

**FACULDADE DOCTUM
DIEGO SOARES REZENDE
ROGER MEIRELES HAUCK**

TUBULÕES: ABERTURA DE BASE PELO MÉTODO MECANIZADO

Juiz de Fora
2019

DIEGO SOARES REZENDE
ROGER MEIRELES HAUCK

TUBULÕES: ABERTURA DE BASE PELO MÉTODO MECANIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Ensinar Brasil (Doctum), como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Fundações.

Orientador: Prof. Me. Wellington Coutinho da Silva.

Juiz de Fora
2019

Rezende, Diego Soares; Hauck, Roger Meireles.

Tubulões: Abertura de base pelo método mecanizado / Diego Soares Rezende, Roger Meireles Hauck. Juiz de Fora, 2019.

56f

Monografia (Curso de Engenharia Civil)
Faculdade Doctum Juiz de Fora

1. Fundações Profundas. 2. Mecanismo de abertura da base do tubulão.

I. Título. II Faculdade Doctum Juiz de Fora

DIEGO SOARES REZENDE
ROGER MEIRELES HAUCK

TUBULÕES: ABERTURA DE BASE PELO MÉTODO MECANIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Ensinar Brasil (Doctum), como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

ME. Wellington Coutinho Da Silva (Orientador)

Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. ou Prof^ª. (titulação e nome do docente)

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. ou Prof^ª. (titulação e nome do docente)

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: ___/___/___.

TERMO DE APROVAÇÃO

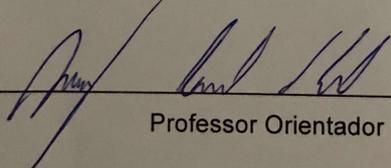
FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado TUBULÕES: ABERTURA DE
BASE PELO MÉTODO MECANIZADO

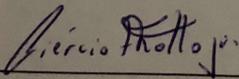
elaborado pelos alunos DIEGO SOARES REZENDE / ROGER
MIRELES HARK

foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de
ENGENHARIA CIVIL, como requisito parcial da
obtenção do título de Bacharel em ENGENHARIA CIVIL.

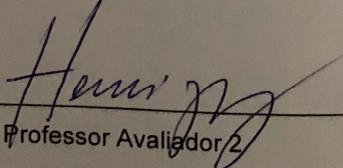
Juiz de Fora, 10 de dezembro de 2019.



Professor Orientador



Professor Avaliador 1



Professor Avaliador 2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, que sempre esteve presente em nossas vidas, abençoando e protegendo, permitindo mais esta conquista.

Agradecemos imensamente aos nossos pais, José de Oliveira Rezende e Enise Mônica Soares Rezende, Geraldo Lopes Hauck e Neide Maria Meireles Hauck, pelo apoio, paciência e incentivo em todos os momentos.

Agradecemos também ao Professor Me. Wellington Coutinho da Silva, pela orientação e amizade durante todo o processo de execução deste trabalho. E pela sua paciência de dedicar o seu tempo a nos ensinar desde o oitavo período de nossa graduação.

Aos meus amigos, pela compreensão e incentivo.

Agradecemos a todos os professores, mestres e doutores, do Instituto Ensinar Brasil (Doctum – Centro de Engenharias), a dedicação do seu tempo a nos ensinar e nos proporcionar momentos inesquecíveis desde o primeiro dia de nossa graduação.

A todos que diretamente ou indiretamente que incentivaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

REZENDE, DIEGO SOARES; HAUCK, ROGER MEIRELES. **Tubulões: Abertura de base pelo método mecanizado**. 53f. Monografia de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

O presente trabalho exhibe três tipos de escavação de tubulões, conceituando-os e enfatizando o processo executivo com o mecanismo de abertura mecanizada da base em relação à segurança dos operários aos métodos tradicionais. Percebe-se que o intuito principal é trazer um método que venha reduzir os riscos de acidentes no processo de escavação dos tubulões, gerando uma maior qualidade de trabalho aos operários e garantindo menor risco à saúde e buscando sempre e, primordialmente, preservar a vida do ser humano. Este trabalho apresenta uma nova tecnologia para alargamento de base dos tubulões. Para elaborá-lo, foi conduzida uma revisão bibliográfica onde houve a preocupação em conceituar e seguir as normas que regulamentam o processo executivo dos tubulões a céu aberto, pneumático ou a ar comprimido e do tubulão que utiliza o dispositivo mecânico para abertura de sua base. Além disso, o trabalho vem como ferramenta para que a população tenha um maior acesso e possa adquirir conhecimento na área de fundações, definido como um tema importante no campo da engenharia civil. Será analisada e realizada uma classificação dos tubulões quanto ao risco existente em todos os três tipos mencionados. Para isso, ocorrerá uma intersecção seguindo uma frequência com que acontecem e o grau de severidade dos riscos. Baseando-se no estudo de cada tubulão e ao término, será dado um somatório de pontuação, o qual indicará o tipo de escavação que apresenta menor risco de acidente ao trabalhador. Por fim, pondera-se que o método de alargamento de base do tubulão de forma mecanizada é mais seguro que os demais devido ao fato de não haver a necessidade de descida do operário no poço.

Palavras-chave: Tubulões. Segurança. Riscos de acidentes. Mecanizada.

ABSTRACT

The present work reveals three types of caisson excavation, conceptualizing them and emphasizing the executive process with the mechanized opening mechanism of the base in relation to the safety of workers to traditional methods. It is noticed that the main purpose is to bring a method that will reduce the risk of accidents in the process of excavation, hence generating a higher quality of work for workers and ensuring lower health risk and always seeking and, primarily, to preserve the life of human being. This work presents a new technology for base widening of caisson. In order to elaborate this study, the authors conducted a bibliographic review where it listens to the concern to conceptualize and to follow the norms and rules that regulate the executive process of the open air, pneumatic or compressed air and the pipe that uses the mechanical device to open its base. In addition, the work is highlighted as a tool for the population to have greater access and to acquire knowledge in the area of foundations which is an important subject in the field of civil engineering. A risk classification in all three types mentioned will be analyzed and performed. For this, an intersection will occur following the frequency with which they occur and the degree of severity of the risks. Based on the study of each one and at the end, a sum will be given, which will indicate the type of excavation that presents the lowest risk of accident to the worker. Finally, it is considered that the method of mechanically extending the base of the pipe is safer than the others due to the fact that there is no need to lower the worker in the well.

KEYWORDS: Caisson. Safety. Risk of accidents. Mechanized.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Equipamento para ensaio SPT.....	19
Figura 2 – Tubulão.....	22
Figura 3 – Execução de um tubulão a céu aberto.....	23
Figura 4 – Tubulão a ar comprimido.....	24
Figura 5 – Tubulão tipo Benotto.....	25
Figura 6 – Medidas de Afastamento Mínimo.....	27
Figura 7 – Fuste do tubulão executado (a) e base do tubulão alargada pelo dispositivo (b).....	29
Figura 8 – Dispositivo de abertura de base.....	30
Figura 9 – Vista em perspectiva do dispositivo em aspecto geral.....	31
Figura 10 – Vista frontal do dispositivo durante a execução do alargamento da base do tubulão.....	32
Figura 11 - Matriz de classificação de risco (frequência x severidade).....	35
Figura 12 – Início da escavação do fuste.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelo de planilha para APR.....	33
Quadro 2 - Categorias de severidade.....	34
Quadro 3 - Categorias de frequência.....	34
Quadro 4 - APR - Execução de tubulão a ar comprimido (Parte 1).....	44
Quadro 5 - APR - Execução de tubulão a ar comprimido (Parte 2).....	45
Quadro 6 - APR - Execução de tubulão a céu aberto (Parte 1).....	46
Quadro 7 - APR - Execução de tubulão a céu aberto (Parte 2).....	47
Quadro 8 - APR - Execução de tubulão com mecanismo de abertura de base...48	
Quadro 9 - Classificação dos riscos - Tubulão a ar comprimido.....	49
Quadro 10 - Classificação de risco - Tubulão a céu aberto.....	49
Quadro 11 - Classificação de risco - Tubulão com mecanismo de abertura de base.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontuação de riscos	50
--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
APR	ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS
CM	CENTÍMETRO
NBR	NORMA BRASILEIRA
NR	NORMA REGULAMENTADORA
PET	PERMISSÃO DE ENTRADA E TRABALHO
SPT	STANDARD PENETRATION TEST

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 METODOLOGIA.....	17
2 FUNDAÇÕES	18
2.1 DADOS GEOTÉCNICOS.....	18
2.1.1 Ensaio de Spt	18
2.2 FUNDAÇÃO.....	20
2.2.1 Tipos de fundação	20
2.2.1.1 Fundação superficial.....	20
2.2.1.2 Fundação profunda.....	21
2.3 TUBULÃO.....	21
2.3.1 Tubulão a céu aberto.....	22
2.3.2 Tubulão a ar comprimido	24
3 SEGURANÇA EM TUBULÕES	26
3.1 SEGURANÇA EM EXECUÇÃO DE TUBULÃO À CÉU ABERTO	26
3.2 SEGURANÇA EM EXECUÇÃO DE TUBULÃO PNEUMÁTICO	28
3.3 MÉTODO MECANIZADO DE ABERTURA DE BASE	29
3.3.1 Funcionamento do equipamento	30
3.3.2 Descrição do dispositivo	31
3.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)	32
4 ANÁLISE COMPARATIVA DE RISCOS EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS	36
4.1 PROCESSO DE EXECUÇÃO DOS TUBULÕES	36
4.1.1 Processo executivo de tubulões a ar comprimido ou pneumáticos	36

4.1.2	O processo executivo de tubulão a céu aberto	37
4.1.3	Processo executivo do tubulão com alargamento mecanizado da base	38
4.2	ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS EM TUBULÕES.....	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O tubulão a céu aberto é um tipo de elemento estrutural de fundação profunda muito usado no Brasil, tendo a função de transmitir cargas ao solo. A escolha deste tipo de fundação é baseada pelo processo executivo simplificado, pelo aspecto econômico e por apresentar poucas vibrações. Porém, este é um tipo de fundação que requer muitos cuidados, pois oferece grande exposição ao risco para profissionais que a executam (CARNEIRO, 1999).

Atualmente, o processo de escavação da abertura da base do tubulão vem sendo realizado, na maioria dos casos, de forma manual. Esta é, portanto, a etapa em que o operador fica mais exposto aos riscos de acidentes, uma vez que pode acarretar em desabamento do solo e conseqüentemente sorretamento do profissional (TEIXEIRA, 2013).

No ano de 2019, em Juiz de Fora, ocorreu um acidente em que um homem de 63 anos, com experiência de mais de 30 anos na execução de fundações, foi soterrado por uma movimentação de terra próximo ao tubulão que estava sendo construído. Apesar da causa do acidente não ter sido relacionada diretamente à escavação do tubulão, o fato do operário estar no interior do tubulão no momento do deslizamento de terra de um talude culminou em sua morte (TRIBUNA DE MINAS, 2019).

Visando amenizar tais riscos de acidentes, o engenheiro Wilson Roberto Teixeira, no ano de 2012, na cidade de São José dos Campos - SP, elaborou um dispositivo que pudesse ser utilizado no alargamento da base de tubulões, possibilitando ser totalmente mecanizado o processo de escavação do solo (TEIXEIRA, 2013).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a utilização de equipamento mecanizado capaz de executar abertura de base para tubulão a céu aberto, atenuando drasticamente os riscos de acidentes na execução destes elementos de fundações.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar um estudo que corrobora para que a utilização do método mecanizado de perfuração de tubulão a céu aberto seja capaz de minimizar a possibilidade de acidente no canteiro de obras, preservando a vida do trabalhador;
- Comparar o método manual de abertura da base com o método mecanizado, relacionando-os quanto aos riscos de acidentes.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao observar os riscos que muitos trabalhadores correm diariamente ao perfurar bases de tubulões a céu aberto, existe uma demanda para métodos mecanizados com o intuito de garantir a segurança destes profissionais, preservando a vida humana. Este método já é utilizado por empresas do estado de São Paulo, por exemplo.

Na década de 70, o estado do Rio de Janeiro teve como marco a construção da ponte Rio-Niteroi, obra grandiosa que culminou, segundo relatos, em diversas mortes de operários. Portanto, o crescimento exponencial da tecnologia, como a utilização da broca mecanizada de abertura de base dos tubulões, surge como alternativa promissora para que o uso de tubulões continue a ser adotado e, essencialmente, que siga gerando empregos e garantindo qualidade de trabalho a todos os colaboradores do empreendimento (LUCENA, 2015).

É importante ressaltar que a segurança do trabalho nos processos de execução das fundações é um fator fundamental, a qual pode ser proporcionada a partir de equipamentos mecanizados bem como uma tecnologia direcionada a garantir maior segurança aos operários.

1.3 METODOLOGIA

Esse estudo foi realizado com base em pesquisa bibliográfica, tendo como fonte de pesquisa livros, artigos, normas, vídeos, documentos e empresas. Através do estudo, foi possível conhecer melhor o método mecanizado de abertura de base do tubulão e as empresas as quais já utilizam o equipamento, e que têm obtido ótimos resultados em relação ao tempo de serviço, e que proporcionam, primordialmente, risco quase nulo de acidentes no canteiro de obras devido a atividade de fundação por tubulões.

A pesquisa tem caráter descritivo e qualitativo, buscando sempre expor um método ainda pouco utilizado e, principalmente, favorável ao desenvolvimento da engenharia, e mais ainda, garantindo a segurança dos trabalhadores envolvidos.

Neste trabalho, é abordada a investigação geotécnica através da utilização das sondagens de simples reconhecimento dos solos, como também as fundações rasas e profundas, buscando o foco principal nos tubulões, a segurança em execução de tubulão segundo a NR-18 e o método mecanizado de abertura de base conforme descrito por Teixeira (2013) em sua carta de patente.

Com o embasamento teórico e técnico, o trabalho irá mostrar uma nova técnica para abertura de base do tubulão a céu aberto, uma maneira mecanizada, que por consequência propõe um método que visa a preservação da vida do ser humano.

2 FUNDAÇÕES

2.1 DADOS GEOTÉCNICOS

A norma técnica ABNT NBR 6122 (ABNT, 2010) constata que deverá ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar para qualquer tipo de edificação, composta no mínimo por sondagens a percussão (com SPT – *Standard Penetration Test*), visando a posição do nível d'água, a determinação da estratigrafia, a classificação dos solos e a medida do índice de resistência à penetração NSPT, de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001).

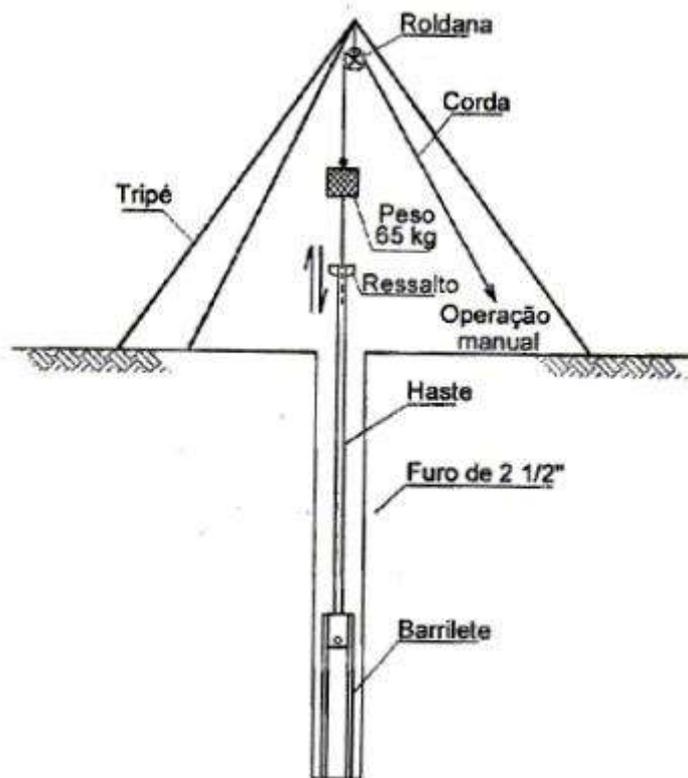
O motivo mais frequente do problema de fundação é a investigação do subsolo. Uma vez que o solo é o componente que irá suportar as cargas, é essencial a sua identificação e a caracterização de seu comportamento para solucionar qualquer tipo de problema (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2008).

2.1.1 Ensaio de Spt

O ensaio de SPT é o método de sondagens de simples reconhecimento de solos, cujo processo de execução é normalizado e estabelecido pela NBR 6484/2001. “O SPT é um dos ensaios *in situ* mais antigos e usados em todo o mundo” (KNAPPETT, 2012).

O procedimento do ensaio consiste na cravação de um amostrador padrão, utilizando um peso de 65kg em queda livre, caindo de uma altura de 75 cm no amostrador e determinando o número de golpes necessários à cravação de 45 cm do amostrador padrão no solo, especificando quantos golpes foram necessários a cada 15 cm gravados. O resultado do ensaio é dado pelo número de golpes necessários para cravação dos 30 cm finais, desprezando os primeiros 15 cm de perfuração (VELLOSO; LOPES, 2010). A Figura 1 ilustra o equipamento utilizado no ensaio SPT.

Figura 1 - Equipamento para ensaio SPT



Fonte: ARGON (2017)

Segundo Ribeiro (2017), a grande vantagem desse ensaio é ele que possibilita identificar as características de cada camada do solo por meio da retirada de uma amostra deformada, a cada metro perfurado. Quando é necessário retirar amostras indeformadas para ensaio de laboratório, são empregados amostradores especiais. As amostras retiradas do amostrador devem ser acondicionadas em frascos herméticos para a manutenção da umidade natural e das suas estruturas geológicas.

Em laboratório, realiza-se a medição tátil-visual e, assim, é possível reconhecer cada camada do solo, a sua espessura e a quantidade de sedimentos em decomposição (RIBEIRO, 2017).

De acordo com a norma técnica NBR 6484/2001, As amostras retiradas devem ser examinadas quanto à sua granulometria, plasticidade, cor e origem, e separadas em grandes divisões, como solos grossos e solos finos, pedregulhos, areias, argilas e siltes (ABNT, 2001).

2.2 FUNDAÇÃO

A fundação é um elemento estrutural que tem como finalidade suportar toda a carga de uma edificação, transmitindo os esforços para o solo. Para a escolha do tipo de fundação e dimensões, devem ser considerados o tipo de solo sobre a qual estava apoiada, o material utilizado e a carga da construção (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2008).

2.2.1 Tipos de fundação

A classificação das fundações está diretamente relacionada à profundidade do solo resistente, ou seja, onde a base da mesma se apoiará. Entende-se então que quanto mais rijo o solo de apoio se mostrar, melhor será o desempenho da fundação. De acordo com Velloso e Lopes (2010), as fundações são classificadas em dois grandes grupos:

- Fundações Superficiais (rasa ou direta);
- Fundações Profundas.

2.2.1.1 Fundação superficial

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), as fundações superficiais ou rasas são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida ao solo pelas pressões distribuídas pela base da fundação. Este tipo de fundação deve ser assentado em profundidade inferior ao dobro da sua menor dimensão em projeto. As fundações superficiais são divididas conforme está disposto abaixo:

- Sapata - elemento de fundação superficial, sendo ela construída em concreto armado, e dimensionada para suportar os esforços de tração pelas armaduras empregadas.
- Bloco - elemento de fundação superficial em concreto; é dimensionado para resistir às tensões de tração somente com o uso do concreto, dispensando o uso de armadura.

- Radier - elemento de fundação superficial que recebe todas as cargas da estrutura e transmite-as uniformemente ao solo.
- Sapata associada - é uma sapata comum a vários pilares, sendo que uma única sapata pode receber as cargas de dois ou mais pilares próximos.
- Sapata corrida – sapata sujeita a suportar cargas distribuídas linearmente ao longo de sua extensão.

2.2.1.2 Fundação profunda

De acordo com a NBR 6122/2010, elemento de fundação profunda é aquele que transfere os esforços produzidos pelas cargas da estrutura através do contato direto com solo pela área da base (resistência de ponta) e da área lateral (resistência lateral) ou a soma dos esforços resistentes, tendo o assentamento a uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo a 3 metros (ABNT, 2010).

Por definição, tem-se que:

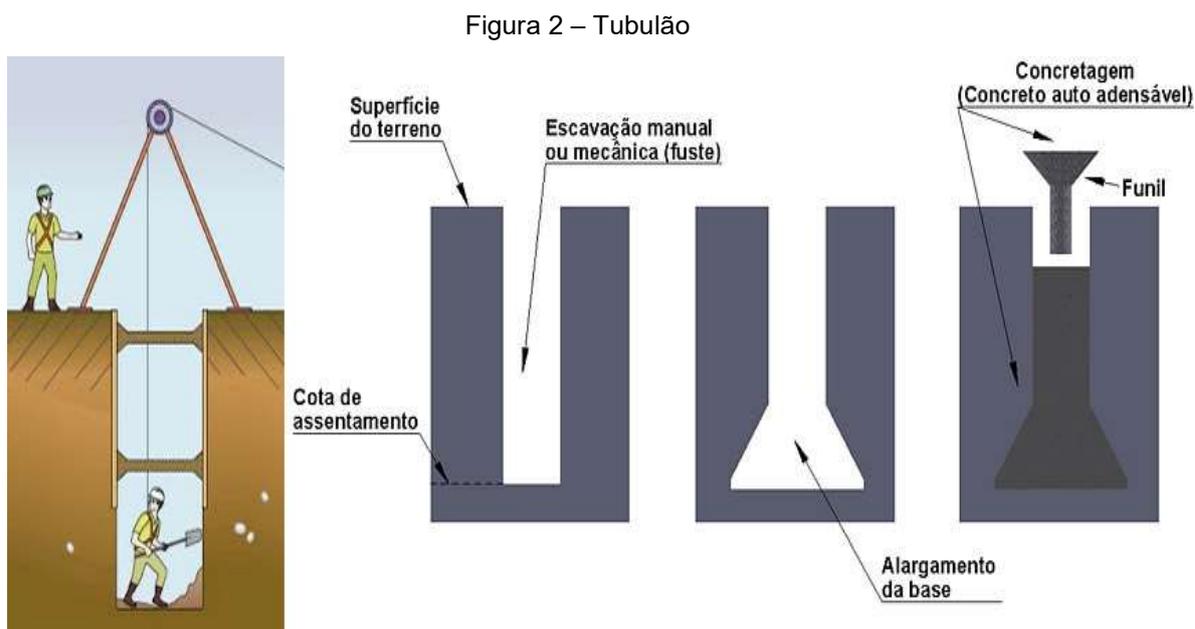
- Estaca - elemento de fundação profundo onde o processo de execução é realizado por ferramentas e máquinas, não havendo a necessidade do operário descer para nenhuma atividade. As estacas podem ser de madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in situ* ou mistos.
- Tubulão - elemento de fundação profunda em que a escavação pode ser executada de forma manual ou mecânica, tendo a necessidade da descida do operário para fazer o alargamento da base, onde as cargas são transmitidas para o solo.

2.3 TUBULÃO

Tubulão é classificado como sendo uma fundação profunda cuja característica marcante é sua capacidade de transmitir a carga da estrutura ao solo resistente, por compressão, através de sua base alargada. Tal propriedade torna-o diferenciado quando comparado aos demais tipos de fundação profunda,

como por exemplo as estacas, que transmitem as cargas ao solo por meio dos atritos, lateral e de ponta (MARANGON, 2018).

Por apresentar essa superioridade de atrito de ponta em relação ao atrito lateral, os tubulões surgem como uma fundação que se assemelha, em nível de desempenho, às fundações rasas, conforme ilustra a Figura 2 (MARANGON, 2018):



Fonte: Basestrauss (2013)

2.3.1 Tubulão a céu aberto

Consiste em uma fundação profunda, onde é realizado a escavação de um poço no terreno, formando-se primeiramente o fuste. Em seguida, ocorre um possível alargamento da base do tubulão. Conseqüentemente, há a inserção da armadura seguida da concretagem. Em condições favoráveis, este tipo de fundação é executado acima do nível da água ou, em situações adversas, onde o solo mostra-se estável, sem risco algum de desmoronamento, para que com isso seja permitido controlar a água do interior do tubulão (PEREIRA, 2016).

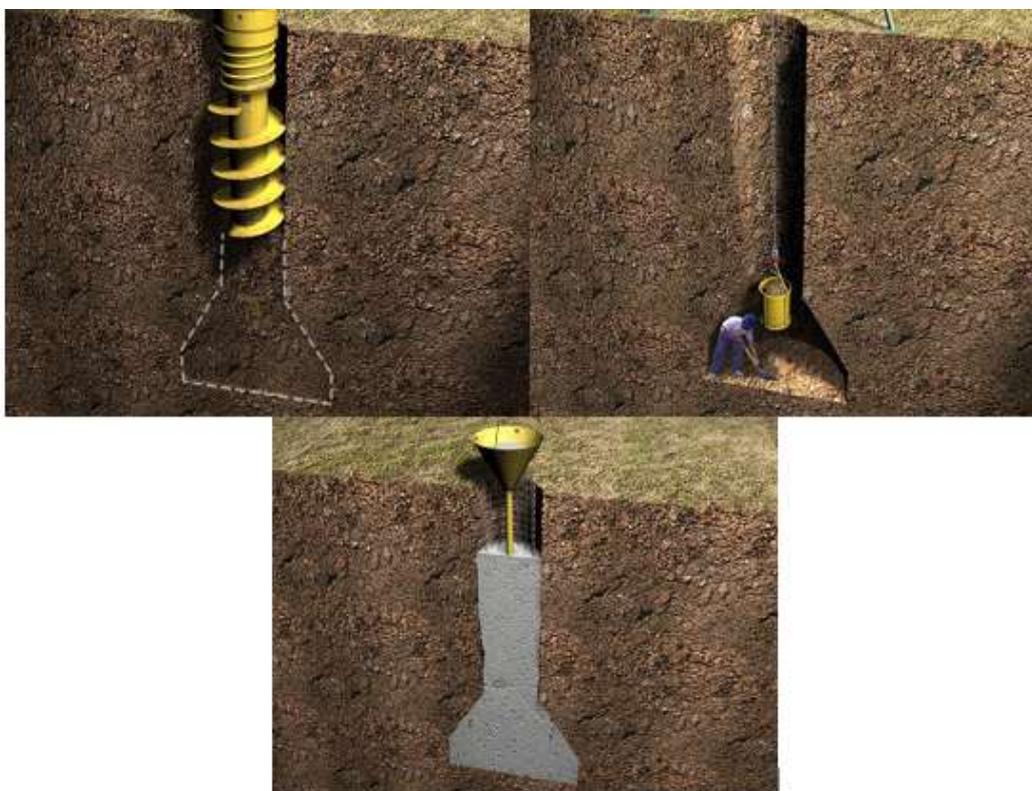
Segundo a NBR 6122, pode-se considerar que o processo executivo de tubulão a céu aberto seja (ABNT, 2010):

- Transferência do eixo do tubulão para o terreno;

- Marcação da circunferência que delimita o fuste;
- Escavação do fuste até a cota de apoio do tubulão (cota prevista) – verificação permanente do prumo;
- Verificação se o solo na cota prevista é compatível com a capacidade de carga do projeto;
- Liberação para a abertura da base ou continuação no avanço da escavação até o solo compatível com a capacidade de carga do projeto;
- Abertura da base do tubulão;
- Liberação para a concretagem;
- Concretagem – observar cuidados com a concretagem do tubulão;
- Colocação da ferragem de espera para o bloco de transição;
- Final da concretagem.

Na Figura 3, é possível observar três etapas do processo executivo de tubulão a céu aberto.

Figura 3 – Execução de um tubulão a céu aberto



Fonte: Engenharia Concreta (2017)

2.3.2 Tubulão a ar comprimido

Os tubulões a ar comprimido são executados abaixo do lençol freático, e para isso, são utilizados equipamentos que terão como função a busca pelo equilíbrio da pressão interna com a da água, de modo que haja a “expulsão”, ou seja, inibição da entrada de água no local de trabalho (NARESI, 2017). Os principais tipos são:

- Clássico (Pneumático): nesse tipo de tubulão, ocorre o uso de uma camisa de concreto, sendo totalmente realizado sob pressão. É utilizada a campânula sobre o fuste, conforme ilustra a Figura 4, a qual é responsável pelo aumento e pela concentração de ar comprimido durante as escavações manuais. Os anéis (camisa) de concreto têm diâmetro externo igual ao do fuste e se movem verticalmente por peso próprio (CONSTRUCAO CIVIL TIPS, 2013).

Figura 4 – Tubulão a ar comprimido



Fonte: AECWEB (2019)

- Tipo Benotto: nesse tipo de tubulão, ocorre o uso de uma camisa de aço e a cravação da mesma é realizada juntamente com a escavação através de equipamento, o qual realiza movimentos rotatórios e de percussão, como mostra a Figura 5. A princípio, a escavação do fuste é realizada a céu aberto. A partir do momento que é identificado o nível do lençol

freático, o processo de escavação e de concretagem passa a ser realizado com auxílio de ar comprimido (FATEC, 2013).

Figura 5 – Tubulão tipo Benotto



Fonte: FATEC (2013)

3 SEGURANÇA EM TUBULÕES

Neste capítulo, será abordada a segurança na execução de tubulões, a céu aberto e a ar comprimido, e serão apresentados os riscos e as medidas mitigadoras de prevenção na execução de tubulões.

3.1 SEGURANÇA EM EXECUÇÃO DE TUBULÃO À CÉU ABERTO

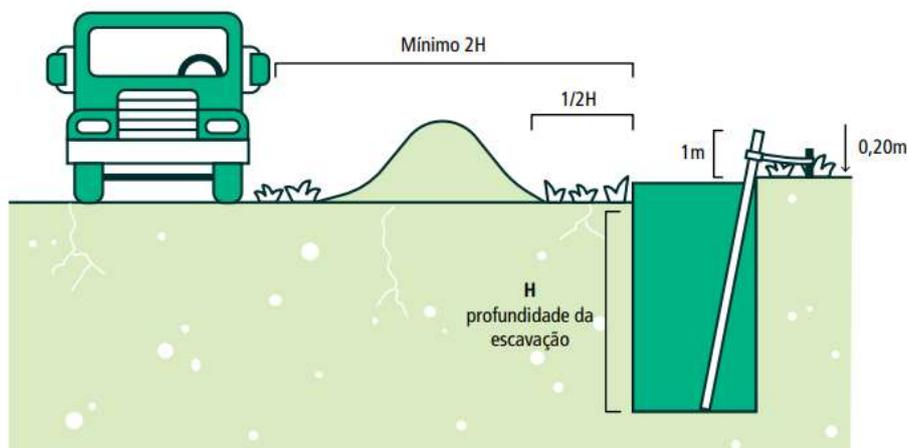
Em todo empreendimento, é essencial que se haja cuidados para que acidentes sejam evitados. Para isso, existem normas regulamentadoras que auxiliam na adequação do empreendimento aos parâmetros técnicos, legais, responsáveis e de respeito aos colaboradores da obra.

A Norma Regulamentadora NR 33 (2012) estabelece os requisitos mínimos para identificação de espaços confinados e seu reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes, de forma a garantir permanentemente a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente nesses espaços.

Segundo a NR 33 (2012), é fundamental que haja inicialmente a identificação dos riscos existentes em cada espaço confinado para que, após este procedimento, sejam tomadas medidas a fim de minimizar os riscos e garantindo maior segurança e boas condições de trabalho no interior, no caso, de tubulões a ar comprimido. Mediante a realização das atividades anteriores, pode-se garantir a acessibilidade ao espaço confinado somente depois que a Análise Preliminar de Riscos (APR) e a Permissão de Entrada e Trabalho (PET), que são importantes e indispensáveis, sejam emitidas, pois deste modo o operário poderá executar sua tarefa de forma segura.

A NR 18 (2018) estabelece que: “os materiais retirados da escavação devem ser depositados a uma distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda do talude”, conforme ilustrado na Figura 6. Assim, torna-se de extrema importância que cuidados sejam tomados ao realizar esta atividade, uma vez que o não cumprimento desta poderá acarretar em acidentes fatais.

Figura 6 – Medidas de Afastamento Mínimo



Fonte: SESI (2019)

Com relação aos riscos ambientais, a NR-09 estabelece como riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos locais de trabalho, que em função de sua natureza, concentração e tempo de exposição, podem causar danos à saúde do trabalhador. Com isso, existem também os riscos ergonômicos e os riscos de acidentes que também podem trazer malefícios à saúde e segurança do trabalhador (HENNEBERG, 2013).

As situações de maior risco envolvendo escavações são devido à movimentação de solos. Essa alteração da estabilidade do terreno pode causar desmoronamento, deslizamento de terra e projeção de materiais. A existência de um fator de risco causa imediatamente o impedimento à execução dos trabalhos até que estes sejam eliminados ou controlados (SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA, 2019).

É de extrema importância a fiscalização e o acompanhamento de quaisquer serviços no canteiro de obra por um engenheiro ou técnico de segurança do trabalho, inclusive na escavação de tubulões. É fundamental uma análise técnica da obra pois, em muitos casos, é possível identificar a falta de equipamentos de proteção individual e coletiva, a falta de organização e limpeza no entorno do tubulão, a falta de identificação do espaço confinado e a ausência de um trabalhador treinado em primeiros socorros para caso de emergência (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2017).

3.2 SEGURANÇA EM EXECUÇÃO DE TUBULÃO PNEUMÁTICO

A execução de tubulões pneumáticos, conforme estabelece Henneberg (2013), é extremamente penosa e nociva à saúde, já que os trabalhadores ficam sujeitos a acidentes em decorrência de defeitos de instalações de equipamentos e a insuficiência de controle, como também devido a doenças cuja origem é o chamado mal do ar comprimido. Os sintomas dessas doenças são: dores de ouvido, dores nos nervos, transpirações frias e, por vezes, vômitos e queda brusca da pressão arterial.

Sendo assim, o autor observa que é importante que a compressão e a descompressão do trabalhador seja realizada em estágios, certificando sempre o tempo total dessas operações. Os acidentes ocorrem principalmente no período de descompressão, seja dentro da campânula, ou mesmo algum tempo após ter saído dela. Henneberg (2013) ressalta que, como medida preventiva, deve ocorrer uma descompressão lenta e progressiva a fim de permitir a eliminação dos gases dissolvidos. No corpo humano, o sangue e os tecidos contêm gases (oxigênio, gás carbônico e nitrogênio), cujos volumes dissolvidos são proporcionais às pressões a que são submetidos; quando então, há uma descompressão brusca ou mal regulada, acarretando em uma liberação de ar em excesso, formando-se bolhas nos sangues e nos tecidos.

Os autores também recomendam que antes da contratação dos funcionários para este tipo de serviço, devem ser solicitados exames médicos rigorosos, os quais devem ser renovados periodicamente, pois a embriaguez, resfriados e gordura excessiva são prejudiciais a esse tipo de trabalho (HENNEBERG, 2013).

Ainda, segundo o pesquisador, no caso de trabalhos sob pressão, além da verificação do bom funcionamento do equipamento, demandam um serviço médico de plantão para emergências.

A norma regulamentadora NR 15 (2014) estabelece que atividades ou qualquer exercício sob pressão de ar comprimido serão consideradas insalubres de grau máximo. Portanto, alguns pontos devem ser analisados e respeitados ao realizar um trabalho ou operação mediante essas condições de pressão, tais como o caso de tubulões pneumáticos, local onde os operários executam seus serviços sob condições de altas pressões e estão dispostos a variações de

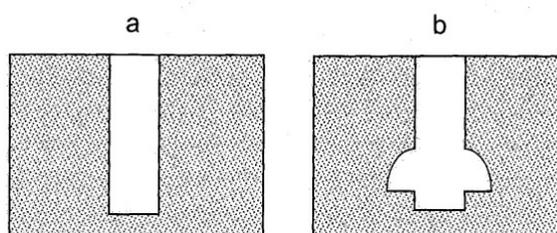
pressão, já que antes de entrar pela campânula, ficam submetidos à pressão atmosférica, e ao se inserir no interior do fuste, estão sob pressão de ar comprimido, cujo valor é superior em comparação à pressão atmosférica (ALVES et al., 2016).

Segundo esta mesma norma (NR15, 2014), a qual visa sempre a segurança e o bem estar de todos os colaboradores, torna-se necessário estabelecer limites para a realização das atividades insalubres. Por exemplo, cada operário poderá estar submetido, no máximo, a uma compressão a cada 24 horas. Vale ressaltar que o trabalhador não poderá ser exposto à uma pressão superior a 3,4 kgf/cm², exceto em casos de tratamento na câmara que sejam liberados pelo médico responsável (ALVES et al., 2016).

3.3 MÉTODO MECANIZADO DE ABERTURA DE BASE

De acordo com Teixeira (2013), o dispositivo foi criado para ser utilizado no alargamento da base de tubulão, possibilitando o processo de escavação ser mecanizado, criando uma cavidade semi-esférica na base do tubulão, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – (a) Fuste do tubulão executado; (b) base do tubulão alargada pelo dispositivo



Fonte: Teixeira (2013)

Teixeira (2013) afirma que a criação do dispositivo teve como propósito diminuir os riscos de acidentes e levar a um aumento de produtividade. O autor constata que, hoje em dia, o processo de escavação do solo na base do tubulão ainda é realizado manualmente, expondo o operário a riscos de desmoronamento do solo. Já o uso do dispositivo dispensa a necessidade do operador descer no fuste do tubulão para alargamento da base, preservando-o dos riscos. O dispositivo também possibilita acelerar o processo de alargamento

da base, o qual ganha eficiência devido a sua redução de tempo de execução de 80% ou mais.

3.3.1 Funcionamento do equipamento

De acordo com Teixeira (2013), o dispositivo é um mecanismo que em sua extremidade superior possui um encaixe da haste onde é unido à haste motora da máquina e fixado através de pino cilíndrico. Ao girar o dispositivo pressionando contra o fundo do furo, os braços do mecanismo se abrem, fazendo com que as facas executem a escavação do solo, sendo depositado o solo em uma recipiente coletor ao longo da escavação. O recipiente coletor é preso na base do mecanismo, ficando parado enquanto a escavação é realizada. Após o fim da escavação, o recipiente coletor gira, removendo o solo solto do fundo do tubulão e proporcionando uma superfície compacta na base. Na Figura 8, é possível visualizar o dispositivo de abertura de base.

Figura 8 – Dispositivo de abertura de base



Fonte: Persolo (2019)

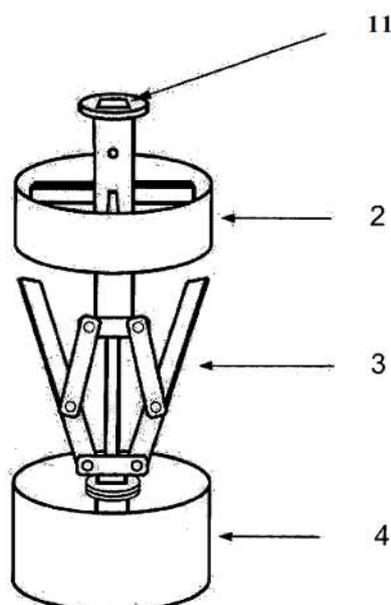
3.3.2 Descrição do dispositivo

Segundo Teixeira (2013), o dispositivo alargador de base de tubulões é composto por:

- uma haste motora (1);
- um encaixe da haste motora (11);
- um pino de fixação da haste motora (12);
- uma coluna móvel (5);
- um anel guia (2) vinculado à coluna móvel (5);
- uma junção giratória (8) e uma coluna fixa (9);
- dois braços laterais (6);
- duas facas (7) fixadas aos braços que fazem parte do mecanismo escavador do solo (3);
- um recipiente coletor de solo (4); e
- tampas articuláveis (41).

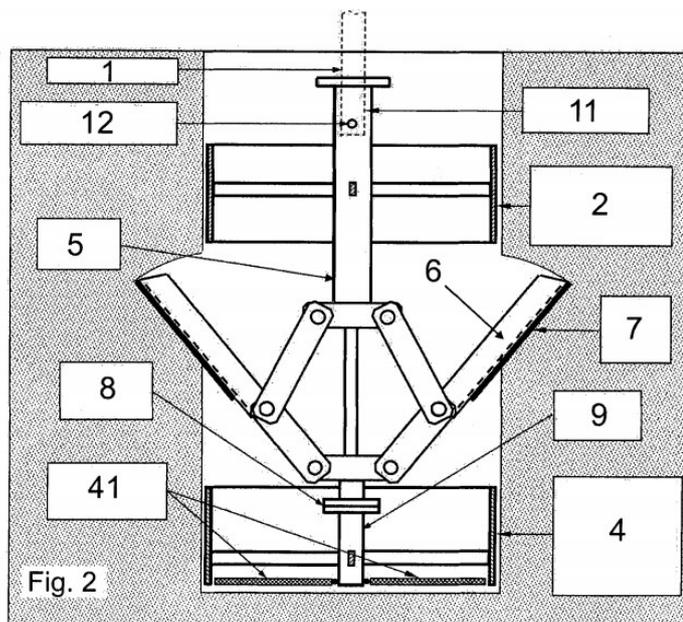
Na Figura 9 e na Figura 10, pode-se visualizar os componentes do dispositivo alargador de base de tubulões.

Figura 9 – Vista em perspectiva do dispositivo em aspecto geral



Fonte: Teixeira (2013)

Figura 10 – Vista frontal do dispositivo durante a execução do alargamento da base do tubulão



Fonte: Teixeira (2013)

3.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)

A Análise Preliminar de Riscos (APR) é uma técnica para identificar possíveis riscos, sendo aplicada na fase de projeto e desenvolvimento, cujo objetivo é determinar os riscos que podem estar presentes na fase operacional do processo (AMORIM, 2010).

Segundo Amorim (2010), ela é uma técnica qualitativa que consiste na identificação dos riscos envolvidos em cada passo de um procedimento, operação ou atividade desenvolvida no ambiente analisado. Cada risco deve ser identificado, também como as causas, efeitos, permitindo ainda estabelecer medidas de controle.

Os resultados da APR são registrados em uma planilha conforme descrito no Quadro 1, que mostra os fatores de riscos identificados, as causas, os efeitos, as categorias de risco e as medidas de controle.

Previamente, vale conceituar os termos que compõem o modelo da APR, conforme abordado em SESI (2019).

- Fator de risco – situação com potencial de provocar lesões pessoais ou danos à saúde ou às propriedades, ou uma combinação destes;
- Causa/fonte/trajetória – determinante com potencial de gerar o acidente;

- Efeitos – é a consequência de um perigo (fator de risco) em termos de lesão, doença ou uma combinação destes;
- Categoria de risco – é a categoria dos agentes conforme referência legal e técnica. São classificados em físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos/acidentes.
- Medidas de controle – são medidas que visam eliminar, neutralizar ou controlar os fatores de risco. Contribuem para a organização do trabalho, a fim prevenir a ocorrência de acidentes, e podem ser exemplificados pelos controles operacionais, instalações de EPC, estabelecimento de procedimentos, realização de treinamentos, fornecimento e uso de EPI.

Quadro 1 – Modelo de planilha para APR

APR - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO				
Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle

Fonte: Os autores (2019)

Conforme Cesaro (2013), a medida qualitativa de riscos pode ser definida por uma matriz de riscos, onde o nível de risco é estabelecido por uma composição das categorias preestabelecidas de frequência e severidade.

Deve-se classificar os cenários de acidentes em categorias de severidade conforme as consequências, tendo assim uma indicação qualitativa do nível da severidade esperada na ocorrência (AMORIM, 2010). No Quadro 2, são ilustradas as categorias de severidade utilizadas na avaliação.

Quadro 2 - Categorias de severidade

Categoria	Denominação	Descrição
I	Desprezível	Não ocorrem lesões/mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ou pessoas (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	Leve	Lesões leves em funcionários, terceiros ou em membros da comunidade.
III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte); Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe.
IV	Catastrófica	Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade).

Fonte: Adaptado de Amorim (2010)

De acordo com Amorim (2010), adota-se também uma classificação de categoria da frequência de ocorrência do acontecimento. Esta frequência pode variar em função das etapas do processo analisado, dentre outros fatores. Como abordado no Quadro 3, as categorias de ocorrência são divididas em cinco classes, que descrevem a frequência que os acidentes podem acontecer.

Quadro 3 - Categorias de frequência

Categoria	Denominação	Descrição
A	Extremamente Remota	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
B	Remota	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
C	Improvável	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
D	Provável	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/instalação.
E	Frequente	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/instalação.

Fonte: Adaptado de Amorim (2010)

Na matriz de classificação de riscos, são estabelecidos os níveis de riscos, podendo este ser desprezível, menor, moderado, sério e crítico, seguindo uma interseção da frequência com a severidade dos acontecimentos indesejáveis, conforme Figura 11 (AMORIM, 2010).

Figura 11 - Matriz de classificação de risco (frequência x severidade)

Probabilidade						s e v e r i d a d e	Legenda		
A	B	C	D	E			Risco		
2	3	4	5	5	IV		1	Desprezível	
1	2	3	4	5	III		2	Menor	
1	1	2	3	4	II		3	Moderado	
1	1	1	2	3	I		4	Sério	
						5	Crítico		

Fonte: Adaptado de Amorim (2010)

4 ANÁLISE COMPARATIVA DE RISCOS EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Neste capítulo, serão analisados os riscos existentes que podem prejudicar a saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos durante o processo de execução dos três tipos de tubulões: tubulão a ar comprimido, tubulão a céu aberto e tubulão com alargamento de base mecanizada.

Primeiramente, será realizada a descrição dos processos executivos de cada etapa dos elementos de fundação mencionados para que, posteriormente, seja feita uma análise preliminar dos possíveis riscos.

Com as informações obtidas nessa análise de riscos, será feita uma classificação dos riscos mediante aos critérios de avaliação adotados no estudo.

4.1 PROCESSO DE EXECUÇÃO DOS TUBULÕES

4.1.1 Processo executivo de tubulões a ar comprimido ou pneumáticos

É fundamental ressaltar que, antes da execução de qualquer fundação, é importante e deve ser feito um mapeamento geotécnico do terreno, e somente após essa etapa que pode ser iniciado os serviços de terraplenagem. Em seguida, é realizada a escavação preliminar, a céu aberto, em que executa um poço, em torno de 1,50 a 2,00 metros de profundidade, com função de apoio ao assentamento das fôrmas (NARESI, 2017).

Diante do exposto à terraplanagem e à escavação preliminar, inicia-se o poço primário, onde é montada uma forma circular (metálica ou de madeira) ao entorno da qual é armada a ferragem do tubulão. Ao término da armação, é instalada uma forma circular externa, seguindo sempre os diâmetros confirmados em projeto. Normalmente, o primeiro segmento apresenta 4,00 metros de comprimento, onde metade situa-se no interior do poço e a outra metade na parte externa acima do nível do terreno (NARESI, 2017).

Após a conclusão dessas etapas, pode ser liberada a concretagem da camisa, espaço entre as formas interna e externa. Ao final da concretagem e cura do concreto, realiza-se a desforma interna e externa e, na extremidade

superior da camisa de concreto, são fixados chumbadores para acoplar a campânula usada para comprimir o ar (ABEF, 2012).

Com o primeiro segmento tubular concretado, monta-se a campânula sobre o tubulão em execução. A partir desse momento, os trabalhos de escavação são realizados sob ar comprimido, avançando normalmente em trechos de 1,00 a 1,50 metros, mas observando sempre que a campânula deve ser retirada para que haja a concretagem de novos segmentos do tubulão e reforçando que cada trecho é executado com a mesma composição de armação e de forma interna e externa. Esta sequência de procedimento, concretagem, escavação e novamente concretagem é repetida até que se atinja a profundidade prevista no projeto ou determinada pelo engenheiro responsável (NARESI, 2017).

É importante ressaltar que a campânula é composta por várias peças, as quais são fixadas umas às outras. Com o equipamento montado, a câmara é pressurizada com compressores, evitando com que a água se instale no interior do tubulão, além de também possuir a função extremamente relevante de garantir a segurança do operário, pois é pela câmara da campânula que os trabalhadores passam pelo processo de compressão e descompressão para que possam realizar sua atividade de trabalho sob ar comprimido (ABEF, 2012).

Ao atingir a cota de assentamento do tubulão, é realizada a inspeção do terreno e, caso a capacidade de carga e a resistência sejam atendidas, pode então iniciar a expansão da base, que é comumente feita por ela garantir uma maior capacidade resistente do terreno. Após o alargamento, uma nova vistoria é feita para análise das condições de dimensões e da armadura da base. Finalmente, libera-se a concretagem da base, mas sem ocorrer a retirada da campânula, uma vez que é nesse equipamento que o concreto é introduzido no poço através dos cachimbos e o tubulão continua comprimido por um período de 6 horas após a concretagem (PEREIRA, 2012).

4.1.2 O processo executivo de tubulão a céu aberto

Primeiramente, ocorre a remoção de entulhos e limpeza do terreno pela empresa responsável, e posteriormente é realizada a locação do centro dos tubulões com piquetes de madeira por um topógrafo ou mestre de obras para

que, em seguida, haja a marcação dos diâmetros conforme o projeto. É preciso centralizar a ponta do trado do equipamento de abertura do fuste no centro do piquete para que comece a perfuração gradativa com movimentos de subida e descida do trado, o qual é limpo por um servente a cada movimento repetido da escavação. Ao mesmo tempo, é feita a remoção dos materiais que se depositam ao redor do tubulão, a fim de extinguir a possibilidade de que o solo retorne ao tubulão novamente (ABEF, 2012).

Após a abertura do fuste, inicia-se o alargamento da base do tubulão, considerando que a cota de assentamento da base do tubulão esteja abaixo do nível d'água e garantindo que o volume de água no interior do poço não seja excessivo. Utiliza-se uma bomba d'água submersível no próprio tubulão que está sendo escavado. Por fim, ocorre a marcação da circunferência da base, e então é iniciada a escavação utilizando picareta e pá, onde é realizada a remoção do solo escavado por um balde, o qual é içado através do sarilho por um poceiro que está na superfície do terreno (ABEF, 2012).

O processo faz uso de um maquinário responsável por içar a armadura e inseri-la no fuste mediante a marcação da cota de arrasamento, sendo fundamental a centralização da armadura em relação a cota, para que posteriormente possa ser iniciada a concretagem utilizando um funil de madeira ou aço de forma com que o lançamento de concreto não colida diretamente ao solo, mas sim ao espaço vazio da escavação até atingir a cota de arrasamento (ABEF, 2012).

4.1.3 Processo executivo do tubulão com alargamento mecanizado da base

O processo é inicializado com a remoção total de entulhos, ou seja, limpeza do terreno. Em seguida, o topógrafo ou mestre responsável faz a locação do centro dos tubulões com piquetes de madeira para que imediatamente depois seja possível realizar as marcações dos diâmetros conforme o projeto. Conforme representado na Figura 12, após a marcação, fica liberado para que a ponta do trado helicoidal seja centralizada ao centro do piquete, dando início à perfuração do fuste, em movimentos de subida e descida do trado, o qual a cada elevação, a superfície é limpa e retira-se a maior parte do solo que se adere às lâminas do equipamento. Simultaneamente à limpeza

do trado feita por um operário, outro trabalhador fica responsável por afastar da cota de assentamento o solo retirado do interior do fuste (TEIXEIRA; PERSOLO, 2013).

Ao final da perfuração do fuste do tubulão por um trado helicoidal, com diâmetros e profundidades ajustados e definidos em projeto, troca-se o trado pelo dispositivo de alargamento de base do tubulão, o qual é introduzido no fuste. Após a instalação desse equipamento, este fica responsável num primeiro momento por fazer a correção de ponta do tubulão, nivelando o seu fundo, e também por corrigir as irregularidades da ponta devido a perfuração realizada anteriormente pelo trado (TEIXEIRA, 2013).

Figura 12 – Início da escavação do fuste



Fonte: Persolo (2019)

Posteriormente, as facas laterais do dispositivo se abrem e inicia-se então a escavação da base do tubulão do solo, o qual vai sendo depositado no recipiente coletor do equipamento. É importante ressaltar que, após atingir o preenchimento máximo do dispositivo de coleta, este é içado à superfície e um operador realiza a abertura das tampas articuláveis, que se situam na parte inferior do equipamento, para que o solo retirado do tubulão se deposite na parte exterior do poço. Sendo assim, com o equipamento vazio, este torna-se apto a

descer pelo fuste e repetir o processo até o momento que a base esteja alargada, seguindo o calculado em projeto (TEIXEIRA, 2013).

Com relação ao recipiente coletor, o qual situa-se na base do mecanismo, é importante descrever que ele se une ao restante do equipamento por uma junção giratória de forma com que o mecanismo gire e o recipiente não. Apenas as facas que são giratórias e realizam o corte do solo até as dimensões previamente definidas em projeto (TEIXEIRA, 2013).

No término do processo, é empregada uma máquina de esteira ou um trator reto para suspender a armadura e inseri-la no poço mediante a cota de arrasamento, a qual deve estar centralizada à armadura. Enfim, dá-se início à concretagem por um funil; porém, devem ser tomados certos cuidados para que o concreto não colida diretamente ao solo das paredes do poço, mas preencha o espaço interno do tubulão e conseqüentemente haja a cobertura da armadura (TEIXEIRA, 2013).

4.2 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS EM TUBULÕES

Os riscos físicos encontrados com frequência nos espaços confinados são aqueles decorrentes de: ruído e vibrações dos equipamentos, pressões anormais em relação à pressão atmosférica, temperaturas extremas (altas e baixas) na superfície e no interior do espaço confinado, radiações ionizantes (solar), radiações não ionizantes e a umidade em locais cujo nível do piso possa estar próximo ou abaixo do nível do lençol freático (BRASIL, 2013).

Medidas de controle para amenizar tais riscos são (SESI, 2019):

- Sistema de ventilação por insuflação de ar por duto;
- Cobertura translúcida tipo tenda, com película ultravioleta sobre as escavações, fixando-as no solo;
- Uso adequado dos equipamentos de proteção individual, tais como protetores auditivos, e roupas e botas impermeáveis;
- Uso de protetor solar, burca e camisa de mangas compridas.

No trabalho em espaços confinados e em seu redor, também podemos encontrar riscos biológicos (BRASIL, 2013). Devido a umidade e iluminação deficiente, os espaços confinados possuem condições propícias para a proliferação de micro-organismos e algumas espécies de animais. Alguns

animais que possuem acesso fácil ao espaço confinado utilizam como abrigo contra seus predadores, tais como ratos, morcegos e pombos, os quais são vetores de doenças transmissíveis ou hospedeiros intermediários. Além disso, cobras, escorpiões, insetos e outros artrópodes podem provocar intoxicações e doenças.

Conforme Brasil (2013), as medidas de prevenção propostas para tais riscos são:

- Vacinação;
- Utilização de EPIs, como luvas, botas, óculos de segurança, máscara e roupas impermeáveis;
- Manutenção da limpeza no entorno e no interior do espaço confinado;
- Trabalhador deve ser imediatamente transportado ao hospital para tratamento.

Os riscos ergonômicos aparecem devido ao tamanho e a geometria da abertura de acesso e a movimentação no espaço confinado. Em muitos casos, não há iluminação adequada e algumas atividades exigem esforços excessivos e posturas desconfortáveis (BRASIL, 2013).

Segundo Veronezi (2014), o trabalho em posição desconfortável, movimentos repetitivos e o peso dos materiais podem ser a causa de dores musculares, fraqueza, cansaço, problemas na coluna, entre outros.

Veronezi (2014) expõe que as medidas de controle para riscos ergonômicos são:

- Usar posições mais adequadas no trabalho;
- Fazer paradas para descanso ao longo da jornada de trabalho;
- Implementação de ginástica laboral.

Os riscos químicos são provocados por agentes que modificam a composição química do meio ambiente. A deficiência de oxigênio (O₂) e a presença de gases contaminantes podem causar asfixia (simples ou química) e, eventualmente, a morte dos trabalhadores. Os gases podem vir das atividades desenvolvidas no espaço confinado, da decomposição de matéria orgânica e de possíveis vazamentos (BRASIL, 2013).

De acordo com Paula, Ferraz e Santos (2018), as medidas de controle são:

- Manutenção no sistema de ar comprimido e filtros;
- Verificação do sistema de ar antes do início da atividade;
- Realização da avaliação atmosférica, com detector multigases antes de proceder ao acesso ao tubulão;
- Monitoramento atmosférico constante;
- Comunicação de quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada;
- Compressão e descompressão de acordo com as normas;
- Capacitação dos empregados envolvidos na atividade;
- Orientação dos empregados quanto aos riscos da atividade.

Além disso, de acordo com Brasil (2013), os riscos mecânicos são definidos como:

Riscos Mecânicos – Incluem trabalho em altura, instalações elétricas inadequadas, contato com superfícies aquecidas, maquinário sem proteção, impacto de ferramentas e materiais, inundação, superfícies inclinadas, desabamento, e formação de atmosfera explosiva, que podem causar quedas, choques elétricos, queimaduras, aprisionamento e lesão em membro ou outra parte do corpo, afogamento, engolfamento, asfixia, incêndio e explosão.

As medidas de controle relacionadas à segurança no trabalho em escavações proposta por SESI (2019) são:

- Realizar o escoramento de acordo com projeto elaborado por profissional qualificado;
- Realizar inspeção visual na área antes de iniciar a atividade;
- Sinalizar e fechar os poços nos intervalos e no término da jornada de trabalho;
- Usar equipamentos de proteção individual (EPI);
- Identificar as interferências de redes elétricas subterrâneas e aéreas;
- As escavações devem ser sinalizadas e isoladas de maneira a evitar quedas de pessoas e/ou equipamentos;
- Procedimento deve contemplar a emissão da permissão de entrada e trabalho;
- Treinar equipe de resgate;
- A equipe de trabalho deve estar devidamente apta, qualificada e treinada para a realização das atividades;

- Os materiais retirados da escavação devem ser depositados a uma distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda do talude;
- A escavação manual só pode ser executada acima do nível da água ou abaixo dele, nos casos em que o solo se mantenha estável, sem risco de desmoronamento, e seja possível controlar a água no interior do tubulão;
- Gancho com trava de segurança na extremidade da corda do balde;
- Sinalização luminosa e acústica de marcha-ré nos veículos e máquinas;
- Delimitar as áreas de circulação de veículos.

Os Quadros 4 e 5 apresentam os principais riscos, causas, categoria de risco e recomendações para minimizar tais riscos no processo de execução do tubulão a ar comprimido.

Quadro 4 - APR - Execução de tubulão a ar comprimido (Parte 1)

Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle
Soterramento	Desmoronamento do solo, falta e/ou escoramento deficiente	Fraturas, escoriações, lesões e morte.	Acidente	Realizar o escoramento de acordo com projeto elaborado por profissional qualificado. Realizar inspeção visual na área antes de iniciar a atividade.
Esmagamento	Desprendimento da campânula, trabalhadores sem formação	Lesões graves, perda de membro e morte.	Acidente	Realizar a conexão da campânula a camisa de forma eficaz. Inspeccionar a fixação da campânula.
Doença descompressiva	Descompressão brusca ou mal regulada	Formando-se bolhas nos sangues, asfixia e morte.	Químico	Realizar a compressão e descompressão de acordo com as normas. Realizar capacitação dos empregados envolvidos na atividade. Orientar os empregados quanto aos riscos da atividade.
Inalação de ar contaminado	Defeitos de instalações de equipamentos e a insuficiência de controle	Transpirações frias e às vezes vômitos, queda brusca da pressão arterial, asfixia e morte.	Químico	Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. Realizar monitoramento atmosférico constante. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Trabalho em locais úmidos	Escavações próximas ou abaixo do nível d'água.	Doenças circulatórias, doenças de pele e no aparelho respiratório.	Físico	Roupas e botas impermeáveis, para trabalho em terrenos encharcados.
Queda de materiais com diferença de nível	Desprendimento de matérias e queda de ferramentas.	Escoriações, fraturas e morte.	Acidente	Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade, na hora de subir e descer o balde. Utilizar gancho com trava de segurança na extremidade da corda do balde.
Queda de pessoas com diferença de nível	Proteção contra queda, falta de EP/EPC, sinalização e isolamento	Lesões graves, fraturas e morte.	Acidente	Realizar o fechamento provisório de aberturas no piso. Utilizar cinto de segurança. Manter as áreas de escavação sinalizadas e isoladas.
Falta de oxigênio	Falta de monitoramento, equipamento mal regulado ou com defeito	Asfixia e morte.	Químico	Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. Realizar monitoramento atmosférico constante. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Excesso de oxigênio	Falta de monitoramento, equipamento mal regulado ou com defeito	Lesões graves e morte.	Químico	Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. Realizar monitoramento atmosférico constante. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.

Fonte: Os autores (2019)

Quadro 5 - APR - Execução de tubulão a ar comprimido (Parte 2)

Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle
Intoxicação por gases	Exposição a vapores tóxicos	Asfixia, intoxicação e morte.	Químico	Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. Realizar monitoramento atmosférico constante. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Perda de membros	Descida da camisa	Lesões graves e perda de membro.	Acidente	Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade, principalmente na hora de realizar a descida da camisa; Realizar a descida da camisa em seções.
Perda de membros por ferramentas de mão.	Usar equipamento inseguro, impacto de ferramentas/operário	Lesões graves e perda de membro.	Acidente	Uso de EPI's e treinamento dos operários
Afogamento	Inundação	Morte	Acidente	Manter pressão constante, a fim de afastar a água. Utilizar bombas para a remoção da água.
Choque elétrico	Trabalhadores sem formação e desconhecimento dos riscos.	Queimaduras, contração muscular e morte.	Acidente	Solicitar orientação da concessionária, sobre possíveis riscos de choque e procedimentos a serem realizados.
Exposição a raios solares	Falta de proteção durante a exposição ao sol.	Queimaduras, manchas na pele, doenças de pele e câncer de pele.	Físico	Usar protetor facial. Cobertura translúcida tipo tenda, com película ultravioleta.
Exposição ao ruído	Máquinas e equipamentos	Perda parcial/total da audição	Físico	Utilizar protetor auricular.
Temperaturas elevadas	Falta de monitoramento da temperatura	Exaustão, fraqueza, tonturas e dor de cabeça.	Físico	Realizar o resfriamento do ar comprimido
Atropelamento	Não delimitar e sinalizar a zona de trabalhos	Lesões graves, perda de membro e morte.	Acidente	Sinalização luminosa e acústica de marcha-ré nos veículos e máquinas. Delimitar as áreas de circulação de veículos.
Tombamento de caminhões/máquinas	Instabilidade da máquina devido a inclinação do terreno e vibrações geradas.	Perda de membros e morte	Acidente	Nivelamento do terreno aonde a máquina irá atuar. Manter distância segura de taludes/Fuste.
Trabalho físico pesado, posturas incorretas e posições incômodas.	Movimentos repetitivos e peso dos materiais	Cansaço, dores musculares, fraquezas, hipertensão arterial e problemas de coluna.	Ergonômico	Pausa para descanso e implementação de ginástica laboral.
Acidentes por animais peçonhentos	Envenenamento devido a picadas de animais peçonhentos	Intoxicações e morte.	Biológico	Utilização de EPI, limpeza no entorno e no interior do espaço confinado.

Fonte: Os autores (2019)

Os Quadros 6 e 7 apresentam os principais riscos, causas, categoria de risco e recomendações para minimizar tais riscos no processo de execução do tubulão a céu aberto.

Quadro 6 - APR - Execução de tubulão a céu aberto (Parte 1)

Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle
Soterramento	Desmoronamento do solo, falta e/ou escoramento deficiente	Fraturas, escoriações, lesões e morte.	Acidente	Realizar o escoramento de acordo com projeto elaborado por profissional qualificado. Realizar inspeção visual na área antes de iniciar a atividade.
Trabalho em locais úmidos	Escavações próximas ou abaixo do nível d'água.	Doenças circulatórias, doenças de pele e no aparelho respiratório.	Físico	Roupas e botas impermeáveis, para trabalho em terrenos encharcados.
Queda de materiais com diferença de nível	Desprendimento de matérias e queda de ferramentas.	Escoriações, fraturas e morte.	Acidente	Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade, na hora de subir e descer o balde. Utilizar gancho com trava de segurança na extremidade da corda do balde.
Queda de pessoas com diferença de nível	Proteção contra queda, falta de EPI/EPC, sinalização e isolamento.	Lesões graves, fraturas e morte.	Acidente	Realizar o fechamento provisório de aberturas no piso. Utilizar cinto de segurança. Manter as áreas de escavação sinalizadas e isoladas.
Deficiência/falta de oxigênio	Pouca circulação de ar	Asfixia e morte.	Químico	Sistema de ventilação por insuflação de ar por duto, captado em local isento de fontes de poluição.
Intoxicação por gases	Exposição a vapores tóxicos	Asfixia, intoxicação e morte.	Químico	A realização das medições de gases nos locais dos trabalhos em espaços confinados devem ser medidas antes e durante a atividade
Afogamento	Inundação	Morte	Acidente	Utilizar bombas para a remoção da água.
Temperaturas elevadas	Ventilação inadequada	Exaustão, fraqueza, tonturas e dor de cabeça.	Físico	Sistema de ventilação por insuflação de ar por duto, captado em local isento de fontes de poluição.
Tombamento de caminhões/máquinas	Instabilidade da máquina devido a inclinação do terreno e vibrações geradas.	Perda de membros e morte	Acidente	Nivelamento do terreno aonde a máquina irá atuar.
Choque elétrico	Trabalhadores sem formação e desconhecimento dos riscos.	Queimaduras, contração muscular e morte.	Acidente	Solicitar orientação da concessionária, sobre possíveis riscos de choque e procedimentos a serem realizados.
Perda de membros por ferramentas de mão	Usar equipamento inseguro, impacto de ferramentas/operário	Lesões graves e perda de membro.	Acidente	Uso de EPI's e treinamento os operários
Exposição a raios solares	Falta de proteção durante a exposição ao sol.	Queimaduras, manchas na pele, doenças de pele, câncer de pele entre outros.	Físico	Usar protetor facial. Cobertura translúcida tipo tenda, com película ultravioleta.

Fonte: Os autores (2019)

Quadro 7 - APR - Execução de tubulão a céu aberto (Parte 2)

Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle
Atropelamento	Não delimitar e sinalizar a zona de trabalhos	Lesões graves, perda de membro e morte.	Acidente	Sinalização luminosa e acústica de marcha-ré nos veículos e máquinas. Delimitar as áreas de circulação de veículos
Exposição ao ruído	Máquinas e equipamentos	Perda parcial/total da audição	Físico	Utilizar protetor auricular.
Acidentes por animais peçonhentos	Envenenamento devido a picadas de animais peçonhentos e etc.	Intoxicações e morte.	Biológico	Utilização de EPI, limpeza no entorno e no interior do espaço confinado.
Trabalho físico pesado, posturas incorretas e posições incômodas.	Movimentos repetitivos e peso dos materiais	Cansaço, dores musculares, fraquezas, hipertensão arterial e problemas de coluna.	Ergonômico	Pausa para descanso e implementação de ginástica laboral.

Fonte: Os autores (2019)

O Quadro 8 apresenta os principais riscos, causas, categoria de risco e recomendações para amenizar os possíveis riscos no processo de execução do tubulão com mecanismo de abertura de base.

Quadro 8 - APR - Execução de tubulão com mecanismo de abertura de base

Fator de risco	Causa/fonte/trajetória	Efeitos	Categoria de risco	Medidas de controle
Queda de pessoas com diferença de nível	Proteção contra queda, falta de EPI/EPC, sinalização e isolamento	Lesões graves, fraturas e morte.	Acidentes	Realizar o fechamento provisório de aberturas no piso. Utilizar cinto de segurança. Manter as áreas de escavação sinalizadas e isoladas.
Queda de materiais com diferença de nível	Desprendimento de matérias e queda de ferramentas.	Escoriações, fraturas e morte.	Acidentes	Utilizar EPI/EPC, sinalização e isolamento do local de trabalho.
Tombamento de caminhões/máquinas	Instabilidade da máquina devido a inclinação do terreno e vibrações geradas.	Perda de membros e morte	Acidentes	Nivelamento do terreno aonde a máquina irá atuar.
Choque elétrico	Trabalhadores sem formação e desconhecimento dos riscos.	Queimaduras, contração muscular e morte.	Acidentes	Solicitar orientação da concessionária, sobre possíveis riscos de choque e procedimentos a serem realizados.
Exposição a raios solares	Falta de proteção durante a exposição ao sol.	Queimaduras, manchas na pele, doenças de pele, câncer de pele entre outros.	Físico	Usar protetor facial. Cobertura translúcida tipo tenda, com película ultravioleta.
Atropelamento	Não delimitar e sinalizar a zona de trabalhos	Lesões graves, perda de membro e morte.	Acidentes	Sinalização luminosa e acústica de marcha-ré nos veículos e máquinas. Delimitar as áreas de circulação de veículos.
Exposição ao ruído	Máquinas e equipamentos	Perda parcial/total da audição	Físico	Utilizar protetor auricular.
Perda de membros	Auxiliares muito perto de máquinas	Perda de membros	Acidentes	Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade; Manter distância segura das máquinas.
Acidentes por animais peçonhentos	Envenenamento devido a picadas de animais peçonhentos.	Intoxicações e morte.	Biológicos	Utilização de EPI, limpeza no entorno da escavação.

Fonte: Os autores (2019)

Os fatores de risco identificados no processo de execução dos elementos de fundação foram classificados em uma categoria de probabilidade, a qual indica a frequência que cada atividade pode ocorrer, sendo classificado como remota (A), remota (B), improvável (C), provável (D) e frequente (E).

Os fatores de risco também foram classificados em categorias de severidade (S), fornecendo uma indicação qualitativa de grau das consequências de cada uma, podendo ser classificados como desprezível (I), Leve (II), Crítica (III) e Catastrófica (IV).

Para estabelecer o nível de risco, utiliza-se uma matriz tabela, indicando a frequência e a severidade dos eventos indesejáveis, estabelecendo 5 níveis

de risco, sendo eles: desprezível (1), menor (2), moderado (3), sério (4) e crítico (5).

Os Quadros 9, 10 e 11 ilustram o nível de risco para cada um dos cenários identificados.

Quadro 9 - Classificação dos riscos - Tubulão a ar comprimido

Fator de risco	Frequência	Severidade	Categoria de Risco	
Soterramento	B	IV	3	Moderado
Esmagamento	A	IV	2	Menor
Doença descompressiva	C	IV	4	Sério
Inalação de ar contaminado	B	IV	3	Moderado
Trabalho em locais umidos	E	I	3	Moderado
Queda de materiais com diferença de nível	C	IV	4	Sério
Queda de pessoas com diferença de nível	B	IV	3	Moderado
Falta de oxigênio	A	IV	2	Menor
Excesso de oxigênio	A	IV	2	Menor
Intoxicação por gases	B	IV	3	Moderado
Perda de membros	A	III	1	Desprezível
Perda de membros por ferramentas de mão	C	III	3	Moderado
Afogamento	C	IV	4	Sério
Choque elétrico	B	IV	3	Moderado
Exposição a raios solares	E	I	3	Moderado
Exposição ao ruído	D	II	3	Moderado
Temperaturas elevadas	C	II	2	Menor
Atropelamento	B	IV	3	Moderado
Tombamento de caminhões/máquinas	B	IV	3	Moderado
Trabalho físico pesado, posturas incorretas e posições incômodas.	E	II	4	Sério
Acidentes por animais peçonhentos	B	IV	3	Moderado

Fonte: Os autores (2019)

Quadro 10 - Classificação de risco - Tubulão a céu aberto

Fator de risco	Frequência	Severidade	Categoria de Risco	
Soterramento	C	IV	4	Sério
Trabalho em locais umidos	E	I	3	Moderado
Queda de materiais com diferença de nível	B	IV	3	Moderado
Queda de pessoas com diferença de nível	C	IV	4	Sério
Deficiência/falta de oxigênio	B	IV	3	Moderado
Intoxicação por gases	B	IV	3	Moderado
Afogamento	B	IV	3	Moderado
Temperaturas elevadas	C	I	1	Desprezível
Tombamento de caminhões/máquinas	B	IV	3	Moderado
Choque elétrico	B	IV	3	Moderado
Perda de membros por ferramentas de mão	C	III	3	Moderado
Exposição a raios solares	E	I	3	Moderado
Atropelamento	B	IV	3	Moderado
Exposição ao ruído	D	II	3	Moderado
Acidentes por animais peçonhentos	C	IV	4	Sério
Trabalho físico pesado, posturas incorretas e posições incômodas.	E	II	4	Sério

Fonte: Os autores (2019)

Quadro 11 - Classificação de risco - Tubulão com mecanismo de abertura de base

Fator de risco	Frequência	Severidade	Categoria de Risco	
Queda de pessoas com diferença de nível	B	IV	3	Moderado
Queda de materiais com diferença de nível	B	IV	3	Moderado
Tombamento de caminhões/máquinas	B	IV	3	Moderado
Choque elétrico	A	IV	2	Menor
Exposição a raios solares	E	I	3	Moderado
Atropelamento	B	IV	3	Moderado
Exposição ao ruído	D	II	3	Moderado
Perda de membros	B	III	2	Menor
Acidentes por animais peçonhentos	B	IV	3	Moderado

Fonte: Os autores (2019)

Na Tabela 1, é demonstrada a pontuação do nível de risco para cada cenário identificado nos três tipos de tubulões analisado, seguido do somatório da pontuação dos níveis de risco para cada tipo de fundação.

Tabela 1 - Pontuação de riscos

Fator de risco	Tubulão a ar comprimido	Tubulão a céu aberto	Tubulão com mecanismo de abertura de base
Soterramento	3	4	0
Esmagamento	2	0	0
Doença descompressiva	4	0	0
Inalação de ar contaminado	3	0	0
Trabalho em locais úmidos	3	3	0
Queda de materiais com diferença de nível	4	3	3
Queda de pessoas com diferença de nível	3	4	3
Deficiência/falta de oxigênio	2	3	0
Excesso de oxigênio	2	0	0
Intoxicação por gases	3	3	0
Perda de membros	1	0	2
Perda de membros por ferramentas de mão	3	3	0
Afogamento	4	3	0
Choque elétrico	3	3	2
Exposição a raios solares	3	3	3
Exposição ao ruído	3	3	3
Temperaturas elevadas	2	1	0
Atropelamento	3	3	3
Tombamento de caminhões/máquinas	3	3	3
Trabalho físico pesado, posturas incorretas e posições incômodas.	4	4	0
Acidentes por animais peçonhentos	3	4	3
Total	61	50	25

Fonte: Os autores (2019)

Analisando o Quadro acima, nota-se que o tubulão a ar comprimido apresenta maior risco, pois obteve uma pontuação de 61 pontos. Em seguida, o tubulão a céu aberto atingiu uma nota de 50 pontos e, na sequência, o tubulão

pelo método de alargamento mecanizado de base com 25 pontos o que refere-se a 59% abaixo da nota do primeiro tubulão mencionado e 50% abaixo que a pontuação do segundo tubulão analisado.

Devido ao processo de execução do método mecanizado de abertura de base não necessitar que o operário desça até a cota de assentamento do tubulão e fique exposto ao cenário que os outros tubulões exigem do trabalhador, pode-se eliminar alguns fatores de riscos apresentados nos quadros de tubulão pneumático e a céu aberto, tornando o modelo mecanizado uma escavação mais segura, colaborando para com que os trabalhadores envolvidos tenham sua vida preservada.

Conforme o Quadro 13, observa-se então que o modelo de tubulão com o alargamento mecanizado da base reduz drasticamente os riscos de acidentes, viabilizando portanto o uso do equipamento, e visando a disseminação dos resultados da análise, proporcionando maior conhecimento à população, já que este é um método pouco conhecido em algumas regiões do Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca incessante por novas tecnologias é uma tendência de muitos países, inclusive o Brasil, que apesar da crise econômica que o país enfrenta, apresenta-se como uma nação que está sempre inovando e trazendo técnicas que possam, de alguma forma, melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Como podemos observar, a nova técnica mecanizada de alargamento de base dos tubulões é um importante passo no desenvolvimento tecnológico e, principalmente, uma grande evolução no sentido de preservar a vida humana, garantindo, portanto, um ambiente de trabalho mais seguro, eficaz, além de otimizar o processo executivo de tubulões.

No estudo realizado, foi feito um levantamento de todas as etapas do processo executivo dos tubulões, possibilitando a condução de uma análise dos possíveis riscos de acidentes no ambiente de trabalho e propondo medidas preventivas para amenizar tais riscos.

Como analisado anteriormente, conclui-se que o método de abertura mecanizada de base dos tubulões é um procedimento mais seguro pois, de acordo com os resultados obtidos, acredita-se que este procedimento de escavação seja o que possui menos riscos à saúde humana e garante maior segurança ao trabalhador.

No quadro de classificação de riscos identificados, pode-se apresentar algumas variações na nota peso das categorias de frequência e severidade, pois os valores atribuídos a cada item de risco foi baseado em um senso comum dos autores. Portanto, fica então uma oportunidade para que novos trabalhos sejam realizados visando a complementação deste estudo ou um possível tema para outros trabalhos.

Para pesquisas futuras, é interessante que se faça uma análise de custos e produtividade de cada elemento de fundação profunda citado no estudo, possibilitando uma análise mais completa do gestor em relação a riscos, produtividade e aos custos.

Visto o número de acidentes que ainda ocorrem em escavações de fundações profundas, associados a negligência, ou seja, no oferecimento de condições de trabalho inseguras, falta de treinamento e utilização dos

equipamentos de segurança que podem potencializar os níveis de riscos, o estudo buscou trazer uma nova tecnologia com a finalidade de prevenir, inibir ou anular possíveis acidentes que possam ocorrer no ambiente de trabalho, bem como garantir a saúde e a segurança para o trabalhador.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Tubulões sob ar comprimido**. 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/prod/e/tubuloes-sob-ar-comprimido_5257_4584>. Acesso em: 2 jun. 2019.

ALVES, M. M. P.; FORNARI, J. V.; BARBABÉ, A. S.; NOGUEIRA, R. R.. Pesquisa revela desconhecimento de segurança para trabalho em ambientes pressurizados. **Revista Proteção**. Disponível em: <http://www.protecao.com.br/noticias/leia_na_edicao_do_mes/pesquisa_revela_desconhecimento_de_seguranca_para_trabalho_em_ambientes_pressurizado_s_/Any5AAja/12494>. Acesso em: 11 nov. 2019.

AMORIM, E. L. C. **Apostila de ferramentas de análise de risco**. Engenharia Ambiental. UFAL. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=Ferramentas+de+Análise+de+Risco.+Apostila+do+curso+de+Engenharia+Ambiental+da+Universidade+Federal+de+Alagoas&rlz=1C1EJFC_enBR810BR810&oq=Ferramentas+de+Análise+de+Risco.+Apostila+do+curso+de+Engenharia+Ambiental+da+Universidade+Federal+de+Alagoas&aqs=chrome..69i57.829j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 31 de out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA, ABEF. **Manual de execução de fundações e geotecnia: práticas recomendadas/ ABEF** - São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ARGON PERFURAÇÃO E SONDAGEM. **Sondagem SPT**. 2017. Disponível em: <<http://www.aragonsondagens.com.br>>. Acesso em: 1 nov. 2019.

BASESTRAUSS. **Engenharia e Estaqueamento**. Disponível em: <<http://www.basestrauss.com.br/tubulao.html>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Guia técnico NR-33**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego. 2013.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Atividades e operações insalubres**. Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. Brasília, Ministério do

Trabalho e Emprego, 2018. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR18.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2019.

CARNEIRO, B. J. I. **Comportamento de tubulões a céu aberto, instrumentos, em solo não saturado, colapsível**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

CESARO, L. R. **Adaptação das técnicas APR e HAZOP ao sistema de gestão de segurança do trabalho e meio ambiente**. 85 p. Monografia (Especialista em Engenharia) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba. 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1563/1/CT_CEEEST_XXV_2013_40.pdf>. Acesso em 1 de nov. 2019.

CONSTRUÇÃO CIVIL TIPS. **Blog do Engenheiro Civil**. Disponível em: <<https://construcaociviltips.blogspot.com/2013/03/tubuloes-ar-comprimido.html>>. Acesso em: 18 set. 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Guia para gestão de segurança nos canteiros de obras**. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_para_gestao_seguranca_nos_canteiros_de_obras_2017.pdf>. Acesso em: 26 out. 2019.

ENGENHARIA CONCRETA. Tubulão a céu aberto: processo executivo e dicas práticas. **Fundação e Contenção**. 2017. Disponível em: <<https://engenhariaconcreta.com/tubulao-a-ceu-aberto-processo-executivo/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

FATEC. Faculdade de Tecnologia de São Paulo. **Fundações Profundas, tubulões a céu aberto e a ar comprimido**. 2014. Disponível em: <<http://edificios.eng.br/TUBULOES%20seg%20sem%202014.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2019.

HENNEBERG, F. A. **Riscos em execução de fundações** – Roteiro para gestão de saúde e segurança em execuções de escavações e de fundações. Ponta Grossa, 2013.

JUNIOR, L. A. N. **Procedimento executivo de escavação de tubulão a ar comprimido executado com camisa de concreto armado**, 2017. Anais...Juiz de Fora, 2017.

KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. C. **Mecânica dos Solos**, 8ª ed.

LUCENA, Felipe. **História da construção da ponte rio-niterói**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://diariodorio.com/historia-da-construcao-da-ponte-rio-niteroi/>>. Acesso em 15 de agosto de 2019.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

PAULA, C. F.; FERRAZ, M. C.; SANTOS, P. D. **Estudo comparativo dos riscos na execução de fundações profundas: tubulões, estacas cravadas e estacas escavadas**. 68f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

PEREIRA, C. **Fundações Profundas**. Escola Engenharia, 2016. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

PEREIRA, C. **Tubulão a ar comprimido**. Escola Engenharia, 2015. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ar-comprimido/>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

PERSOLO. **Tubulões mecanizados**. 2019. Disponível em: <<https://www.persolo.com.br/2019/07/25/tubuloes-mecanizados-fuste-e-base/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

RIBEIRO, B. C. M. **Fundações Profundas e Especiais**. Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Material Didático de Disciplina de Pós-Graduação Lato Sensu. 2017. Disponível em: <https://www.academia.edu/36683855/Fundacoes_Profundas_e_Especiais_Fina>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA – SESI. Departamento Nacional – DN. **Manual de segurança e saúde no trabalho para escavação na indústria da construção/Serviço Social da Indústria**. – Brasília: SESI/DN, 2019. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/03/ed/03ed6c9f-af16-4cf8-a7f8-8af8c2e0d3d4/manual_de_sst_para_escavacao_na_industria_da_construcao.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

TEIXEIRA, W. R. **Tubulões mecanizados** – Processo executivo. São José dos Campos. Disponível em: <<file:///C:/Users/rmeir/Desktop/referencias%20tcc/WO2013110148A1%20patente.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

TRIBUNA DE MINAS. Trabalhador morre soterrado em obra no Bairro Bom Pastor. **Caderno de Notícias**. 2019. Disponível em: <<https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/26-03-2019/trabalhador-e-soterrado-em-obra-no-bairro-bom-pastor.html>>. Acesso em: 12 set. 2019.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VERONEZI, C. **Análise preliminar de risco na manutenção predial de uma instituição federal de ensino superior**. Curitiba, 2014 Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3468/1/CT_CCEEST_XXVII_2014_06.pdf> Último acesso em: 03 de nov. de 2019.