnel e do próprio sistema de controle de fluxo do emboque. Além da justaposição de blocos pré-moldados, deve ser associado o uso de geotêxteis. O Geotêxtil selecionado, envolve o uso associado de uma Manta Geomembrana Pead/PVC 0,8mm Tanques, impermeável, associado a um geotêxtil permeável e maleável (Bidim) para proteção da geomembrana, e as duas membranas devem ser aplicadas em paralelo, sendo que todo o contato do bloco pré-moldado deve se dar com o Bidim, com a geomembrana de Pead/PVC podendo ser dobrada sobre os blocos e ancorado no sistema de controle de fluxo atual.

2.2.3 SERVIÇOS PRELIMINARES PARA REFORMA DO SISTEMA DE CONTENÇÃO DO LADO DA LAGOA

Seguindo o projeto executivo do sistema de contenção e seguindo dados coletados em campo, foram identificados alguns serviços preliminares que se fazem necessário para a execução da reforma do sistema de contenção, são eles:

2.2.3.1 Limpeza do sistema atual

O sistema atualmente em funcionamento foi construído entre 2006 e 2009, e após o término da construção a região do emboque tem recebido por todo esse período todo tipo de detrito e sedimento proveniente da lagoa, logo, encontra-se não preparada para o recebimento da estrutura adicional que será implementada na reforma do sistema. Então temos a necessidade de realizar o serviço de limpeza e preparo da estrutura atual, para então conseguirmos executar a adição das estruturas de concreto pré-moldado, que serão responsáveis pelo funcionamento correto do controle do nível da lagoa.

2.2.3.2 Transporte e alocação do material

O transporte das peças pré-moldadas será feito através de caminhão munck. A dificuldade atual é que a fiação elétrica dos postes passa lindeiros ao ponto emboque e sistema de controle atualmente instalado. Assim, as etapas de transporte e alocação do material nas proximidades requer cuidado e sucessivas etapas para descarregar o caminhão e posteriormente posicionar as peças sobre o geotêxtil.

As peças pré-moldadas contam com ponto para se içar. Em caso da impossibilidade do uso de guindaste Munck, deve ser avaliado o posicionamento final, por meio de talhas, pás carregadeiras com cintas de nylon, ou até mesmo técnicas manuais, partindo do uso de alavancas.

2.2.3.3 Lista de materiais

Para os blocos de concreto pré-moldado foram calculados os seguintes materiais.

Tabela 2.2-1. Volume de concreto e vergalhões para pré-moldado.

Volume de concreto estimado para blocos pré-moldados			
Blocos	Volume (m ³)	Blocos	Volume (m ³)
2	0,74	14	0,74
3	0,74	16	0,74
5	0,74	17	0,74
7	0,74	4	3,68
8	0,74	6	3,68
9	0,74	13	3,68
10	0,74	15	3,68
11	0,74	1	1,68
12	0,74	18	1,68

Vergalhões para Blocos pré-moldados					
Quantidade	Diâmetro Ø (mm)	Comprimento (m)	Quantidade	Diâmetro Ø (mm)	Comprimento (m)
17	12,5	1,4	17	12,5	4,24
17	12,5	0,03	43	12,5	1,64
Varia	12,5	1,64	17	12,5	1,40
17	12,5	1,53	17	12,5	0,03
17	12,5	4,63	Varia	12,5	1,64
Varia	12,5	1,64	17	12,5	1,53
17	12,5	4,50	17	12,5	4,63
17	12,5	0,03	Varia	12,5	1,64
17	12,5	2,59	17	12,5	4,5
26	12,5	1,64	17	12,5	0,03
17	12,5	2,46	17	12,5	2,59
17	12,5	0,03	26	12,5	1,64
17	12,5	1,53	17	12,5	2,46
Varia	12,5	1,64	17	12,5	0,03
17	12,5	1,40	17	12,5	1,53
17	12,5	0,03	Varia	12,5	1,64
17	12,5	4,17	17	12,5	1,40
17	12,5	0,03	17	12,5	0,03
43	12,5	1,64	17	12,5	4,17
17	12,5	4,31	17	12,5	0,03
17	12,5	2,46	43	12,5	1,64
17	12,5	0,03	17	12,5	4,31
26	12,5	1,64	17	12,5	2,46
17	12,5	2,59	17	12,5	0,03
17	12,5	4,24	26	12,5	1,64
43	12,5	1,64	17	12,5	2,59

Fonte: elaborado pelos autores.

Totalizando um volume esperado de 27 m³ de Concreto Fck 40 Mpa de alta densidade, impermeável e resistente a sulfatos, e para a armadura foi normalizado a bitola de 12,5 mm para facilitar a montagem da peça, e estima-se o uso de 110 metros para confecção das peças.

Quanto ao Geotêxtil selecionado, tanto para a Manta Geomembrana Pead/PVC 0,8mm Tanques/impermeável, quanto para o geotêxtil permeável e maleável (Bidim), serão necessários cerca de 150m², comprados em rolos para melhor aplicação.

2.2.4 INSTALAÇÃO E RECOMENDAÇÕES

A instalação será feita através de guinchos Munck, talhas carregadeiras ou até manual. Deve ser posicionado o geotêxtil (Bidim + geomembrana Pead/PVC), com os blocos pré-moldados sobre o geotêxtil, para que após posicionado o geotêxtil seja dobrado sobre os blocos e ancorados no sistema de controle atualmente instalados. Importante que antes de esticar o geotêxtil, o fundo da lagoa na área indicada deverá ser limpo arrastando os detritos para fora do local.

O **Desenho 3 do Anexo B**, apresenta instruções de instalação, com locação das peças a serem instaladas na estrutura já existente.

Após concluído o fechamento da água, destaca-se que não se espera uma estrutura completamente estanque, mas que a quantidade de água seja pequena o suficiente para que a altura da água não supere as muretas do sistema de controle de fluxo atual, e na região entre a barreira de concreto pré-moldado e a estrutura atual, essa água possa ser facilmente bombeada de volta para a lagoa.

2.2.5 RECOMENDAÇÃO DE SERVIÇOS DE INSPEÇÃO DA OBRA CIVIL

Após instalado a contenção, do emboque e desemboque, seguirá a etapa de drenagem da água do túnel, e nessa ocasião todo o sistema de controle de fluxo se tornará passível de inspeção e reforma das estruturas em alvenaria e concreto instalados. A verificação de eventuais necessidades de reforma, das muretas e passadiços, deve ser realizada durante a obra de reforma do túnel, e se possível realizar essa reforma concomitante à reforma do túnel, no período em que o túnel esteja drenado.

2.3 PROJETO BÁSICO DA INSTALAÇÃO DA COMPORTA/STOP LOG

A Partir dos resultados de altura e energia incidente de onda (estimado no Produto 2, relatório 2148-R02-22) deverá ser dimensionado o stop log no desemboque do túnel, que permita que seja selado e drenado, para a realização das obras de estabilização e reforma do túnel. Assim, essa etapa do projeto deve conter a especificação de projetos mecânicos/geotécnica/estrutural/civil da implantação do stop log.

O resumo das especificações do modelo marítimo (Produto 2) estão apresentados na Tabela 2.3-1 a seguir:

Tabela 2.3-1. Características da onda extrema máxima identificada no ponto de interesse do projeto.

Altura Significativa no ponto de interesse Hs (m)	Altura Máxima no ponto de interesse Hmax (m)	Período de Pico no ponto de interesse Tp (s)	Direção Média no ponto de interesse Dm (°)
2,82	5,61	20	225,34

Fonte: dos autores.

Utilizando o parâmetro altura máxima (Hmax) e período de pico (Tp) da tabela acima para o cálculo da potência de onda (P) segundo a Equação (1), define-se a potência de onda máxima que chega ao local de interesse, conforme a metodologia empregada neste estudo, como:

$$\text{POTÊNCIA DE ONDA (P)} = 617.613 \text{ W/m}$$

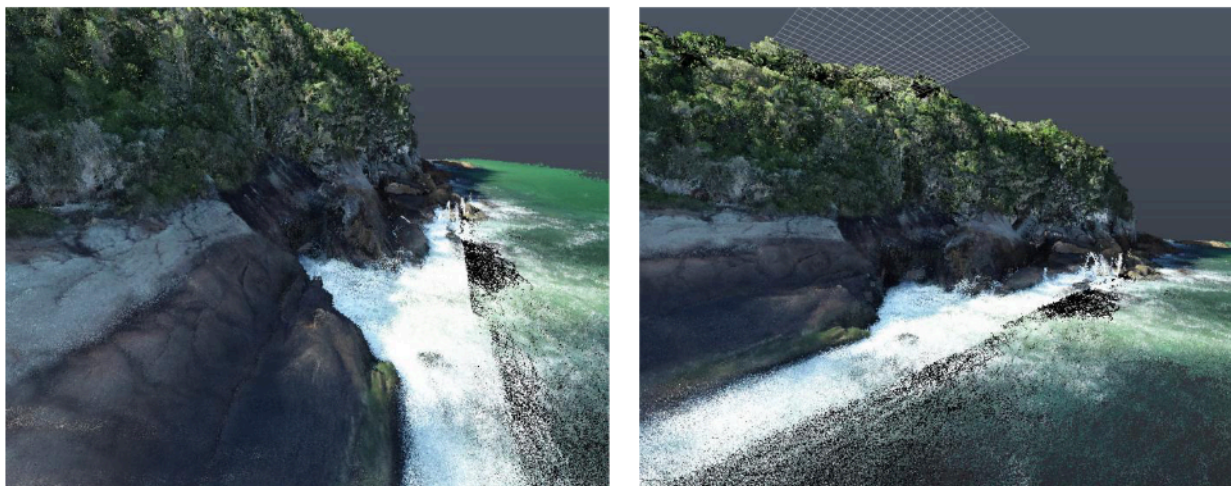
A concepção do stop log incluiu:

- A. Levantamento planialtimétrico de precisão;
- B. Projetos de geotécnico de chumbadores/tirantes para amarração das formas e estruturas de concreto/metálicas;
- C. Especificação do Stop log;
- D. Canteiro de obras;
- E. Fluxograma e planejamento da instalação; e
- F. Especificação e composição de preços para a instalação.

2.3.1 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DE DETALHE

No dia 21/06/2022 foi realizado levantamento planialtimétrico com uso de pontos de controle posicionados sobre pontos referenciais dos levantamentos planialtimétricos anteriores e uso de Imagens obtidas por drone, com aplicação de sensores Lidar (da sigla inglesa Light Detection And Ranging) é uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outra informação a respeito um determinado objeto distante.

Figura 2.3-1. Modelo tridimensional a partir da nuvem de pontos do levantamento planialtimétrico do LIDAR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Levantamento topográfico está apresentado no **Desenho 1 do Anexo C** (Memorial descritivo do projeto de comporta / stop log).

2.3.2 DESCRIÇÃO DA ANCORAGEM NA ROCHA

Para a instalação da comporta, inicialmente será necessário a instalação de tirantes em resina, para que estes permitam uma fixação da estrutura de concreto armado no maciço rochoso. Estão previstos uma malha de tirantes e chumbadores dos dois lados do desemboque. O memorial de cálculo define a quantidade e diâmetro dos tirantes, baseado nos parâmetros de força obtidos no modelo marítimo, enquanto que a profundidade advém do espaçamento das estruturas geológicas identificadas. Os tirantes devem ser de aço CA-50 com 32mm de diâmetro, ângulo de perfuração e a possível formação de cunhas, a profundidade dos tirantes podem ser de 4 a 6 metros. Adicionalmente podem ser inseridos malha de chumbadores de 20mm de diâmetro com profundidade de 30cm, para a fixação da armação para o concreto.

O **Desenho 2 do Anexo C** apresenta o perfil do tirante e chumbadores.

2.3.3 DESCRIÇÃO DOS MOLDES E ARMAÇÃO DE CONCRETO

Após a ancoragem por tirantes, será fixado uma armação metálica, e moldes para o preenchimento de concreto projetado. Materiais: Concreto ($f_{ck} > 24 \text{ MPa} = 2.5 \text{ tf/m}^3$); Aço CA-50A. A fixação da armadura em aço deve ser realizada diretamente na cabeça do tirante e chumbadores.

O **Desenho 3 do Anexo C** apresenta as plantas e cortes dos moldes de armação do concreto armado.

2.3.4 DESCRIÇÃO DA COMPORTA/STOP LOG

Após construído e instalado as paredes de concreto armado. Deverá ser instalado a armação da comporta de stop log, sobre a qual serão colocados as pranchas do sistema de contenção.

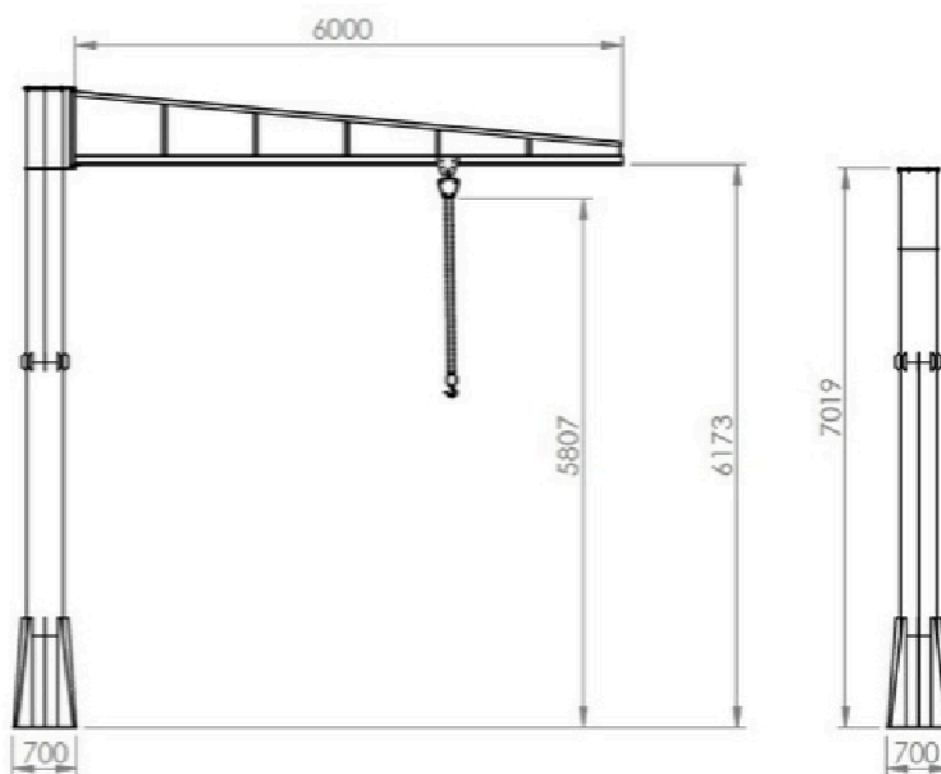
O **Desenho 4 do Anexo C** apresenta as plantas e cortes e especificação do material das comportas / stop logs.

2.3.5 DESCRIÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS

Para a instalação de todo o sistema, devido à dificuldade de acesso e logística, será necessário a instalação de um canteiro de obras no local da obra do desemboque no costão rochoso, com aspecto de um deck com fundações sobre a rocha. Para isso será necessário, a instalação de deck e passadiços, além da estrutura de uma torre para instalação de um Braço Giratório de Carga com Talha Manual 250kg (Figura 2.3-2) que deverá possibilitar a carga e descarga de insumos e equipamentos a partir de barcos e balsas de pequeno porte.

A listagem de equipamentos conta com a torre para um guincho devidamente chumbada à rocha, por meio de furos e chumbadores com fixação químicas, ou calda, mas que devem resistir à solicitação apresentada no memorial de cálculo.

Figura 2.3-2. Braço Giratório de Carga com Talha Manual 250kg.



Fonte: <https://www.iw8.com.br/produto/braco-giratorio-de-carga-talha-250kg.html>

Braço Giratório de Carga com Talha Manual 250 kg projetado e fabricado pelo Grupo IW8 (entre outros similares) para ser usado em Indústrias, Oficinas, Lava Jato ou demais Empresas que necessitem de Movimentação e Elevação Vertical e Horizontal de Produtos, Máquinas, Cargas e Equipamentos em Geral com total Segurança. Permite içar cargas de 250 kg com talha manual, dispensando o uso de energia elétrica, e com essa carga permite utilizar o comprimento total da lança de 6m.

As fundações para a torre do braço, requerem largura de 700mm, que será realizado com furações em rocha, e instalação em concreto, em formato quadrado de 800mm (Figura 2.3-3), com superfície na qual será aplicado o sistema de fixação, com parafusos ou fixadores químicos. Embora com dimensões menores, o exemplo da figura 2.3-3 também representa o estilo de fundação principal para o deck. Na mesma figura também é apresentado estruturas de apoio para o deck diretamente sobre elementos fixados sobre rocha.

Figura 2.3-3. Instalação de bases para a torre do braço giratório com talha, exemplo de fundação de deck sobre rocha sã.



Fonte: www.forconstructionpros.com/

Para as áreas inclinadas e nas proximidades do ponto de descarga de embarcações, a Figura 2.3-4 apresenta tanto elementos de fixação em rocha, quanto para a plataforma de descarga, como exemplo de rampa variável para a descarga. Para o desenvolvimento das atividades e ainda abrigar as placas do stop log, a área do deck deve ser de aproximadamente 55m² (6m x 9 m).

Figura 2.3-4. Exemplo de fundação de deck sobre rocha sã, em trechos inclinados e rampa com ajuste variável para a descarga de equipamentos e insumos.



Fonte: www.forconstructionpros.com/

Destaca-se que a posição da torre do braço giratório deverá atender ao menos dois pontos, sendo que devem ao menos ser construídas duas bases/fundação. A primeira que deve proporcionar a construção do muro em concreto, com ancoragem e enchimento. E a segunda,

que deverá permitir o posicionamento das placas do stop log para a operação, fechamento e içamento e acomodação das placas.

Para as fundações das torres do braço giratório com talha, recomenda-se a fixação com chumbadores químicos, com aplicação de material da Walsywa, com grampos de uma profundidade de até 10" x diâmetro do furo máx de 1" (com resistência de até 12 KN), ou barras rosqueadas com 12" x 3/4" com uma carga de tração de 8,4 KN.

Figura 2.3-5. Exemplo de fixação de barra rosqueada com fixação química em rocha.



fonte: <https://www.vendfix.com.br/chumbador-quimico.php>

O **Desenhos 8 e 9 do Anexo C** apresenta as plantas e cortes e especificação do deck, fundações e elementos fixadores em rocha sã e torre e braço giratório com talha.

2.3.6 SERVIÇOS PRELIMINARES PARA A INSTALAÇÃO

2.3.6.1 Limpeza da área

Na área do desemboque, uma quantidade de blocos de rochas pode estar solta. Essas rochas devem ser removidas antes da aplicação do concreto nos moldes. Essa limpeza pode ser realizada manualmente, em situações de maré baixa, e sem ressacas.

2.3.6.2 Lista de materiais

Tabela 2.3-2. Lista de materiais para construção da comporta/Stop log, A-Concreto, B-Formas de madeira, C-Vergalhões.

Volume de concreto estimado para elementos do desemboque	
Parede	Volume (m ³)
Esquerda	7,50
Direita	7,50
Enchimento	Volume (m ³)
Esquerda	73,5
Direita	59,25
Chumbadores	Volume (m ³)
6	4,7

Formas de madeira e escoramento para desemboque	
Parede	Área (m ²)
Esquerda	42,8
Direita	45,1
Enchimento	Volume (m ³)
Esquerda	8,64,5
Direita	11,52

Vergalhões para desemboque					
Quantidade	Diâmetro Ø (mm)	Comprimento (m)	Quantidade	Diâmetro Ø (mm)	Comprimento (m)
17	12,5	1,4	17	12,5	4,24
17	12,5	0,03	43	12,5	1,64
Varia	12,5	1,64	17	12,5	1,40
17	12,5	1,53	17	12,5	0,03
17	12,5	4,63	Varia	12,5	1,64
Varia	12,5	1,64	17	12,5	1,53
17	12,5	4,50	17	12,5	4,63
17	12,5	0,03	Varia	12,5	1,64
17	12,5	2,59	17	12,5	4,5
26	12,5	1,64	17	12,5	0,03
17	12,5	2,46	17	12,5	2,59
17	12,5	0,03	26	12,5	1,64
17	12,5	1,53	17	12,5	2,46
Varia	12,5	1,64	17	12,5	0,03
17	12,5	1,40	17	12,5	1,53
17	12,5	0,03	Varia	12,5	1,64
17	12,5	4,17	17	12,5	1,40
17	12,5	0,03	17	12,5	0,03
43	12,5	1,64	17	12,5	4,17
17	12,5	4,31	17	12,5	0,03
17	12,5	2,46	43	12,5	1,64
17	12,5	0,03	17	12,5	4,31
26	12,5	1,64	17	12,5	2,46
17	12,5	2,59	17	12,5	0,03
17	12,5	4,24	26	12,5	1,64
43	12,5	1,64	17	12,5	2,59

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Materiais para Canteiro de Obras	
Piso, e estrutura	Quantidade
Ripa de madeira 4,8x9,8x100 cm	628 Un
Pontalete 15x15x300 cm	14 Un
Pranchas De Madeira 5x30x300 cm	10 Un
Prego Cobre 12x12	2 kg
Parafuso sextavado com arruela de Cobre	50 Un
Fundação e Apoios	Quantidade
Concreto	2,35 m ³
Chumbador sextavado de Cobre	60 Un
Chumbadores	Quantidade
Chumbador Químico Âncora	1600 MI

Fonte: Elaborado pelo Autor.

2.3.7 INSTALAÇÃO E RECOMENDAÇÕES

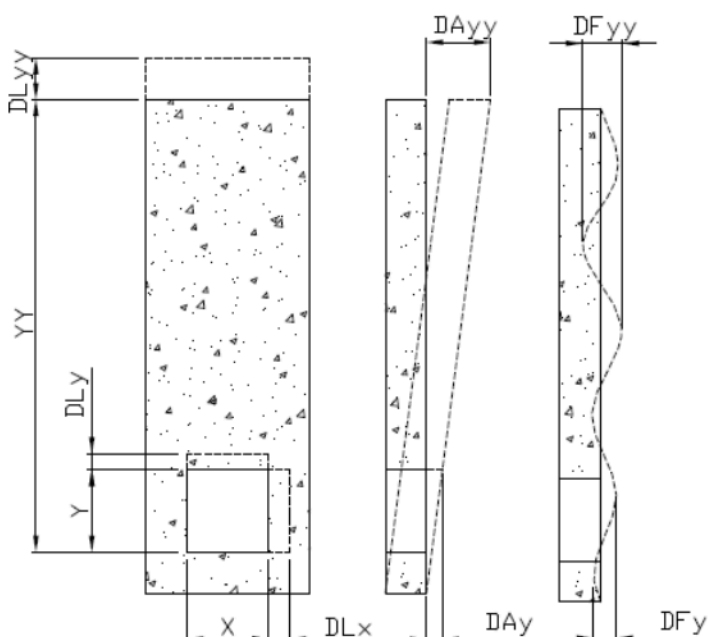
A perfuração para os tirantes será realizada com máquinas portáteis e manuais amplamente utilizadas em obras de contenção, o operador deve estar devidamente protegido, e com uso de fixação. Tirantes, maquinário e resina podem, ainda nessa etapa ser levadas manualmente, pela trilha, embora fortemente recomenda-se que se utilize de embarcações para o transporte do material até o costão.

As formas (moldes) e armaduras devem necessariamente seguir com embarcações, preferencialmente com Munck/guindaste, para descarregar em local adequado para as montagens manuais de todas formas. Neste sentido, a depender da empresa prestadora do serviço, pode se optar em se instalar no costão rochoso, de maneira provisória, defensas marítimas para que as balsas possam atracar.

Antes do posicionamento das formas nas laterais e fundo do desemboque do túnel, deve ser verificada a presença de blocos e a área limpa. Atenção que a armação de aço deve ser soldada aos elementos de fixação da rocha, de maneira que a armadura possa ficar devidamente fixada à rocha antes da inserção do concreto. Para então ser instalado os moldes para o concreto. Após toda a armação estar posicionada, embarcações/balsas com o concreto e bombas para a injeção devem ser atracadas o mais próximo possível da área, e por mangotes injetar o concreto em toda a armação e molde, para a construção dos muros.

Após a instalação da parte em concreto, será instalada a armação/pórtico da comporta/ stop log, e novamente deve ser transportada e posicionada por embarcações com uso de munck/guindaste. Por fim, as placas da comporta/pórtico devem ser posicionadas um a um, com uso do guindaste. Importante selecionar um período com o mar mais calmo para toda a operação. Após instalado os pórticos/trilhos deve ser verificado o alinhamento e prumo antes da chegada.

2.3.8 TOLERÂNCIAS ADMISSÍVEIS DA OBRA CIVIL



X: Largura da abertura
Y: Altura da abertura
YY: Distância da soleira ao piso de operação
DLx: Desvio linear (da dimensão X)
DLy: Desvio linear (da dimensão Y)
DLYy: Desvio linear (da dimensão YY)
DAy: Desvio angular (da dimensão Y)
DAx: Desvio angular (da dimensão X)
DAyy: Desvio angular (da dimensão YY)
DFy: Desvio da planicidade (da dimensão Y)
DFx: Desvio da planicidade (da dimensão X)
DFyy: Desvio da planicidade (da dimensão YY).

Os desvios não devem ser superiores aos valores máximos especificados na norma DIN 18202, resumidos na **Tabela 2.3-3 e 4**.

Tabela 2.3-3. Resumo dos valores de desvios segundo Normas.

Desvio	Desvio Máximo
Desvio Linear (DLx, DLy, DLYy):	DIN 18202, tabela 1, grupo 2 (para DLx e DLy) DIN 18202, tabela 1, grupo 5 (para DLYy)
Desvio Angular (DAx, DAy, DAyy)	DIN 18202, tabela 2
Desvio de Planicidade (DFx, DFy, DFyy)	DIN 18202, tabela 3, grupo 7

Tabela 2.3-4. Detalhe dos distintos valores de desvios definidos na norma DIN 18202.

DIN 18202 TABELA 1	Grupo	Aplicável a	Desvios permitidos (mm) para dimensões a abaixo (m)						
			≤ 1	> 1 ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 15	> 15 ≤ 30	> 30	
Desvio Linear	2	DLx, DLy	+10	+12	+16	-	-	-	
	5	DLYy	+10	+16	+16	+20	+30	+30	
DIN 18202 TABELA 2	Grupo	Aplicável a	Desvios permitidos (mm) para dimensões a abaixo (m)						
			≤ 0,5	> 0,5 ≤ 1	≥ 1 < 3	≥ 3 < 6	≥ 6 < 15	≥ 15 ≤ 30	≥ 30
Desvio Angular	6	DAx, DAy, DAyy	3	6	8	12	16	20	30
DIN 18202 TABELA 3	Grupo	Aplicável a	Desvios permitidos (mm) para distâncias entre pontos de medição (m)						
			< 0,1	≥ 0,1 < 1	≥ 1 < 4	≥ 4 < 10	≥ 4 < 10		
Desvio de Planicidade	Grupo 7	DFx, DFy, DFyy	2	3	8	15	20		

2.4 PROJETO GEOTÉCNICO BÁSICO PARA A ESTABILIZAÇÃO DAS ÁREAS COLAPSADAS

2.4.1 DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO GEOLÓGICA E ESTRUTURAL DO TÚNEL

Este item está apresentado no relatório do Produto 2, 2148-R02-22-REV01, nos itens:

- 2. Caracterização da Área de Estudo
 - 2.1 Localização da área
 - 2.2 Contexto geológico
 - 2.2.1 Contexto geológico regional
 - 2.2.2 Contexto geológico local
- 3. Diagnóstico
 - 3.1 Histórico das Vistorias do túnel anteriores
 - 3.1.1 Vistoria de outubro de 2020
 - 3.1.2 Período entre as vistorias de outubro de 2020 e janeiro de 2021
 - 3.1.3 Vistoria do túnel - janeiro de 2021
 - 3.1.4 Considerações sobre os elementos de contenção do túnel
 - 3.2 Vistoria do dia 31 de maio e 01 de junho de 2022
 - 3.3 Atualização da classificação do maciço rochoso nas áreas de interesse
 - 3.4 Análise de estabilidade cinemática
 - 3.5 Mensuração das cavidades colapsadas

2.4.2 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE RECUPERAÇÃO

Pelo levantamento geológico realizado é possível constatar que o revestimento executado na construção do túnel é composto por concreto projetado e tirantes. Constata-se também que as patologias identificadas na inspeção prévia correspondem em geral à ocorrência de desmoronamentos de maiores e menores dimensões, locais sem espessura de concreto adequada e chumbadores de aço rompidos ou deteriorados. Há apenas um local onde houve um desmoronamento de maior volume, formando uma cavidade, usualmente chamado de “capela” na linguagem “tuneleira”, com dimensões da ordem de 18m de altura, 10m de largura e 5m de comprimento.

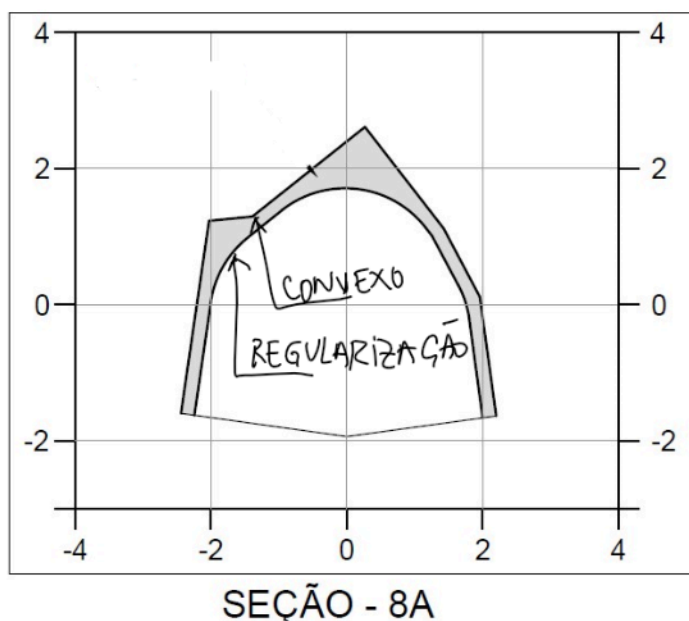
A partir da descrição das patologias é possível concluir que no estado atual do túnel o suporte presente para estabilização da cavidade do túnel encontra-se insuficiente. É fato também que tirantes de aço não são adequados para estabilização definitiva do maciço, considerando as

condições de agressividade do meio ambiente marítimo, uma vez que são corroídos pela salinidade da água.

Assim, para a recuperação do túnel é necessário que o revestimento seja recomposto somente com concreto projetado, sem uso de telas ou armadura metálicas e tirantes ou chumbadores. Nessa condição, para a estabilização da cavidade do túnel somente com o uso de concreto projetado, é necessário que a geometria da face interna do revestimento seja regularizada de forma que a geometria da seção transversal seja formada por curvaturas suaves, sem formar saliências (**Figura 2.4-1**).

O revestimento não deve apresentar trechos com convexidades persistentes, isto é, quando a seção apresentar geometria com curvatura convexa, esta convexidade não deve persistir por mais de 5m de extensão. Caso ocorra esta situação, a seção deve ser preenchida com concreto projetado até que a forma convexa seja atenuada formando uma leve curvatura côncava (**Figura 2.4-1**). Os **Desenhos 1 e 2 do Anexo D**, apresentam as pranchas para a recuperação do túnel, exceto trecho da capela 110m (progressiva 410m).

Figura 2.4-1. Exemplo de parede da seção com geometria convexa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a regularização da geometria do revestimento foi prevista a aplicação de uma espessura mínima de concreto de 20cm. Ou seja, conforme a seção representada na **Figura 2.4-1** a espessura média teórica do revestimento considerando os preenchimentos para formação da curvatura corresponderia aproximadamente a 30cm.

A geometria regularizada forma o revestimento de um túnel de dimensões relativamente pequenas, com diâmetro da ordem de 4m, ou raio de 2m. Com base na experiência de projetos

de diversos túneis é possível afirmar que a espessura mínima de 20cm é bastante superior à necessidade estrutural. Como referência, a espessura de 20cm seria suficiente para um túnel com diâmetro da ordem de 10m em condições geológicas equivalentes. Porém, para a condição do túnel Tibau de ambiente marítimo e água corrente, considera-se prudente adotar uma espessura mais conservadora e que permita garantir uma melhor execução do revestimento.

Uma vez que o túnel apresenta pontos em que o maciço está instável, com risco de quedas de blocos, é necessário considerar que a recuperação do revestimento de suporte tenha que ser realizada progressivamente por uma frente de avanço de modo que não haja tráfego de pessoas em trecho não recuperado. Tal consideração pode afetar significativamente o cronograma de obras.

2.4.3 ESTIMATIVA DE QUANTIDADE DE CONCRETO

Para finalidade de estimativa de volume de concreto a ser utilizado na recuperação do túnel é importante considerar as condições geométricas da superfície rochosa, da qualidade do levantamento topográfico e da representação gráfica descontínua no projeto. Detalhes nos **Desenhos 1 e 2 do Anexo D**. Assim, de modo a estimar o volume de concreto com maior confiabilidade o volume médio calculado graficamente foi corrigido através das seguintes considerações:

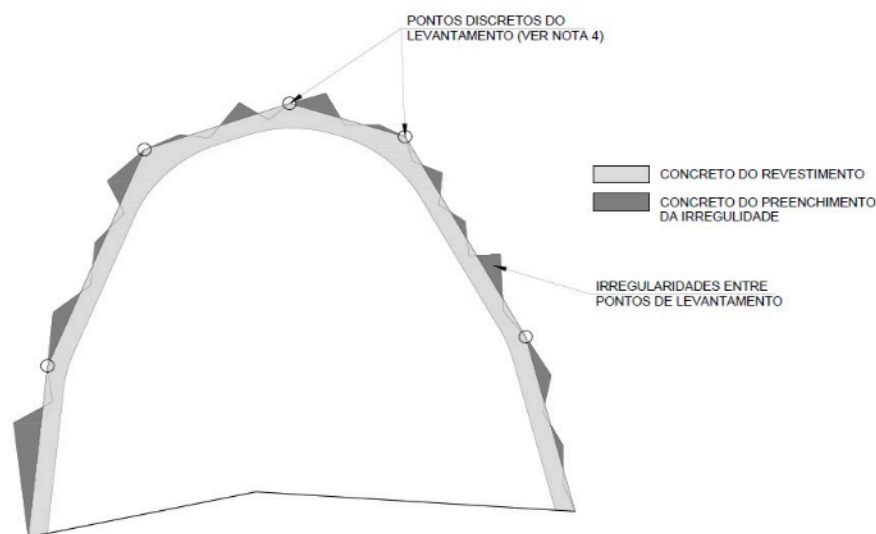
A – Volume médio da seção

O volume de concreto foi estimado graficamente em cada seção geométrica disponível considerando a espessura mínima de 20cm e a atenuação dos vértices com aplicação de curvaturas. Em seguida, foi obtida de forma gráfica a área de concreto aplicado em todas as seções e calculada a área média. O volume geométrico teórico seria dado pelo produto da área média com a extensão do túnel.

B – Irregularidades da superfície rochosa

Existem irregularidades da superfície rochosa que não estão representadas na seção geométrica e que ocorrem entre os vértices representados graficamente. Esta situação pode ser melhor compreendida através da **Figura 2.4-2**. Assim, para contingenciar o volume de concreto necessário para este preenchimento, foi admitida uma espessura média de 20cm, o que representaria a consideração do volume equivalente ao volume estimado para o revestimento através do desenho gráfico.

Figura 2.4-2. Irregularidade entre os pontos geométricos da representação gráfica.



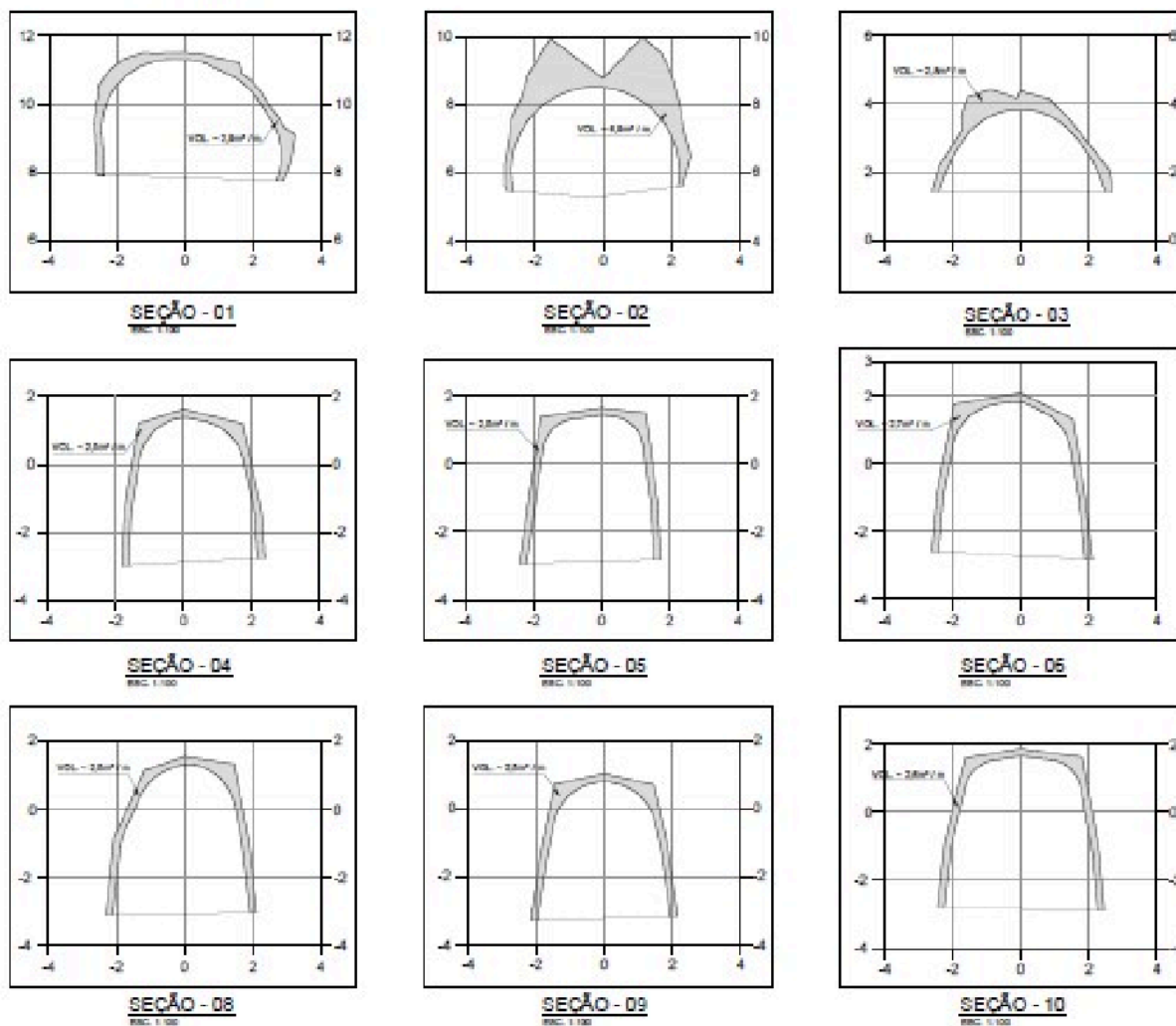
Fonte: Elaborado pelos autores.

C – Variações entre as seções geométricas

As seções do túnel representadas graficamente no projeto são pontuais a cada 50m (**Figura 2.4-3**). Assim, a geometria do túnel pode variar no intervalo entre as seções. Pode se observar que há alguma homogeneidade, porém, algumas seções indicam presença de reentrâncias mais proeminentes e que necessitarão maior volume de concreto de preenchimento.

Assim, de forma a considerar as variações de volume que podem ocorrer, foi realizada uma estimativa estatística da variação de volume das seções em relação ao volume médio encontrado e, através do índice estatístico, foi considerado o desvio padrão e corrigido o volume para que o valor total seja representado com 99% de confiabilidade. Tal correção resultou em acréscimo de 19% sobre o volume médio estimado graficamente 50m (**Tabela 2.4-1**).

Figura 2.4-3. Ilustração das seções do levantamento do túnel.



Fonte: Elaborado pelos autores.

D – Volume total

O volume estimado total é representado por três parcelas, **Tabela 2.4-1**.

1. - Volume geométrico teórico obtido pela área média;
2. - Volume adicional para preenchimento de irregularidades
3. - Correção do volume obtido pelo desvio padrão das áreas calculado estatisticamente

Tabela 2.4-1. Estimativa do volume de concreto apresentado no desenho do projeto básico.

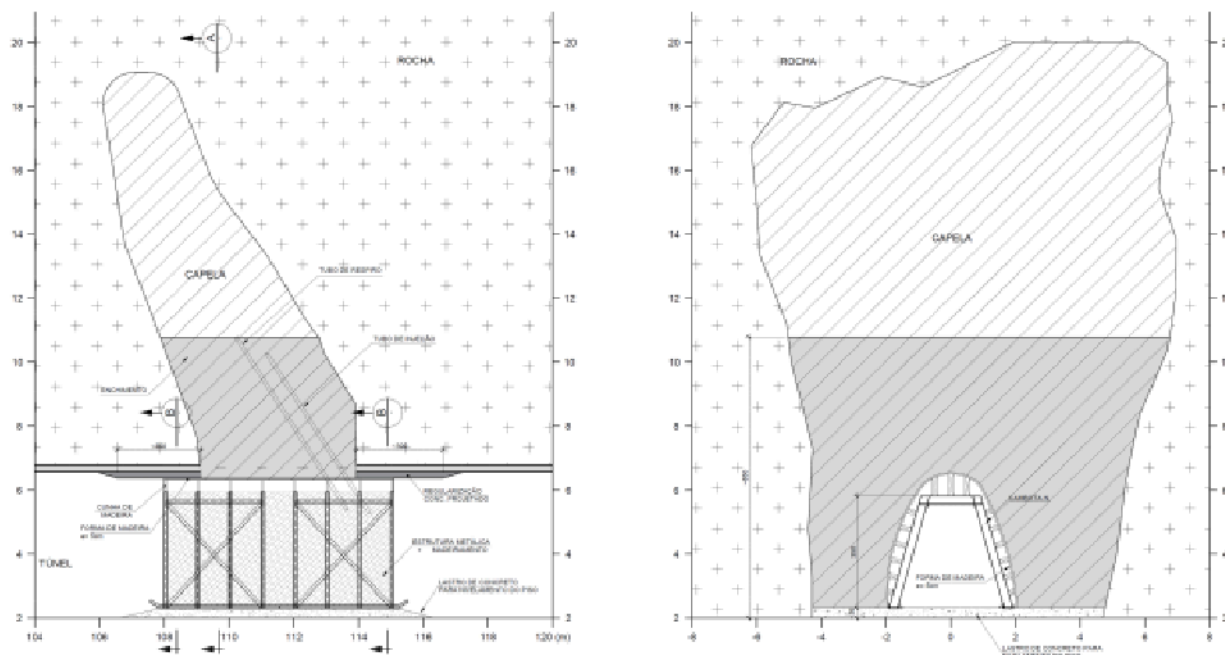
Descrição do volume	Memória de cálculo	Volume
Volume Geométrico médio do concreto do revestimento estimado	$\sim 2,7\text{m}^2 \times (520,23+379,74) \text{ m}$	2430 m ³
Volume do concreto de revestimento estimado considerando desvio padrão	$\sim 3,1\text{m}^2 (520,23+379,74) \text{ m}$	2885 m³
Volume do concreto do preenchimento da irregularidade	-	2430m³
Volume Total do concreto estimado, considerando o valor conservador obtido pelo desvio padrão.	$\sim 2885 + 2430$	5315m³

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4.4 RECUPERAÇÃO DA CAPELA DA PROGRESSIVA 410M (DISTANTE 110M DO DESEMBOQUE MAR)

Nos levantamentos de campo, foi identificado um desmoronamento de maior volume na progressiva 410m, ou 110m do desemboque. O desmoronamento com geometria da ordem de 16m de altura, 10m de largura e 5m de comprimento (**Figura 2.4-4**), ainda se encontra instável e com risco de queda de blocos.

Figura 2.4-4. Ilustração da geometria da capela 110m.



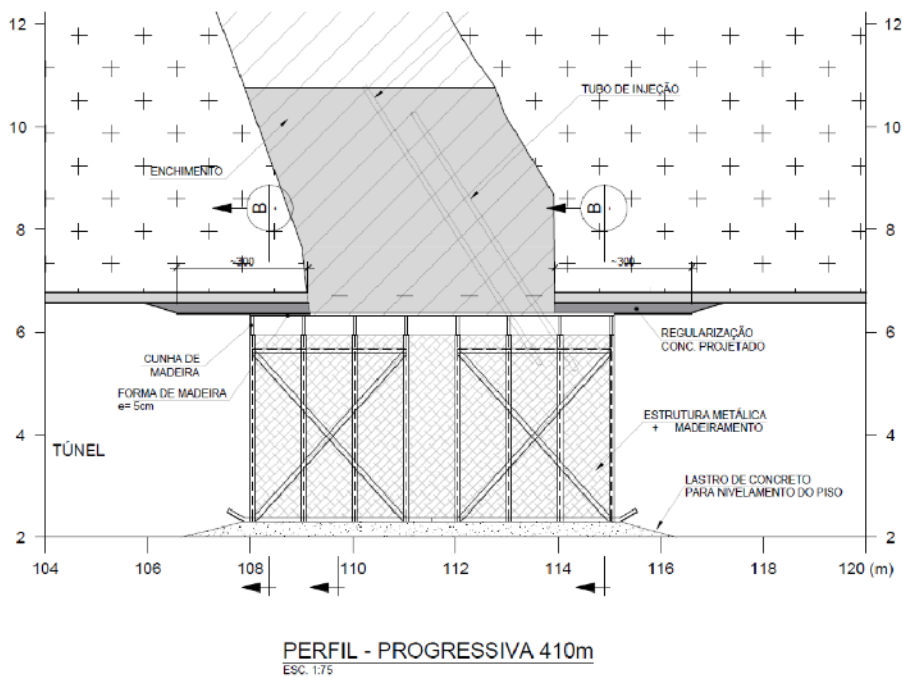
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a recuperação desse local, foi prevista metodologia específica com cuidados especiais de segurança e de construtibilidade.

A metodologia, detalhadamente apresentada de forma gráfica no projeto consiste das seguintes etapas:

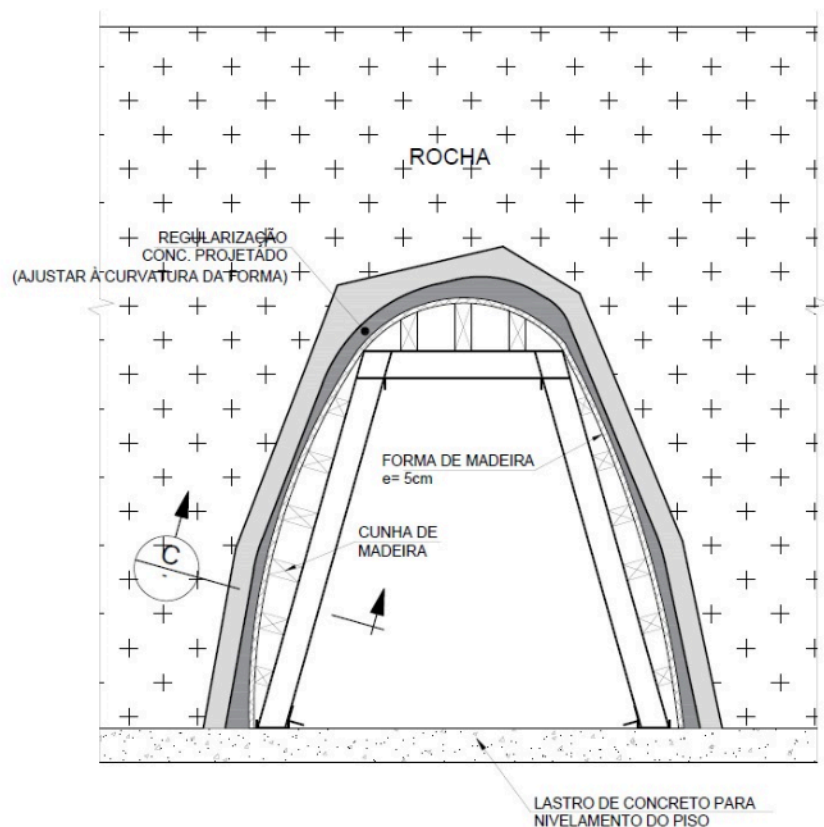
1. Limpeza do material desmoronado com equipamento apropriado de alcance mínimo em torno de 8m (escavadeira), de modo que o equipamento possa se posicionar fora da área instável para a realização do serviço.
2. Construção de uma estrutura metálica coberta por pranchas de madeira (**Figura 2.4-5 e 2.4-6**), formando um tipo de escudo que protegerá a equipe de trabalho na área sob o desmoronamento e servirá de forma para a concretagem da cavidade. O escudo é montado sobre “squids” (base com perfil metálico em forma de trenó para facilitar o deslizamento).
3. Aplicação de lastro de concreto no piso para regularização.
4. Instalação do escudo de proteção sob a área da capela.
5. Concretagem da cavidade com concreto bombeado.

Figura 2.4-5. Ilustração do escudo de proteção e suporte para forma de concretagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2.4-6. Ilustração da seção transversal do escudo de proteção e suporte para forma de concretagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os detalhes de medidas e procedimentos para a recuperação da capela 110m (410m da progressiva) estão apresentados nos **desenhos 3 e 4 do Anexo D**.

3 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Os trabalhos constantes deste relatório são da Coordenação Técnica do Geólogo Fernando M. Alves, M.Sc. (CREASP 5062119280) e Oswaldo Y. Iwasa.

Equipe Técnica:

Fernando Machado Alves, M.Sc.- Geólogo - Coordenador e Especialista em Geotecnia.

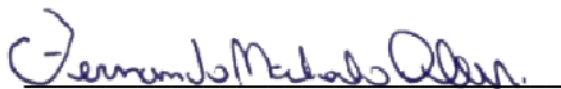
Oswaldo Y. Iwasa - Geólogo - Co-coordenador e Co-responsável técnico

Steve Harris de Souza - Eng Civil e Geólogo Trainee - Projetista e co-responsável técnico.

Adalberto Aurélio Azevedo, Dr. - Geólogo e Engenheiro geotécnico - Especialista em túneis.

Claudio Murakami – Engenheiro Civil – Especialista em túneis.

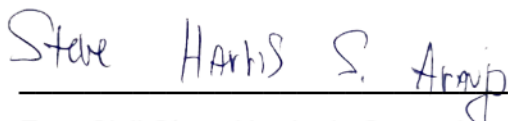
São Paulo, 14 de dezembro de 2022.



Geólogo M.Sc. Fernando Machado Alves

Co-Responsável Técnico

CREA 5062119280



Eng. Civil Steve Harris de Souza Araujo

Co-Responsável Técnico

CREA 5070110882

Assinado digitalmente por:



e-Ciga

Samila Maria
Gomes Ribeiro
•••714.877-••
Data: 18/07/2024
16:22



Ciga