

Proposta de Túnel para Drenagem de Águas Pluviais pelo Método Não Destrutivo *Tunnel Liner Plate*: Estudo de Caso em um Talude

Jarleson Andrião

UCL – Faculdade do Centro Leste, Serra - ES, Brasil, jarleson.andriao@hotmail.com

Larissa Camporez

UCL – Faculdade do Centro Leste, Serra - ES, Brasil, larissa@ucl.br

Ellen Valentim

ArcelorMittal Tubarão, Serra - ES, Brasil, ellen.valentim@arcelormittal.com.br

Rodrigo Machado

UCL – Faculdade do Centro Leste, Serra - ES, Brasil, machadorodrigo@ucl.br

RESUMO: O presente artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de implantação do método não destrutivo (MND) constituído por chapas corrugadas de aço denominado *Tunnel Liner Plate* (TLP) em um talude de corte e aterro com finalidade de melhorar a drenagem existente no corpo do talude. O estudo apresenta fundamentos da teoria de interação entre o solo-duto devido a aplicações de cargas dinâmicas, o cálculo da carga vertical sob o TLP pela teoria de Marston (1913) a utilização da metodologia construtiva do TLP, e o dimensionamento de acordo com AASHTO (2004) *American Association of State Highway Transportation Officials* seção 15 do *Standart Specifications for Highway Bridges*. Para identificação e reconhecimento do solo de travessia do túnel, realizou-se uma campanha de investigação geotécnica por sondagem, que permitiu verificar o nível do lençol freático e possíveis interferências no local, bem como o perfil do solo existente. Deste modo, foi concluído que as condições do solo para o avanço e implantação do túnel são satisfatórias devido as características do talude. Entretanto, a partir de dados de projeto, foi verificado a espessura da chapa corrugada para recobrimento do túnel submetida a uma carga vertical atuante calculada para um diâmetro de 2,40m e travessia com aproximadamente 86m.

PALAVRAS-CHAVE: Talude, Método Não Destrutivo, Tunnel Liner Plate, Interação Solo duto, Geotecnia.

1 INTRODUÇÃO

Devido o aumento de precipitações em algumas regiões torna-se necessário redimensionar tubulações de drenagem de águas pluviais em canais existentes, permitindo o escoamento seguro para atender as descargas de projeto calculadas para períodos de recorrência preestabelecidos. Muitas vezes é necessário substituir tubulações existentes com objetivo de otimizar a drenagem fazendo-se necessário

eleva o diâmetro de dutos. Por vezes, utilizam-se técnicas de abertura de valas a céu aberto, porém estas trazem transtornos de paralização em vias de tráfego rodoviárias e ferroviárias durante a fase construtiva. Levando em consideração os transtornos causados pela intervenção no tráfego local, atualmente já é possível a aplicação de tecnologias com Métodos Não Destrutivos (MND), que eliminam a necessidade de escavações no solo com a mínima interferência no tráfego local.

Quando são necessários diâmetros maiores (1,50 a 5,00m) o MND pode ser executado do ponto de vista construtivo, pela instalação de chapas corrugadas de aço, como elemento de confinamento do maciço (revestimento) fixadas por parafusos cujo avanço de travessia no solo é alcançado com o processo construtivo designado “*Tunnel Liner Plate*”.

Neste contexto, este artigo apresenta uma proposta para a implantação do MND *Tunnel Liner Plate* (TLP) no corpo de um talude de corte/ aterro em uma planta Siderúrgica de grande porte, com objetivo de melhorar a drenagem existente no interior de um maciço de solo. Na superfície do talude há tráfego rododferroviário que faz parte do processo industrial da usina, tornando-se inviável a abertura de vala a céu aberto para a substituição do tubo de concreto armado existente para um diâmetro maior. Atualmente o duto existente no corpo do talude não atende a demanda de escoamento, ele se encontra em sua grande parte, assoreado não suportando a demanda de vazão proveniente de um canal, quando a área passa a receber picos de precipitações elevadas.

Neste cenário, foi necessário analisar as teorias de interação solo-duto devido a elevada carga ferroviária sob o maciço, como também realizar uma campanha de sondagens SPT ao longo do traçado geométrico do túnel, resultando em um perfil estratigráfico do solo em estudo. Posteriormente foi realizada uma análise geológico-geotécnica do talude de modo que as características do solo sejam confiáveis para viabilidade de implantação da tecnologia construtiva TLP. De posse aos dados obtidos, como a investigação geotécnica e topografia da região e dados do projeto existente, foi proposto a solução com tecnologia não destrutiva TLP, e consequentemente efetuado o dimensionamento da espessura da chapa metálica corrugada de recobrimento do TLP através da norma americana AASHTO (2004) seção 15 do *Standart Specifications for Highway Bridges* e tabelas desenvolvidas pela Armco Staco (2013).

2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E LOCAL DE ESTUDO

Devido ao grande volume de precipitação ocorrido no final do mês de outubro/14, no município de Serra/ES, Grande Vitória, vários pontos do complexo siderúrgico em estudo foram atingidos por alagamentos. Nas proximidades da usina, na data de 30/10/2014, foram registrados na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) impressionantes 385,24 mm de chuva. O grande volume de chuva ocorrido em poucas horas superou a média esperada em várias cidades do estado. O Gráfico 1 representa os índices pluviométricos em 30 de outubro de 2014 (valores das 8h de 30/10/2015 às 8h de 31/10/2015), nas principais regiões do município da Serra/ES com ênfase no Bairro Novo Horizonte, localizado nas mediações do complexo siderúrgico.

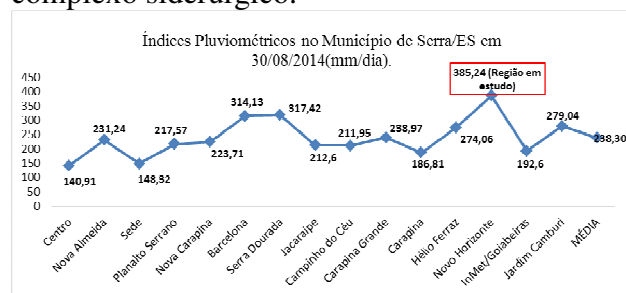


Figura 1. Índices Pluviométricos segundo dados do INMET (2014).

Dentre as áreas afetadas, um dos pontos que teve um comportamento negativo ao ser atingido por esta forte precipitação foi a travessia de um canal de águas pluviais, denominado “Canal V” que intercepta o corpo de um talude sob a rua denominada “RB 21” (Figura 2). Com o grande fluxo de escoamento no canal e o assoreamento da drenagem existente no corpo do talude aliado a grande cobertura vegetal entre a montante e a jusante do canal, a drenagem foi comprometida ocorrendo retorno do fluxo de água. Como também, indícios de rupturas por desmoronamento em algumas partes do talude de terra devido o grande fluxo de água na superfície do mesmo. Desta forma, o nível de água a montante do Canal V se elevou, comprometendo gravemente outros pontos de escoamento da usina.

Desta forma houve a necessidade de estudar o talude sob a RB 21 e a drenagem existente no corpo do maciço de solo e uma metodologia de

drenagem no corpo do talude onde não houvesse interrupção com o tráfego existente. A descrição da área de estudo e o local onde será proposta a implantação da tecnologia TLP pode ser visualizada pelas Figuras 2 e 3. A Figura 2 representa de uma forma mais abrangente, os principais pontos da área em estudo.



Figura 2. Localização e área de estudo na planta.

Pela Fig. 2 em planta, identifica-se a montante e jusante do Canal V. Desta forma, montante e jusante delimitam a dimensão do talude, que em outro ângulo pode ser visualizada pela Fig. 3 ilustrando o lado montante e jusante.

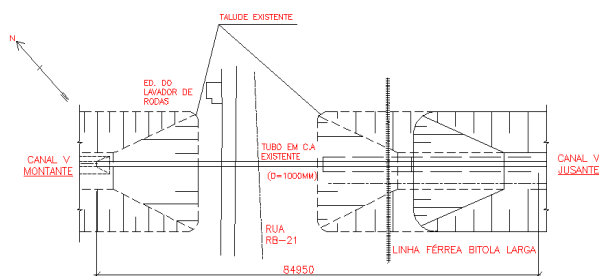


Figura 3. Planta - Montante e Jusante do talude.

A superfície horizontal do talude (Fig. 4), onde será proposta a implantação do túnel por MND, é composta por interferências locais que impossibilita a abertura de valas para instalação de dutos com objetivo de elevar o diâmetro do mesmo.



Figura 4. Montante e Jusante do talude.

As interferências cadastradas são: pista de rolamento em concreto para todos os tipos de veículos, pista com lavador de rodas industrial, e uma linha férrea de bitola larga localizada ao lado jusante do maciço. O tráfego da linha é composto por um trem tipo com capacidade de 450t (denominado também como “vagão torpedo”) compondo o tráfego rodoferroviário local (Fig 5).

O trem tipo (Fig. 5) é a maior carga vertical que interage no solo e sob o tubo atual. Desta forma, verifica-se a necessidade de analisar a interação entre as cargas dinâmicas atuantes para a implantação do TLP: na parede superior do tubo, devido a tensão atuante do carro torpedo sob o solo, e na geratriz superior do tubo; com objetivo de prever condições de arqueamento na parede do túnel a ser instalado devido a elevada carga aplicada.



Figura 5. Trem-tipo carro torpedo 450t.

3 INTERAÇÃO SOLO-DUTO

Dutos, tubulações e túneis enterrados são estruturas que interagem fortemente com o solo circundante que, devido as diferenças na rigidez dos materiais, causam intensas redistribuições de tensões no solo e adjacências. Os dutos enterrados podem ser classificados de acordo com o material, a forma da seção transversal, a rigidez relativa ao sistema (rígidos e flexíveis), e quanto aos métodos de instalação (Bueno, 2012).

Neste sentido, os dutos rígidos possuem parede suficientemente espessa, de forma a garantir uma rigidez à flexão, capaz de resistir aos momentos fletores causados pelo efeito de seu peso próprio, do peso do solo de cobertura e de eventuais sobrecargas.

Em contrapartida, os dutos flexíveis, obtêm sua capacidade de suporte a partir da interação com o solo adjacente. Quando submetido à carga, o duto deflete e mobiliza o suporte passivo do solo lateral. Ao mesmo tempo, a deflexão alivia a carga no topo do duto (Santos, 2014).

Considerando a porcentagem de distorção do duto enterrado, Marston (1913) *apud* Silva (2014), propõe uma classificação baseada no tipo de material constituinte, associada à deformação do eixo axial do duto representada pela Tabela 1. Uma vez que, o valor limite da deformação axial para que o material do duto flexível não sofra danos é de 10%, sendo considerado flexível o duto onde a deformação axial variar de 3% a 10%.

Tabela 01: Classificação quanto à rigidez segundo Marston (1913).

Classificação	Deformação (%)	Tipo de Material
Flexível	> 3,0	Metal Corrugado
Semi-Rígido	0,1 a 3,0	Ferro Fundido
Rígido	< 0,1	Concreto e Cerâmica

Fonte: Marston (1913) *apud* Silva (2014).

Quanto ao método de instalação, os dutos também podem ser implantados por técnicas que eliminam a execução de trincheiras e abertura de valas no solo, minimizando perturbação com o meio físico externo diretamente ligado aos métodos não destrutivos (MND). Como por exemplo, a tecnologia não destrutiva TLP, onde o duto pode ser instalado em maciços, ou em pistas movimentadas sem causar interrupção de tráfego de veículos e locomotivas. Esta metodologia de instalação será aplicada neste trabalho.

Para que esta metodologia construtiva seja viável e aplicada, é necessário estudar previamente a interação existente entre o solo e o duto em relação as cargas atuantes, seja ela estática ou dinâmica.

3.1 Cargas atuantes em dutos enterrados

Há dois tipos principais de cargas a serem consideradas no cálculo de dutos enterrados. As cargas devido ao peso próprio do solo acima do

tubo, também denominada “cargas mortas” e as “cargas vivas”, móveis ou dinâmicas, representadas pelo tráfego na superfície do maciço.

A sobrecarga do peso do solo, também conhecida como “carga morta” sobre a geratriz superior de dutos é a resultante do prisma de solo situado diretamente acima da tubulação ABCD (Fig. 6), no qual é modificado por forças de atrito geradas por movimentos relativos entre o solo acima do duto e adjacências. Na Fig. 6, a indicação 1, situa-se diretamente acima da tubulação. Prismas laterais e adjacentes são representados pela Força F, e o solo de enchimento é representado pela indicação 2 (Chama Neto, 2002).

Bueno (2012) afirma que quando submetido à carga, o duto flete e mobiliza o suporte passivo do solo lateral. Ao mesmo tempo, a deflexão alivia a carga no topo do duto causando o efeito de arqueamento positivo, onde as tensões são transferidas das zonas mais flexíveis de solo sobre o duto para o solo lateral.

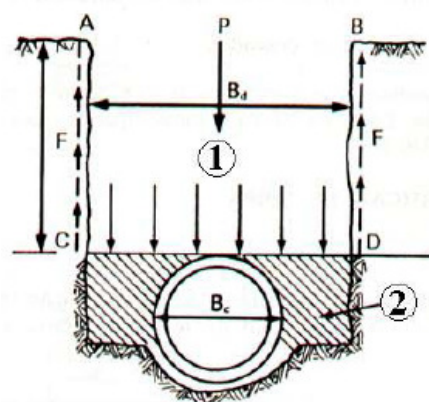


Figura 6. Comportamento de “Carga Morta” sobre tubulações enterradas. Fonte: Chama Neto (2002).

Já as “cargas vivas” são carregamentos externos resultantes de tráfego de veículos rodoviários e ferroviários, classificadas como estáticas ou quase estáticas, dependendo da profundidade que a tubulação encontra-se instalada no solo, produzindo esforços adicionais no duto (AASHTO, 2004).

Rubio (2008) ilustra as pressões verticais do solo no nível do topo de um duto enterrado. Onde a carga da superfície (carga viva) e a

carga permanente de pressão no solo (Carga morta) exerce tensão sobre a geratriz superior do duto enterrado conforme demonstrado pela Fig. 07.

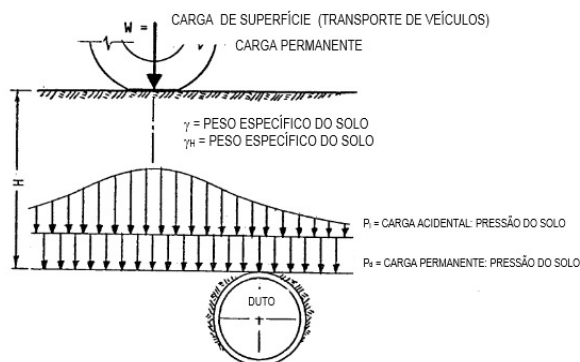


Figura 7. Pressão vertical do solo no nível do topo de um duto enterrado.

4 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS (MND)

Ao contrário de métodos convencionais, que na maioria das vezes pode causar sérias interferências no local, pois trazem interrupções de tráfego, paralização de vias, e outras atividades locais por ser uma atividade bastante invasiva, os MND podem ser implantados em regiões com interferências sem interrupção, por exemplo, do tráfego e de destruição aos arredores do terreno de implantação.

De acordo com a Associação Brasileira de Métodos Não Destrutivos (ABRATT, 2010) os MND's podem ser definidos como sistemas referentes à instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos utilizando técnicas que minimizam ou eliminam a necessidade de escavações. Os métodos não destrutivos apresentam muitas vantagens, tais como: Redução da perturbação no tráfego, possibilidade de elevar o diâmetro da tubulação sem abertura de valas, área de trabalho menos exposta, minimização dos danos ao pavimento e ferrovias e a outras interferências vizinhas (ABRATT, 2010).

Para a execução e implantação de MND é necessário levantamentos topográficos precisos e investigações geotécnicas adequadas com intuito de reduzir o risco de imprevistos que

possam ocorrer durante a execução dos serviços. Com estas informações é possível obter dados relativos as condições do solo, lençol freático, e a localização de interferências não conhecidas.

4.1 Tunnel Liner Plate (TLP)

De acordo com o DNIT (2004) a Tecnologia TLP pode ser definida como bueiros metálicos tubulares (túneis) executados sem interrupção de tráfego. Obras de arte correntes destinadas ao escoamento de cursos d'água permanentes ou temporários, através de aterros executados por processo não destrutivo.

Para sua construção são utilizadas chapas de aço corrugadas, fixadas por parafusos e porcas ou grampos especiais, cujo avanço de instalação no solo (Fig. 8) é alcançado com o processo construtivo denominado "Tunnel Liner". As principais aplicações do TLP são: galerias de drenagem de águas pluviais; passagens de veículos rodoferroviários; passagens de tubulações de água e esgoto; obras metroviárias e mineração (Armco Staco, 2013).

A tecnologia construtiva se resume em um processo que se caracteriza pela escavação modular do solo, numa dimensão apropriada para permitir a instalação das chapas de aço corrugadas que são conectadas entre si, ao ponto que a escavação é realizada ao longo da seção transversal, formando os anéis. A Figura 08 exemplifica o TLP em processo de execução.

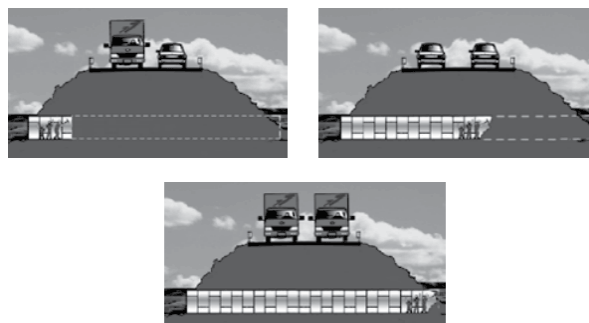


Figura 08. Implantação de Tunnel Liner. Fonte: Armco Staco (2013).

5 APLICAÇÃO DO TLP NO TALUDE SOB A "RB 21"

5.1 Projeto existente e justificativa da

proposta de TLP

A drenagem existente no corpo do maciço em estudo (da montante a jusante do talude) é composta por um tubo em concreto armado com diâmetro de 100 cm e 85 m de comprimento. A Figura 9 representa um corte do projeto existente onde é possível verificar que no trecho do eixo sob via férrea (lado jusante), foi desenvolvido reforço em concreto pré-moldado para uma carga de ruptura de 27,5tf/m devido a carga elevada do trem tipo (450 t) que transita na superfície do talude. Posteriormente, a drenagem prossegue em canal trapezoidal até o fim da cota do talude, seguindo adiante após o talude em direção à jusante do Canal V.

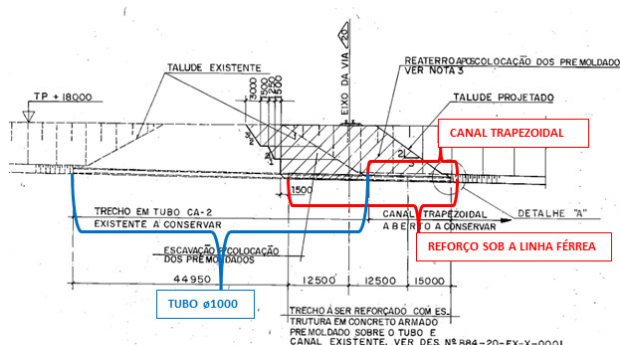


Figura 9. Características do projeto existente.

Conforme as características da drenagem existente apresentada, a mesma não suporta elevadas precipitações por estar assoreada. Assim, houve a necessidade de estudar uma metodologia com objetivo de melhorar a drenagem existente evitando a modificação da geometria do talude pela ação da água, reduzindo ocorrências de processos erosivos e posterior interrupção do tráfego existente.

Com base em estudos de viabilidade e devido a características peculiares da área em estudo, após a análise de aspectos técnicos, interferências existentes no local, custo e impacto ambiental, como proposta para a melhoria de drenagem existente, tornando-a eficaz é utilizar a tecnologia não destrutiva TLP paralela à drenagem existente.

A tecnologia TLP justifica-se, uma vez que, a abertura de valas para a implantação de tubulações com diâmetros maiores torna-se inviável no local, devido o constante fluxo de tráfego rodoviário existente,

impossibilitando a paralização do tráfego, pois afeta o processo produtivo da usina.

Em seguida, foi realizado o reconhecimento do subsolo e a verificação de possíveis existências de interferências subterrâneas no local que pudesse impossibilitar o avanço de escavação na fase de implantação. Para tanto, foi realizada uma investigação geológica-geotécnica com sondagens do tipo SPT (*Standard Penetration Test*).

5.2 Análise Geológica-Geotécnica

Foram realizados 04 furos de sondagens alinhados no eixo geométrico de implantação do túnel. As perfurações foram realizadas até a cota de 20,45m de profundidade e paralisadas por ordem do cliente. A posição do nível d'água (NA) do eixo de travessia do túnel alcançou as cotas de 9,73m, 9,70m, 9,65m e 9,70m para os quatro furos respectivamente, obtendo-se uma média de NA 9,695m da cota do terreno.

A partir da análise dos relatórios de sondagem ficou evidente certa estratificação. Em linhas gerais, as camadas de solo apresentam-se bem estratificadas ao longo do perfil do terreno, verifica-se no subsolo camadas com espessura, cor, e consistência bastante diferenciadas. O solo predominante é o silte argiloso, que confere resistência elevada ao maciço. Camadas de areia e argila com características siltosa, também é evidenciada. Há ausência de maciços rochosos, pedregulhos e matacões ao longo de toda a sondagem realizada. No topo do maciço, verifica-se grande concentração de areia fina proveniente de escória de Altos-Fornos.

Geomorfologicamente o talude pode ser caracterizado como parte de corte e parte de aterro, com unidade geológica de solo residual maduro com evidências de concreções lateríticas, conferindo coloração típica, vermelho, amarelo, marrom e alaranjado. É classificado como um talude de morro com dimensões de 10,39 m de altura e extensão da montante a jusante de 8,95m.

Em relação às investigações realizadas “in situ”, foram constatados alguns pontos de desmoronamentos na montante e jusante do maciço ocasionado pelo escoamento de água

pluvial devido a ineficiente drenagem superficial do maciço.

5.3 Dimensionamento

A metodologia para o dimensionamento das chapas corrugadas de revestimento do túnel é baseada em formulações analíticas pelo método proposto por Marston (1913), definido pela AASHTO (2004). A pressão vertical, ou pressão de projeto (PP) atuante sobre a geratriz superior do TLP (Pressão de Projeto) foi calculada a partir do Método de Marston (1913) descrito pelas expressões abaixo:

$$PP = P_d + P_l \quad (1)$$

Onde:

P_p = Pressão de projeto;

P_d = Carga morta;

P_l = Carga viva.

Sendo que,

$$P_d = C_d \cdot \gamma \cdot D \quad (2)$$

C_d = Coeficiente de Marston (1913);

γ = Peso específico do solo (Adotado = 1,9 tf/m³);

D = Diâmetro do túnel (Adotado = 2,40m).

O carregamento atuante no TLP depende também do tipo de solo, seja o solo granular ou coesivo. Em solos granulares com baixa coesão, as cargas atuantes também consideram o ângulo de atrito interno do solo e o diâmetro do túnel. Em solos coesivos, argilosos ou silte-argilosos, o carregamento considera esforços de cisalhamento no solo sobre a geratriz superior do túnel. Quando não há informações necessárias sobre o ângulo de atrito do solo (ϕ), adota-se a pior hipótese para C_d tornando-o igual a H/D (Armco Staco, 2013).

O ábaco apresentado na Fig. 10 relaciona valores de C_d em função da relação H/D , e o tipo de material do maciço de solo.

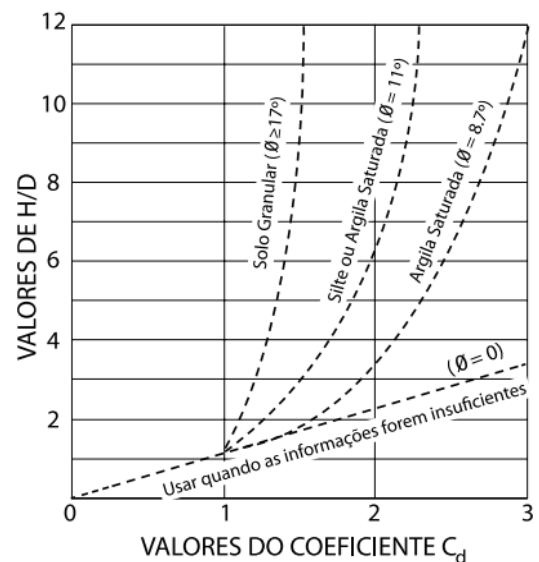


Figura 10. Coeficiente de Redução C_d de Marston

Para condições de $\phi = 0$, a Armco Staco (2013) disponibiliza tabelas de altura máxima de recobrimento constante, que foi consultada para o dimensionamento das chapas de recobrimento do TLP proposto neste trabalho. A partir das expressões 1 e 2, os dados de entrada foram calculados considerando: diâmetro do túnel (D) estimado para a vazão do cana $D = 2,40\text{m}$. Altura do aterro (H) sobre a geratriz superior do TLP de 7,50m, peso específico do solo estimado em $\gamma_{\text{solo}} = 1,9\text{tf/m}^3$.

A carga viva (P_l) foi calculada para a carga de tráfego mais elevada (ferroviária), para o trem-tipo carro torpedo (450000 kg), sendo de 3600 kg.m² (AASHTO, 2004). Com base nos dados de projeto foi possível obter os resultados da Tabela 2.

Tabela 2. Dados de entrada

H/D (m)	C_d	P_d (kg/m ²)	P_l (kg.m ²)	P_p (kg.m)
7,51/2,4	3,13	142728	3600	146328

A partir dos dados de entrada foi possível calcular o esforço de compressão atuante na chapa do TLP, obtendo-se:

$$C = P_p \cdot D/2 \quad (4)$$

Obtendo-se o esforço de compressão de $C = 175593,6\text{ Kg/m}$.

A análise dos dados calculados e considerando a tabela de recobrimento de solo

6 CONCLUSÃO

Desta forma concluiu-se que: O MND pode ser utilizado no maciço de solo apresentado, devido parâmetros geotécnicos que permitam a manutenção estável da frente de escavação com base no tipo de solo encontrado. Com o perfil estratigráfico localizado no eixo onde será impantado o tunel, foi possível

Outro fator a se considerar, é que a tecnologia apresentada, reduz o impacto ao meio ambiente sendo implantado de maneira prática e eficiente. Destaca-se, ainda, a velocidade de execução das travessias e a redução significativa do número de acidentes de trabalho, quando se comparado a tecnologias destrutivas de abertura de valas e posterior aterro compactado.

AASHTO. *American Association of Highway and Transportation Officials – Seção 15 15. Steel Tunnel Liner Plate*. Washington DC, 2004.

Bueno, Benedito. *Dutos Enterrados: Aspectos Geotécnicos*. Benedito Bueno, Yuri Costa. – 2.ed. – São Paulo – Oficina de Textos, 2012.

DNIT 024/2004-ES. *Drenagem - Bueiros metálicos sem interrupção do tráfego: especificação de serviço*. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

Rubio, Nelly Piedad. *Estudo de dutos enterrados considerando a interação solo*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. PUC – RJ, 2008

Santos, Stephane do Nascimento. *Simulação numérica de dutos enterrados, submetidos à perda de apoio e elevação localizada* / Stephane do Nascimento Santos. - 2014. 139 fls.

Silva, Felipe Nascimento da. *Análise de critérios de dimensionamento de carga em dutos de concreto, instalados em vala, na situação de recobrimento mínimo* / Felipe Nascimento da Silva. - 2014.