



2026

Planilha eletrônica para o dimensionamento de ancoragens em tubulações sob pressão

Pedro Henrique Ribeiro de Freitas ^a; Andrés Batista Cheung ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, pedro.h.freitas@ufms.br

^b Professor Orientador, Doutor, andres.cheung@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma planilha eletrônica, elaborada em software Excel, voltada à análise e o dimensionamento automatizado de blocos de ancoragem para tubulações pressurizadas em sistemas de abastecimento de água. A metodologia de desenvolvimento incluiu a implementação de rotinas de cálculo para solos coesivos e não coesivos, além de uma interface interativa que gera resultados de cálculo detalhados, e baseou-se nas diretrizes da norma NBR 13211:1994, que trata do dimensionamento de ancoragens para tubulações. Para validar a eficácia da ferramenta, foi realizado estudo de caso e uma análise comparativa com o método analítico de Lasmar (2003), demonstrando a precisão dos resultados e a aderência às normas vigentes. Os resultados evidenciam que a planilha otimiza significativamente o processo de projeto, reduzindo a probabilidade de erros nos cálculos manuais e proporcionando rapidez na análise de diferentes cenários construtivos. Conclui-se que o desenvolvimento desta ferramenta representa um recurso valioso para a engenharia de infraestrutura, promovendo eficiência técnica e segurança estrutural de forma prática e otimizada.

Palavras-chave: blocos de ancoragem, empuxo hidráulico, dimensionamento.

ABSTRACT

This work presents the development of an electronic spreadsheet, created in Excel software, aimed at the automated analysis and design of thrust blocks for pressurized pipelines in water supply systems. The development methodology included the implementation of calculation routines for cohesive and non-cohesive soils, as well as an interactive interface that generates detailed calculation results, based on the guidelines of the NBR 13211:1994 standard, which covers the design of pipeline anchorages. To validate the tool's effectiveness, a case study and a comparative analysis with Lasmar's analytical method were conducted, demonstrating the precision of the results and adherence to current standards. The results show that the spreadsheet significantly optimizes the design process, reducing the likelihood of manual errors and providing speed in the analysis of different construction scenarios. It is concluded that the development of this tool represents a valuable resource for infrastructure engineering, promoting technical efficiency and structural safety in a practical and optimized manner.

Keywords: Thrust Blocks, hydraulic forces, design.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de fluidos por meio de tubulações é um dos pilares da infraestrutura de saneamento, energia e processos industriais. Além de garantir o deslocamento eficiente de água, gás ou outros líquidos, esses sistemas precisam assegurar condições de operação seguras e duráveis. Dentro desse contexto, as ancoragens assumem papel fundamental, pois são responsáveis por resistir aos esforços gerados pela pressão interna, mudanças de direção, conexões

e variações dinâmicas de vazão. Uma falha nesse dimensionamento pode comprometer não apenas a integridade da tubulação, mas também provocar acidentes, desperdícios e elevados custos de manutenção.

A NBR 13211 (ABNT, 1994) estabelece procedimentos para o dimensionamento de ancoragens em tubulações pressurizadas, fornecendo critérios de cálculo e parâmetros de segurança indispensáveis para projetos confiáveis. No entanto, a aplicação prática dessas recomendações pode se

tornar trabalhosa, especialmente quando se considera a diversidade de cenários de instalação e a necessidade de comparar diferentes alternativas construtivas. Nesse cenário, as ferramentas computacionais oferecem suporte decisivo ao engenheiro, permitindo agilizar cálculos, reduzir erros e uniformizar critérios de análise.

De acordo com Tsutiya (2006), a correta concepção e execução de sistemas de abastecimento de água envolve não apenas o dimensionamento hidráulico, mas também a atenção a aspectos estruturais e construtivos, entre os quais as ancoragens ocupam posição de destaque. A integração entre fundamentos teóricos, normas técnicas e recursos computacionais cria, assim, um ambiente propício para a melhoria contínua dos projetos de engenharia civil.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma planilha eletrônica para o dimensionamento de ancoragens em tubulações sob pressão. A ferramenta proposta busca simplificar a aplicação da norma, possibilitar a comparação entre métodos e fornecer ao projetista um recurso confiável para a tomada de decisão. A partir da análise de diferentes situações de projeto, pretende-se avaliar a eficiência da planilha, verificar sua aderência às normas vigentes e discutir as vantagens práticas de sua utilização. O presente estudo delimita-se à análise de esforços e dimensionamento de blocos de ancoragem aplicados a conexões no plano horizontal em solos coesivos e não coesivos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo discute a base teórica e normativa que sustenta o dimensionamento de ancoragens em sistemas de tubulação. São apresentados conceitos fundamentais, diretrizes de normas da ABNT e contribuições de autores que auxiliam na consolidação do conhecimento necessário para a análise dos casos estudados.

2.1. Determinação do empuxo

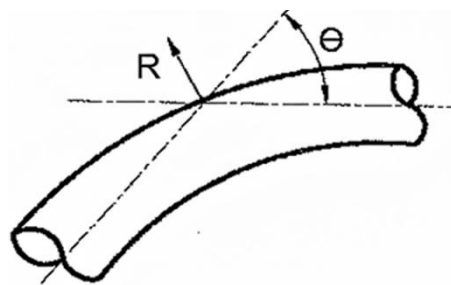
O empuxo é determinado a partir da variação da quantidade de movimento do fluido entre duas seções da tubulação, levando em conta as pressões e as velocidades médias de entrada e saída. Conforme estabelece a NBR 13211 (ABNT, 1994), no dimensionamento de redes de distribuição é possível simplificar as equações quando a deflexão ocorre no plano horizontal e os valores de vazão (Q), velocidade (V) e pressão de cálculo (p) são reduzidos, de modo que o termo pQV possa ser desconsiderado em relação à grandeza pS , onde S representa a área da seção transversal da tubulação. Para fins acadêmicos,

adotaram-se valores pequenos de Q e V a fim de permitir essa simplificação.

2.1.1. Curva

Na curva, a água, ao tentar manter sua trajetória retilínea, exerce uma força na parede externa da curva. O empuxo resultante aponta para fora da bissetriz do ângulo, tentando "abrir" a curva e deslocar o tubo lateralmente, observado na figura 1.

Figura 1 – Representação de uma curva. Fonte: Tsutiya, 2006



$$R = 2pS \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

Sendo:

R é o empuxo a ser resistido pelo bloco [N];

p é a pressão de cálculo [Pa];

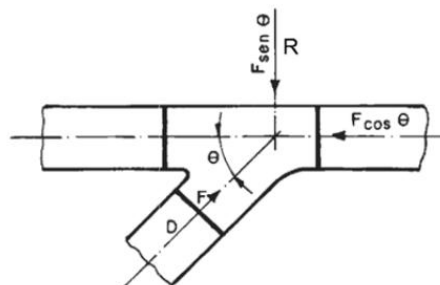
S é a área da seção [m²].

θ é o ângulo da curva [°].

2.1.2. Junção

O esforço é resultado da combinação dos vetores de pressão e velocidade de cada ramo. A força tende a deslocar a peça na direção da resultante desses fluxos, representado na figura 2.

Figura 2 – Representação de uma junção. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)



$$F = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (2)$$

$$R = F \sin(\theta) \quad (3)$$

Resultando, assim, para R:

$$R = \frac{\pi D^2}{4} p \sin(\theta) \quad (4)$$

Sendo:

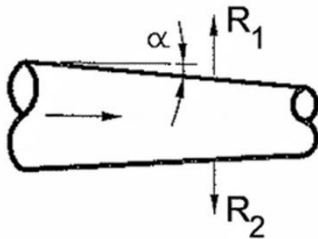
F é a força no conduto de entrada da junção [N];

D é o diâmetro interno do ramo de entrada [m].

2.1.3. Redução de seção:

Como a pressão interna atua em áreas diferentes, surge um desequilíbrio na "parede" inclinada da redução. A força resultante atua no sentido do tubo de menor diâmetro, gerando tração e tendendo a desconectar as bolsas, conforme a figura 3.

Figura 3 – Representação de uma redução de seção.
Fonte: Tsutiya, 2006



$$R = \frac{\pi p}{4} (D^2 - d^2) \quad (5)$$

Sendo:

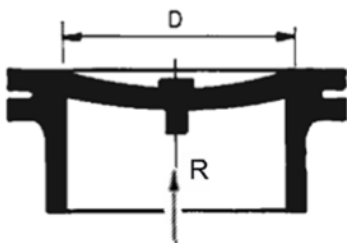
D é o diâmetro interno maior [m];

d é o diâmetro interno menor [m].

2.1.4. Flange cego

No flange cego, o fluxo é interrompido totalmente. A pressão hidrostática age integralmente sobre a face interna do tampão, gerando uma força de "arrancamento" longitudinal que tenta expulsar a peça da ponta do tubo, representado na figura 4.

Figura 4 – Representação de um flange cego. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)



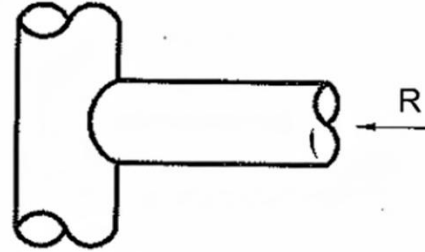
$$R = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (6)$$

2.1.5. Tê

A pressão da água atua na parede interna do Tê que fica exatamente oposta à saída lateral. Isso gera um

empuxo que tenta empurrar a conexão para longe da derivação, podendo causar o desalinhamento da linha principal, observado na figura 5.

Figura 5 – Representação de um tê. Fonte: Tsutiya, 2006



$$R = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (7)$$

2.2. Classificação das ancoragens

A classificação das ancoragens é definida pela norma técnica a partir de dois critérios complementares. O primeiro considera o plano de deflexão da tubulação, que pode ocorrer no sentido horizontal ou vertical. O segundo leva em conta a natureza do solo, distinguindo entre terrenos de comportamento coesivo e não coesivo.

No caso das ancoragens em que a deflexão se desenvolve no plano vertical, a norma estabelece três categorias principais, conforme as forças predominantes e o mecanismo de estabilização empregado: comprimidas, tracionadas e com tirantes.

2.3. Dimensionamento do bloco de ancoragem

Inicialmente, deve-se definir o plano de deflexão trabalhado, horizontal ou vertical e o tipo de terreno, coesivo ou não coesivo.

2.3.1. Deflexão no plano horizontal em terrenos sem coesão

No plano horizontal, o comportamento de solos sem coesão exige que a estabilidade seja buscada na relação direta entre peso e atrito. Como o solo não oferece resistência adesiva, o bloco de ancoragem deve atuar como um anteparo gravitacional, transformando sua massa em resistência lateral.

Para facilitar a visualização da dinâmica entre as forças hidráulicas e a resistência do solo, as figuras 6 e 7 apresentam a esquematização detalhada dos esforços que solicitam tanto a tubulação quanto o bloco de ancoragem.

Figura 6 – Representação em planta de uma deflexão no plano horizontal em terreno sem coesão. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)

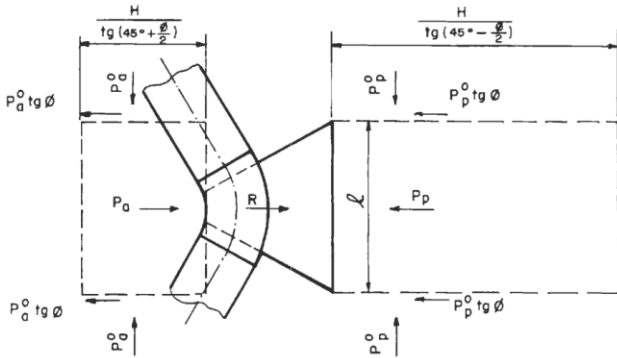
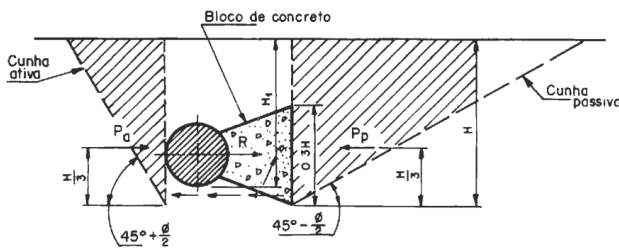


Figura 7 – Representação em corte de uma deflexão no plano horizontal em terreno sem coesão. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)



2.3.1.1. Cálculo do empuxo ativo e passivo do solo

Segundo as diretrizes propostas pela NBR 13211 (ABNT, 1994), o cálculo para a determinação do empuxo ativo é definido pela seguinte expressão:

$$P_a = K_a \left(\frac{\gamma t}{2} \right) H^2 l \quad (8)$$

Já para o empuxo negativo, têm-se:

$$P_p = K_p \left(\frac{\gamma t}{2} \right) H^2 l \quad (9)$$

Sendo:

K_a é o coeficiente do empuxo ativo;
 K_p é o coeficiente do empuxo passivo;
 γ_t é o peso específico do solo [N/m³];
 l é a largura do bloco [m];
 H é a profundidade total do bloco [m].

Desse modo, os empuxos dependem diretamente dos coeficientes do empuxo ativo e passivo que são calculados conforme as equações abaixo:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (10)$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (11)$$

Sendo:

ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

2.3.1.2. Cálculo das forças de resistência do solo P_p^0 e P_a^0

Além da resistência de base, o sistema também conta com o efeito do cisalhamento lateral nas faces da cunha passiva. Esse esforço é provocado pela pressão de terra em repouso e contribui para a estabilidade da estrutura, sendo quantificado da seguinte forma:

$$P_p^0 = \frac{H^3 \gamma_t K_0}{6 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)} \quad (12)$$

Para o caso da cunha ativa, além da força principal P_a , também é necessário contabilizar a resistência de cisalhamento lateral que se opõe ao deslocamento. A grandeza desse esforço é calculada conforme a expressão abaixo:

$$P_a^0 = \frac{H^3 \gamma_t K_0}{6 \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (13)$$

Sendo:

H é a profundidade total do bloco [m].
 γ_t é o peso específico do solo [N/m³];
 K_0 é o coeficiente de empuxo no repouso;
 ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

Porém, este último só será contabilizado na composição de forças se a seguinte condição for atendida:

$$2P_a^0 \tan \phi > P_a \quad (14)$$

2.3.2. Deflexão no plano horizontal em terrenos com coesão

Para o dimensionamento em solos coesivos, a resistência intrínseca do material passa a influenciar diretamente os resultados da deflexão horizontal. Nesses casos, a formulação é ajustada para considerar a contribuição da coesão no equilíbrio de forças da cunha. As Figuras 8 e 9 detalham a esquematização dos esforços atuantes no solo.

Figura 8 – Representação em corte de uma deflexão no plano horizontal em terreno com coesão. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)

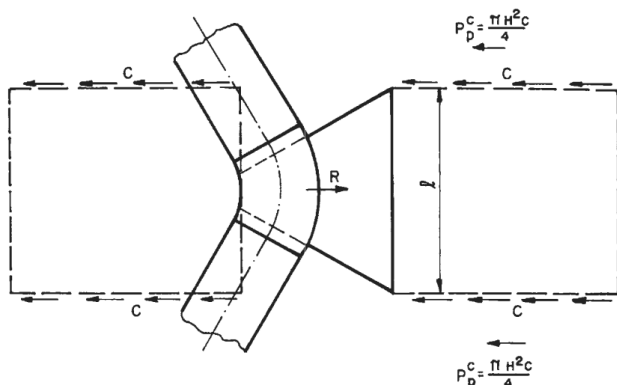
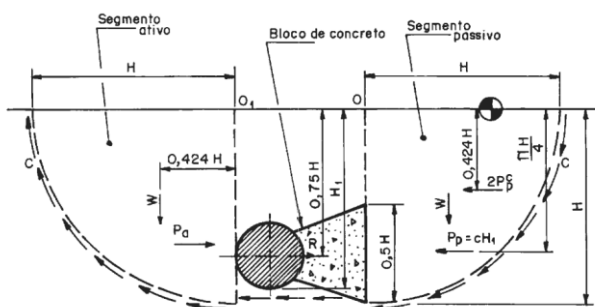


Figura 9 – Representação em corte de uma deflexão no plano horizontal em terreno com coesão. Fonte: NBR 13211 (ABNT, 1994)



2.3.2.1 Verificação do equilíbrio das forças horizontais e do momento do sistema

Para garantir a segurança do dimensionamento, é necessário validar o equilíbrio do conjunto. As condições de equilíbrio para forças horizontais e momentos são verificadas conforme as equações abaixo:

$$\sum F_H = 0 \therefore R + P_a - P_p - 2P_p^c = 0 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \sum M = 0 \therefore & R \cdot 0,75H + 0,25HP_a \\ & - 0,25HP_p - 0,828P_p^c H \\ & - 0,424W_t H = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Tabela 3 – Valores de c , γ_t e Z_0 . Fonte: Adaptado de NBR 13211 (ABNT, 1994)

Parâmetros	Silte		Argila Arenosa		Argila recente mole		Argila compacta		Unidades
ϕ	30	35	26	30	16	28	12	18	Graus
c	9,81	29,42	19,61	49,03	4,90	49,03	49,03	19,61	kPa
γ_t	14700	14700	17600	17600	18600	18600	19600	20600	N/m ³
Z_0	2,31	7,68	4,27	9,61	0,7	11,09	6,17	26,2	m

Sendo:

P_a é o empuxo ativo [N];

P_p é o empuxo passivo [N];

P_p^c é a resistência total do solo agindo do lado empuxo passivo devido à coesão das bases do cilindro passivo com o terreno adjacente [N];

W_t é o peso do terreno sobre o bloco [N];

γ_t é o peso específico do terreno [N/m³].

$$W_t = \frac{\pi H^2}{4} L \gamma_t \quad (17)$$

Conforme recomendado por Tsutiya (2006), adota-se um fator de segurança $FS \geq 1,5$ para a verificação da estabilidade ao tombamento, garantindo que o momento estabilizante supere as solicitações de tombamento.

Para os próximos cálculos, é utilizado a tabela 3 para a obtenção dos valores da coesão (c), peso específico do terreno e a altura-limite para não haver empuxo ativo (Z_0) a partir do coeficiente de atrito interno do solo (ϕ).

2.3.2.2 Cálculo do empuxo passivo

O empuxo passivo surge como uma reação do terreno à pressão exercida pela face frontal da ancoragem, mobilizando a capacidade de carga do solo à frente da estrutura, sendo expresso por:

$$P_p = cHL \quad (18)$$

2.3.2.3 Cálculo da força da base do cilindro (P_p^c)

A estabilidade horizontal do bloco também depende da força de resistência gerada na sua base, e a formulação proposta pela norma para essa componente de resistência é apresentada na expressão:

$$P_p^c = \frac{\pi H^2}{4} c \quad (19)$$

Sendo:

c é a coesão do solo [kPa].

2.3.2.4 Cálculo do empuxo ativo

$$Z_0 = \frac{2c}{\gamma_t} \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (20)$$

Em casos de argila pura, onde o ângulo de atrito é nulo ($\phi = 0$), a formulação é simplificada para a seguinte expressão:

$$Z_0 = \frac{2c}{\gamma_t} \quad (21)$$

Após determinar a profundidade Z_0 , realiza-se a comparação com a profundidade do bloco (H), se $H > Z_0$, a força horizontal do cilindro ativo deve ser integrada às equações 16 e 17, sendo calculada por:

$$P_a = \frac{1}{2} (\gamma_t l - \pi c) (H - Z_0)^2 \quad (22)$$

Caso $H \leq Z_0$, essa força é desprezível e não impacta o equilíbrio.

2.4. Cálculo por métodos analíticos complementares

Embora a NBR 13211 (ABNT, 1994) estabeleça as diretrizes normativas para o dimensionamento de blocos de ancoragem no Brasil, a literatura técnica oferece abordagens analíticas consagradas que permitem uma análise comparativa de segurança e eficiência. Nesse contexto, destaca-se o método proposto por Lasmar e suas adaptações sugeridas pela literatura, que será apresentado a seguir como base de validação para os resultados obtidos pela norma.

2.4.1 Cálculo do empuxo hidráulico

Dentro da abordagem proposta por Lasmar (2003), o ponto de partida é a definição das cargas hidráulicas atuantes na conexão. Conforme orientam Silva et al. (2017), para o cálculo do empuxo hidráulico resultante (E_H) em curvas horizontais, utiliza-se a seguinte formulação:

$$E_H = 2p \frac{\pi D_e^2}{4} \sin \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (23)$$

Sendo:

p é a pressão interna máxima [Pa];

D_e é o diâmetro externo da tubulação [m];

θ é o ângulo da conexão.

2.4.2 Cálculo do peso do bloco de concreto

O peso do bloco de concreto atua como elemento estabilizador, sendo calculada a partir do volume geométrico da estrutura e do peso específico do

concreto utilizado, sendo expressa pela seguinte relação matemática:

$$P_B = \gamma_c ABH \quad (24)$$

Sendo:

P_B é o peso do bloco de concreto [kN];

γ_c é o peso específico do concreto [kN/m³];

A é a profundidade do bloco [m];

B é a largura do bloco [m];

H é a altura do bloco [m].

2.4.3 Cálculo do peso do aterro

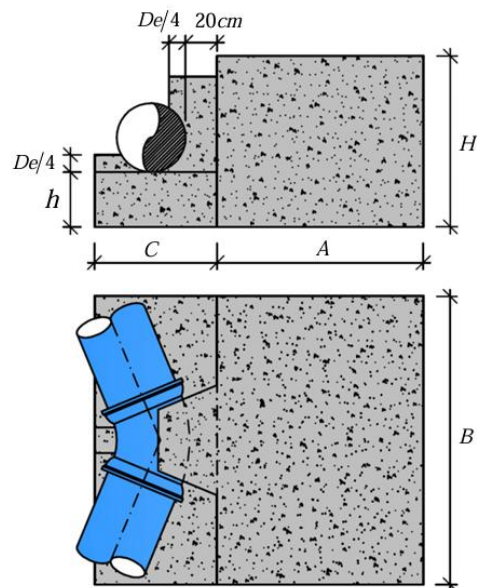
$$P_A = \gamma_{solo} V \quad (25)$$

Sendo:

V é o volume de aterro acima do bloco [m³].

A geometria do bloco de ancoragem é detalhada na Figura 10.

Figura 10 – Representação do bloco de ancoragem. Fonte: Silva et al. (2017)



2.4.4 Empuxo da água

Em cenários quando o bloco de ancoragem está abaixo do nível do lençol freático, a água exerce uma pressão que tenta 'empurrar' a estrutura para cima. É vital quantificar esse empuxo para não superestimar a segurança do projeto. Há 3 cenários possíveis para a estrutura: a ausência de água, a submersão parcial ou a submersão total do bloco.

Quando há a ausência do lençol freático, adota-se a seguinte relação:

$$E_A = 0 \quad (26)$$

Caso o bloco esteja totalmente submerso:

$$E_A = \gamma_{\text{água}} V \quad (27)$$

Sendo:

V é o volume de aterro acima do bloco [m³].

E por fim, caso o bloco esteja parcialmente submerso:

$$E_A = \gamma_{\text{água}} V_{\text{molhado}} \quad (28)$$

Sendo:

$\gamma_{\text{água}}$ é o peso específico da água [kN/m³];

V_{molhado} é o volume molhado do bloco [m³].

2.4.5 Força de atrito entre o bloco e o solo

A estabilidade ao deslizamento é complementada pela força de atrito entre a base da ancoragem e o solo. Esta componente resistente é calculada relacionando o peso efetivo do conjunto ao ângulo de atrito entre o concreto e o solo, conforme a expressão abaixo:

$$F_{AT} = (P_B - E_A) \tan(\phi') \quad (29)$$

Sendo:

ϕ' é o ângulo de atrito entre o concreto e o solo [°].

Quanto ao ângulo de atrito, Netto (2018) e Lasmar (2003) estabelecem que, na ausência de dados específicos, deve-se adotar ϕ' igual ou menor ao ângulo de atrito do solo, ϕ .

2.4.6 Empuxo passivo do terreno

Conforme já fundamentado, o empuxo passivo é a reação do solo que segura o bloco. No método de Lasmar, essa força é quantificada de forma direta pela expressão:

$$F_P = \frac{P_1 + P_2}{2} HB \quad (30)$$

Sendo:

P_1 é o empuxo passivo na parte superior do bloco [kN];

P_2 é o empuxo passivo na parte inferior do bloco [kN];

Para o cálculo do empuxo passivo na parte superior e inferior do bloco, aplicam-se as seguintes expressões:

$$P_1 = \gamma_{\text{solo}} h_{\text{aterro}} \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad (31)$$

$$P_2 = \gamma_{\text{solo}} (h_{\text{aterro}} + H) \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad (32)$$

Sendo:

h_{aterro} é a altura da camada de aterro acima do bloco [m];

2.4.7 Verificação das condições de equilíbrio

A verificação assegura que a resistência oferecida pelo solo e pelo peso do bloco é superior aos esforços causados pelas solicitações impostas pelo fluxo e pela pressão da rede, garantindo a estabilidade total do sistema.

Em termos de viabilidade técnica e econômica, Silva et al. (2017) ressaltam que a construção de blocos de ancoragem pode ser dispensada caso a resistência natural do trecho da tubulação seja suficiente para equilibrar os esforços. Essa condição de dispensa é verificada quando a seguinte equação é satisfeita:

$$\sigma_{EH} = \frac{E_H}{50 \text{ cm } D_e} \leq \sigma_{H,ADM} \quad (33)$$

O valor de 50 cm, na equação 33, é uma constante de Lasmar para fins de verificação de tensões localizadas. Para casos que não há o valor da tensão horizontal admissível, adota-se $\sigma_{H,ADM}$ igual a 100 kN/m², estabelecido por Netto (2018).

Conforme a metodologia de Lasmar (2003), a estabilidade total do sistema é garantida pelo atendimento das condições de equilíbrio ao deslizamento, horizontal e vertical, e ao tombamento, cuja expressões estão apresentadas a seguir:

$$\frac{F_{AT}}{\gamma_E} + \frac{F_P}{\gamma_S} \geq E_H \quad (34)$$

É necessário a verificação do volume mínimo do bloco de ancoragem para garantir peso suficiente para contrabalancear as componentes verticais e horizontais, através da equação:

$$V_{\text{mín}} = \frac{\gamma_E}{\gamma_c \tan(\phi')} \left(E_H - \frac{F_P}{\gamma_S} \right) + \frac{E_A}{\gamma_S} \quad (35)$$

Por fim, a verificação da tensão vertical assegura que a pressão exercida pelo peso total do sistema não ultrapasse a capacidade de carga, tensão admissível,

do solo de fundação, evitando o afundamento da ancoragem.

$$\sigma_V = \frac{P_B}{AB} \left(1 + \frac{6e}{A} \right) + \frac{P_A}{AB} \leq \sigma_{V,ADM} \quad (36)$$

E para casos que não há o valor da tensão vertical admissível, adota-se $\sigma_{V,ADM}$ entre 120 e 1000 kN/m², estabelecido por Netto (2018).

3. METODOLOGIA

O presente capítulo detalha o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento da ferramenta de dimensionamento de blocos de ancoragem. O trabalho estruturou-se em três etapas: a sistematização das formulações matemáticas e critérios normativos, a implementação lógica desses parâmetros em ambiente de planilha eletrônica e a validação do instrumento por meio de um estudo de caso comparativo.

3.1. Revisão bibliográfica do procedimento de cálculo

A primeira etapa do trabalho consistiu na sistematização da memória de cálculo para o dimensionamento de blocos de ancoragem. O desenvolvimento baseou-se rigorosamente nas diretrizes da NBR 13211 (ABNT, 1994), que estabelece os critérios para ancoragem de tubulações sob pressão.

A memória de cálculo automatizada foi estruturada para processar variáveis como a pressão de serviço, diâmetro da tubulação e geometria das conexões (curvas, tês e reduções). No que tange à geotecnia, o modelo considera as propriedades de solos coesivos e não coesivos, calculando as tensões admissíveis e a resistência passiva do solo para garantir os fatores de segurança contra o deslizamento e tombamento do bloco.

3.2. Implementação da planilha e interface

A segunda etapa compreendeu o desenvolvimento da ferramenta computacional em software Microsoft Excel, utilizando exclusivamente funções nativas e fórmulas lógicas, sem a necessidade de programação em VBA, o que confere maior leveza e compatibilidade ao arquivo.

A interface foi projetada em uma aba única, organizada de forma intuitiva, facilitando a interação do usuário com a ferramenta.

O fluxo de trabalho inicia-se na seção de entrada de dados, composta por células destacadas na cor azul, onde o usuário insere os parâmetros do projeto. Para

mitigar erros de digitação e padronizar as entradas, foram implementadas listas de seleção suspensas, via validação de dados, para a escolha do tipo de solo e da geometria da conexão.

No que diz respeito ao processamento, para o cálculo de valores que exigem interpolação linear, foram desenvolvidas células de suporte ocultas na estrutura da planilha. Estas células realizam o processamento intermediário de tabelas normativas de forma automatizada, mantendo a interface limpa.

A planilha executa uma verificação de empuxo lateral, ela possui uma rotina lógica que compara a profundidade total do bloco com a altura limite crítica. Esta verificação determina automaticamente a ocorrência ou não de empuxo passivo lateral, garantindo que o cálculo de estabilidade considere as condições reais de soterramento da peça.

Por fim, o módulo de saída de resultados apresenta os resultados em células na cor cinza, exibindo as dimensões finais do bloco e os status de aprovação ("Atendido" ou "Não atendido") em relação às tensões e esforços solicitantes.

3.3. Validação

Para o dimensionamento da ancoragem, os parâmetros iniciais de cálculo foram baseados no estudo de MEDEIROS (2021).

O cenário modelado compreende uma conexão em curva de 90°, operando sob uma pressão de projeto de 810 kPa, em uma tubulação de diâmetro nominal interno de 500 mm e externo de 532 mm.

Quanto as características geotécnicas do local, considerou-se um solo do tipo silte, com ângulo de atrito interno de 32°, peso específico do solo de 17 kN/m³, altura do aterro de 0,8 m, além de tensões admissíveis horizontal e vertical de 100 kN/m² e 200 kN/m², respectivamente.

A profundidade do lençol freático é de 0,85 m.

Em relação ao bloco de ancoragem, adotaram-se as dimensões de 3,0 m para a profundidade total e 3,0 m para o comprimento, considerando o peso específico do concreto igual a 24 kN/m³ e o ângulo de atrito na interface concreto-solo de 30°.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos com o desenvolvimento da ferramenta computacional e a análise de sua eficácia técnica. Inicialmente, descreve-se a interface da planilha e suas funcionalidades de interação com o usuário. Na

sequência, apresenta-se a validação dos cálculos por meio de um estudo de caso prático, confrontando os valores gerados pela ferramenta com o método analítico de Lasmar (2003), a fim de verificar a precisão dos resultados e a aderência às normas de segurança vigentes.

4.1. Planilha

A interface foi planejada para permitir simulações de diferentes tipos de solo e conexões, sendo estruturada para receber, como dados de entrada, as propriedades geotécnicas do terreno e as dimensões geométricas do bloco, com as suas respectivas unidades, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de entrada. Fonte: Autor.

Conexão	Curva
Ângulo da conexão (°)	90
Pressão interna máxima (P) [Pa]	810000
Diâmetro do tubo (D) [mm]	500
Diâmetro do tubo menor (d) [mm]	-
Tipo de solo	Silte
Ângulo de atrito (°)	32
Profundidade total do bloco (H) [m]	3
Comprimento do bloco (L) [m]	3

Concluída a etapa de entrada, a ferramenta gera a memória de cálculo dos esforços conforme ilustrado na tabela 5.

Tabela 5 – Dados de saída. Fonte: Autor.

Empuxo (kN)	224,92
Coesão (kPa)	18
Peso específico (γ_t) [N/m ³]	14700
Altura-limite para não haver empuxo ativo (Z_0) [m]	4,46
Empuxo Passivo (P_p) [kN]	158,89
Força da base do cilindro (P_p^c) [kN]	124,79
Peso do terreno sobre o bloco (W_t) [kN]	311,72

A partir do cálculo da altura-limite, a ferramenta realiza a comparação automática com a profundidade total do bloco. Este procedimento determina a existência ou não de pressão lateral no cilindro ativo, permitindo o cálculo do Empuxo Ativo correspondente, conforme detalhado na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de saída do empuxo ativo. Fonte: Autor.

Não há pressão lateral do cilindro ativo	
Empuxo Ativo (P_a) [N]	0

A etapa final do processamento consiste na verificação da estabilidade, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados de saída das verificações. Fonte: Autor.

Equilíbrio horizontal	Atendido
Equilíbrio Momento	Atendido

4.2. Validação

Para validar a eficácia da planilha desenvolvida sob a NBR 13211, foi realizada uma análise comparativa utilizando o Método de Lasmar (2003), cujas premissas teóricas foram apresentadas na seção 2.4 deste trabalho, e o resultado está apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Resultado pelo método de Lasmar (2003).
Fonte: Autor

Empuxo (E_h) [kN]	254,63
Braço de alavanca (h) [m]	0,666
Volume de aterro acima do bloco (V) [m ³]	7,20
Volume do bloco [m ³]	13,5
Peso do bloco de concreto (P_b) [kN]	324
Peso do aterro (P_a) [kN]	122,40
Empuxo da água (E_a) [kN]	127,89
Força de atrito (F_{at}) [kN]	113,22
P1 [kN/m ²]	44,26
P2 [kN/m ²]	127,25
Força resultante do empuxo passivo (F_p) [kN]	385,91
Tensão horizontal de cálculo [kN/m ²]	957,26
Dispensa da utilização de bloco de ancoragem	Não
Coeficiente de segurança (γ_e)	1,5
Coeficiente de segurança (γ_s)	2
Deslizamento horizontal	268,44
	Atendido
Volume mínimo de concreto (V_{min}) [m ³]	4,51
Escorregamento do bloco	Atendido
Excentricidade (e)	0
Tombamento do bloco	Atendido
Tensão vertical (σ_v) [kN/m ²]	49,6
Deslizamento vertical	Atendido

A comparação revelou que o método de Lasmar (2003) apresenta valores de empuxo passivo aproximadamente duas vezes maiores que os da planilha, pois é utilizado parâmetros geotécnicos mais conservadores, enquanto a planilha segue rigorosamente os critérios de equilíbrio de forças e momentos da NBR 13211 (ABNT, 1994). Portanto, a ferramenta é considerada validada por atender fielmente aos requisitos da norma brasileira.

5. CONCLUSÃO

Ao analisar os métodos de dimensionamento, conclui-se que a NBR 13211 (ABNT, 1994) desempenha um papel normativo essencial, estabelecendo os requisitos mínimos de segurança e garantindo a conformidade dos projetos com os padrões nacionais. No entanto, o método de Lasmar (2003) apresenta-se como um complemento indispensável por seu rigor analítico, detalhando as verificações de estabilidade ao tombamento e aos deslizamentos horizontal e vertical de forma mais detalhada. Observa-se que o dimensionamento realizado pelo método de Lasmar (2003) resultou em dimensões superiores às aquelas obtidas via NBR 13211 (ABNT, 1994). Essa divergência evidencia o caráter mais conservador da metodologia de Lasmar para as condições de contorno adotadas.

A ferramenta de cálculo desenvolvida neste trabalho atua como o elo entre essas duas abordagens. Ao automatizar o processo, a planilha oferece uma interface direta e intuitiva, onde a correta aplicação das unidades e a flexibilidade na escolha de conexões e tipos de solo permitem uma análise comparativa ágil. Mais do que apenas gerar resultados, a ferramenta assegura que os equilíbrios de forças respeitem margens de segurança rigorosas, integrando os parâmetros de Lasmar (2003) para oferecer um dimensionamento que é, simultaneamente, normatizado e tecnicamente otimizado.

Como ampliação deste trabalho, sugere-se a implementação de cálculos para solos heterogêneos (com camadas distintas), a inclusão de análise de custos de materiais e a abordagem probabilística do problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7675: tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água: requisitos. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13211: dimensionamento de ancoragens para tubulação: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.
- LASMAR, I. Ancoragens de tubulações com juntas elásticas. Rio de Janeiro: ABES, 2003
- MEDEIROS, K. K. da S. de. **Desenvolvimento de ferramenta computacional para o dimensionamento de blocos de ancoragem para tubulações sob pressão**. 2021. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/4554>. Acesso em: 08 dez. 2025.
- NETTO, J. M. A.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- SILVA, J. R. B.; MENDONÇA, G. F.; MODESTO, M. A.; AGRA, T. **Dimensionamento Otimizado de Blocos de Ancoragem para Tubulações sob Pressão**. In: 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2017, Bento Gonçalves. Anais [...]. Rio Grande do Sul: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017. p. 1-16.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.