

Projeto de Construção de Túnel

Tunnel Construction Project

Ademar Ança Zafalon¹

Bruno Gomes da Silva²

Resumo. O presente estudo busca levantar dados visando à preparação de projeto de inserção do túnel que fará a ligação entre cidades de São Paulo. O local foi escolhido após um estudo que apontou ser essa a região que gerará o maior número de benefícios, atendendo demandas de automóveis, caminhões, ônibus, bicicletas e pedestres. O projeto também permitirá a passagem de um veículo leve sobre trilhos (VLT), o qual busca estabelecer maior praticidade de locomoção à população. Projeto desenvolvido no curso de Engenharia Civil, 6 semestre, envolvendo as disciplinas de Engenharia de Tráfego, Estruturas Estáticas, Hidrodinâmica Aplicada, Geotecnia 2, Materiais de Construção Civil, Topografia. Um projeto desta magnitude, envolve conhecimentos de todo curso de Engenharia Civil, porém vamos limitar nosso estudo a essas disciplinas.

Palavras Chaves: Túnel, Problemas e Soluções, Construção Civil.

Abstract. *The present study seeks to collect data for the preparation of a tunnel insertion project that will link the cities of São Paulo. The site was chosen after a study that indicated that this is the region that will generate the greatest number of benefits, meeting the demands of automobiles, trucks, buses, bicycles and pedestrians. The project will also allow the passage of a light rail vehicle (VLT), which seeks to establish greater practicality of locomotion to the population. Project developed in the Civil Engineering course, 6 semester, involving the subjects of Traffic Engineering, Static Structures, Applied Hydrodynamics, Geotechnics 2, Civil Construction Materials, Topography. A project of this magnitude, involves knowledge of every Civil Engineering course, but we will limit our study to these disciplines.*

Keywords: *Tunnel, Problems and Solutions, Civil Construction.*

¹Técnico em Eletromecânica pelo IFSUL. Discente em Engenharia Civil pela Anhanguera (9 Semestre).
E-mail: *ademarzafalon@hotmail.com*

² Licenciado em Física pelo IFSUL. Discente em Engenharia Civil pela Anhanguera (9 Semestre).
Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo IFSUL.
Mestre no Ensino das Ciências pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB-Portugal).
E-mail: *brunobrumartur@yahoo.com.br*

INTRODUÇÃO

O projeto básico do túnel requer estudos preliminares por ser, uma obra de grande porte com um alto custo financeiro e de impacto ambiental, que ainda não possui obra similar no país. A megaestrutura que ligara Santos e Guarujá usará uma técnica inédita no Brasil, porém já realizada em vários outros países, um exemplo é a travessia da Ferrovia Central de Michigan, sob o Rio Detroit, nos Estados Unidos. Durante a fase de projeto, o consórcio contará com a participação e assessoria de consultores internacionais vindos da Holanda, Dinamarca e Suécia, que são países que possuem obras na construção de túneis submersos.

O túnel que ligará as duas cidades, é de extrema importância para a sociedade e economia local, pois traz inúmeros benefícios, como a facilidade de locomoção e maior faturamento na região diminuir as distâncias e possibilitar o aumento do fluxo de pedestres e veículos. A profissão de engenheiro civil frequentemente se depara com a projeção de obras inéditas e que demandam um grande esforço na pesquisa tanto na busca de conhecimentos já produzidos como na produção de novos conhecimentos, pois obras por mais semelhantes que sejam sempre terão suas especificidades, desta forma uma equipe de engenheiros sempre terá que buscar novas soluções para novas obras.

(BUENO, 2014), o projeto inicial era construir uma ponte entre Santos e Guarujá. No entanto, ele se mostrou inviável porque a ponte teria que ter ao menos 85 metros de altura para permitir a passagem de grandes embarcações em direção ao porto, ao mesmo tempo em que não poderia ultrapassar os 75 metros de comprimento para não interferir no espaço da base aérea de Santos. A construção de um túnel escavado também foi descartada, pois as condições geológicas da região não são favoráveis. Uma ponte teria que ser muito alta e longa. Um túnel escavado teria que ser muito profundo. Essas obras causariam um impacto urbanístico e econômico maior. Por isso o túnel submerso é a melhor solução.

(BUENO, 2014), o projeto de um túnel imerso é complexo e minucioso, pelo fato de ser uma obra de grande porte e como dito anteriormente, com um custo financeiro elevado e causando um grande impacto ambiental. Trata-se de um túnel que facilitara o acesso entre as duas cidades, as pesquisas e levantamentos preliminares são de extrema importância para que o projeto seja executado com sucesso. Caso o projeto básico seja

elaborado incorretamente pode acabar desencadeando um grande prejuízo para a sociedade. Desta forma os encarregados devem possuir um conhecimento abrangente, que no mínimo prepare-o para buscar junto a outros profissionais o auxílio ao bom desenvolvimento de seu trabalho. Nesta visão é fundamental o acompanhamento de casos que possibilitem a identificação das várias nuances que a engenharia atinge. Assim identificamos neste trabalho um ótimo potencial para o desenvolvimento dos conhecimentos relacionados à prática e a busca de soluções para a melhor elaboração e execução do projeto.

OBJETIVOS DO PROJETO

Necessidade do aprofundamento do conhecimento e a montagem de uma equipe técnica e multidisciplinar o mais abrangente possível, reconhecimento do local de implantação da obra e das necessidades primordiais, para após isto, montarmos a equipe que fará o projeto inicial e ser contratado pelo órgão solicitante e depois a implantação da obra. Definir as condições e padrões mínimos exigíveis pelo DER/SP na elaboração de projetos de túneis, além de buscar a padronização dos procedimentos envolvidos no desenvolvimento dos trabalhos. Este documento fixa as condições mínimas para coleta, análise e processamento de dados, cálculos e verificações a serem atendidas.

As instruções constantes neste documento correspondem a diretrizes básicas e referenciais, consideradas primárias ou mínimas. Face às características variáveis associadas à geologia e geotecnia. Considerar que cada projeto é especial, diferente e único, onde frequentemente se faz uso de grande diversidade de técnicas específicas, mistas e variáveis. Assim, as soluções, esquemas e elementos estruturais apresentados ao longo do documento devem ser considerados como referência e não como restrições à criação de novas alternativas. Esta instrução não inclui requisitos exigíveis para estados limites gerados por ações específicas como sismos, explosões e fogo.

- Atender demandas de circulação de veículos, pesados e leves, pedestres e ciclistas.
- Interligar Santos e Guarujá, em especial os percursos de trabalhadores.
- Integração dos sistemas de transportes públicos, a extensão do sistema VLT.
- Reduzir conflitos da travessia por balsas e barcas com tráfego de navios.

- Proporcionar acesso ao aeroporto do Guarujá.
- Pesquisar o que um projeto básico de topografia deve conter na construção de túneis;
- Levantamento sobre o que é relevante da Geotecnia;
- Plano básico de drenagem;
- Levantamento dos materiais adequados para impermeabilização de um túnel submerso;
- Prever as cargas estáticas;
- Pré-projeto estrutural do bloco de concreto.
- Redução das emissões de gases de efeito estufa: redução de 18,5 mil toneladas/ano de CO₂ (46%) e de 72 toneladas/ano de CO (25%).

DESENVOLVIMENTO

(DER/SP, 2018), a construção de túneis requer o conhecimento de terminologia técnica, que é norteada por normas, no caso do estado de São Paulo o departamento de estradas de rodagem possui normas próprias e apresenta algumas terminologias à engenharia de Túneis:

- **Arco Invertido:** Parte do revestimento de túneis com a forma de anel fechado, representado pelo arco do lado inferior. Pode ser chamado também de arco reverso ou simplesmente invert.
- **Cambota:** Elemento com a forma do arco superior do túnel utilizado para funções estruturais, construtivas ou de proteção. Normalmente são instaladas sistematicamente em espaços regulares de avanço do túnel. A cambota é normalmente constituída de treliça de barras – vergalhões de aço – ou perfis metálicos calandrados ou soldados na forma de arco superior do túnel. Estruturalmente, a cambota pode ser utilizada como confinamento do maciço ou, localizada mente, como armação do revestimento de 1ª fase. Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada à fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial. CÓDIGO REV. IP-DE-C00/002 A EMISSÃO FOLHA INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO) jun/2005 5 de 52. Construtivamente, a cambota é normalmente utilizada como gabarito,

para garantir a geometria de aplicação do concreto projetado ou no auxílio à fixação da tela e do concreto projetado ainda sem resistência.

- **Chumbadores em Rocha:** Chumbadores são similares aos tirantes, porém, não são Pré-tensionador. A resistência do chumbador é ativada pelo deslocamento do maciço.

- **Dreno Horizontal Profundo – DHP:** São elementos de drenagem executados com tubos drenantes, perfurados ou micro ranhura dos, instalados em furos sub-horizontais. Podem ser utilizados como drenos gravitacionais ou com a aplicação de vácuo para redução das pressões de água do maciço, junto à frente de escavação.

- **Enfilagem:** São elementos estruturais longitudinais, instalados no contorno do teto da escavação, executados previamente à escavação para manter a sustentação do maciço até a conclusão da aplicação do suporte. Usualmente, os elementos utilizados como enfilagens são barras e tubos de aço ou fibra de vidro, injeções de maciço, colunas de solo cimento tipo jet grouting horizontal - CCPH, entre outros.

- **Pregagem:** São elementos estruturais em forma de barras ou tubos, geralmente constituídos de fibras de vidro, tubos de PVC ou aço. São instalados na face frontal de escavação do túnel por meio de cravação ou perfuração e preenchimento com cimento ou resina. Sua função é fornecer tensão de confinamento horizontal, aumentando a resistência ao cisalhamento do solo.

- **Revestimento do Túnel:** Estrutura formada pelo conjunto de elementos que devem manter a cavidade do túnel aberta e em estado de utilização através do equilíbrio dos carregamentos potenciais e da manutenção da sua funcionalidade ao longo da sua vida útil. É constituído pelo revestimento de 1ª fase e o revestimento de 2ª fase, de acordo com as considerações do projeto. Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada à fonte – DER/SP – mantida o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial. Código REV. IP-DE-C00/002 Emissão Folha Instrução de Projeto (continuação) jun/2005 6 de 52.

- **Suporte do Túnel:** Estrutura formada pelo conjunto de elementos como cambotas, enfilagem, pregagem, tirantes, revestimentos de 1ª fase etc. utilizados para manter a cavidade do túnel aberta após as escavações, através do equilíbrio dos carregamentos provisórios mínimos, até que o revestimento de 2ª fase esteja instalado e com a capacidade de resistência mínima de projeto.

- **Tempo de Auto Sustentação ou Stand Up Time:** Intervalo de tempo decorrido entre o início das escavações de um avanço do túnel e o início da instabilização do maciço sem revestimento, ou seja, tempo que uma superfície escavada do maciço permanece estável sem qualquer tipo de suporte ou proteção.

- **Tirantes em Rochas:** Tirantes são elementos estruturais utilizados na estabilização dos maciços rochosos. São normalmente constituídos de barras de aço e sempre tensionados após sua instalação. Para permitir a protensão, são executados com uma extremidade ancorada dentro do maciço e a outra na face da escavação. São preenchidos ao longo da perfuração com resinas ou injeções de cimento.

- **Túneis Mecanizados:** Túneis construídos com a utilização de equipamentos tipo Shield ou couraça, Tunnel Boring Machine - TBM ou similares.

- **New Austrian Tunneling Method – NATM:** Termo utilizado para identificar o novo método austríaco de execução de túneis. Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada à fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial. CÓDIGO REV. IP-DE-C00/002 A EMISSÃO FOLHA INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO) jun/2005 7 de 52 O termo NATM é definido pela sociedade de engenheiros austríaca como: método de execução de túneis em que o maciço do entorno do túnel é integrado ao suporte, formando um grande anel fechado e, formando estrutura portante. Na comunidade técnica, o termo NATM é utilizado para identificar túneis executados com revestimento em concreto projetado.

- **Norwegian Method of Tunneling – NMT:** Termo utilizado para identificar o método norueguês de execução, dimensionamento e desenvolvido para túneis escavados em maciços rochosos. Neste método considera-se que a estrutura formada pelo maciço e pelos tirantes para estabilização de blocos é definitiva.

- **Sprayed Concrete Lining (SCL) ou Sequential Excavation Method (SEM):** Termo proposto por autores internacionais para denominar os túneis executados com suporte ou revestimento em concreto projetado em maciços de solo.

- **Estruturas Provisórias:** São estruturas dimensionadas e executadas com critérios mais amenos de carregamento, dimensionamento, durabilidade e desempenho, se comparadas com as estruturas permanentes. Podem ser utilizadas apenas durante o período em que o construtor está mobilizado e ativo, permitindo a rápida mobilização caso seja necessário um intervir.

- **Estruturas Permanentes:** São estruturas dimensionadas e executadas com critérios rigorosos e de acordo com as normas de carregamento, dimensionamento, durabilidade e desempenho. Estas estruturas devem garantir a segurança e a utilização ao longo de sua vida útil. As estruturas permanentes podem ser utilizadas com segurança mesmo após a desmobilização do construtor, quando não são possíveis intervenções rápidas.

- **Mecanismo Global:** É aquele em que o estado de tensão de volumes do maciço, que se localizam muito além da superfície envoltória nas proximidades da escavação, influencia o equilíbrio do mecanismo. Este mecanismo envolve volumes de solo muito maiores do que a porção que invade a escavação e, portanto, os esforços que solicitam o teto ou a frente da escavação são gerados por uma região maior do maciço. Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada à fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial. CÓDIGO REV. IP-DE-C00/002 A EMISSÃO FOLHA INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO) jun/2005 8 de 52 Os mecanismos globais ocorrem em maciços de solos muito deformáveis, ou em maciços muito solicitados, com abertura de escavações de grande diâmetro. A execução de túneis em maciços com potencial de ocorrência de mecanismos globais deve ser realizada com cuidados especiais, tais como: frentes parcializadas com a redução da área exposta; tratamentos para melhorar as características de resistência do maciço, tornando-o suficientemente competente, isto é, capaz de suportar as tensões envolvidas; utilização de mecanização etc. Não devem ser executados túneis em maciços que indiquem a ocorrência de mecanismos globais de instabilização.

PLANO DE CIRCULAÇÃO

Pedrestres e Ciclistas

(DER/SP, 2018), o acesso de pedestres e ciclistas será feito por estações de transferência que deslocara através de rampas de fácil acesso, escadas rolantes e elevadores para o rápido acesso e para a facilidade de locomoção de deficientes físicos. Para o deslocamento de nível da rua, pedestres e ciclistas contarão com dois lances de escadas rolantes, que contara com o mesmo número para a saída do túnel em direção ao nível da rua. O túnel de deslocamento de pedestres e ciclistas conterà a medida de 4 metros de largura e altura de 5,50 metros. Ao longo do túnel, na parte central se colocará duas pistas, uma para pedestres com 2m de largura e outra para ciclistas com 2 metros de largura, ambas pavimentadas com concreto, conforme figura 1 a seguir.



Figura1: Plano de circulação.

Fonte:<http://www.estadao.com.br/infograficos/obra-do-tunel-santos-guaruja-comeca-em2014,cidades,196353>

Circulação de Veículos no Túnel

(DER/SP, 2018), o acesso ao túnel pelo sentido Santos-Guarujá será feito pela rua José do Patrocínio que se acessa através da rua Senador Dantas, o acesso ao túnel terá no início 2 pistas para veículos que ao longo do túnel se tornara em 3 pistas podendo ser compatível com VLT (Veículo Leve sobre Trilhos), no caso a terceira pista se destinará a veículos de grande porte, como ônibus e caminhões, a via central e a da esquerda será destinada a veículos mais leves, como motos e carros.

(DER/SP, 2018), altura do túnel de transição de veículos tem as medidas de 10,50 metros de largura e de 5,50 metros de altura. Na distância aproximada de 750 metros da entrada do túnel, caminhões e ônibus terão sua saída obrigatória à direita. A velocidade máxima permitida no túnel será de 60km/h, possibilitando a ultrapassagem de veículos de uma pista para outra para agilizar o deslocamento interno.

DIÂMETROS DO TÚNEL

(DER/SP, 2018), o túnel contará com sete módulos de concreto armado pré-moldados, que serão. Fabricados em doca seca, cada módulo medirá 127 metros de comprimento e 34,92 metros de largura, assim tendo uma extensão de 889 metros de comprimento e a altura de cada módulo de 10 metros. Ao longo destes 889 metros de comprimento submersos, contará com passagens para evacuação do túnel em casos de acidentes, conforme a figura 2 a seguir.

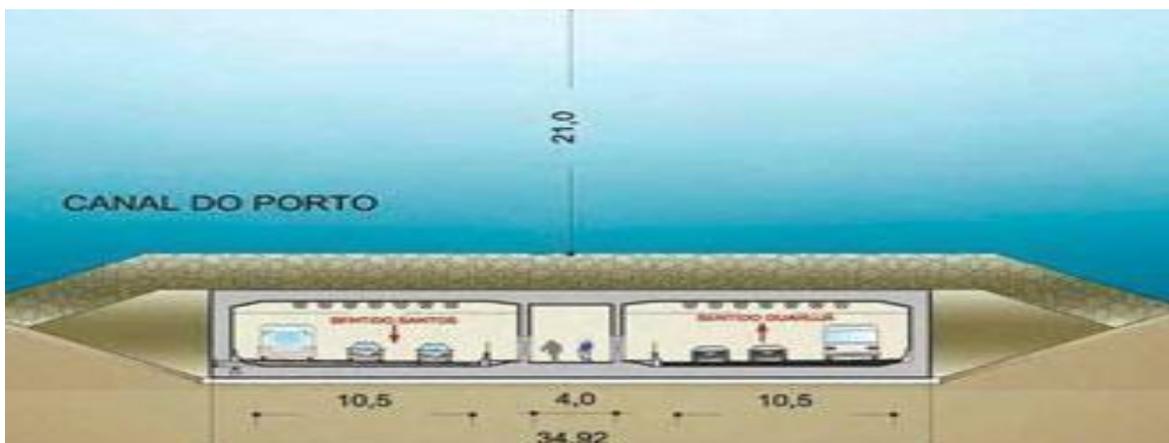


Figura 2: Diâmetro do Túnel.

Fonte: <http://jornaldabaixada.uol.com.br/?p=22161>

TOPOGRAFIA BASICA

(ESPARTEL, 1987), Topografia tem por sua vez descrever um lugar. Portanto é a ciência que estuda os princípios necessários para a representação das superfícies terrestres, modo que represente particularidades da área, como rios, relevo, vegetação e etc. O objetivo primordial sobre um túnel é facilitar a passagem direta sobre certos obstáculos, que poderão ser elevações, rios ou até mesmo áreas extremamente povoadas.

(ESPARTEL, 1987), a escolha do alinhamento básico de um túnel é governada primeiramente pelos interesses do tráfego e transporte. A locação exata é controlada pelos fatores geológicos e hidrológicos da área do túnel. A tendência para a implantação de um túnel é manter sua linha mais reta possível, assim simplificando sua construção e sua locação topográfica.

(POPP, 1979), a fase de extrema importância no trabalho de implantação de túneis é, sem dúvida a exploração cuidadosa das condições geológicas. A construção de um túnel apesar de ser governada por um fator econômico e de tráfego, só será determinada quando as condições geológicas forem definidas. O reconhecimento geológico é feito através de investigações, complementadas com sondagens adequadas, as quais fornecem as devidas informações para um projeto preliminar. O projeto geométrico da área pré-definida deve ser inicialmente adquirido por meio de informações contidas em cartas topográficas, fotos da área, estudos anteriores e etc. Deve ser realizadas análises no local para coleta de materiais, com intensões de estudos mais aprofundados sobre o tipo de material e que tipo de projeto estrutural devesse se aplicar ao túnel, com possíveis fundações.

(ESPARTEL, 1987), Para todo tipo de trabalho que se irá realizar, teremos que contar com o melhor equipamento possível, para que assim poderemos obter resultados mais precisos, de modo que não venha ocorrer imperfeições no trabalho. Instrumentos usados na topografia são:

- **GPS:** Posicionamento por satélite que fornece a um aparelho receptor a sua posição.
- **Tripé:** Base triangular e utilizado como suporte para equipamentos e acessórios.
- **Estacas:** Normalmente de madeira, função seja marcar um piquete de referência no solo.
- **Teodolito:** Efetuar medições de ângulos, esse composto por um parafuso universal chamado de “calante” que tem por objetivo de nivelar o eixo horizontal e vertical.

(NASCIMENTO, 1990), com a concepção de projeto básico de um túnel, é relevante que estudos geotécnicos obtenham informações como:

- Classificação geotécnica do maciço quanto ao tipo e origem do solo.
- Previsão de comportamento do maciço nas escavações junto à frente de avanço.
- Parâmetros geotécnicos de resistência e deformabilidade e índices físicos.
- Elaboração dos critérios, definição dos parâmetros geotécnicos de cálculo específicos.

DRENAGEM

(SEMADS/GTZ, 2001), a drenagem tem como função recolher e conduzir as águas que afloram e proteger a impermeabilização nos túneis. As águas em um túnel vêm de infiltrações, dos veículos (condutores de água da chuva) ou de operações de limpeza. A drenagem pode ter influência sobre aquíferos próximos, a possibilidade desse efeito deve ser analisada para se fazer alguns ajustes no projeto do túnel.

(SEMADS/GTZ, 2001), nas laterais das pistas, deve haver drenos dispostos para conduzir as águas provenientes da superfície do pavimento para fora do túnel, estes drenos laterais devem ser protegidos suficientemente durante a obra para evitar que detritos os deixem bloqueados, além deles devem ser instalados drenos para a água infiltrada no pavimento, a qual é conduzida para um coletor principal. O diâmetro da tubulação deve ser superior a 20 cm para evitar o entupimento. Dispostos ao longo de todo o túnel, os drenos para drenagem do subsolo normalmente são de polietileno, perfurados nos lados e no topo, envolvidos com uma camada de concreto poroso.

(CHAMPS, 2004), além da drenagem da água do pavimento, também pode ser empregado um dreno para a água proveniente do maciço. Esta drenagem trabalha de forma diretamente aliada à impermeabilização, aliviando o sistema. Nela, também é empregado um tubo drenante perfurado ao longo de toda a extensão do túnel.

MATERIAIS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO

(SANTOS, 2013), um dos segredos para se fazer uma obra desta envergadura está na tipologia do concreto. Um túnel submerso estanque precisa de um processo de cura do concreto que seja muito preciso. Para isso, é necessária uma aditivação extremamente bem controlada, para que a cura do material não apresente fissuras e, conseqüentemente, não deixe entrar água, afirma. Ainda de acordo com Hugo Cássio Rocha, a engenharia de túneis hoje praticada por países como Japão, Holanda e Noruega permite se construir túneis imersos em quaisquer condições.

(RIPPER, 1995), a impermeabilização deve ser feita com camadas sobrepostas de concreto e geossintéticos. O primeiro revestimento é feito com uma capa de concreto projetado, lançado diretamente sobre o maciço escavado, sobre a capa de concreto é usado um geotêxtil, usualmente do tipo não tecido, de polipropileno, e não regenerado. O

geotêxtil busca assegurar uma alta durabilidade do sistema de impermeabilização. Normalmente não são usados geotêxteis de poliéster por conta da sua baixa resistência aos álcalis. A seleção do geotêxtil é condicionada pela sua capacidade de permeabilidade e resistência mecânica.

(RIPPER, 1995), normalmente são usadas geomembranas de PVC por conta de sua alta flexibilidade, o que permite fácil adaptação às superfícies irregulares. A resistência mecânica da membrana deve ser mantida dentro de um intervalo importante de variações térmicas. A geomembrana deve ser ainda impusrescível e resistente ao envelhecimento, ao fogo e ao ataque de micro- organismos. Sua espessura costuma variar entre 2 mm e 3 mm. A soldagem é feita termicamente, com uma sobreposição mínima aconselhável de 10 cm. Por fim, é feita uma nova projeção de concreto, sobre a qual pode eventualmente ser executada outra superfície para fim de acabamento do túnel.

CARGAS ESTÁTICAS E PRÉ-PROJETO ESTRUTURAL

(LEET, UANG e GILBERT, 2010), a força de pressão é perpendicular à superfície e a pressão varia linearmente, aumentando com a profundidade h nos fluidos em repouso.

Para uma superfície horizontal:

$$P = p \cdot g \cdot h \quad (1). \quad \text{Como também,} \quad F = P/A \quad (2).$$

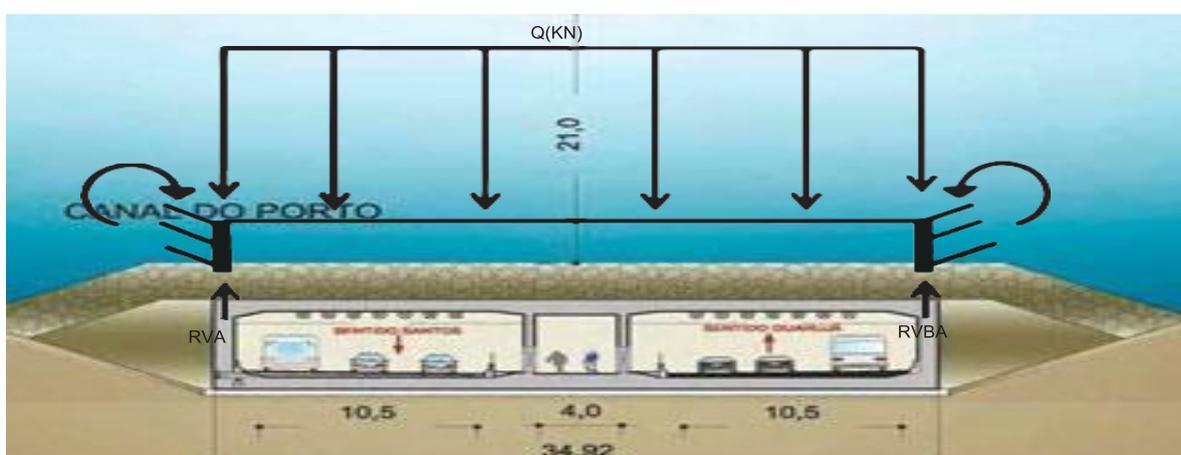


Figura 3: Ilustração de Momentos.

Fonte: <http://jornaldabaixada.uol.com.br/?p=22161>.

Pressão constante e uniformemente distribuída ao longo da superfície, então a força resultante atua no centroide da área. Centroide de um retângulo $\Rightarrow C = B/2$ (3).

FORÇA RESULTANTE NO CENTROIDE DO MÓDULO DE CONCRETO

Massa Específica Da Água = 1000 Kg/m^3 , Altura do Módulo a Superfície = 21 m ,
 $P_{\text{atm}} = \text{PRESSÃO ATMOSFÉRICA} = 101,325 \text{ KPa}$, Logo pressão Hidrostática;

$$P = 101,325 \text{ KPa} + 1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 21 \text{ m} \quad (4).$$

$$P = 122.325 \text{ KPa}$$

Cálculo de área do retângulo

$$A = B \cdot h \quad (5).$$

$B = 34,92 \text{ m}$, $h = 21 \text{ m}$, Aplicando na Eq. 5.

$$A = 34,92 \times 21 = 733,32 \text{ m}^2$$

Então o cálculo da força resultando no centroide

$$F = P \times A \quad (6).$$

$P = 122.325 \text{ KPa}$, $A = 733,32 \text{ m}^2$. Logo aplicando na eq.6.

$$F = 122.325 \text{ KPa} \times 733,32 \text{ m}^2 = 89.703,97 \text{ KN}.$$

CENTRÓIDE DA PEÇA ($17,46\text{m}$) =

$$F = 1566220,823 \text{ KN}$$

REAÇÕES DOS VÍNCULOS

$$\Sigma F_H = 0 \quad (7).$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad (8).$$

$$V_B \cdot 34,92 - 1566220,84 \cdot 10^3 \cdot 17,46$$

$$V_B = 27346215,87 \cdot 10^3 / 34,92 \quad V_B = 7783110,5 \text{ KN}$$

$$\Sigma FV=0 \quad (9).$$

$$V_A + V_B = 1566220,84 \cdot 10^3 \text{N}$$

$$V_A = 7783110,5 \text{ KN} - 1566220,84 \cdot 10^3 \text{N}$$

$$V_A = 7783110,5 \text{ KN}$$

MOMENTOS ENGASTAMENTO PERFEITO

$$M_A = PL/8, \quad M_B = -PL/8, \quad M_C = PL/8, \quad (10).$$

$$M_A = 1566220,84 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 34,92 / 8 = 67946551,1 \text{ KN.m}$$

$$M_B = - 1566220,84 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 34,92 / 8 = - 67946551,1 \text{ KN. m}$$

$$M_C = 1566220,84 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 34,92 / 8 = 67946551,1 \text{ KN. M}$$



Figura 4: Momentos nos engastamentos.

CIRCULO DE MOHR E EQUAÇÃO DA LINHA ELASTICA

$$\text{Equação da linha elástica } PL^3/48EI. \quad (-4\alpha^3 + 3\alpha^2) \quad (11).$$

$$\text{Flecha máxima } V = PL^3/EI. \quad 1.192$$

Baseada na largura e altura, projetada para o túnel, as paredes terão 62 cm de espessura.

$$\text{Largura útil} = 10,5\text{m} + 10,5\text{m} + 4 = 25\text{m} \quad \text{Largura total} = 34,92$$

$$\text{Espessura} = \text{largura total} - \text{largura útil} / 4 = 34,92\text{m} - 25\text{m} / 4 = 0,62\text{m}$$

Volume do concreto

$$\text{Espessura} \times \text{largura} \times \text{comprimento} = 0,62 \cdot 34,92 \cdot 127 = 2,75\text{Km}$$

ESTRUTURAS DE CONCRETO

(LEET, UANG e GILBERT, 2010), o submerso será construído fora da água em partes chamadas de elementos e essas partes serão feitas de concreto armado terão 10 metros de altura, 37 metros de largura e 145 metros de comprimento e depois submersos, comporão o túnel. Para garantir a estanqueidade dos módulos, os materiais empregados no concreto passarão por vários ensaios, para comprovar que sua qualidade obedece às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e às especificações de projeto. Para evitar a formação de microfissuras e impedir a infiltração da água do mar, será utilizado concreto de alta resistência e impermeabilidade, que será refrigerado com a utilização de gelo. Estuda-se a possibilidade do uso de serpentinas embutidas na massa para promover uma pós-refrigeração das peças durante o processo de endurecimento e impedir a ocorrência de fissuras. A união e estanqueidade entre os módulos serão efetuadas com peças especiais e um sistema de dupla vedação. "O Brasil nunca fez uma obra como essa antes. Túneis submersos são muito comuns no norte da Europa, nos Estados Unidos e no Japão. Cuba e Argentina também têm túneis submersos. Por isso, a empresa holandesa Haskoning Nederland B.V., responsável por projetos similares em vários países, dará consultoria à obra.

MÉTODO DE CONSTRUÇÃO:

Preparação do solo – Uma trincheira é cavada no fundo do canal onde serão depositados os elementos do túnel. Placas de concreto são colocadas na vala para suportar o elemento de túnel.

Construção – Os elementos de túnel são peças de concreto construídas em uma doca seca, de preferência próxima ao local onde ficará o túnel

Transporte – Quando as peças ficam prontas, a doca seca é inundada. Os elementos flutuam e são transportados por rebocadores para o local onde o túnel vai ficar.

- Piscinas provisórias para aumentar o lastro.

Posicionamento – Os elementos são fixados em pontes flutuantes e posicionado por sistemas eletrônicos no ponto exato onde devem ser imersos

Submersão – Água é bombeada nas piscinas provisórias do elemento que começa a submergir lentamente. O processo é monitorado por sensores.

Ligação dos elementos – Os elementos são aproximados entre si por meio de guinchos hidráulicos que promovem o contato entre eles

Acoplagem – A união final dos elementos de túnel contíguos é feita pela diferença de pressão atmosférica (P_{atm}) no interior do elemento já posicionado e a pressão que a água exerce no novo elemento. A pressão no compartimento formado pelos anteparos e em volta do elemento é igual à pressão da água (P). Dentro dos elementos a pressão é atmosférica (P_{atm}).

Bombas injetam ar que expelle a água, criando diferença de pressão. A pressão que a água exerce no novo elemento comprime a junta Gina, fixando os elementos.

Nivelamentos – Macacos hidráulicos ancorados em dois pontos em uma das extremidades do elemento movimentam pinos de aço para nivelar o módulo. Os pinos são soldados e os macacos hidráulicos, retirados. Em seguida, areia é injetada na base, formando uma "cama" para assentar o elemento.

Proteção – Uma camada de pedras recobre e protege o túnel contra impactos de embarcações e enganchamento de âncoras soltas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O túnel fará a ligação entre duas cidades de São Paulo. O local foi escolhido após um estudo que apontou ser essa a região que gerará o maior número de benefícios, atendendo demandas de automóveis, caminhões, ônibus, bicicletas e pedestres. O projeto também permitirá a passagem de um veículo leve sobre trilhos (VLT).

O impacto ambiental também será positivo. Isso porque a emissão de poluentes dos carros nesse trajeto demorado é muito grande. Com a redução do tempo e do percurso, há uma conseqüente redução de partículas poluentes. Estudos apontam uma redução de 22% na emissão de dióxido de carbono, de 62% de material particulado e de 53% de sulfato.

Portanto, consideramos que a elaboração de projetos complexos traz consigo à necessidade de um grande conhecimento técnico acompanhado de uma prática básica e a disposição à busca por informações necessárias e comprometimento com a elaboração do projeto.

Ao analisarmos o projeto proposto aqui verificamos que devemos melhorar nossos conhecimentos para nos tornarmos aptos à coordenação de uma equipe de tamanho porte e nos qualificarmos melhor para a execução da parte estrutural em tuneis, assim este trabalho foi fundamental para despertar em nós a necessidade de aprofundarmos os estudos e nos preparar para os desafios futuros da profissão de engenheiro civil. Desta forma o presente trabalho vem nos apresentar as dificuldades que são inerentes a profissão de engenheiro civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUENO, C. Turquia inaugura maior túnel submerso do mundo; Brasil também terá o seu, ligando Santos ao Guarujá no litoral paulista. In: **Ciência e Cultura**. vol. 66, no.2, São Paulo. Junho, 2014.

BRASIL, Ministério da Educação.. **Diretrizes Curriculares Nacionais: Engenharia**. Brasília. MEC/CNE, 2002.

CHAMPS, J. R. **Introdução à Drenagem Urbana**. 2004.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9 ed. Rio de Janeiro, Globo, 1987.

ESTADÃO, J. Obra do Túnel Santos - Guarujá começa em 2014. 29 de janeiro 22:32. 2013. <http://www.estadao.com.br/infograficos/obra-do-tunel-santos-guaruja-comeca-em2014,cidades,196353>.

POPP, J. H.. **Geologia Geral. Livros Técnicos e Científicos**. Editora, São Paulo, 1979.

LEET, K. M.; UANG, C. M.; GILBERT, A. M.. **Fundamentos de Análise estrutural**. 3 ed.. Departamento de Engenharia de Estruturas, UFMG. AMGH editora Ltda, 2010.

NASCIMENTO, U. **Contribuição para a história da Geotécnica em Portugal**. Geotécnica nº 58, 1990.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995.

RODAGEM, D. E.. Secretaria de Logística e transporte. In: **Normas para Transito – Manuais Técnicos**. Gov. São Paulo, 2018.

SANTOS, Altair. Megaobra na Turquia põe túneis imersos em evidência. 2013.

Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/megaobra-na-turquia-poe-tuneis-imersos-em-evidencia/>

SEMADS/GTZ. **Rios e córregos projeto Planágua**. 2001.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 13. ed. São Paulo/SP: Pini: Sinduscon, 2013.

ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-C00-002_A.pdf

<http://wwwo.metlica.com.br/tunel-submerso-santos-guaruja>