



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÊYLLA CRISTINA VASCONCELOS BALTAZAR

**CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PARA CONTENÇÃO
UTILIZANDO O SOFTWARE GEO 5**

Caruaru

2023

ÊYLLA CRISTINAVASCONCELOS BALTAZAR

**CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PARA CONTENÇÃO
UTILIZANDO O SOFTWARE GEO 5**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. José Moura Soares

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, fonte inesgotável de força e sabedoria, por guiar meus passos e iluminar meu caminho ao longo desta jornada, mesmo quando me sinto menos merecedora.

À pessoa mais importante e especial da minha vida, minha mãe, Maria de Jesus, que sempre foi meu pilar de apoio, minha inspiração e meu exemplo de amor e dedicação. Sou profundamente grata por tudo que sou e por todas as conquistas que alcancei, pois são reflexos diretos da sua presença constante e amor incondicional.

À segunda pessoa mais importante da minha vida o meu irmão, Baltazar (agora ele se identifica pelo sobrenome), que tem sido um companheiro desde que nós éramos duas crianças dando nossos primeiros passos na vida. Juntos, crescemos e enfrentamos desafios, e sua presença é um grande presente.

À minha prima querida, Gizele, irmã de coração e confidente, que esteve sempre presente com palavras de encorajamento e amor, tornando minha jornada mais leve. Obrigada por ser parte tão essencial do meu caminho.

Às minhas melhores amigas, Ariely Myllena e Jéssica Fernanda, agradeço pela cumplicidade, por compartilharem risadas, lágrimas e conquistas, e por serem verdadeiros presentes em minha vida. Juntas, somos um time, não importa a distância que nos separe.

Ao meu orientar José Moura, expresso minha gratidão por toda paciência e dedicação que teve comigo, quando eu estava muito mais do que desmotivada. Obrigado por segurar minha mão e me dar apoio para que eu não desistisse.

A todos os professores da universidade, que compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo para minha formação acadêmica.

Ao Sr. Edimarques pela generosa disponibilização das tabelas que foram valiosas para este estudo. Sua contribuição foi essencial para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para o meu crescimento pessoal e profissional, oferecendo apoio, ensinamentos e oportunidades.

Em memória ao meu pai, cujo amor ainda ecoa em meu coração, agradeço por tudo o que me proporcionou em vida e por ser eternamente lembrado em minha jornada e lembranças.

A todos vocês, meu profundo agradecimento por fazerem parte desta trajetória, pelo apoio incondicional e pela fé depositada em mim. Juntos, chegamos nos sonhos que são atendidos.

Cálculo e dimensionamento de estruturas para contenção utilizando o software GEO 5

Calculation and design of structures for containment using the GEO 5 software

Êylla Cristina Vasconcelos Baltazar¹

RESUMO

As estruturas de contenção são obras de Engenharia Civil feitas com o objetivo de garantir a estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou de rochas, que podem vir a deformar excessivamente ou até mesmo colapsar, dependendo do quanto o equilíbrio natural desse maciço é afetado por movimentações de terra exercidas por escavações. Este trabalho pretende simular perfis de solo, modificando seus parâmetros geológicos/geotécnicos e apresentar propostas de projeto de estrutura de contenção em concreto para a implantação de um subsolo, com o auxílio de planilhas automatizadas desenvolvidas por Magalhães (2003) e do software GEO 5, permitindo um comparativo entre os métodos de análise e dimensionamento. Para verificação da estabilidade desses taludes, será utilizado como base as teorias do método do equilíbrio-limite, que garantem a estabilidade a partir do fator de segurança calculado, no qual deve atender o fator de segurança admissível regido pela ABNT NBR 11682/2009, e para verificação da estabilidade da estrutura de contenção dimensionada pelos métodos propostos será utilizado modulo escavações e contenções do GEO 5, baseado no estado limite de ruptura.

Palavras-chave: análise de estabilidade, escavação, simulação, subsolo, estruturas de contenção.

ABSTRACT

The structures of containment are Civil Engineering works designed to ensure stability against the rupture of earth or rock masses, which may deform excessively or even collapse, depending on how much the natural equilibrium of the mass is affected by earth movements caused by excavations. This study aims to simulate soil profiles, modifying their geological/geotechnical parameters, and present proposed designs for concrete containment structures for subsurface implementation, using automated spreadsheets developed by Magalhães (2003) and GEO 5 software. This allows for a comparison between analysis and design methods. To verify the stability of these slopes, the theories of the limit equilibrium method will be used as a basis, ensuring stability based on the calculated safety factor, which must meet the permissible safety factor according to NBR 11682 (ABNT, 2009). Additionally, for verifying the stability of the designed containment structure using the proposed methods, the "Excavations and Retaining Structures" module of GEO 5 will be used, based on the ultimate limit state of rupture.

Keywords: stability analysis, excavation, simulation, subsurface, retaining structures.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos centros urbanos tem resultado em transformações significativas nos métodos e formas de construção. O valor do metro quadrado nas grandes cidades está em constante elevação, o que torna as construções mais desafiadoras. Nesse contexto, é crucial que as construções tenham o máximo de aproveitamento, de modo que acomodem a maior quantidade de pessoas, assim como os espaços no subsolo sejam aproveitados para uso de estacionamento, consequentemente implicando em escavações cada vez mais profundas (OLIVEIRA, 2018).

Na maior parte dos casos, a maneira mais simples e econômica de suportar uma escavação é fazer uso da inclinação dos taludes da escavação sem que seja preciso nenhum tipo reforço. Entretanto, em meio urbano, onde o espaço para construção é limitado, é necessário o emprego de estruturas de contenção, que permitam taludes verticais e, consequentemente, um máximo aproveitamento do espaço (PRADO, 2008).

Nestas condições de escavação em meios urbanos, faz-se necessário o cálculo e dimensionamento de estruturas de contenção que suportem os esforços provenientes do empuxo de terra causado na estrutura, garantindo a estabilidade contra a ruptura do maciço de terra movimentado pelas escavações e segurança aos residentes do edifício, bem como aos circunvizinhos. Evitando, desse modo, os desastres advindos desses deslizamentos de terra, que causam um enorme dano socioeconômico quando ocorrem.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo propor uma estrutura de contenção suficientemente robusta para suportar todos os esforços aos quais será submetida, e validar essa estabilidade solo-estrutura com o auxílio do GEO 5.

A análise de uma estrutura de contenção provém da análise do equilíbrio do conjunto constituído pelo maciço de terra e a própria estrutura. Este equilíbrio é afetado pelas características de resistência, deformação, permeabilidade e pelo peso próprio de ambos os elementos, além das condições que regem a interação entre eles. Estas condições tornam o sistema bastante complicado, desse modo, é preciso adotar modelos teóricos simplificados que tornem a análise possível (BARROS, 2017).

Os métodos de análise de estabilidade de taludes são divididos em dois tipos: métodos determinísticos, adotados neste trabalho, nos quais a medida da segurança do talude é realizada considerando um fator de segurança; e métodos probabilísticos, nos quais a medida de segurança é realizada considerando a possibilidade do risco de ocorrer ruptura (OLIVEIRA,

2018).

Empuxo de terra é a resultante das pressões laterais do solo que atuam em estruturas de arrimo ou de fundação. Estas pressões podem ser devido ao peso próprio do solo ou a sobrecargas aplicadas sobre ele (BARROS, 2017).

Os métodos mais aplicados na geotecnia para determinação dos empuxos ativos ou passivos, são os métodos de análise do estado limite de ruptura, como a Teoria de Rankine e Teoria de Coulomb. A Teoria de Rankine é válida, quando toda a massa de solo no retroaterro encontra-se em um estado de equilíbrio plástico. Esta teoria considera, que os movimentos do muro são suficientes para mobilizar os estados de tensão ativo ou passivo. Já na Teoria de Coulomb, considera-se o equilíbrio limite de uma cunha de solo com seção triangular, delimitada pelo tardo do muro e pelas superfícies do retroaterro e de ruptura, a principal diferença entre os métodos é que o primeiro método não considera atrito solo-muro (CAPUTO, 2015).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Calcular Estruturas de contenção submetidas a esforços horizontais oriundos de empuxo de terra em escavações de subsolos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com o auxílio do GEO 5 e toda bibliografia disponível sobre o tema proposto, serão desenvolvidos os seguintes tópicos:

- Simular situações de escavação;
- Avaliar esforços atuantes nas escavações;
- Fazer cálculos geotécnicos e estruturais;
- Dimensionar estrutura para suportar os esforços transversais;

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho de TCC apresentou uma abordagem sistemática e detalhada do estudo das estruturas de contenção, com foco na análise do comportamento solo-estrutura.

2.1. Pesquisa

Foram realizadas pesquisas bibliográficas para aprofundamento e aprimoramento dos conhecimentos sobre o tema em questão, com destaque para a identificação dos diferentes tipos de estruturas de contenção possíveis.

Segundo Hachich et al. (1998) para escolha de uma solução de um problema de estruturas de contenção, deve ser dada levando em consideração diversos critérios que visam o equilíbrio entre funcionalidade, viabilidade, segurança e economia.

Os requisitos para essa escolha, no que se refere a funcionalidade, são os mais importantes, pois são o que garantem a finalidade do objetivo, que é permitir escavações contendo os maciços de terra instáveis após ela, suportando os empuxos solicitados pelo terreno e garantindo sua estabilidade tanto local como global.

Os requisitos pertinentes à viabilidade são todos aqueles estudos feitos de todos os pontos que podem vir a interferir no processo construtivo da estrutura em questão, como por exemplo, a presença de subsolo nas edificações lindeiras, espaço reduzido para manusear maquinário, verticalidade da estrutura de acordo com o método, etc.

Quanto aos requisitos de segurança, são fatores determinantes no processo de concepção do projeto de contenção. É realizada análise funcional e construtiva, ambas necessárias para garantir o mínimo de margem de segurança quanto à ruína. No que diz respeito à segurança de estruturas de concreto, os coeficientes de ponderação são adquiridos através da ABNT NBR 6118/2014 – Projetos de estruturas de concreto. Para verificações de segurança que envolvem a estabilidade do terreno, é utilizado normalmente o método da ruptura, o qual está associado a um fator de segurança mínimo entre esforços solicitados e esforços resistentes de acordo com a ABNT NBR 11682/2009 – Estabilidade de encostas, preconizadas nas tabelas 1, 2 e 3 da referida norma. Esse fator de segurança mínimo depende se a estrutura é provisória ou permanente, do nível de segurança contra perdas de vidas humanas, contra danos materiais e ambientais e em relação ao deslizamento.

E por fim, os requisitos econômicos, neste momento, terá que ser levado em consideração que nem sempre a solução mais barata é a mais viável de imediato, devendo-se analisar informações como tempo de execução, associados a atrasos, custos com desapropriação, etc. Essa decisão precisa ser minuciosa e assertiva, observando-se os custos e o orçamento de forma geral.

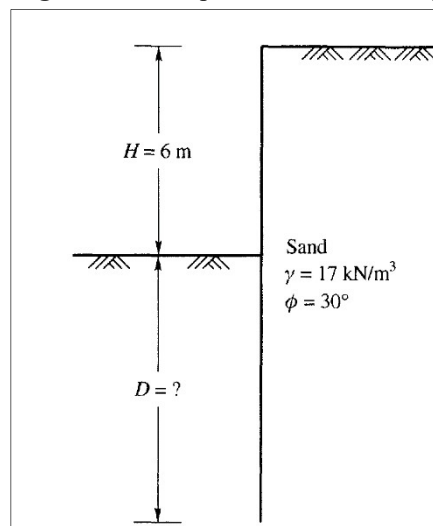
Avaliando todas as etapas de critério para concepção da solução mais acertada para cada caso específico, em se tratando da escolha do tipo de estrutura de contenção, é possível fazer a escolha dentre várias opções, e observar a solução que atenda aos requisitos de projeto, buscando sempre aquela que melhor se adeque à situação do terreno e tipo de obra.

No contexto deste trabalho, diante de várias possíveis soluções para estruturas de contenção, optou-se por estudar estruturas de contenção do tipo cortina de estacas, podendo ser ancoradas ou não ao terreno.

2.2. Problema utilizado para análises e dimensionamento

Este trabalho apresenta soluções de uma estrutura de contenção em cortina para um problema prático de estrutura de contenção retirado do livro *"Principles and practices of soil mechanics and foundation Engineering"* do Murthy, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo retirado do Murthy



Fonte: V S N Murthy (2003)

Para a realização das análises, primeiramente, adotou-se o escopo do problema proposto pelo livro. Posteriormente, incorporou-se uma parcela de coesão, introduzindo assim um novo problema a ser estudado.

2.3. Parâmetros de solo usados como entrada nas planilhas e no GEO 5

Com base nas informações fornecidas no problema retirado do livro do Murthy, foi elaborado o perfil do solo. Posteriormente, uma parcela de coesão foi incorporada, criando assim um segundo tipo de solo para análise. Ambos os solos foram considerados na mesma situação de escavação e na mesma configuração da cortina de estacas. Isso possibilitou a realização de análises comparativas.

Tabela 1 – Parâmetros de solo adotados

SOLO	γ_{nat} (kN/m ³)	ϕ (°)	c kPa
Solo 01	17	30	0
Solo 02	17	30	10

Fonte: Autor (2023)

Para o dimensionamento utilizando a planilha de cortina em balanço, foram adotados os parâmetros geotécnicos do solo previamente estabelecidos no problema descrito na literatura. Um fator de segurança de 20 % foi aplicado para o cálculo da ficha, e na situação com sobrecarga foi adotado $q = 20 \text{ kN/m}^2$, (conforme especificado no item 7.3.3 da ABNT NBR 11682/2009).

Na simulação da estrutura de contenção por meio do software GEO 5, foram inseridos os parâmetros geotécnicos do solo, e definida a geometria da estrutura de contenção. Foram feitas diversas simulações para diâmetros variando de no mínimo 30 cm e foi adotado um diâmetro de 50 cm para as estacas, e um espaçamento entre os eixos das estacas de 50 cm, mantendo as estacas em situação de tangência.

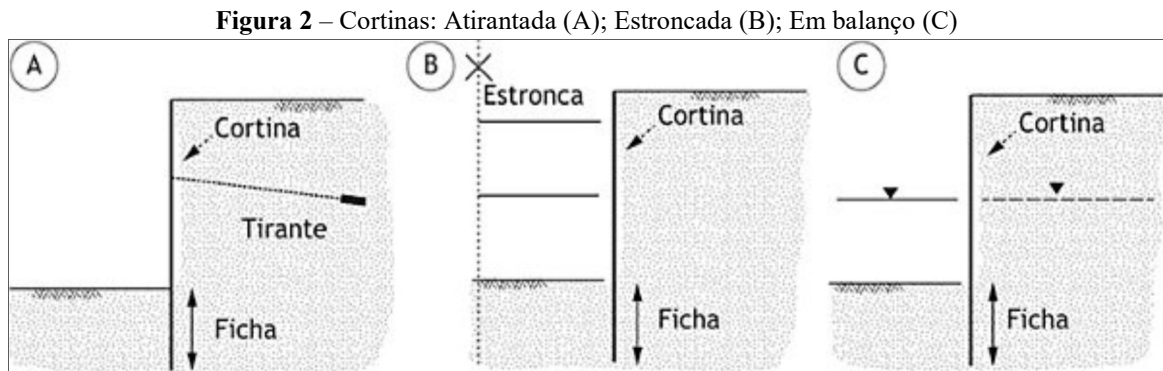
2.4. Dimensionamento e verificações de estabilidade da estrutura de contenção

2.4.1. Cortinas

Segundo Gerscovich et al. (2016) Diferentemente dos muros, que têm como função principal conter a pressão lateral do solo, as cortinas são estruturas de contenção mais esbeltas sujeitas a deformações por flexão. Elas são recomendadas em casos onde a área disponível para a base do muro é limitada e/ou quando se precisa conter desníveis superiores a 5 metros.

As cortinas são bastante utilizadas em projetos de fundações e obras subterrâneas, tais como metrô, galerias, tubulações enterradas, subsolos de edifícios, e também em estruturas portuárias, que são obras que necessitam de grandes escavações.

É possível ter distintas soluções com cortinas, onde em algumas situações o trecho enterrado, conhecido como ficha, pode não ser suficiente para garantir a estabilidade. Nestes casos, é necessário utilizar tirantes ou estroncas para garantir a estabilidade da estrutura como mostra a Figura 2.



Fonte: Gerscovich (2016)

2.4.2. Tipos de cortina

Em expansões urbanas existe pouco espaço e a proximidade de vizinhos levam a inviabilidade do taludamento do terreno natural, dessa forma sendo necessário o projeto de estruturas de contenção mais esbeltas como as cortinas, que possuem diversos tipos, variando formato e material, viabilizando possíveis soluções para cada situação de contenção, são exemplos:

- Cortinas de perfis de madeira;
- Cortina atirantada;
- Parede de concreto;
- Perfil metálico com pranchão;
- Cortina de estacas justapostas;

Para realizar o dimensionamento das cortinas de contenção, é fundamental inicialmente determinar o comprimento do segmento subterrâneo no solo, denominado “ficha”. Caso esse comprimento não esteja em conformidade com os critérios de estabilidade necessários, torna-se necessário recorrer a escoramentos, os quais podem ser tirantes ou estroncas

É relevante destacar que esse dimensionamento continua a ser guiado pelas Teorias tradicionais de Rankine. Isso se aplica tanto a cortinas em balanço quanto a cortinas com um nível de apoio. Este último cenário é subdividido nos métodos da condição de apoio livre (*free Earth support*) e Condição de apoio fixo (*fixed Earth support*).

Para facilitar o cálculo da ficha requerida, bem como dos empuxos atuantes, dos esforços nos tirantes, quando necessários, e do momento fletor máximo, serão utilizadas planilhas automatizadas e o software GEO 5. Adicionalmente, o software será empregado para conduzir as verificações de estabilidade, tanto interna quanto global, da estrutura.

2.5. Dimensionamento da cortina com as planilhas

As planilhas utilizadas neste trabalho foram desenvolvidas por Magalhães (2003) em sua dissertação de mestrado. Elas foram desenvolvidas com o intuito de agilizar o processo de definição da ficha mínima, empregando o método da extremidade livre (Bowles, 1968) para o cálculo. Essas planilhas oferecem dois formatos de cálculo: para cortinas em balanço e outro para cortinas ancoradas em um nível de apoio.

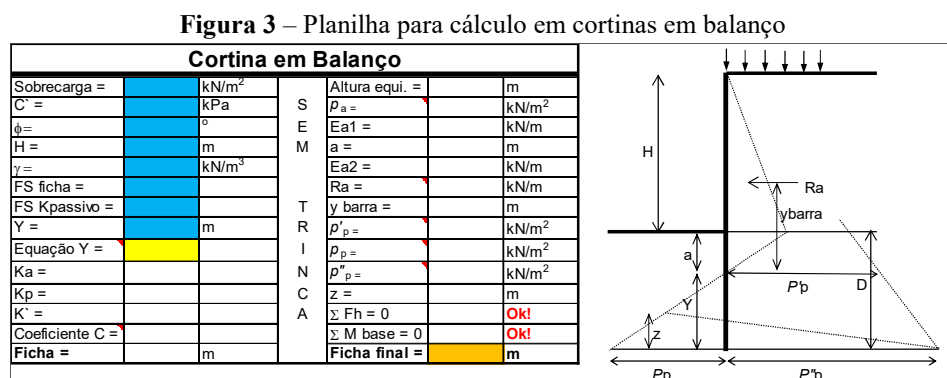
O funcionamento das planilhas baseia-se na inserção dos dados de entrada que dizem respeito aos parâmetros do solo. A partir desses dados, é realizada uma rotina de cálculos, convergindo equações até encontrar o valor da ficha desejada.

2.5.1. Cortina em balanço

O dimensionamento das cortinas em balanço segue a premissa de determinar a ficha necessária para assegurar a estabilidade da estrutura de contenção, levando em consideração a tendência da cortina em girar em torno de um ponto determinado, dependendo dos esforços aplicados sobre ela.

Para atender essa condição de estabilidade da contenção, é necessário que o somatório das forças horizontais e do momento na base sejam igual a zero.

A Figura 3 mostra a planilha usada para o dimensionamento de cortinas em balanço.



Fonte: Magalhães (2003)

Os dados de entrada são inseridos nas células destacadas em azul, sendo:

FS_{ficha} = fator de segurança aplicado à ficha;

FS_{passivo} = fator de segurança aplicado ao coeficiente de empuxo passivo;

X = distância entre a ponta cortina e o ponto onde a pressão horizontal é nula. Na planilha este valor é determinado por tentativas, até a célula na cor amarela igualar a zero.

As demais variáveis são encontradas automaticamente por uma rotina de cálculo.

2.6. Dimensionamento com o Software GEO 5

O Geo 5 é um software de análise e dimensionamento de estruturas geotécnicas, desenvolvido pela Fine Software. Ele oferece um conjunto completo de ferramentas para diversos problemas geotécnicos dividido em módulos para cada problema separadamente.

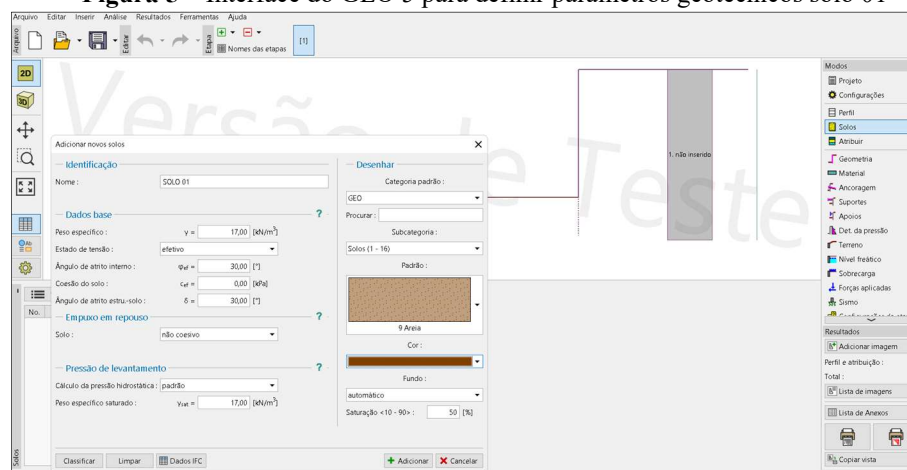
No trabalho em questão foram utilizados os módulos de projeto de contenção, estabilidade de taludes e verificação de contenções.

Foram realizadas análises para estruturas de contenção em concreto do tipo cortina de estacas justapostas presentes no software GEO 5, podendo elas serem ancoradas ou não. Esse conjunto de análises permitiu uma comparação dos resultados e a identificação das particularidades de cada tipo de situação.

2.7. Dimensionamento com módulo projeto de contenções no GEO 5

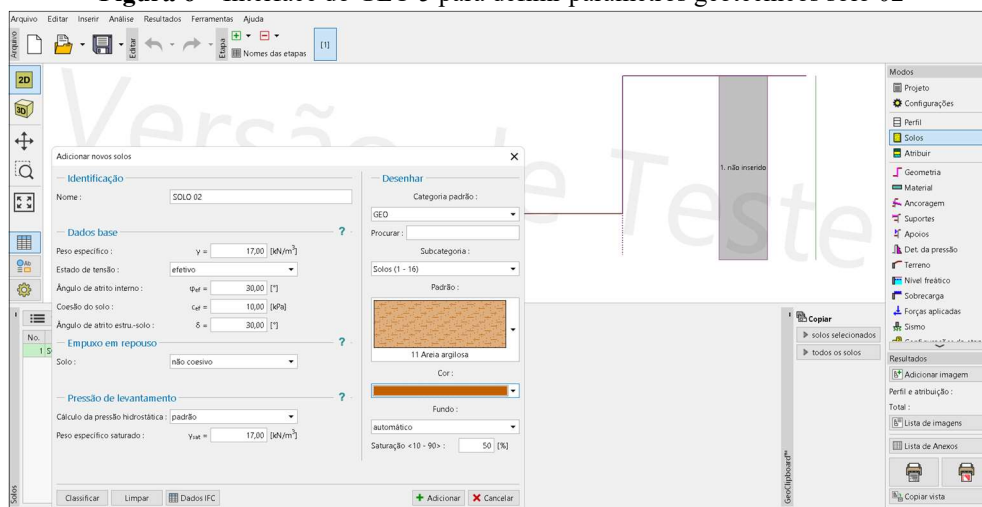
O software oferece uma interface de fácil utilização e intuitiva, permitindo que usuário defina de forma simples as propriedades do solo, conforme exemplificado nas Figuras 5 e 6. Além disso, permite definir parâmetros relacionados aos materiais e normas aplicadas, assim como o método de análise de empuxo, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 5 – Interface do GEO 5 para definir parâmetros geotécnicos solo 01



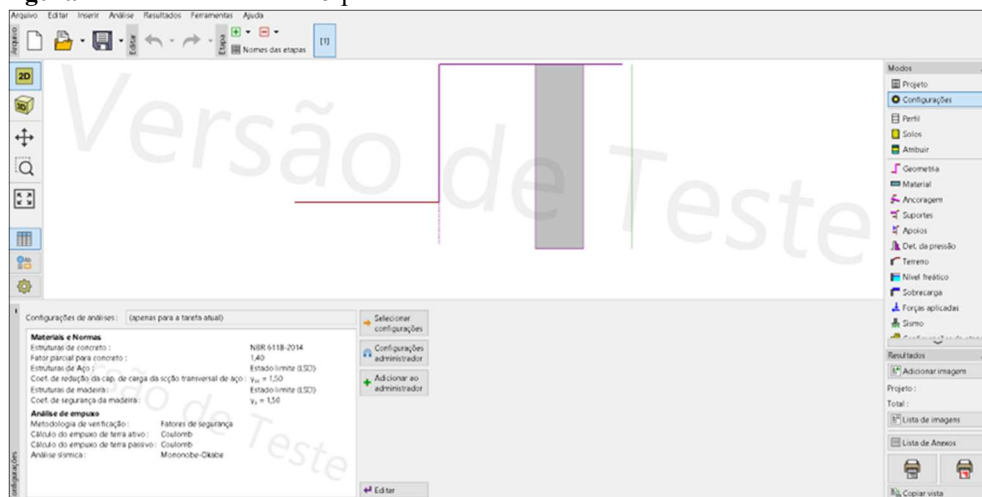
Fonte: Autor (2023)

Figura 6 – Interface do GEO 5 para definir parâmetros geotécnicos solo 02



Fonte: Autor (2023)

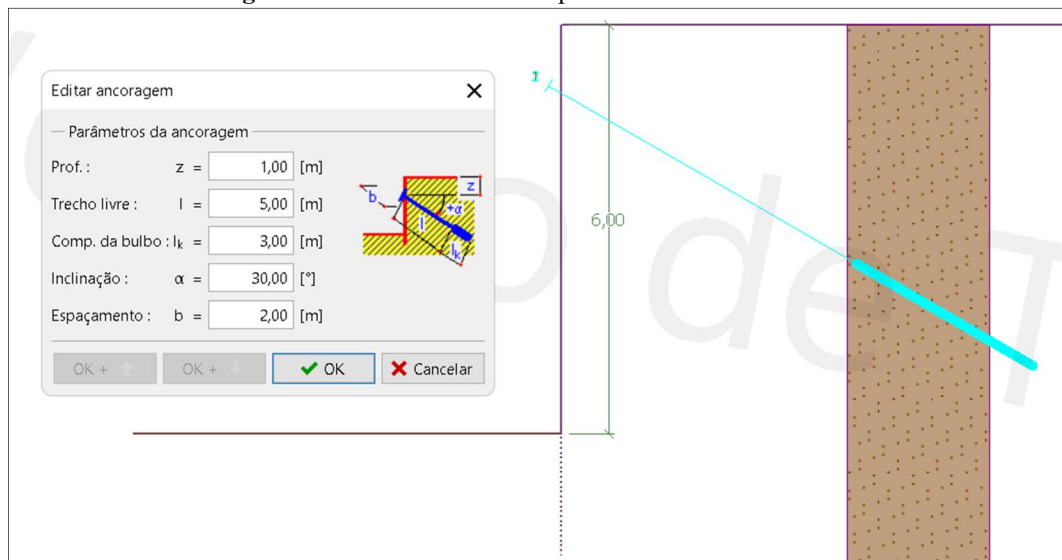
Figura 7 – Interface do GEO 5 para definir dados de materiais e normas e métodos de análise



Fonte: Autor (2023)

A partir da especificação dos parâmetros do solo, o software GEO 5 gera o modelo do maciço. Os dados de entrada são então inseridos para simular o processo de escavação em etapas sucessivas. O objetivo é analisar a estabilidade da estrutura em cada fase, garantindo que os resultados sejam satisfatórios e demonstrem a estabilidade da estrutura.

Uma das situações consideradas é a cortina de estacas ancoradas no módulo de projeto de contenções. Nesse contexto, é possível incluir pontos de ancoragem, conforme ilustrado na Figura 8. O software solicita os parâmetros do tirante para essa configuração.

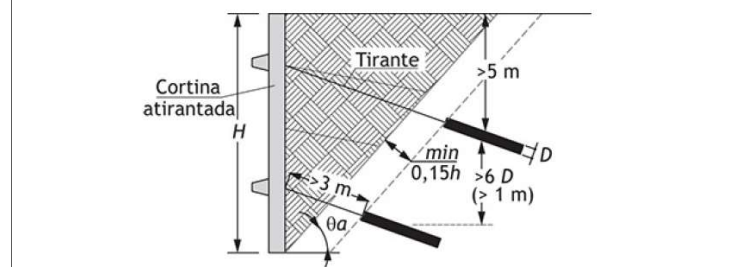
Figura 8 – Interface do GEO 5 para definir dados do tirante

Fonte: Autor (2023)

Esses parâmetros foram definidos de forma genérica, seguindo apenas a recomendação da norma que estabelece que o trecho ancorado (bulbo) deve estar a uma distância mínima de 5m do terreno, como mostrado na Figura 9. Dessa maneira, foi estabelecida uma inclinação e comprimento de tirante que atendesse ao caso de ancoragem mais próximo ao topo da estaca, de modo a garantir que as outras profundidades também estejam em conformidade com essa recomendação.

Figura 9 – Recomendações para medidas e distâncias de tirantes

- Tanto a NBR 5629 (ABNT, 2006) quanto o trabalho de Pinelo (1980) indicam que o recobrimento de terra, em geral, deve ter pelo menos 5 m sobre o centro do trecho de ancoragem.



Fonte: Gerscovich (2016)

Após a definição de todos os parâmetros e etapas para a cortina, considerando se em balanço ou ancorada, com ou sem sobrecargas, inicia-se a análise. O software fornece resultados detalhados, que incluem diagramas de momento fletor e esforço transversal. Esses resultados são essenciais para propor a armadura adequada para as estacas e determinar a ficha necessária para garantir a estabilidade da cortina.

2.8. Verificação de estabilidade com o módulo verificação de contenções no GEO 5

Esse módulo apresenta uma interface semelhante ao módulo de projeto de contenções, mas difere em alguns dados de entrada e nos resultados das análises, pois possui um enfoque distinto.

Dentro desse módulo, é preciso ter definido previamente o tamanho da cortina, pois essa informação é um dos dados essenciais para estabelecer a geometria da estrutura, como destacado na Figura 10. Uma vez que o dimensionamento já foi realizado, todos os parâmetros utilizados no módulo de projeto de contenção serão nesse módulo empregados para avaliar a estabilidade das estruturas calculadas.

Figura 10 – Interface do GEO 5 para definir geometria da estaca no módulo verificação de contenções

Editar seção

Tipo de parede : Cortina de estacas

Nome do perfil : Cortina de estacas d = 0,5 m, a = 0,5 m ☒ Definido pelo usuário

Comprimento da seção : l = 13,23 [m]

Coef. de redução de empuxo abaixo do fundo da escavação : calcular 1,00 [-]

— Geometria —

Tipo de seção transversal : círculo

Diâmetro da estaca : d = 0,50 [m]

Espaçamento da estaca : a = 0,50 [m]

Material da estaca : concreto

Diagrama de geometria: 4 círculos com diâmetro 0,50 m e espaçamento 0,50 m.

— Informação —

A = 3,93E-01 [m²/m] I = 6,14E-03 [m⁴/m]

Fonte: Autor (2023)

Os resultados obtidos incluem diagrama de tensão-deformação, gráficos de deslocamento e distribuição de esforços internos. Além disso, são realizadas verificações de estabilidade fundamentadas no fator de segurança.

3 RESULTADOS

Serão apresentados nesta seção os resultados obtidos nas simulações realizadas, tanto na planilha de cálculo quanto no GEO 5. Foram consideradas diversas condições para as estruturas selecionadas neste trabalho, como por exemplo a presença de sobrecarga, tipo de solo considerado, etc.

3.1. Dimensionamento de cortina em balanço com e sem sobrecarga

As Tabelas 2 e 3 exibem os resultados relativos às fichas e aos momentos máximos na cortina para cada cenário e método de cálculo avaliado, considerando o solo 01. É possível observar uma consistente redução nos valores das fichas calculadas pelo GEO 5, indicando uma diminuição de aproximadamente 46,75 % na situação sem sobrecarga e 46,1 % na situação com sobrecarga.

Essa tendência também é evidenciada, nos momentos máximos, os quais apresentam reduções significativas quando calculados pelo GEO 5 em comparação com a planilha, para as situações sem e com sobrecarga.

Tabela 2 – Resultados para cortina de estacas justapostas em balanço sem sobrecarga – SOLO 01

Método	Altura final Escavação (m)	$M_{\max}$ (kN.m/m)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	6,00	458,99	7,23	13,23
GEO 5	6,00	253,67	3,85	9,85

Fonte: Autor (2023)

Tabela 3 – Resultados para cortina de estacas justapostas em balanço com sobrecarga – SOLO 01

Método	Altura final Escavação (m)	$M_{\max}$ (kN.m/m)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	6,00	706,33	8,42	14,42
GEO 5	6,00	418,17	4,54	10,54

Fonte: Autor (2023)

Os resultados mostrados nas Tabelas 4 e 5 são referentes às fichas e aos momentos máximos na cortina quando foi introduzida a parcela de coesão de 10 kPa ao solo 01, sendo esse solo denominado de solo 02.

Neste novo perfil de solo, é evidente que tanto as fichas, quanto a altura da estrutura de contenção (parte escavada e ficha) diminuíram, e o mesmo ocorreu com os valores de momentos.

Comparando cada cenário (solo 01/solo 02) e método de cálculo (planilhas/GEO 5), observa-se que o solo 02 exibiu um comportamento similar ao solo 01, tanto em relação ao comprimento das fichas quanto dos momentos máximos, apresentando uma redução destes quando calculados no GEO 5.

Para a situação sem sobrecarga, a ficha teve uma redução 38,3 %, enquanto que na situação com sobrecarga, a ficha teve uma redução de 53,4 %.

Tabela 4 – Resultados para cortina de estacas justapostas em balanço sem sobrecarga – SOLO 02

Método	Altura final Escavação (m)	$M_{\max}$ (kN.m/m)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	6,00	116,64	4,44	10,44
GEO 5	6,00	155,14	2,74	8,74

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5 – Resultados para cortina de estacas justapostas em balanço com sobrecarga – SOLO 02

Método	Altura final Escavação (m)	$M_{\max}$ (kN.m/m)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	6,00	300,26	6,16	12,16
GEO 5	6,00	176,75	2,87	8,87

Fonte: Autor (2023)

3.2. Dimensionamento de cortina ancorada com e sem sobrecarga

Para o dimensionamento da cortina ancorada, foram definidas três alturas de ponto de ancoragem, permitindo a observação do comportamento em cada solo com a presença ou não de sobrecarga.

Os resultados da Tabela 6 demonstram que, tanto na planilha quanto no GEO 5, a medida que o ponto de ancoragem se afasta do topo da estaca, os momentos e fichas diminuem, enquanto as forças nas ancoragens aumentam.

No que se refere às análises para cortinas em balanço, é possível observar diferenças significativas nos resultados entre os métodos de cálculos utilizados. Por outro lado, na condição ancorada, os valores se aproximaram consideravelmente.

No entanto, assim como nas análises em balanço, os resultados obtidos pelo GEO 5 demonstraram valores menores para a ficha em comparação com a planilha.

Tabela 6 – Resultados para cortina de estacas justapostas ancorada sem sobrecarga – SOLO 01

Método	Prof. de ancoragem (m)	Altura final Escavação (m)	$M_{máx}$ (kN.m/m)	F ancoragem (kN)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	1,00	6,00	57,25	59,85	2,77	8,77
	1,50	6,00	50,49	64,26	2,69	8,69
	2,00	6,00	42,93	69,43	2,60	8,60
GEO 5	1,00	6,00	56,49	79,42	2,41	8,41
	1,50	6,00	48,13	87,68	2,32	8,32
	2,00	6,00	39,58	97,86	2,21	8,21

Fonte: Autor (2023)

Ao analisar a situação com sobrecarga conforme demonstrado na Tabela 7, nota-se um comportamento semelhante a situação sem sobrecarga. Contudo, é evidente que os valores de fichas, momentos e forças nas ancoragens são ligeiramente maiores.

Esse aumento era esperado, considerando que a sobrecarga impõe uma solicitação maior na estrutura de contenção. Essa carga adicional modifica a interação solo-estrutura, exigindo uma maior rigidez para suportar essa carga extra e manter a estabilidade da cortina.

Tabela 7 – Resultados para cortina de estacas justapostas ancorada com sobrecarga – SOLO 01

Método	Prof. de ancoragem (m)	Altura final Escavação (m)	$M_{máx}$ (kN.m/m)	F ancoragem (kN)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	1,00	6,00	88,81	86,67	3,24	9,24
	1,50	6,00	78,09	92,71	3,15	9,15
	2,00	6,00	66,21	99,75	3,04	9,04
GEO 5	1,00	6,00	75,29	125,56	2,72	8,72
	1,50	6,00	62,10	138,46	2,60	8,60
	2,00	6,00	48,43	154,32	2,44	8,44

Fonte: Autor (2023)

As Tabelas 8 e 9 mostram os resultados para o solo 02, abordando as situações com e sem sobrecarga. De maneira análoga ao solo 01 na condição ancorada, percebe-se que, a medida que a ancoragem se distancia do topo do estaca, ocorre uma redução nos momentos e fichas, enquanto a força na ancoragem aumenta, equilibrando e garantindo a integridade da estrutura.

Com isso, concluem-se os dimensionamentos da estrutura de contenção, baseados na ficha necessária para assegurar a estabilidade do sistema solo-estrutura. Ao comparar os resultados dos dimensionamentos obtidos pelos métodos de extremidade livre das planilhas e do GEO 5, observa-se um padrão de comportamento consistente dos resultados, mesmo sob condições variadas de parâmetros geotécnicos e cargas.

Essa repetição reforça a consistência e confiabilidade das análises realizadas, validando, assim, os resultados obtidos e contribuindo para estudos sobre o comportamento das estruturas de contenção, bem como para o desenvolvimento de métodos de dimensionamento seguros,

visando garantir a estabilidade dessas estruturas e possibilitar implementação de projetos no terreno em questão.

Tabela 8 – Resultados para cortina de estacas justapostas ancorada sem sobrecarga – SOLO 02

Método	Prof. de ancoragem (m)	Altura final Escavação (m)	$M_{máx}$ (kN.m/m)	F ancoragem (kN)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	1,00	6,00	13,24	17,60	1,74	7,74
	1,50	6,00	11,84	19,08	1,70	7,70
	2,00	6,00	10,24	20,85	1,65	7,65
GEO 5	1,00	6,00	37,42	56,53	1,57	7,57
	1,50	6,00	31,65	62,82	1,50	7,50
	2,00	6,00	25,32	70,67	1,40	7,40

Fonte: Autor (2023)

Tabela 9 – Resultados para cortina de estacas justapostas ancorada com sobrecarga – SOLO 02

Método	Prof. de ancoragem (m)	Altura final Escavação (m)	$M_{máx}$ (kN.m/m)	F ancoragem (kN)	Ficha (m)	Altura total da estrutura (m)
Planilha	1,00	6,00	36,68	41,27	2,38	8,38
	1,50	6,00	32,46	44,46	2,32	8,32
	2,00	6,00	27,72	48,22	2,24	8,24
GEO 5	1,00	6,00	41,21	60,48	1,72	7,72
	1,50	6,00	35,09	67,20	1,64	7,64
	2,00	6,00	28,32	75,60	1,55	7,55

Fonte: Autor (2023)

3.3. Verificação de contenções

A partir do dimensionamento da ficha e, conseqüentemente, tamanho total da estaca, realizada por meio das planilhas e do módulo de projeto de contenções do GEO 5, foi conduzida uma análise abrangente da estabilidade para o sistema solo-estrutura.

Essa análise de estabilidade foi realizada para todas as situações consideradas, confirmando de maneira eficaz a segurança da cortina.

A avaliação abordou deslocamentos e fatores de segurança relacionados à estabilidade da cortina de contenção, fornecendo uma análise completa sobre a segurança da estrutura, levando em consideração diferentes cenários de cargas e configuração do solo.

3.3.1. Verificação de cortina em balanço com e sem sobrecarga

A seguir, serão apresentadas tabelas que compilam os resultados obtidos na verificação de estabilidade, proporcionando uma visão clara e organizada do desempenho de cada cortina de contenção proposta neste trabalho. Nos apêndices, serão disponibilizadas figuras que oferecem

uma representação visual do comportamento desses deslocamentos e empuxos atuantes ao longo da estaca.

3.3.1.1. Verificação para solo 01

As Tabelas a seguir destacam os deslocamentos máximos desenvolvidos pelas estruturas propostas, tanto nas condições de balanço sem sobrecarga quanto com sobrecarga, bem como os empuxos máximos atuantes.

Ao observar os diagramas fornecidos pela análise de verificação de contenção, juntamente com os resultados compilados nas Tabelas 10 e 11 é perceptível que, independentemente da presença de sobrecarga, nas estruturas calculadas pelas planilhas, que possuem uma ficha maior, os empuxos máximos atuantes apresentam valores menores. Por outro lado, nas estruturas calculados pelo GEO 5, que possuem fichas menores, os empuxos máximos atuantes possuem valores maiores e tendem a aproximar-se da base da cortina.

Além disso, os deslocamentos máximos desenvolvidos pelas estruturas propostas, variam de 4,05 cm a 10,34 cm. O deslocamento mais significativo, atingindo 10,34 cm, ocorre no caso com sobrecarga, com altura previamente calculada pelo GEO 5 antes da verificação.

Tabela 10 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta em balanço sem sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	13,23	40,5	157,74
GEO 5	9,85	68,8	542,58

Fonte: Autor (2023)

Tabela 11 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta em balanço com sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	14,42	75,50	201,31
GEO 5	10,54	103,40	617,50

Fonte: Autor (2023)

3.3.1.2. Verificação para solo 02

As Tabelas 12 e 13 apresentam deslocamentos e empuxos máximos atuantes nas estruturas de contenção em balanço para o solo 02.

Tabela 12 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta em balanço sem sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	10,44	20,0	124,99
GEO 5	8,74	49,1	495,60

Fonte: Autor (2023)

Tabela 13 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta em balanço com sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	12,16	22,6	130,26
GEO 5	8,87	55,0	540,43

Fonte: Autor (2023)

De maneira similar ao comportamento observado no solo 01, também foi constatado no solo 02. Nas estruturas calculadas pelas planilhas, que possuem uma ficha maior, os empuxos máximos atuantes são inferiores em comparação aos empuxos máximos atuantes nas estruturas calculados pelo GEO 5, com fichas menores.

Quanto aos deslocamentos máximos observados nas estruturas propostas, variaram de 2,0 cm a 5,5 cm. Exatamente como no solo 01, o maior deslocamento ocorreu no caso com sobrecarga, com a altura previamente calculada pelo GEO 5 antes da verificação.

É relevante notar que, para o solo 02, houve uma redução considerável nos deslocamentos em comparação com o solo 01 para a situação de cortina em balanço. Considerando que todos os parâmetros de métodos de cálculo, bem como geometria da estrutura, são idênticos para todas as situações, diferindo apenas na parcela de coesão presente no solo 02, fica evidente que essa característica contribui para resistência do solo, resultando em menor deformação em direção à escavação.

3.3.2. Verificação de cortina ancorada com e sem sobrecarga

3.3.2.1. Verificação para solo 01

As Tabelas 14 e 15 exemplificam os deslocamentos máximos e os empuxos máximos atuantes para as contenções ancoradas, considerando a análise para os três pontos de ancoragem propostos.

Tabela 14 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta ancoradas sem sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Prof. da ancoragem (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	8,77	1,00	3,0	103,87
	8,69	1,50	2,9	99,34
	8,60	2,00	3,3	96,42
GEO 5	8,41	1,00	3,3	110,36
	8,32	1,50	3,1	103,31
	8,21	2,00	3,4	97,68

Fonte: Autor (2023)

Tabela 15 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta ancoradas com sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Prof. da ancoragem (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	9,24	1,00	4,7	126,41
	9,15	1,50	4,8	121,34
	9,04	2,00	5,8	119,02
GEO 5	8,72	1,00	5,1	152,28
	8,60	1,50	4,9	142,34
	8,44	2,00	6,0	134,12

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados coletados nas verificações realizadas no GEO 5 e reunidos nas Tabelas 14 e 15, percebe-se que nas estruturas com ancoragens, os empuxos atuantes máximos ocorrem em estruturas de maior tamanho, coincidindo com as ancoragens na profundidade de 1,0 m a partir do topo da estaca.

Os maiores deslocamentos nas estruturas ocorrem quando as ancoragens são posicionadas a 2,0 m abaixo do topo da escavação, seguidos pelos deslocamentos nas ancoragens a 1,0 m abaixo do topo da escavação. Os deslocamentos mais favoráveis foram observados nas situações em que a ancoragem está a 1,5 m do topo da escavação. A exceção é notada na situação com sobrecarga, com altura previamente pelas planilhas antes da verificação, onde o menor deslocamento ocorre com ancoragem a 1,0 m.

É importante ressaltar que o maior deslocamento foi registrado no caso com sobrecarga, com a altura previamente calculada pelo GEO 5 antes da verificação, atingindo 0,6 cm. No entanto, este valor é significativamente muito menor que o deslocamento mais conservador nas cortinas em balanço, sendo reduzido em 85,18 %.

Esses resultados deixam claro, que a solução de ancoragem é altamente eficaz para estruturas de grande porte ou com deslocamentos expressivos, proporcionando maior confiabilidade e segurança à contenção.

3.3.2.2. Verificação para solo 02

Para o solo 02, conforme apresentado nas Tabelas 16 e 17 observou-se uma diferença no comportamento das estruturas em relação aos empuxos atuantes máximos. Neste perfil de solo, os maiores empuxos ocorrem de forma oposta ao solo 01. No solo 02, os empuxos máximos são registrados nas estruturas menores, com ancoragem em 2,0 m abaixo do topo da escavação, ao contrário do solo 01, onde os maiores empuxos eram para as maiores estruturas com ancoragem em 1,0 m abaixo do topo da escavação.

Os deslocamentos mais expressivos continuam a acontecer quando as ancoragens estão posicionadas a 2,0 m abaixo do topo da escavação. No entanto, ao contrário do solo 01, os segundos maiores deslocamentos foram observados no nível de ancoragem a 1,5 m abaixo do topo da escavação.

Os deslocamentos mais favoráveis foram observados quando a ancoragem está a 1,0 m do topo da escavação. O menor deslocamento foi de 0,4 cm, enquanto o maior foi de 0,68 cm, também para a mesma situação com sobrecarga e altura previamente calculada pelo GEO 5 antes da verificação.

Apesar dos deslocamentos terem sido maiores em comparação ao solo 01, ainda encontram-se em faixas aceitáveis para garantir a segurança da estrutura de contenção. Essas observações ressaltam a influência significativa das condições geotécnicas do solo no comportamento e na estabilidade das estruturas de contenção.

Tabela 16 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta ancoradas sem sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Prof. da ancoragem (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	7,74	1,00	4,2	109,59
	7,70	1,50	4,9	111,30
	7,65	2,00	6,1	116,17
GEO 5	7,57	1,00	4,3	103,90
	7,50	1,50	5,2	107,22
	7,40	2,00	6,5	109,36

Fonte: Autor (2023)

Tabela 17 – Deslocamento e empuxos máximos para estacas justaposta ancoradas com sobrecarga

Método	Altura total da estrutura (m)	Prof. da ancoragem (m)	Deslocamento máximo (mm)	Empuxo máx (kPa)
Planilha	8,38	1,00	4,0	104,62
	8,32	1,50	4,7	107,66
	8,24	2,00	5,8	114,34
GEO 5	7,72	1,00	4,6	120,15
	7,64	1,50	5,5	120,60
	7,55	2,00	6,8	123,69

Fonte: Autor (2023)

3.3.3. Verificação de estabilidade quanto ao FS

As análises abordarão a estabilidade global do empuxo passivo, mobilidade de resistência do solo, capacidade de carga vertical e estabilidade global do sistema solo-estrutura, esse último utilizando o método de Bishop com o valor otimizado para a linha de ruptura

Foi adotado um fator de segurança mínimo para segurança igual a 1,5, conforme estabelecido pela ABNT NBR 11682/2009. A partir desse FS limite, será feita uma análise para determinar quais estruturas atendem todos os critérios de estabilidade necessários.

3.3.3.1. FS para cortina em balanço com e sem sobrecarga

Serão apresentadas a seguir as verificações das contenções para as situações em balanço nos solos 01 e 02.

As Tabelas 18 e 19 apresentam os resultados para o solo 01, sem e com sobrecarga, respectivamente. Ao observar os fatores de segurança calculados é notável que, para o critério de mobilidade de resistência, nenhuma das estruturas propostas atendem ao FS mínimo de segurança. No entanto, as demais verificações de estabilidade estão dentro do parâmetro de segurança.

Tabela 18 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas em balanço sem sobrecarga – solo 01

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	13,23	4,40	1,42	14,47	3,53
GEO 5	9,85	1,62	1,41	18,31	2,34

Fonte: Autor (2023)

Tabela 19 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas em balanço com sobrecarga – solo 01

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	14,42	4,26	1,33	11,17	3,47
GEO 5	10,54	1,63	1,32	14,27	2,31

Fonte: Autor (2023)

As Tabelas 20 e 21 mostram os resultados para o solo 02, para as situações sem e com sobrecarga, respectivamente. Ao analisar os dados obtidos, nota-se que apenas as estruturas calculadas na situação sem sobrecarga apresentam fator de segurança acima do FS mínimo de segurança. Todas as demais análises de estabilidade estão dentro do parâmetro estabelecido.

Tabela 20 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas em balanço sem sobrecarga – solo 02

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	10,44	3,86	1,64	23,38	3,11
GEO 5	8,74	1,64	1,54	24,59	2,51

Fonte: Autor (2023)

Tabela 21 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas em balanço com sobrecarga – solo 02

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	12,16	4,51	1,48	16,88	3,24
GEO 5	8,87	1,59	1,49	22,74	2,26

Fonte: Autor (2023)

3.3.3.2. FS para cortina ancorada com e sem sobrecarga

Serão apresentadas a seguir as verificações das contenções para as situações ancoradas nos solos 01 e 02.

As Tabelas 22 e 23 apresentam os resultados para o solo 01, sem e com sobrecarga, respectivamente. Nota-se que em relação aos fatores de segurança de mobilidade de resistência para as estruturas em balanço, houve um aumento significativo, assim levando-os a atender ao FS mínimo. Além disso, as demais verificações também atendem ao critério mínimo de segurança, sendo assim as estruturas de contenção propostas são consideradas adequadas.

Tabela 22 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas ancoradas sem sobrecarga – solo 01

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	8,77	2,14	2,35	27,69	1,97
	8,69	2,14	2,47	27,91	1,93
	8,60	2,12	2,61	28,08	1,93
GEO 5	8,41	1,86	2,54	29,37	1,83
	8,32	1,86	2,70	29,68	1,82
	8,21	1,84	2,91	29,97	1,80

Fonte: Autor (2023)

Tabela 23 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas ancoradas com sobrecarga – solo 01

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	9,24	2,12	2,18	21,78	1,90
	9,15	2,13	2,29	21,92	1,90
	9,04	2,12	2,43	22,03	1,86
GEO 5	8,72	1,76	2,39	23,32	1,77
	8,60	1,75	2,56	23,61	1,74
	8,44	1,72	2,81	23,96	1,70

Fonte: Autor (2023)

As Tabelas 24 e 25 apresentam os resultados para o solo 02, sem e com sobrecarga, respectivamente. E de forma análoga ao comportamento das análises para o solo 01, nota-se uma aumento nos fatores de segurança relacionados à mobilidade de resistência, deixando-os dentro do parâmetro estabelecido pelo FS mínimo de segurança que garante estabilidade a estrutura. As demais verificações também atendem ao critério mínimo de segurança.

Tabela 24 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas ancoradas sem sobrecarga – solo 02

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	7,74	2,09	2,78	37,14	2,16
	7,70	2,08	2,88	37,04	2,15
	7,65	2,06	3,00	36,85	2,15
GEO 5	7,57	1,95	2,96	38,49	2,11
	7,50	1,93	3,13	38,62	2,09
	7,40	1,87	3,37	38,85	2,07

Fonte: Autor (2023)

Tabela 25 – Verificação de contenção em fatores de segurança para estacas justapostas ancoradas com sobrecarga – solo 02

Método	Altura total da estrutura (m)	FS (verificação Global) Empuxo passivo	FS (Mob. de resistência)	FS (Capac. Carga vertical)	FS (Bishop)
Planilha	8,38	2,45	2,29	31,40	2,12
	8,32	2,41	2,35	31,46	2,10
	8,24	2,35	2,42	31,51	2,09
GEO 5	7,72	1,89	2,69	35,35	1,92
	7,64	1,86	2,83	35,58	1,91
	7,55	1,81	3,02	35,72	1,89

Fonte: Autor (2023)

4 CONCLUSÕES

Com base nas análises e comparações realizadas entre os métodos de dimensionamento de estruturas de contenção para os diferentes perfis de solo (Solo 01 e Solo 02), tanto para situações sem sobrecarga quanto para situações com sobrecarga, algumas conclusões significativas podem ser destacadas.

Observou-se que o perfil do solo exerce uma influência significativa no comportamento das estruturas de contenção, quando se trata do dimensionamento, notou-se que todas as alturas de cortina para o solo 02 foram inferiores quando comparadas às do solo 01 na mesma situação.

Este fato ressalta a importância de entender como os parâmetros de solo influenciam no dimensionamento e concepção de uma estrutura de contenção, pois a resistência do solo está diretamente ligada as características desse solo.

Verificou-se também que, em geral, a introdução de sobrecarga resulta em aumento nos empuxos atuantes, momentos máximos e forças nas ancoragens, como esperado. Isso evidencia a necessidade de um projeto estrutural que leve em conta essas situações adicionais de carga para garantir a estabilidade e segurança da estrutura de contenção de maneira adequada.

As comparações entre os métodos de cálculo, especificamente as planilhas e o software GEO 5, revelaram diferenças nos resultados, com o GEO 5 muitas vezes indicando valores menores de fichas e momentos. Enquanto que os valores da planilha são maiores, isso pode ocorrer porque o método utilizado na planilha seja mais conservador, sem muitas aproximações como no GEO 5, que é um programa de computador. Entretanto, a consistência nos padrões de comportamento reforça a confiabilidade e validade dos resultados obtidos.

As análises demonstraram que a ancoragem das estruturas é uma estratégia eficaz para controlar os deslocamentos, especialmente em situações com sobrecarga. Também foi possível notar que a posição da ancoragem mostrou influência nos deslocamentos, ressaltando assim a

importância de um planejamento preciso da profundidade de ancoragem, para que possa haver um melhor aproveitamento da estrutura.

Com base na análise dos fatores de segurança obtidos para todas as situações investigadas, é possível concluir que os resultados revelam uma condição satisfatória de estabilidade em todos os critérios avaliados para as estruturas de contenção ancoradas e apenas a situação em balanço sem sobrecarga para o solo 02, isso mostra uma tendência de as estruturas de contenção em balanço serem mais propensas a desabamentos.

Sendo assim, para os perfis de solo estudados, as estruturas de contenção ancoradas são indicadas, garantindo assim maior confiabilidade e segurança em comparação as demais opções.

Essas conclusões fornecem uma compreensão sobre o comportamento das estruturas de contenção em diferentes cenários geotécnicos, com e sem sobrecarga, e reforçam a necessidade de abordagens específicas para garantir a estabilidade e segurança da estrutura em estudo. Elas também ressaltam a importância da utilização de ferramentas computacionais especializadas, como o GEO 5, para análises mais precisas e seguras do projeto de estruturas de contenção, contribuindo assim para o aprimoramento e confiabilidade desses projetos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 11682:2009. **Contenções de edifícios - Procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009

ABNT NBR 11618:2014. **Projetos de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014

BARROS, Pêrsio Leister de Almeida. **Obras de contenção: Manual Técnico.** Maccaferri do Brasil, 2017.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; Rodrigues, J. Martinho de A. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra: volume 2.** 7ª ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2015.

GEO 5 (2020). **Manual do Usuário.**

GERSCOVICH, Denise; Danziger, Bernadete Ragoni; Saramago, Robson. **Contenções: teoria e aplicações em obras** - São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

HACHICH, Waldemar; Falconi, Frederioco F.; Saes, José Luiz; Frota, Régis G Q; Carvalho, Celso S.; Niyama, Sussumu. **Fundações: Teoria e prática.** 2ª ed. – São Paulo: Pini, 1998.

MAGALHÃES, Edimarques Pereira. **Comportamento Experimental de uma cortina de estacas prancha assente em solo poroso do DF: Implicações para o projeto e metodologia do cálculo.** Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

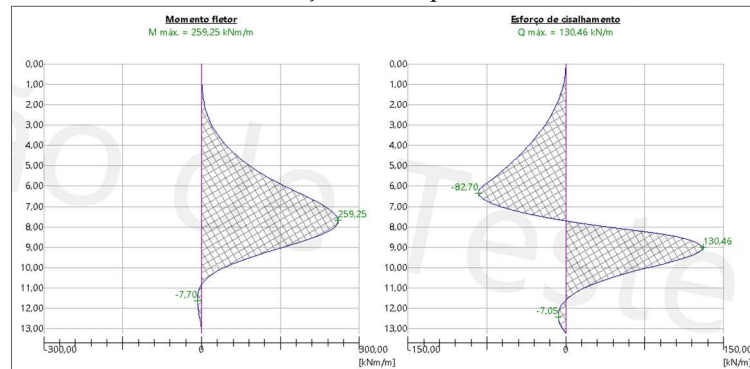
MURTHY, V. N. S. **Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering.** CRC Press,

OLIVEIRA, Amanda Moraes. **Dimensionamento geotécnico e estrutural de uma estrutura de contenção.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 2018.

PRADO, Nuno Miguel de Pinho. **Projeto da estrutura de suporte de uma escavação para um grande edifício no Porto.** Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

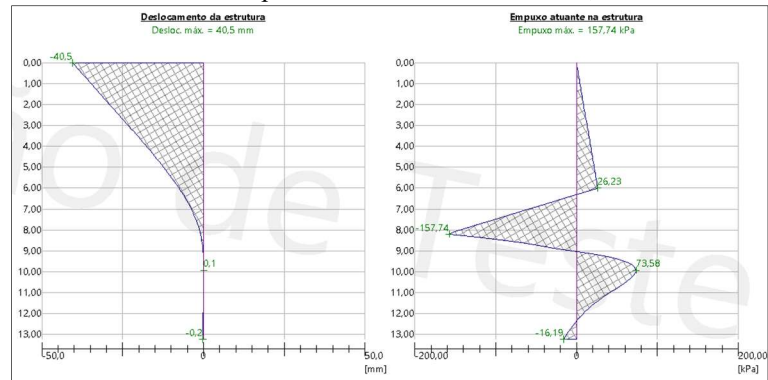
APÊNDICE A

Figura A.1 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 13,23 m altura em balanço



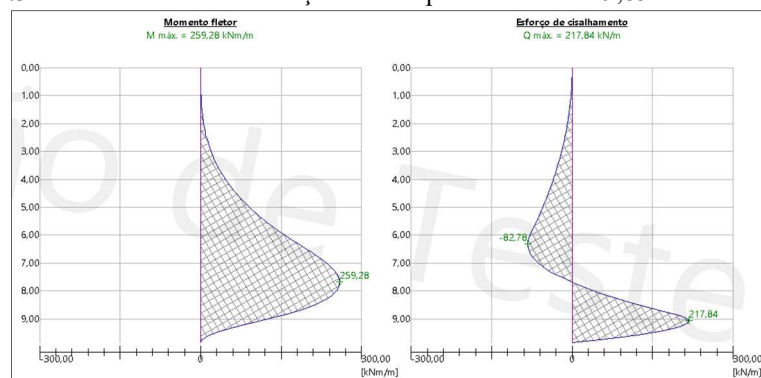
Fonte: Autor (2023)

Figura A.2 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 13,23 m de altura em balanço



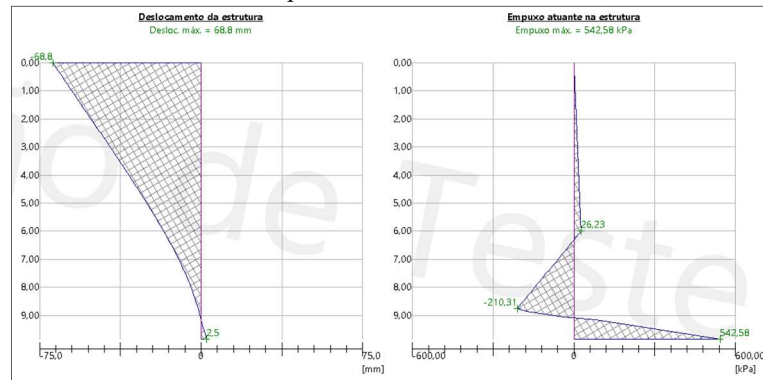
Fonte: Autor (2023)

Figura A.3 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 9,85 m altura em balanço



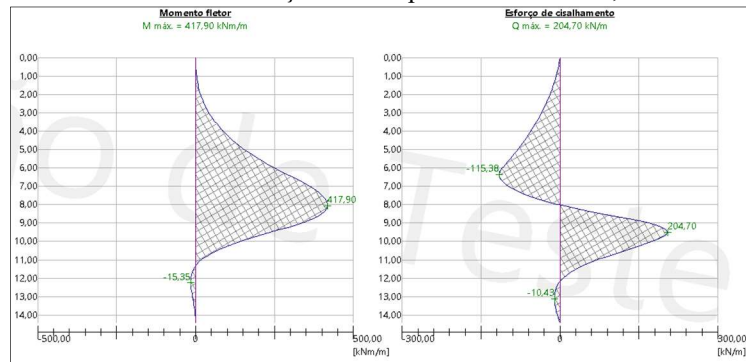
Fonte: Autor (2023)

Figura A.4 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 9,85 m de altura em balanço



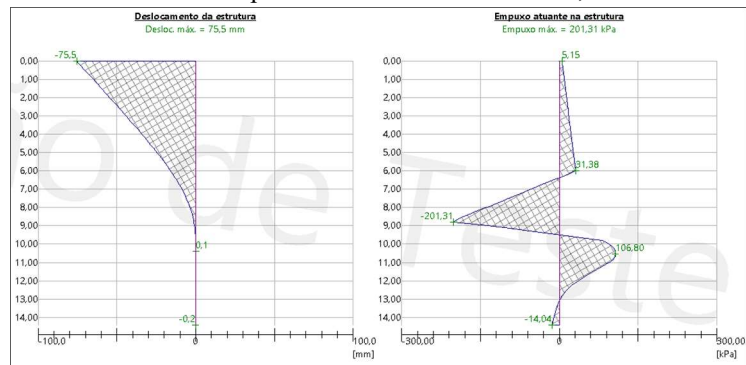
Fonte: Autor (2023)

Figura A.5 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 14,42 m altura em balanço



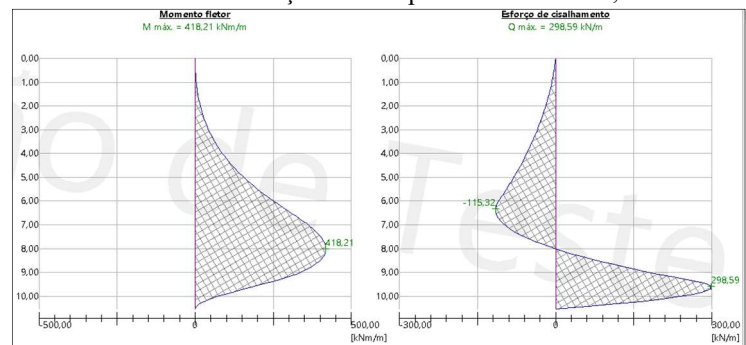
Fonte: Autor (2023)

Figura A.6 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 14,42 m de altura em balanço



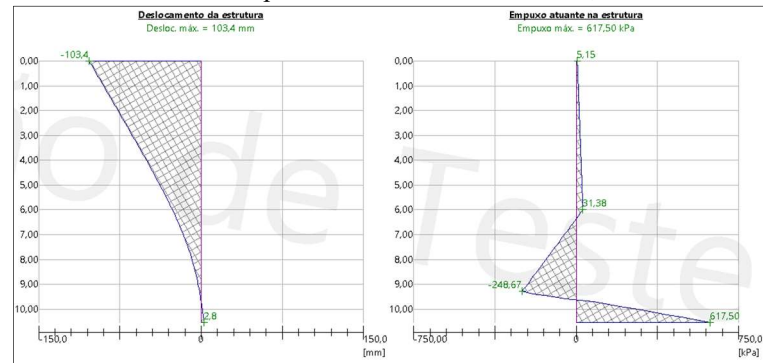
Fonte: Autor (2023)

Figura A.7 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 10,54 m altura em balanço



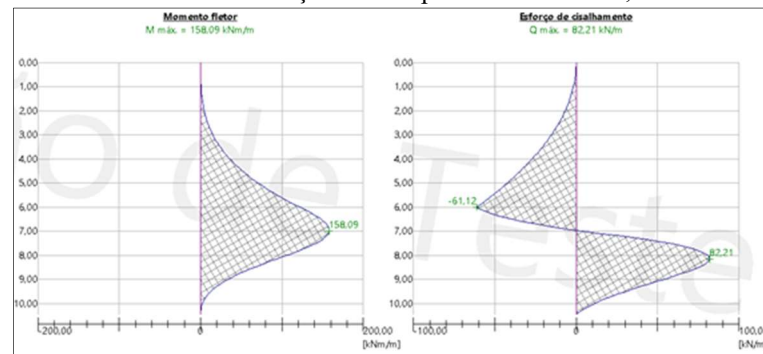
Fonte: Autor (2023)

Figura A.8 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 10,54 m de altura em balanço



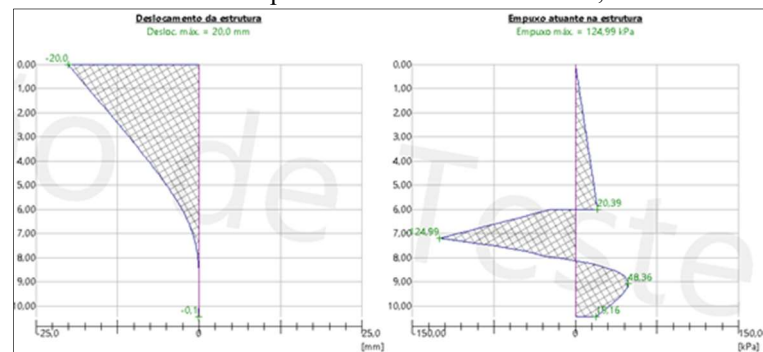
Fonte: Autor (2023)

Figura A.9 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 10,44 m altura em balanço



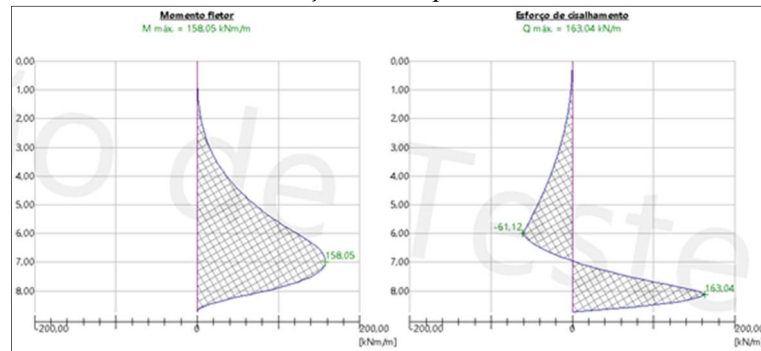
Fonte: Autor (2023)

Figura A.10 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 10,44 m de altura em balanço



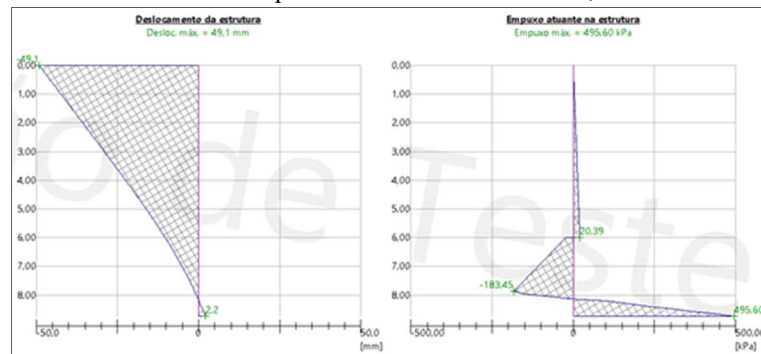
Fonte: Autor (2023)

Figura A.11 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,74 m altura em balanço



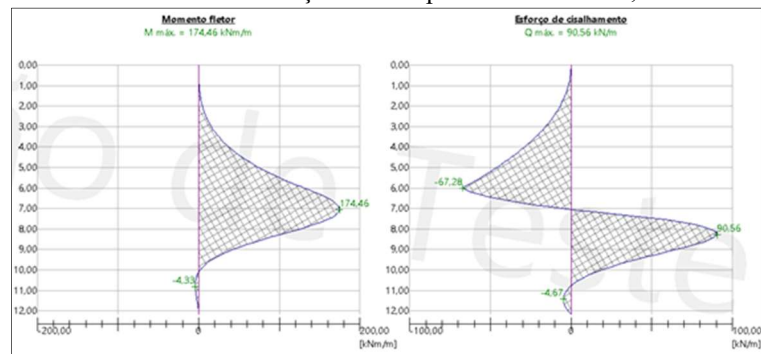
Fonte: Autor (2023)

Figura A.12 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,74 m de altura em balanço



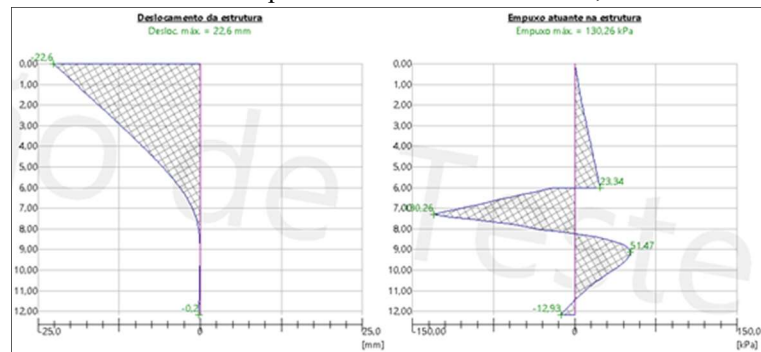
Fonte: Autor (2023)

Figura A.13 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 12,16 m altura em balanço



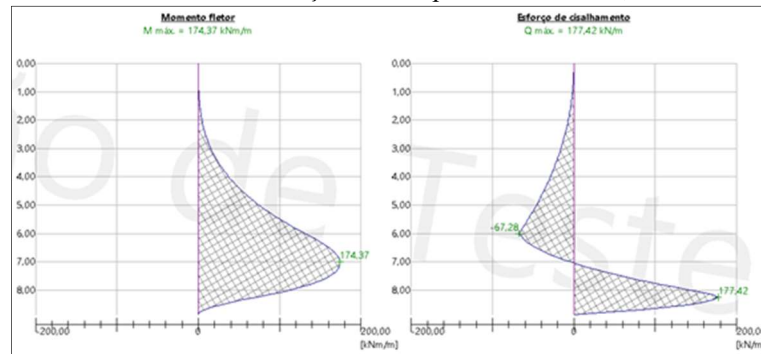
Fonte: Autor (2023)

Figura A.14 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 12,16 m de altura em balanço



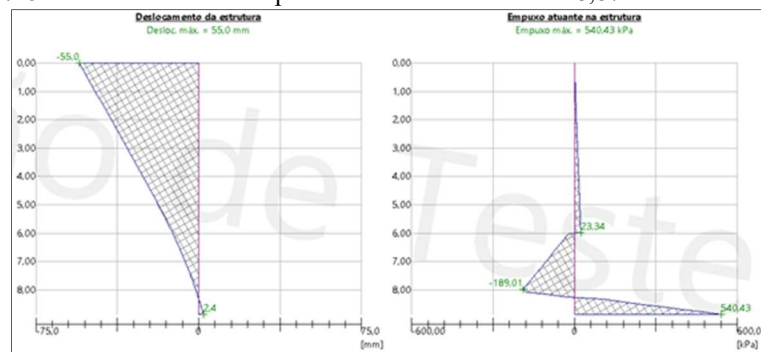
Fonte: Autor (2023)

Figura A.15 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,87 m altura em balanço



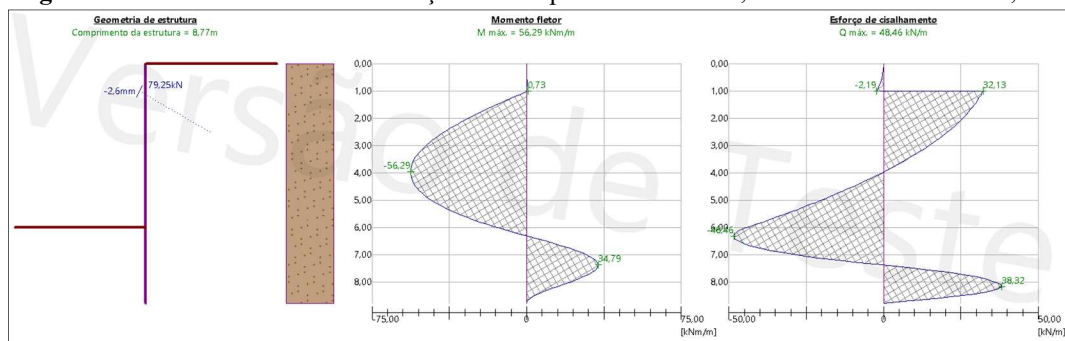
Fonte: Autor (2023)

Figura A.16 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,87 m de altura em balanço



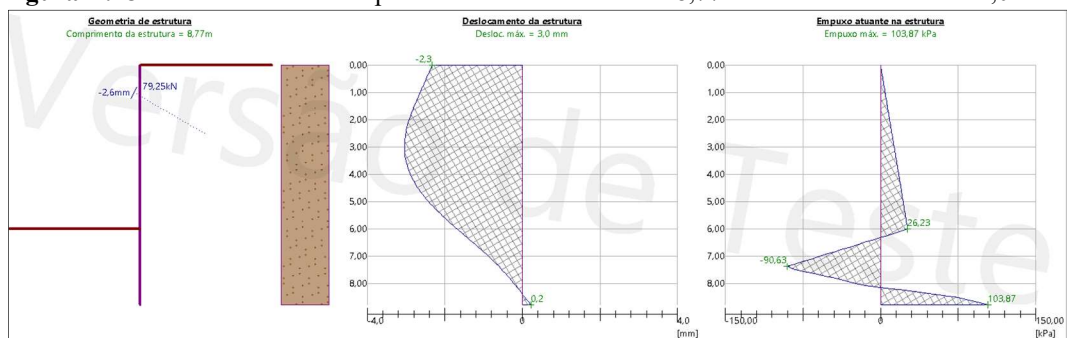
Fonte: Autor (2023)

Figura A.17 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,77 m altura ancorada a 1,0 m



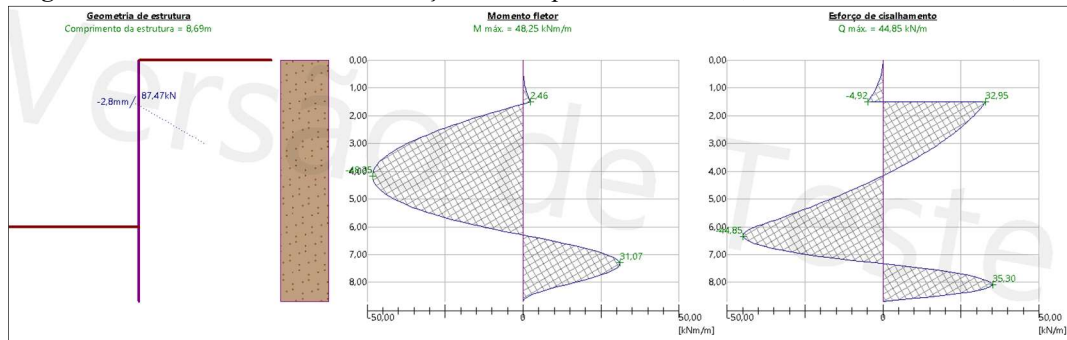
Fonte: Autor (2023)

Figura A.18 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,77 m de altura ancorada a 1,0 m



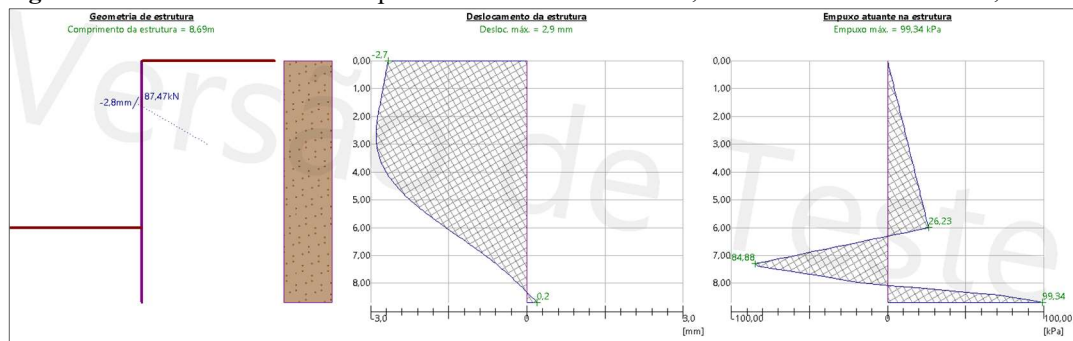
Fonte: Autor (2023)

Figura A.19 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,69 m altura ancorada a 1,5 m



Fonte: Autor (2023)

Figura A.20 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,69 m de altura ancorada a 1,5 m



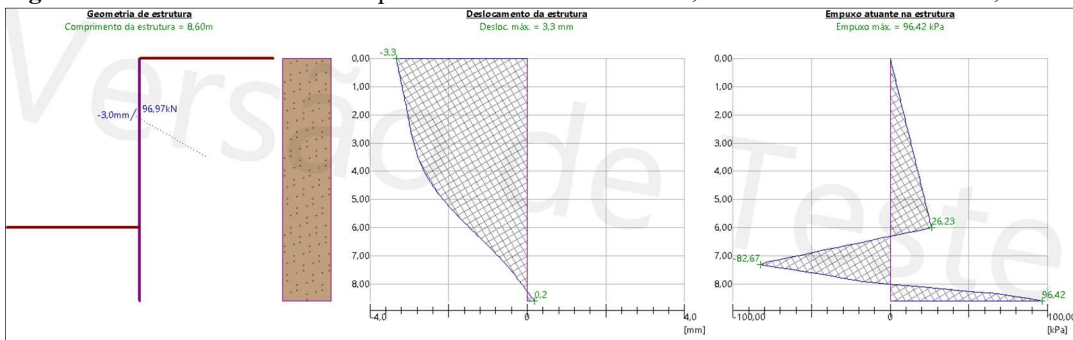
Fonte: Autor (2023)

Figura A.21 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,60 m altura ancorada a 2,0 m



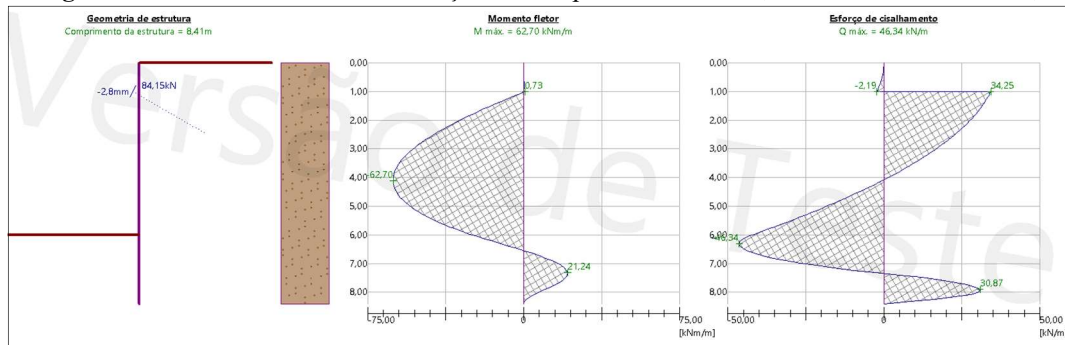
Fonte: Autor (2023)

Figura A.22 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,60 m de altura ancorada a 2,0 m



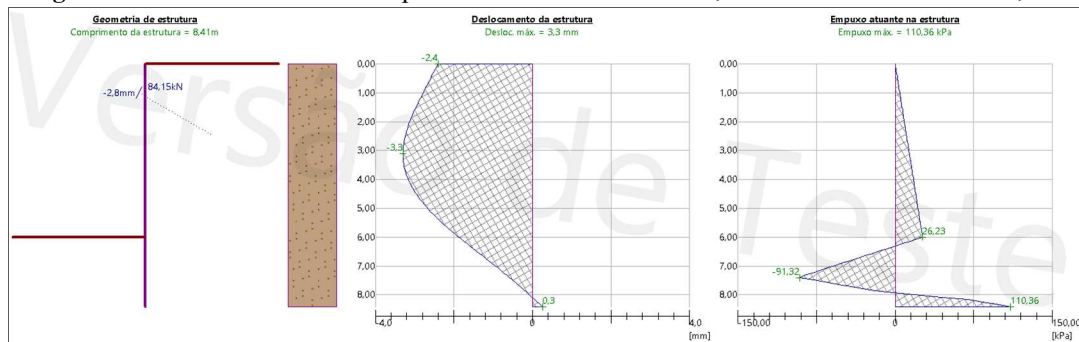
Fonte: Autor (2023)

Figura A.23 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,41 m altura ancorada a 1,0 m



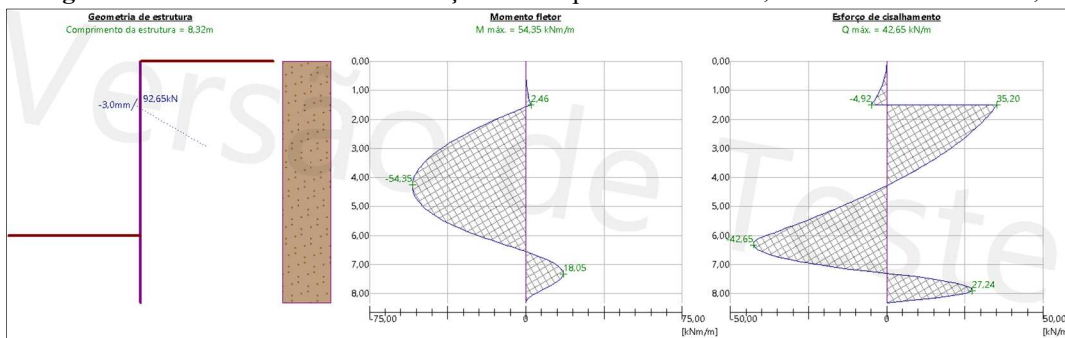
Fonte: Autor (2023)

Figura A.24 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,41 m de altura ancorada a 1,0 m



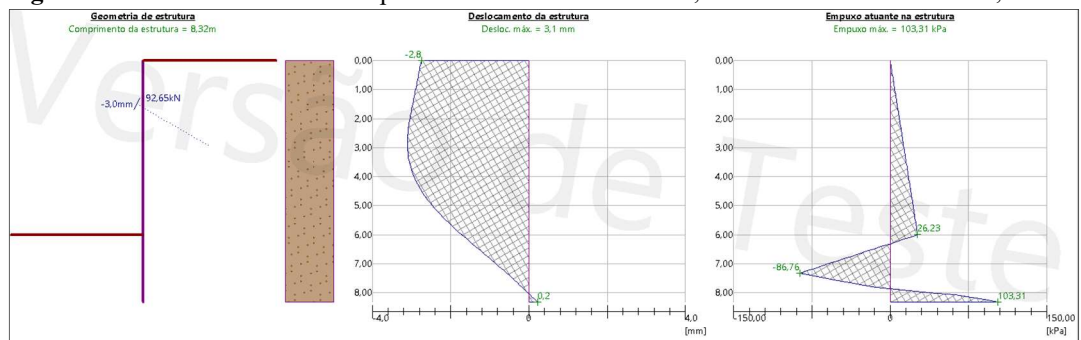
Fonte: Autor (2023)

Figura A.25 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,32 m altura ancorada a 1,5 m



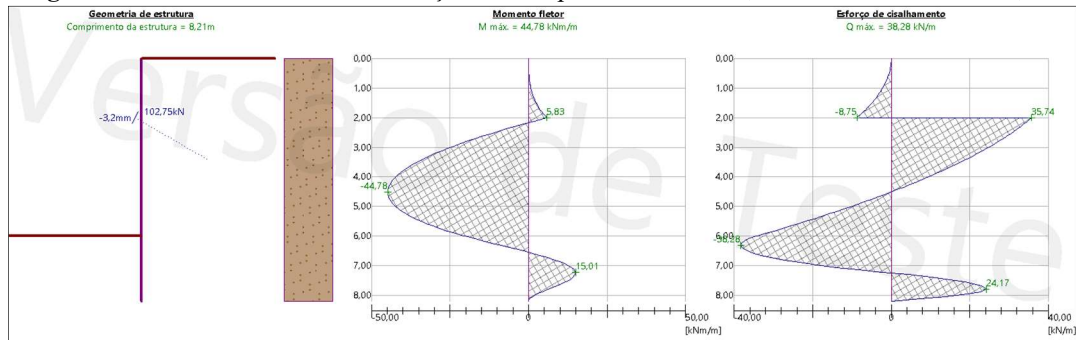
Fonte: Autor (2023)

Figura A.26 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,32 m de altura ancorada a 1,5 m



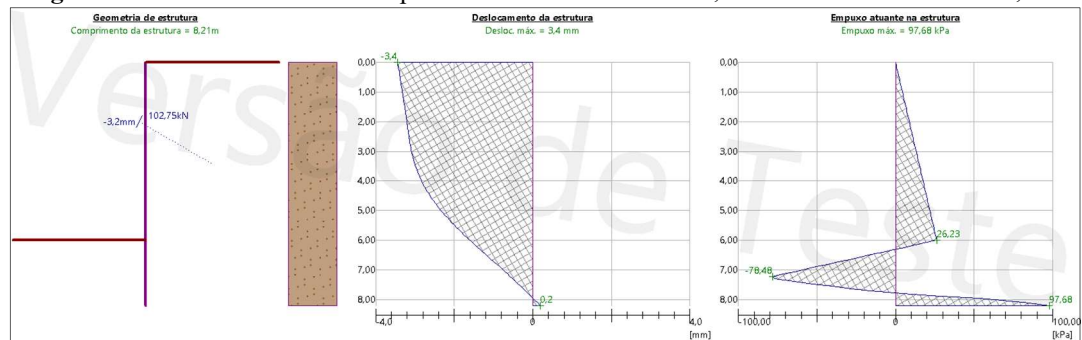
Fonte: Autor (2023)

Figura A.27 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,21 m altura ancorada a 2,0 m



Fonte: Autor (2023)

Figura A.28 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,21 m de altura ancorada a 2,0 m



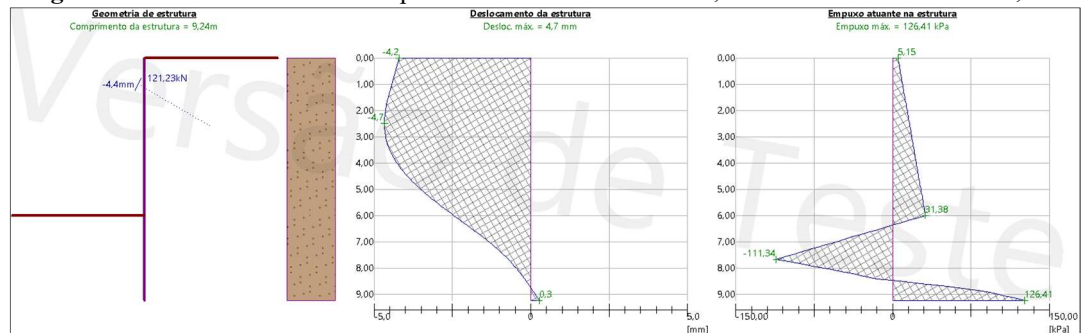
Fonte: Autor (2023)

Figura A.29 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 9,24 m altura ancorada a 1,0 m



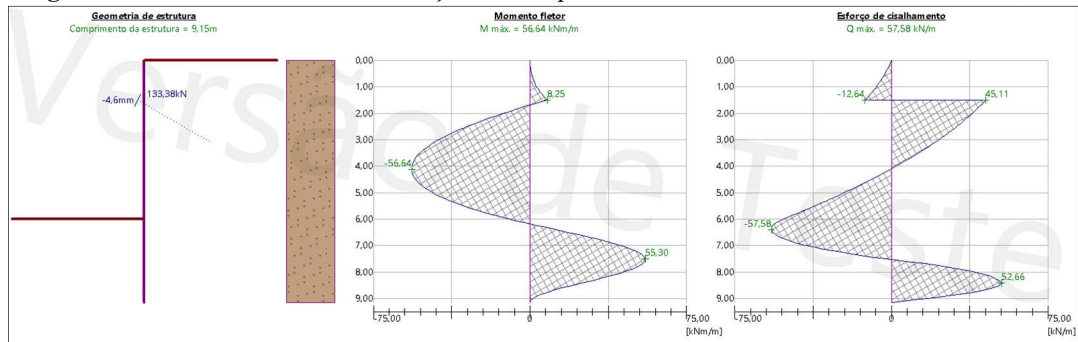
Fonte: Autor (2023)

Figura A.30 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 9,24 m de altura ancorada a 1,0 m



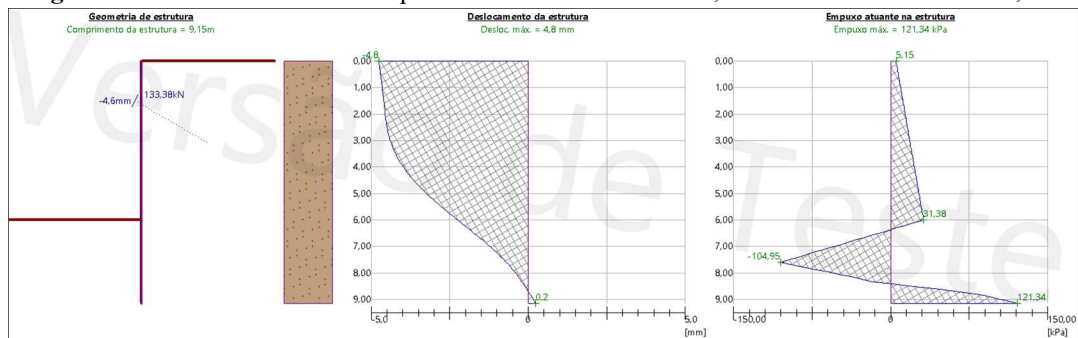
Fonte: Autor (2023)

Figura A.31 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 9,15 m altura ancorada a 1,5 m



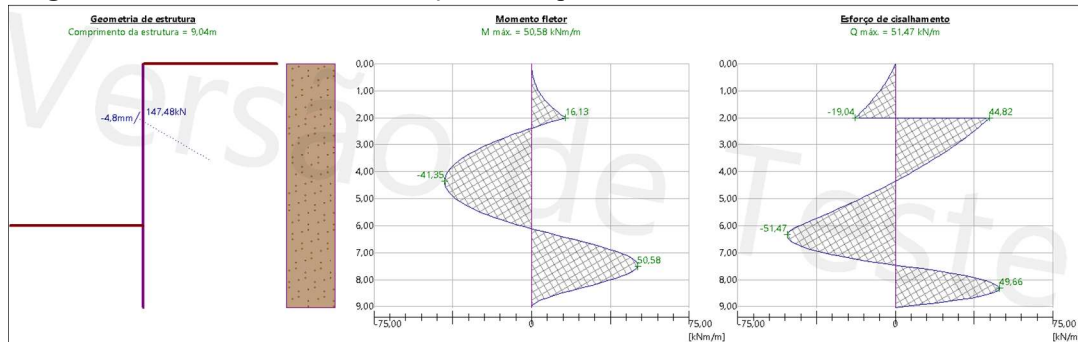
Fonte: Autor (2023)

Figura A.32 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 9,15 m de altura ancorada a 1,5 m



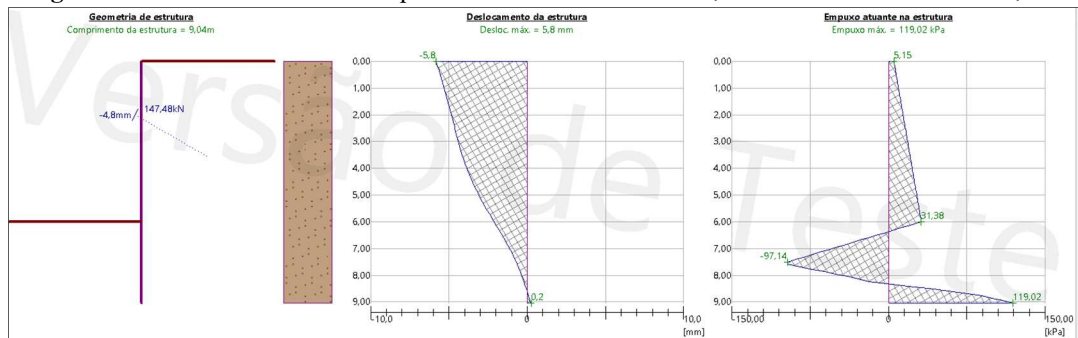
Fonte: Autor (2023)

Figura A.33 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 9,04 m altura ancorada a 2,0 m



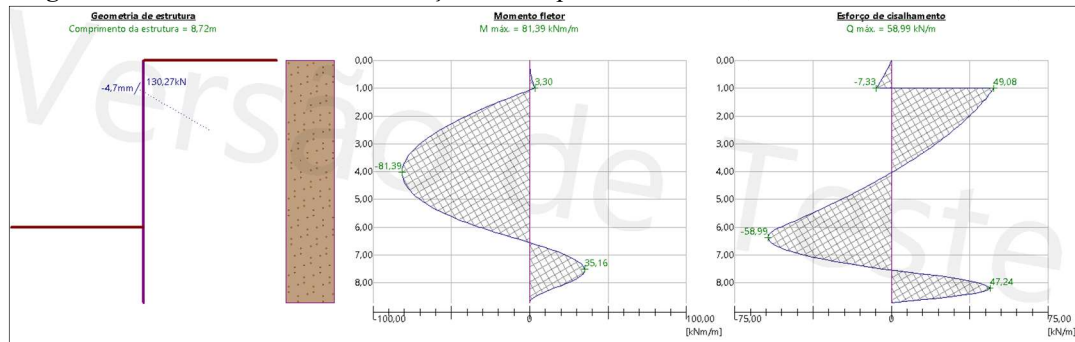
Fonte: Autor (2023)

Figura A.34 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 9,04 m de altura ancorada a 2,0 m



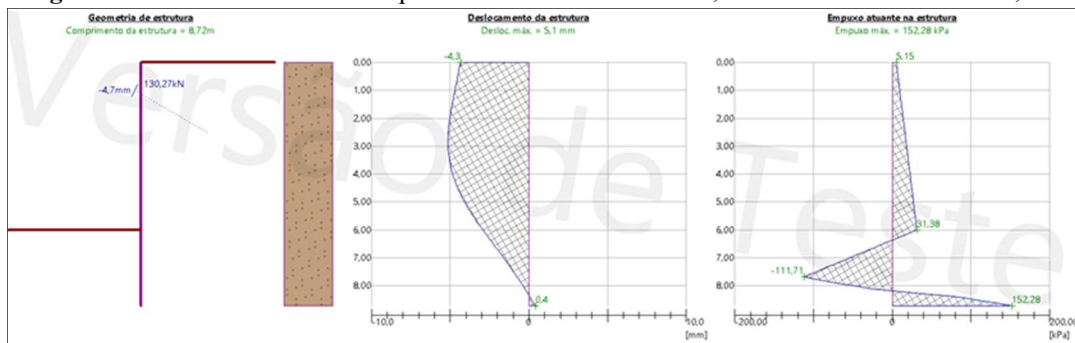
Fonte: Autor (2023)

Figura A.35 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,72 m altura ancorada a 1,0 m



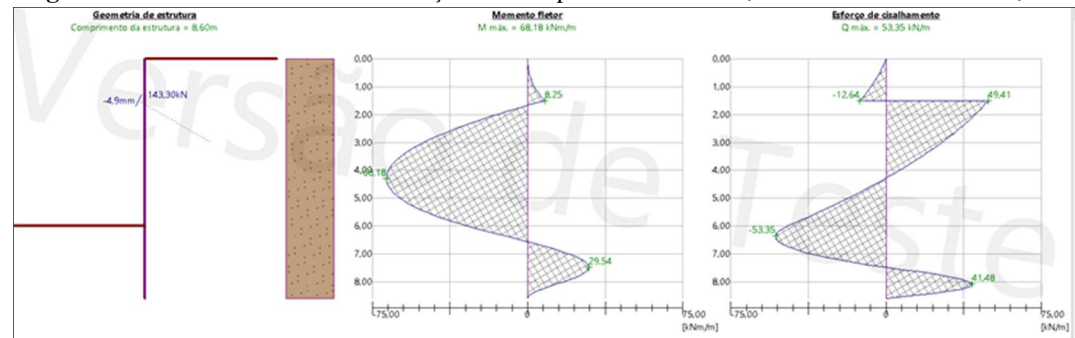
Fonte: Autor (2023)

Figura A.36 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,72 m de altura ancorada a 1,0 m



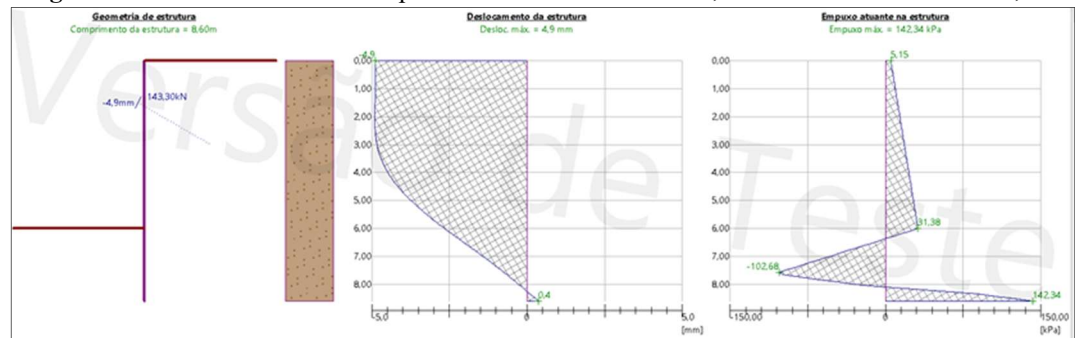
Fonte: Autor (2023)

Figura A.37 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,60 m altura ancorada a 1,5 m



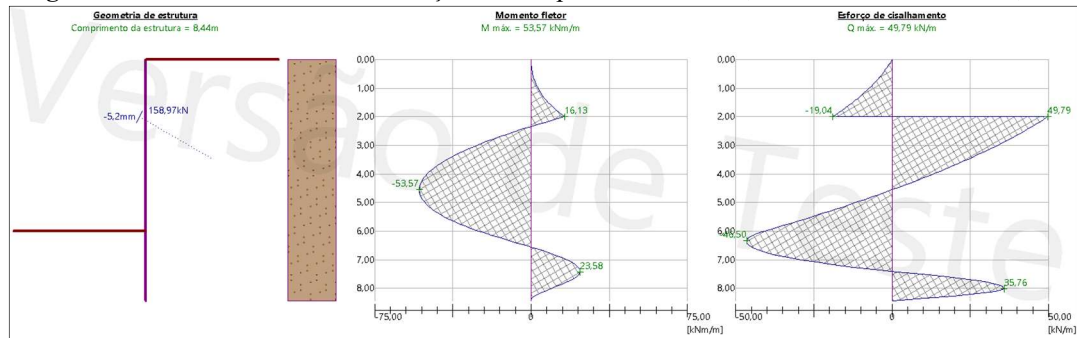
Fonte: Autor (2023)

Figura A.38 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,60 m de altura ancorada a 1,5 m



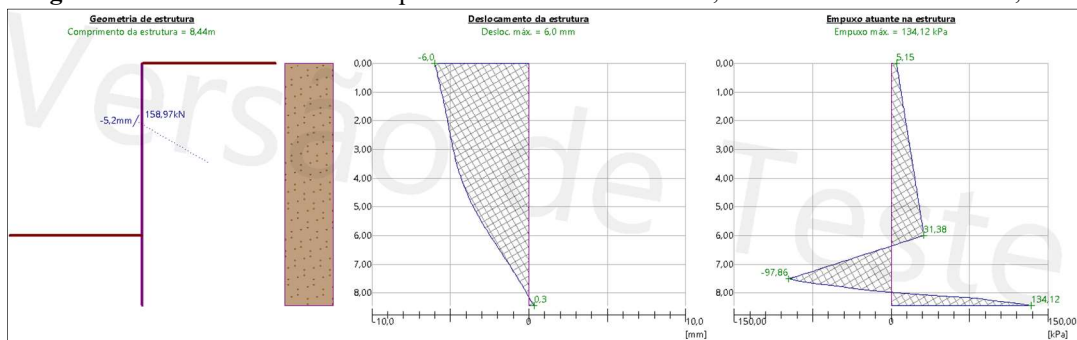
Fonte: Autor (2023)

Figura A.39 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,44 m altura ancorada a 2,0 m



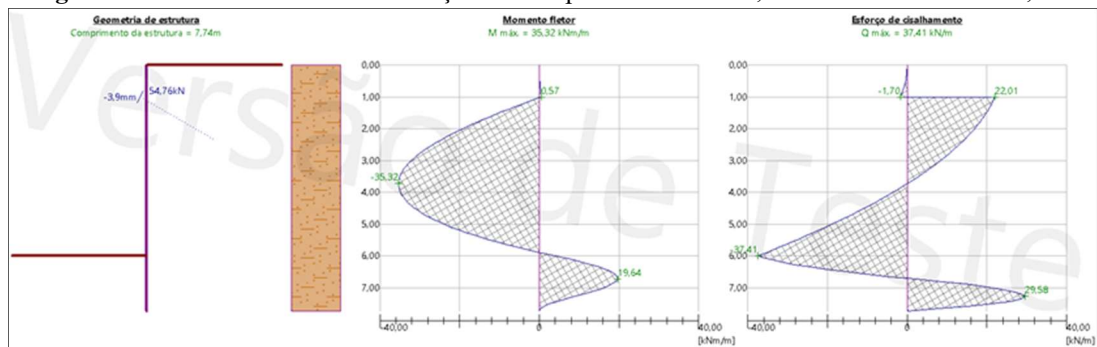
Fonte: Autor (2023)

Figura A.40 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,44 m de altura ancorada a 2,0 m



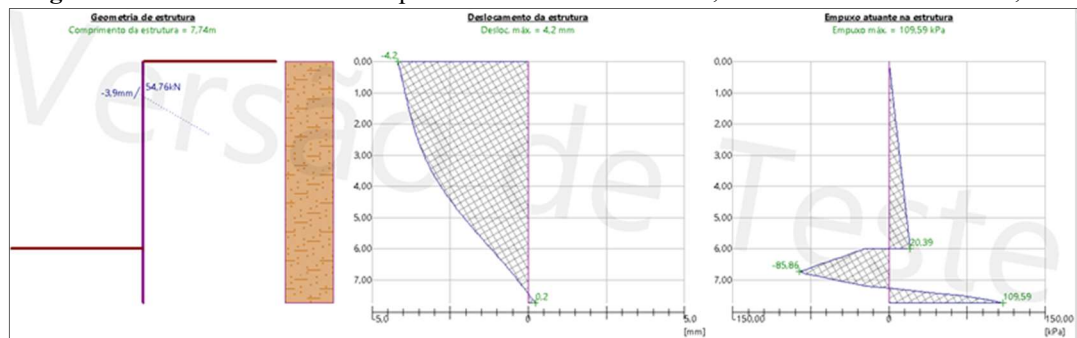
Fonte: Autor (2023)

Figura A.41 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,74 m altura ancorada a 1,0 m



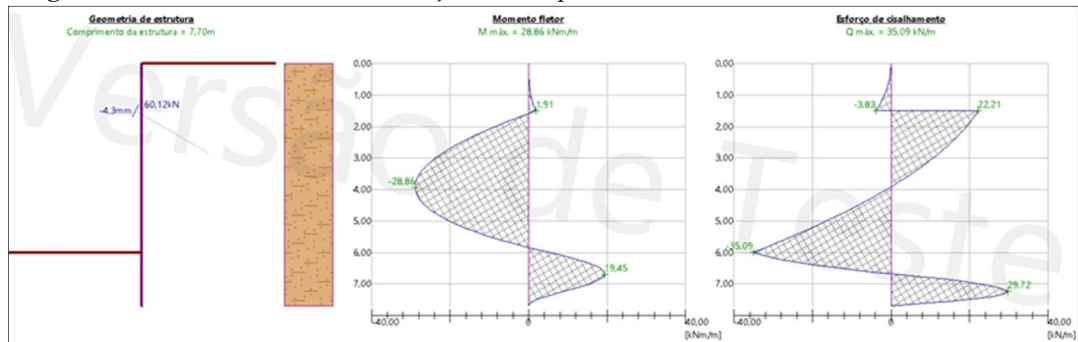
Fonte: Autor (2023)

Figura A.42 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,74 m de altura ancorada a 1,0 m



Fonte: Autor (2023)

Figura A.43 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,70 m altura ancorada a 1,5 m



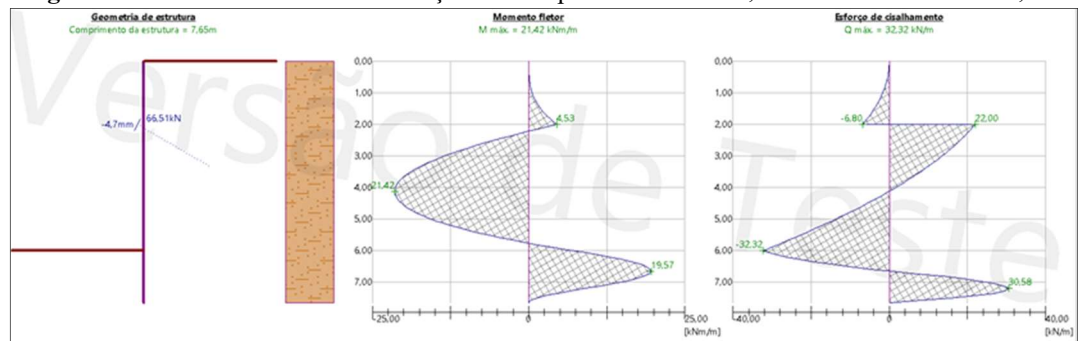
Fonte: Autor (2023)

Figura A.44 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,70 m de altura ancorada a 1,5 m



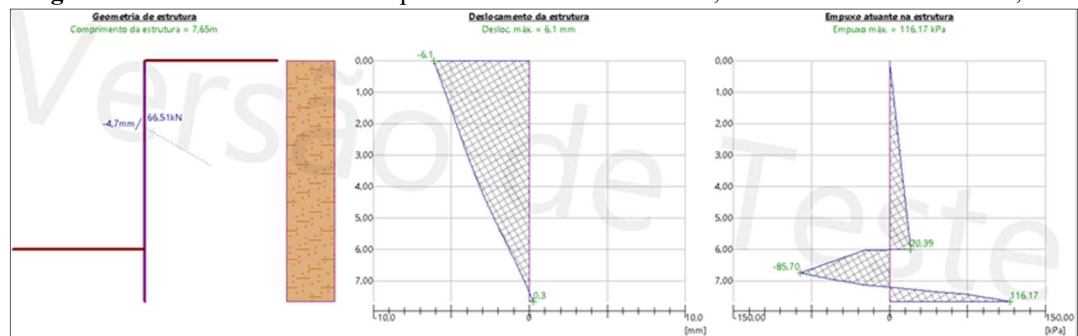
Fonte: Autor (2023)

Figura A.45 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,65 m altura ancorada a 2,0 m



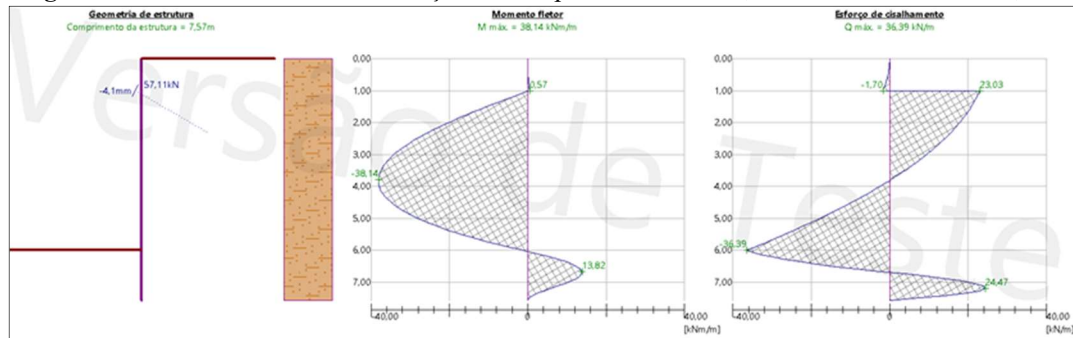
Fonte: Autor (2023)

Figura A.46 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,65 m de altura ancorada a 2,0 m



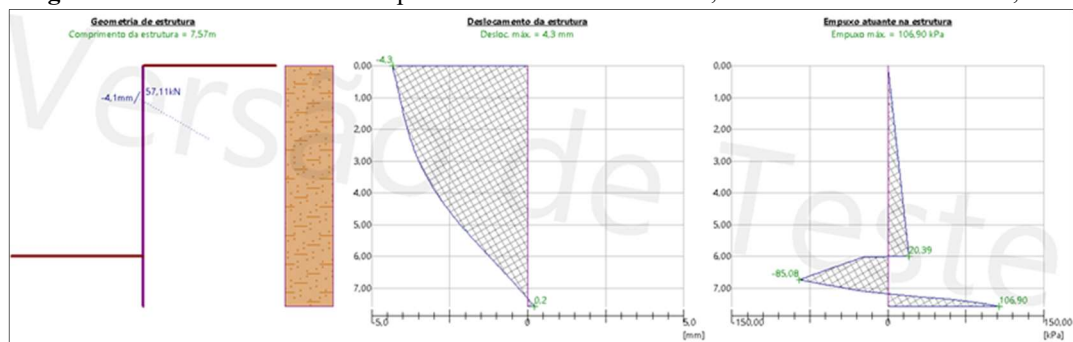
Fonte: Autor (2023)

Figura A.47 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,57 m altura ancorada a 1,0 m



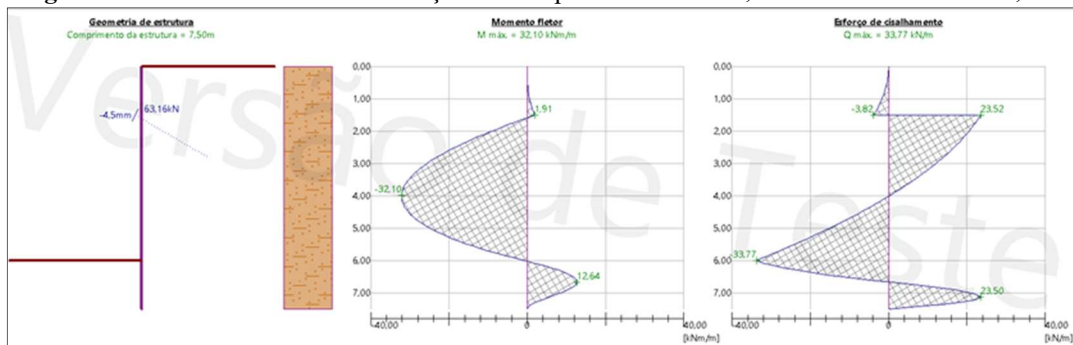
Fonte: Autor (2023)

Figura A.48 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,57 m de altura ancorada a 1,0 m



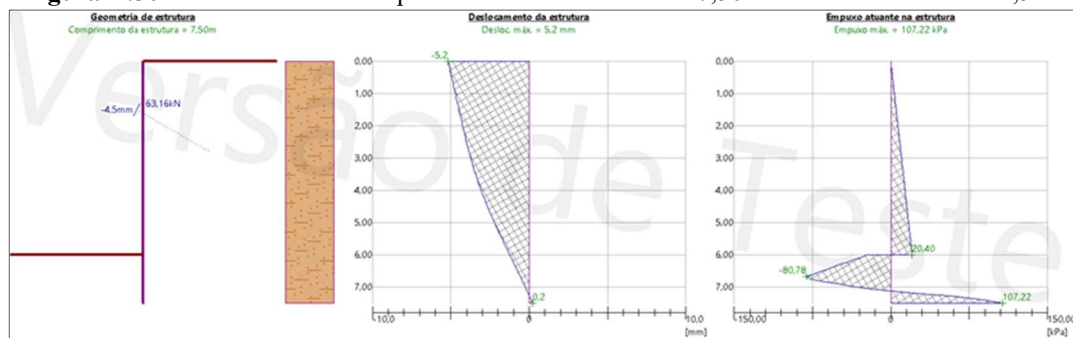
Fonte: Autor (2023)

Figura A.49 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,50 m altura ancorada a 1,5 m



Fonte: Autor (2023)

Figura A.50 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,50 m de altura ancorada a 1,5 m



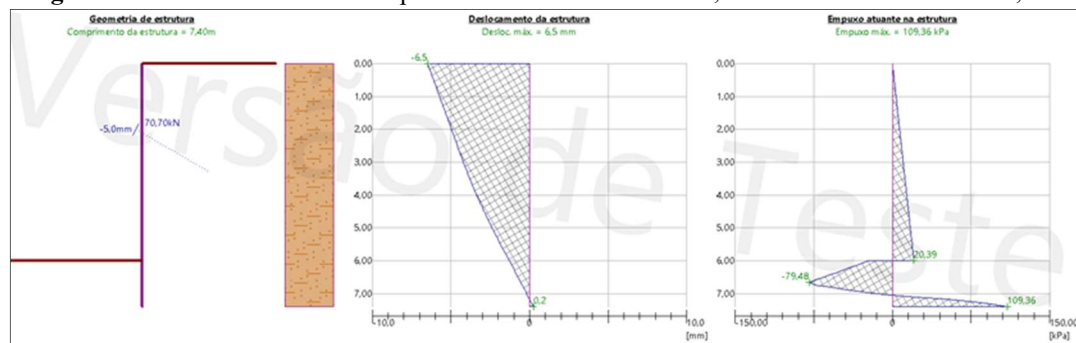
Fonte: Autor (2023)

Figura A.51 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,40 m altura ancorada a 2,0 m



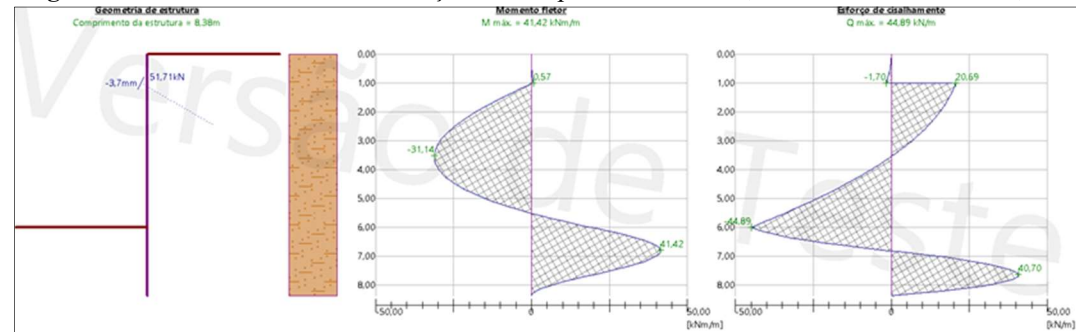
Fonte: Autor (2023)

Figura A.52 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,40 m de altura ancorada a 2,0 m



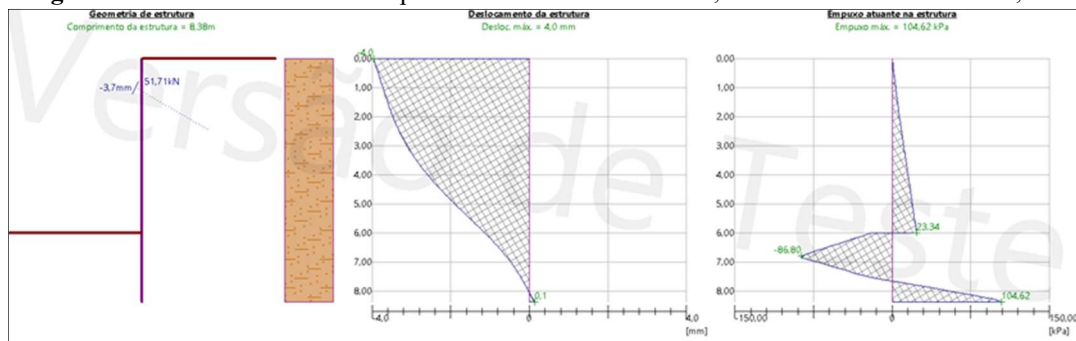
Fonte: Autor (2023)

Figura A.53 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,38 m altura ancorada a 1,0 m



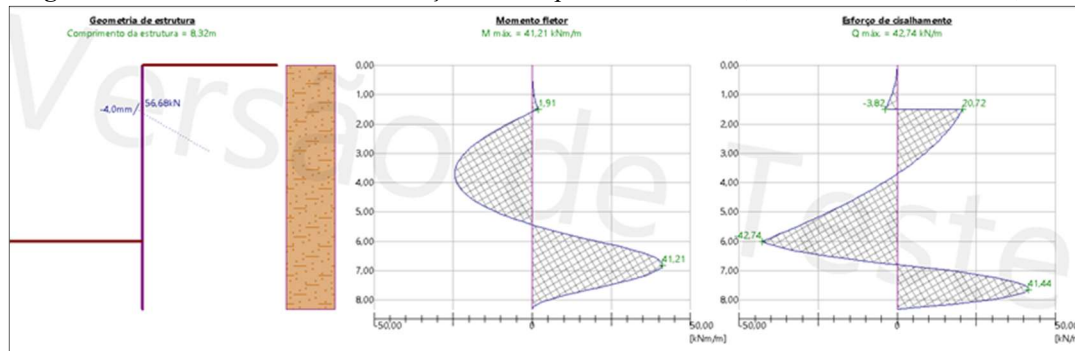
Fonte: Autor (2023)

Figura A.54 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,38 m de altura ancorada a 1,0 m



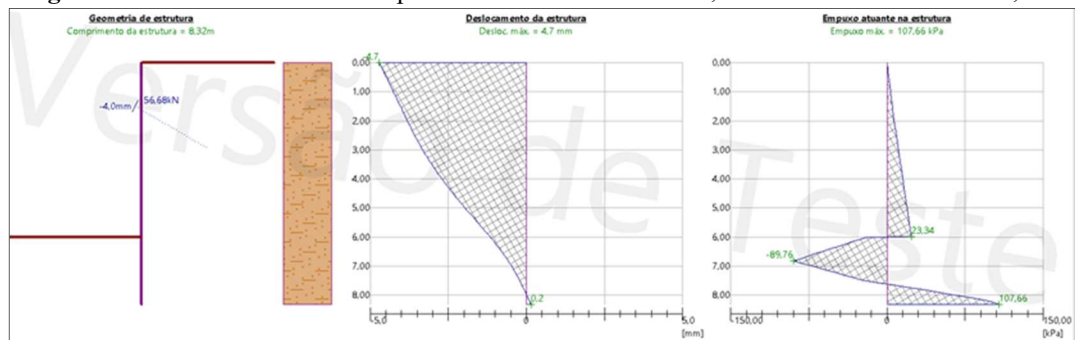
Fonte: Autor (2023)

Figura A.55 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,32 m altura ancorada a 1,5 m



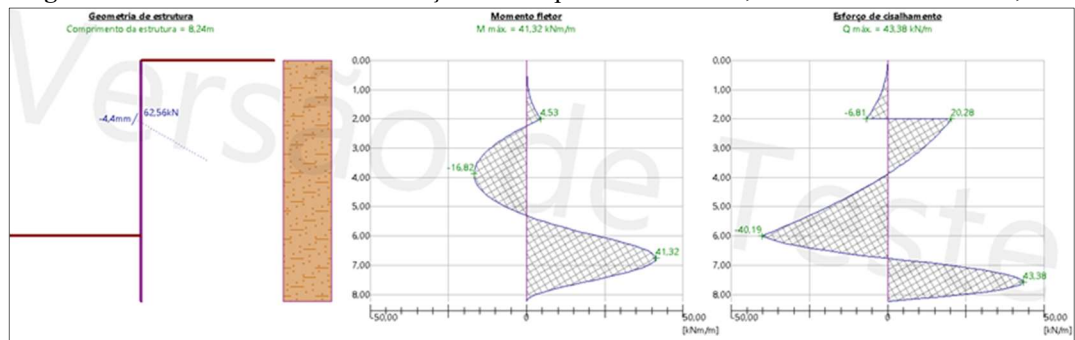
Fonte: Autor (2023)

Figura A.56 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,32 m de altura ancorada a 1,5 m



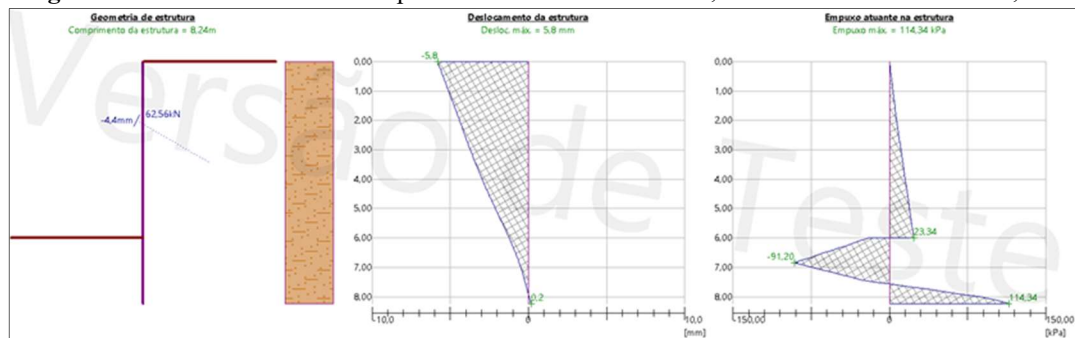
Fonte: Autor (2023)

Figura A.57 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 8,24 m altura ancorada a 2,0 m



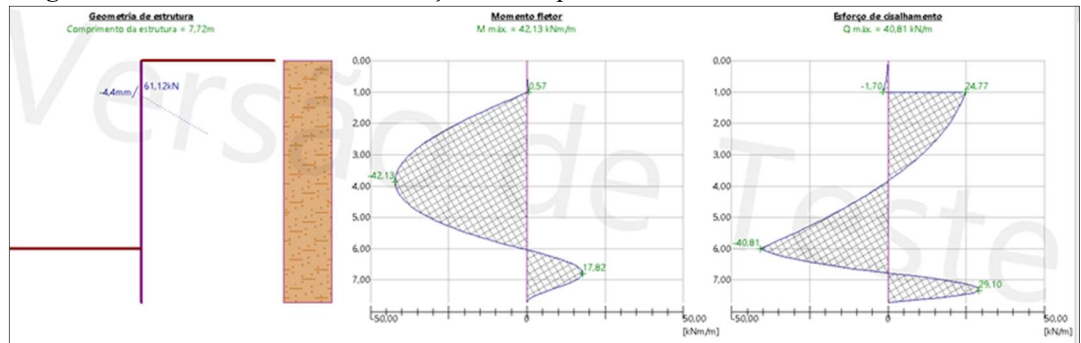
Fonte: Autor (2023)

Figura A.58 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 8,24 m de altura ancorada a 2,0 m



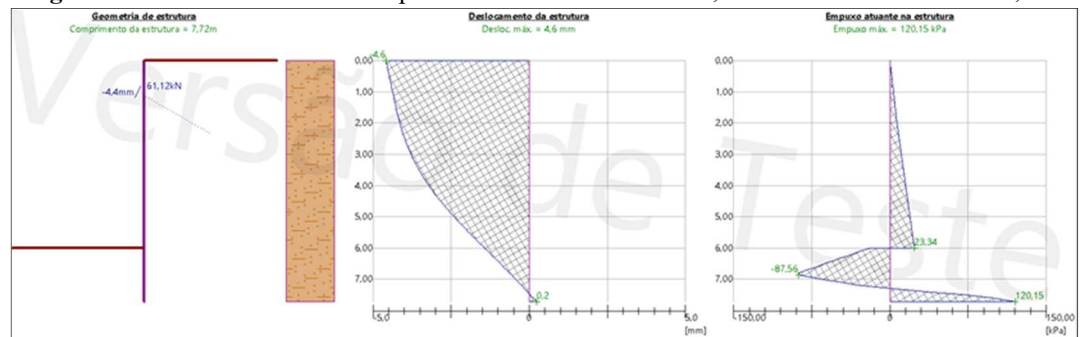
Fonte: Autor (2023)

Figura A.59 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,72 m altura ancorada a 1,0 m



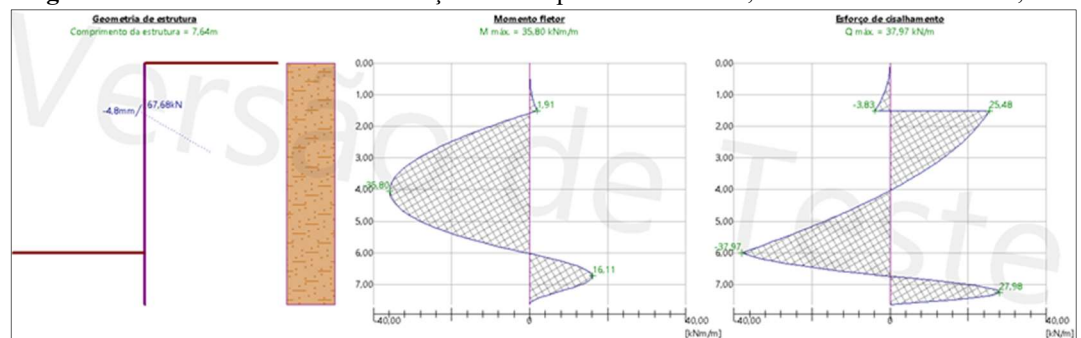
Fonte: Autor (2023)

Figura A.60 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,72 m de altura ancorada a 1,0 m



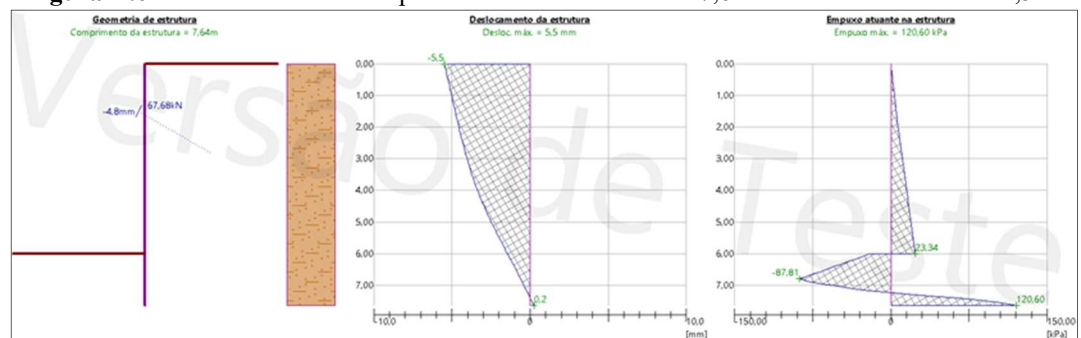
Fonte: Autor (2023)

Figura A.61 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,64 m altura ancorada a 1,5 m



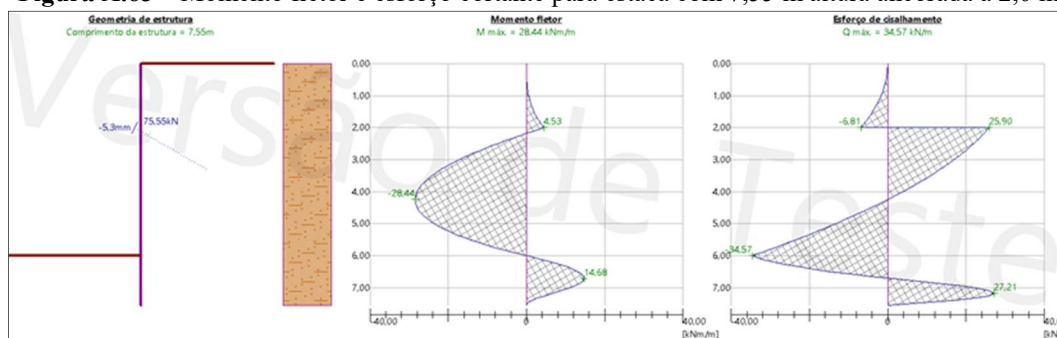
Fonte: Autor (2023)

Figura A.62 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,64 m de altura ancorada a 1,5 m



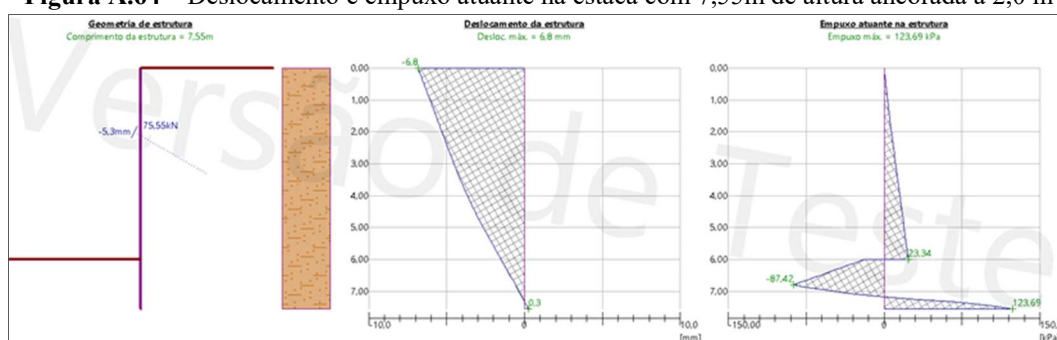
Fonte: Autor (2023)

Figura A.63 – Momento fletor e esforço cortante para estaca com 7,55 m altura ancorada a 2,0 m



Fonte: Autor (2023)

Figura A.64 – Deslocamento e empuxo atuante na estaca com 7,55m de altura ancorada a 2,0 m



Fonte: Autor (2023)

ÊYLLA CRISTINA VASCONCELOS BALTAZAR

**CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PARA CONTENÇÃO
UTILIZANDO O SOFTWARE GEO 5**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Aprovado em 05 de Outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Moura Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Saul Barbosa Guedes (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Roberto Evaristo de Oliveira Neto (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco