



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

DANIEL SILVA BARBOSA

**DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO AUTOMATIZADOS DE MUROS DE  
ARRIMO POR MEIO DA API DO SOFTWARE AUTODESK REVIT**

Caruaru

2024

DANIEL SILVA BARBOSA

**DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO AUTOMATIZADOS DE MUROS DE  
ARRIMO POR MEIO DA API DO SOFTWARE AUTODESK REVIT**

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(a):** Prof. D.Sc. José Moura Soares

Caruaru

2024

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos e livramentos que me concedeu, incluindo aqueles que sequer pude perceber. Sou grato pela combinação perfeita dos fatores que me permitiram superar todos os obstáculos enfrentados e conquistar tantos objetivos.

Aos meus pais, Damiana Josefa e João Batista, aos meus irmãos Geisiane, Natanael, Abimaele, Raquel, Raiane e Danielly, e aos meus avós Luiza Antônia (*in memoriam*) e José Amaro pelo incentivo e apoio durante o processo árduo da graduação. Todo o apoio foi essencial, e se não fosse por vocês, nada disso teria sido possível.

Ao meu orientador e amigo professor Moura, ao qual tive o prazer de conhecer desde o primeiro período da faculdade, e por meio do qual fui iniciado na área de Geotecnia. Agradeço por ter me acompanhado em minha formação, e por tamanha disponibilidade para fornecer apoio acadêmico e profissional.

Aos demais professores que contribuíram para minha formação, em especial: Michele Mara, professora de Algoritmos e Linguagens de Programação, Humberto Correia, Elder Vasconcelos, Cléssio Leão, Saulo de Tarso, Mariana Villela, Shirley Minnell, Maria Victória, Flávio Eduardo, Marília Marinho, Rubens Silva e Jocilene Costa.

À Pórtis Júnior, onde tive o enorme prazer de participar no Setor de Projetos, primeiro como Assessor, depois com Gerente de Projetos. Foi onde desenvolvi diversas habilidades interpessoais, em especial, a liderança.

Aos meus amigos de graduação: André Inácio, Daysa Barbosa, Gleyce Nair, João Pedro, Luccas André e Melquisedeque Brito por terem tornado o processo mais leve e pelo companheirismo desde o início do curso.

Agradeço ainda a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a minha formação, seja através de apoio, incentivos ou orações.

## **Dimensionamento e detalhamento automatizado de muros de arrimo por meio da API do software Autodesk Revit**

### **Automated sizing and detailing of retaining walls through the Autodesk Revit software API**

**Daniel Silva Barbosa<sup>1</sup>**

---

#### **RESUMO**

A sociedade contemporânea vive mais uma revolução digital onde os processos produtivos passam a ser automatizados com mais frequência, estendendo-se à etapa criativa de projetos, onde os processos de elaboração estão sendo realizados através de uma combinação de programação e modelagem digital de forma a diminuir e agilizar o processo manual. Uma das ferramentas de destaque nessa área é o *software* Revit da Autodesk, o qual permite a construção de modelos digitais baseado na metodologia BIM (*Building Information Modeling*), ao mesmo tempo que permite a extensão de suas funcionalidades por meio da programação. Dentro desse contexto, esse estudo teve como objetivo desenvolver uma ferramenta para a automatização do dimensionamento de muros de arrimo, através da verificação dos principais modos de ruptura associados à estabilidade dessas estruturas. Apesar de existirem diversos programas destinados a este fim, o Revit foi escolhido por facilitar a colaboração entre profissionais de diferentes disciplinas reduzindo assim, problemas de interoperabilidade. Para garantir que o projeto atendesse aos requisitos normativos, foi consultada literatura relevante para identificar os principais parâmetros técnicos para um projeto eficaz. Seguindo a aplicação desta base técnica, o presente trabalho desenvolveu com sucesso uma rotina para o dimensionamento automatizado de muros de arrimo. Em última análise, este trabalho contribui para a engenharia ao apresentar aos profissionais uma solução alternativa para o desenvolvimento de projetos, gerando impactos positivos para a área e apresentando novos caminhos a serem explorados.

**Palavras-chave:** Muro de arrimo, parametrização, automatização, BIM

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: daniel.sbarbosa2@ufpe.br

---

**ABSTRACT**

Contemporary society is undergoing yet another digital revolution, where productive processes are increasingly being automated, extending even to the creative stage of projects. In this scenario, the combination of programming and digital modeling is being used to streamline and reduce manual intervention in the elaboration processes. The Autodesk Revit software stands out as an essential tool in this context, allowing for the construction of digital models based on the BIM (Building Information Modeling) methodology, as well as enabling the extension of its functionalities through programming. Given this context, the present study aimed to develop a tool to automate the design of retaining walls, by verifying the main failure modes associated with the stability of these structures, with dimensions predefined by the user. Despite the existence of several programs aimed at this purpose, Revit was selected for its ability to facilitate collaboration among professionals from different disciplines, minimizing interoperability issues. To ensure that the project met regulatory requirements, a review of the specialized literature was conducted to identify the main technical parameters for an effective design. Following the application of this technical foundation, the study successfully developed an automated routine for the design of retaining walls. The main outcome was an automated routine for the design of these structures. In summary, this work contributes to engineering by presenting professionals with an alternative for project development, generating positive impacts for the field and opening up new avenues to be explored.

**Keywords:** Retaining wall, parameterization, automation, BIM

---

**DATA DE APROVAÇÃO:** 25 de Março de 2024

---

## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil contemporânea enfrenta desafios cada vez mais complexos advindos do cenário atual onde grandes quantidades de dados e variáveis precisam ser conhecidas antes das tomadas de decisão. A urgência inerente à resolução de muitas situações do campo prático impõe a necessidade de acesso a diversas ferramentas tecnológicas pelos engenheiros, visando aprimorar a eficiência e precisão de suas ações.

No âmbito da elaboração de projetos de muros de arrimo, tradicionalmente, o dimensionamento dessas estruturas envolvia a execução manual dos cálculos complexos e análises extensas, demandando um investimento significativo de tempo e esforço por parte dos engenheiros. Contudo, a introdução de softwares avançados de projeto revolucionou esse processo, permitindo uma abordagem mais eficiente e precisa.

No cenário atual da Engenharia Civil, há alguns *softwares* que se destacam no dimensionamento de muros de arrimo. No entanto, uma problemática recorrente é a falta de interoperabilidade dessas ferramentas com outros *softwares* utilizados ao longo do ciclo de vida de uma obra. Este trabalho propõe uma nova abordagem para superar essa limitação ao introduzir uma ferramenta de dimensionamento de muros de arrimo integrada ao Autodesk Revit, um dos *softwares* mais amplamente utilizados na Construção Civil.

Os *softwares* desenvolvidos pela Autodesk não apenas apresentam interfaces de usuário convencionais, mas também disponibilizam interfaces de programação (APIs), possibilitando a manipulação do *software* por meio de comandos codificados em linguagens de programação compatíveis. A API do Revit oferece uma abordagem programática robusta para interação direta com o software, e por meio dessa interface é viável extrair dados detalhados do modelo, executar cálculos especializados sobre esses dados e, por fim, reintegrar os resultados de volta ao modelo. Especificamente, ao criar um objeto que encapsula as informações que descrevem um muro de arrimo, a API possibilita a execução completa do processo de dimensionamento por meio de comandos.

### 1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é explorar a capacidade da API do Revit para a realização do dimensionamento de muros de arrimo submetidos a diferentes condições geotécnicas. Serão

abordados os aspectos teóricos e conceituais subjacentes a essa metodologia, bem como será desenvolvida uma aplicação prática com esses conceitos.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos, os quais constituem as etapas do presente trabalho, são:

- Revisar alguns dos principais métodos de dimensionamento de muros de arrimo;
- Revisar os modos de ruptura de muros de arrimo e suas verificações;
- Criar um modelo tridimensional parametrizado que armazena os parâmetros de geometria e geotecnia de um muro de arrimo e do talude adjacente;
- Implementar o cálculo do empuxo do solo sobre muros de arrimo sujeitos a diferentes condições;
- Implementar a verificação de muros de arrimo quanto ao deslizamento, tombamento e capacidade de carga do solo;
- Realizar o detalhamento automatizado das seções dimensionadas dos muros;
- Implementar o cálculo e desenho automático da distribuição de tensões.

---

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BIM e Interoperabilidade

A Construção Civil tem buscado adaptar e incorporar tecnologias desenvolvidas em outros contextos para melhorar a eficiência e qualidade dos seus projetos. Além disso, também tem havido um desenvolvimento contínuo de tecnologias específicas para a construção civil, como materiais mais sustentáveis e tecnologias de impressão 3D para a construção de estruturas e componentes. Os processos de elaboração de projetos de engenharia também passaram por várias modificações ao longo do tempo influenciadas pelo surgimento de tecnologias cada vez mais avançadas que tornaram os processos mais precisos e automatizados.

Nos primórdios da Engenharia, todo o trabalho dos projetistas era realizado manualmente e utilizava-se compassos, régua, esquadros e demais instrumentos de desenho. Da mesma forma, os cálculos necessários para o dimensionamento dos projetos eram feitos por meio de instrumentos como as régua de cálculo, tábuas matemáticas e ábacos.

Com o avanço da Ciência da Computação e do surgimento, a partir da década de 1960, dos primeiros softwares baseados em metodologia CAD (do inglês *Computer Aided Design*, ou Projeto Assistido por Computador), as representações gráficas passaram a ser desenvolvidas em ambiente virtual, com o auxílio de computadores. Segundo Arlindo Silva (2004), um sistema CAD consiste em *software* que apresenta um “conjunto de comandos específicos para operações de desenho (linhas, polígonos, sólidos geométricos) e sua manipulação (ampliação, deformação, mudanças de escala, cópias, translações etc.)” (Arlindo Silva *et al.*, 2004). Dessa forma, tudo o que antes era feito manualmente, passou a ser feito na tela de um computador.

Essa metodologia, porém, se limitava à representação dos objetos, sem de fato conter todas as informações físicas associadas a eles. Aquilo que para o computador eram duas linhas paralelas, para o projetista poderia ser uma parede, um tubo ou um eletroduto, a depender do tipo de projeto. À medida que os sistemas CAD foram se desenvolvendo, informações adicionais foram sendo acrescentadas aos arquivos de desenho para permitir blocos de dados e textos associados. Com a introdução da modelagem 3D, foram adicionadas definições avançadas e ferramentas complexas de geração de superfícies. Ao passo que os sistemas CAD se tornaram mais inteligentes e mais usuários desejaram compartilhar dados associados com determinado projeto, o foco transferiu-se dos desenhos e das imagens 3D para os próprios dados (EASTMAN *et al.*, 2014).

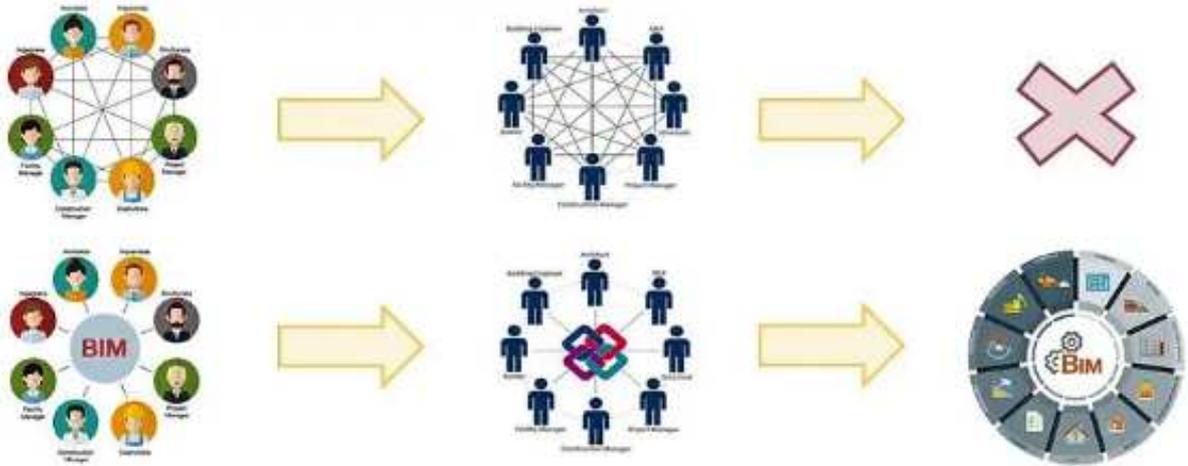
A metodologia BIM (do inglês *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção) é o estágio mais atual dessa evolução, e possibilitou a realização de tarefas antes impraticáveis. O conceito de BIM sofreu várias adequações conforme a tecnologia foi sendo desenvolvida e, atualmente ainda existem debates sobre o tema. Uma definição dada por Eastman (2014) é: “[...] uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Tal tecnologia só se tornou possível com o avanço da computação tanto em termos de capacidade de processamento, quanto de ferramentas gráficas.

A metodologia BIM baseia-se na criação de um modelo digital centralizado (Figura 1) que contém todas as informações de uma construção, a partir do qual todas as partes interessadas podem extrair os dados necessários. Essas informações podem ser processadas por diferentes softwares, de acordo com a área de atuação do profissional.

A interoperabilidade refere-se à facilidade e possibilidade de transferência e recebimento de dados da construção entre diferentes *softwares* utilizados ao longo do ciclo de vida da construção. Um problema comum relacionado à interoperabilidade ocorre quando uma determinada estrutura da construção é projetada em um *software* específico, que oferece suporte para o dimensionamento da estrutura, mas seus resultados não podem ser incorporados ao modelo central devido à incompatibilidade entre os tipos de dados emitidos pelo *software* de dimensionamento da estrutura e os tipos de dados suportados pelo *software* que criou o modelo central.

Uma das soluções desenvolvidas pela indústria para reduzir problemas de incompatibilidade, foi a criação de formatos padrão de arquivos a serem compartilhados entre *softwares*, a exemplo do formato IFC (*Industry Foundation Classes*). O formato IFC surgiu em 1995 no que mais tarde seria chamado de *International Alliance for Interoperability*, onde um conjunto de empresas americanas se uniu para investir na criação de um código informático e que mais tarde seria formada uma ONG com o objetivo de criar um modelo de dados neutro, contendo informações relacionadas a todo o ciclo de vida de um edifício e suas instalações. Isso mostra que a preocupação com a capacidade de troca de informações de forma segura e acessível aos interessados é antiga (TEAM, 2024).

Figura 1 - Interoperabilidade dentro de um sistema aberto e de um sistema fechado



Fonte: Team (2024)

## 2.2 Autodesk Revit

O Revit, desenvolvido pela Autodesk, é um software baseado na metodologia BIM voltado para a indústria da construção, e usado para projetar, documentar, visualizar e entregar projetos de arquitetura, engenharia e construção. Para isso, possui um conjunto integrado de ferramentas que dá suporte desde os estágios iniciais até os estágios finais do empreendimento, passando por todo o seu ciclo de vida. Nesse sentido, pode ser utilizado por todos os profissionais da construção civil pois oferece soluções para estudos e análises, projeto, documentação, orçamento, gerenciamento e manutenção.

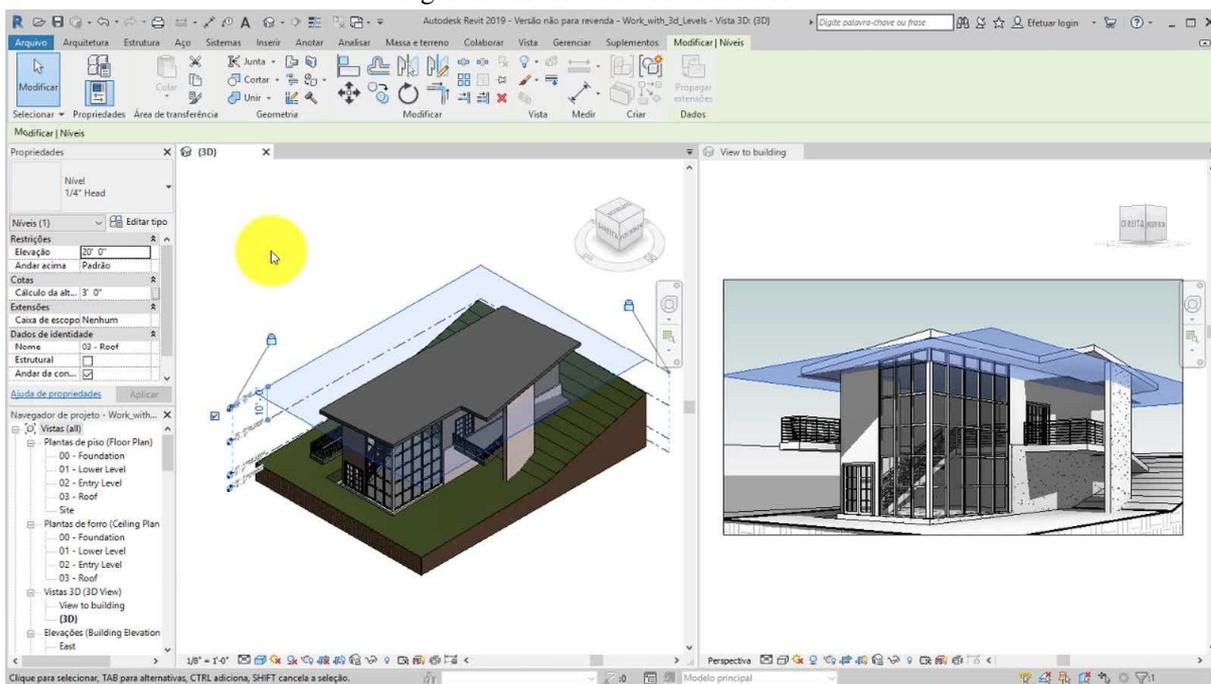
O *software* é utilizado a nível mundial por arquitetos, engenheiros estruturais, engenheiros de instalações, construtores, fabricantes, projetistas, proprietários e muitos outros. Ao atender a um leque de disciplinas o Revit permite a iteração de diversos profissionais para desenvolvimento de projetos em um único *software*, o que reduz problemas com a interoperabilidade, já que também por suas diversas extensões de funcionalidade há diversas aplicações que interagem com o programa por meio de sua API (*Application Programming Interface*), como será explicado mais adiante no item 2.3.

Além de permitir a criação de um modelo detalhado e realista da construção, o Revit também oferece uma interface gráfica poderosa que oferece inúmeras possibilidades de representação dos elementos, permitindo sua diferenciação de acordo com critérios avançados definidos pelo usuário de acordo com seus interesses. Essa é uma das principais vantagens do *software*.

Em contrapartida, um dos principais apontamentos dos usuários brasileiros sobre o Revit, diz respeito à falta de suporte para o dimensionamento de projetos segundo as normas técnicas brasileiras. Esse problema vem sendo solucionado aos poucos através da criação de ferramentas computacionais que operam sobre o banco de dados do Revit, estendendo suas funcionalidades para permitir o dimensionamento de projetos segundo as normas brasileiras. Isso é possível, devido à API oferecida pelo Revit.

O Revit, assim como a grande maioria dos programas comerciais, possui uma interface do usuário, a qual é formada por elementos gráficos e amigáveis como botões, abas, entre outros (Figura 2). O objetivo de uma interface é permitir a interação entre o usuário final e o *software*, sem que o usuário precise entender ou acessar os detalhes do código da implementação. O usuário pode interagir com a UI do Revit através dos dispositivos de entrada, como mouse e teclado.

Figura 2 - Interface de Usuário do Revit



Fonte: AUTODESK REVIT, 2024.

### 2.3 A API do Revit

Uma API é um conjunto de definições e protocolos que permite a comunicação e interação entre diferentes *softwares* ou componentes de *software*. Essa interface define como os diversos elementos de um sistema de *software* podem se comunicar entre si, permitindo que aplicativos ou serviços usem funcionalidades fornecidas por outros *softwares* de forma padronizada e controlada. Em resumo, uma API define as maneiras pelas quais os programas podem interagir uns com os outros.

O Revit, assim como a maioria dos principais *softwares* desenvolvidos pela Autodesk, possui uma API robusta que permite que programadores desenvolvam aplicações que interajam com o *software* solicitando que execute determinadas ações ou extraíndo dados do modelo. Esses dados podem ser manipulados pelo código, e em seguida reintroduzidos ao modelo com os ajustes executados.

A forma padrão de acessar a API de um *software* é por meio de códigos escritos em uma linguagem de programação suportada. A API da plataforma Revit é totalmente acessível por qualquer linguagem compatível com o Microsoft .NET *Framework* 4.8, como Visual C# ou *Visual Basic* .NET (VB.NET). Além dessas, também é suportada a linguagem *Python*. Cada objeto, comando ou propriedade do *software* pode ser acessado e/ou manipulado por meio da sua API, assim é possível executar um número muito grande de tarefas em um tempo muito pequeno, uma vez que ao invés indicar comandos, com o teclado ou mouse, haverá uma rotina instruindo o computador a executar esses comandos de forma mais rápida.

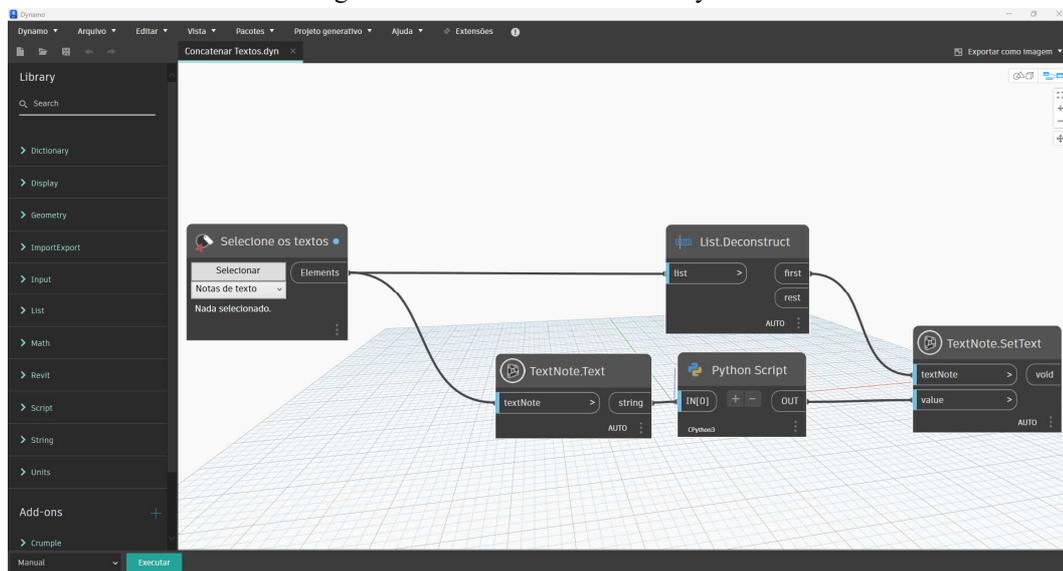
### 2.4 Programação Visual e Dynamo

A programação visual é um paradigma de programação que permite aos desenvolvedores criar *software* através da manipulação gráfica de elementos visuais, em vez de escrever linhas de código. Geralmente, isso é feito através de ambientes de desenvolvimento integrados (IDEs) que fornecem ferramentas visuais, como interfaces de arrastar e soltar, para criar e conectar blocos de funcionalidades pré-definidos (nós). Esses blocos representam operações ou estruturas de controle específicas, e sua interconexão define a lógica do programa. A programação visual é frequentemente utilizada em sistemas de desenvolvimento de aplicativos de baixo código ou sem código, permitindo que usuários com menos experiência em programação criem aplicativos complexos de forma mais rápida e intuitiva.

O Dynamo é uma plataforma de programação visual de código aberto, baseada no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Revit e possui interface de usuário própria (Figura 3). Um dos principais benefícios do Dynamo é tornar acessível o uso da API do Revit por usuários não programadores, permitindo que esses também possam automatizar tarefas e manipular elementos dentro do Revit. É instalado como parte integrante do Revit para a versão 2020 ou superiores, juntamente com os nós de programação específicos do Revit.

Além das funções já vinculadas à API do Revit, o *Dynamo* também contém diversos nós para entrada e saída de dados, manipulação de textos, operações matemáticas, estruturas de dados, manipulação de arquivos, etc. Embora o *Dynamo* seja essencialmente uma plataforma de programação visual, onde os programas são criados arrastando e conectando blocos que encapsulam os códigos, é possível criar rotinas por meio de códigos escritos na linguagem *DesignScript*, a linguagem de programação principal do *Dynamo*, bem como usar blocos especiais que encapsulam códigos escritos pelo usuário na linguagem *Python*. O uso desses recursos torna-se especialmente útil quando os programas são muito grandes ou complexos.

Figura 3: Interface de Usuário do Dynamo



Fonte: Autor (2024)

## 2.5 Famílias do Revit

Segundo a Autodesk, “uma família é um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades chamado de parâmetros e uma representação gráfica relacionada”. As famílias são utilizadas pelo Revit para representar um modelo base de um objeto com determinadas características e comportamentos, o qual poderá ser inserido no projeto (instanciado) quantas

vezes forem necessárias preservando-se, porém, as informações essenciais que descrevem o modelo base. As famílias no Revit podem ser agrupadas nas diversas categorias fornecidas pelo software, as quais podem ser classificadas basicamente em: Categorias de Modelo e Categorias de Anotação.

O primeiro grupo refere-se aos elementos que representam um objeto real ou componentes construtivos, como portas, janelas, móveis, luminárias, entre outros, e são essenciais para criar modelos detalhados de edifícios no software. O segundo grupo de categorias contém as famílias utilizadas para obter ou adicionar informações abstratas ao modelo como: níveis, símbolos, vistas, identificadores e outros elementos de anotação. Elas são essenciais para comunicar informações importantes sobre o projeto e garantir sua compreensão por parte dos envolvidos.

Cada categoria de família é reconhecida de forma específica pelo Revit, e possui um conjunto de parâmetros e comportamentos nativos, os quais controlam a interação das instâncias dessas famílias com os demais elementos do projeto.

## **2.6 Dimensionamento Estrutural de Muros de Arrimo**

Muros de arrimo são estruturas corridas destinadas à contenção de solos quando há um talude natural ou artificial, têm uma estrutura vertical ou inclinada, e podem ser apoiados sobre fundação rasa ou profunda. Quanto ao tipo, existem os muros de gravidade, geralmente utilizados para conter desníveis inferiores a 5,0 m e sua composição pode ser de pedra, concreto simples, concreto armado, entre outros materiais. Há ainda os muros de flexão, os quais requerem armaduras para resistirem às tensões de tração provocadas pelos momentos do empuxo do solo e podem ser projetados com ou sem contrafortes e/ou tirantes. São mais esbeltos, e com seção transversal geralmente em forma de “L” (GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO, 2016).

Um dos fatores onde se deve prestar a devida cautela técnica é a presença de água no talude a ser contido, já que esta ocorre de forma natural e quando em excesso pode diminuir a tensão efetiva de forma significativa e, conseqüentemente, a resistência do solo ao cisalhamento. O acúmulo de água no maciço pode até duplicar o empuxo atuante, causando ineficiência da estrutura se esta não tiver sido dimensionada para suportar a carga extra (TEIXEIRA, 2018).

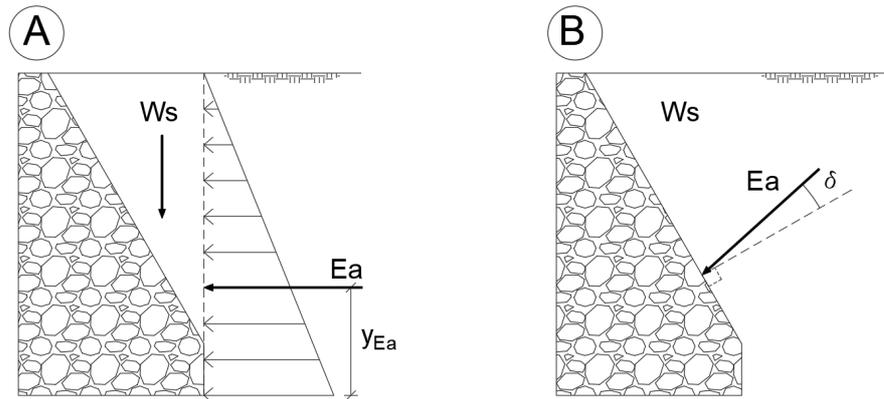
Para um melhor entendimento do desempenho de um muro de contenção, alguns conceitos que envolvem seu dimensionamento serão apresentados, a exemplo do empuxo. O solo em um talude, tem a capacidade de se manter estável até certo limite de altura e declividade, e diversos fatores externos podem influenciar no valor desses limites. Quando a resistência interna do solo é superada pela força da gravidade, o talude torna-se instável e precisa de estruturas apropriadas para a sua contenção. A força aplicada pelo solo sobre o muro é denominada empuxo a qual pode ser classificada em três categorias: ativo, passivo e em repouso. O empuxo ativo se dá quando o solo empurra a estrutura, é a pressão limite induzida entre o solo e o muro quando há uma tendência de movimentação do solo no sentido de expandir horizontalmente. Na segunda categoria é o oposto da primeira: a estrutura empurra o solo mobilizando forças que se opõem à tendência de movimentação do muro no sentido de comprimir o solo horizontalmente. O terceiro caso é quando não há tendência de movimentação do muro (BITTENCOURT, s.d.).

## **2.7 Teorias de Determinação dos Valores do Empuxo**

Para determinação dos valores de empuxo as teorias clássicas que mais se destacam são Rankine e Coulomb porém, há algumas diferenças entre os métodos. Ambas as teorias atendem ao equilíbrio de esforços vertical e horizontal porém, não atendem ao equilíbrio dos momentos, o que acaba gerando simplificações no cálculo do empuxo. Na teoria de Coulomb, é considerada a mobilização da resistência no tardo do muro, o que gera valores mais próximos da realidade uma vez que essa resistência sempre existe, porém, o método de cálculo é mais complexo e a posição da resultante do empuxo não é conhecida devido à indeterminação do diagrama de distribuição das tensões (Figura 4). A teoria de Rankine tende a ser mais empregada, por ser de fácil aplicação, além de fornecer resultados satisfatórios. Uma das vantagens do uso da teoria de Rankine para o cálculo de muros de arrimo, se dá pela possibilidade de determinar o ponto de aplicação do empuxo, e com isso verificar a estabilidade do muro, por esse motivo, optou-se por esta teoria para o desenvolvimento do presente trabalho.

Além das teorias clássicas, há outras teorias baseadas na teoria da elasticidade para muros elásticos como: Resal, Caquot, Boussinesq e Müller Breslau, porém, estas fogem do escopo do presente trabalho.

Figura 4 - Esforços no muro: (A) Rankine; (B) Coulomb



Fonte: Autor (2024)

## 2.8 Teoria de Rankine Para Determinação do Empuxo

Para formulação de sua teoria, Rankine analisou uma cunha de um solo apoiada em uma estrutura maciça admitindo que a cunha estava em um estado de plastificação ativo e passivo, que tenta deslocar-se em relação ao restante do maciço e sobre elas são aplicadas as análises de equilíbrio de corpos rígidos (GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO, 2016).

Na análise da cunha de Rankine, ao se afastar da parede haverá um decréscimo de tensões horizontais,  $\delta_h$ , sem alteração das tensões verticais,  $\sigma_v$ , ao se atingir o limite desse processo o maciço entra no chamado equilíbrio plástico, onde não é possível mais reduzir o valor da tensão principal menor,  $\sigma'_{ha}$ , nesse momento o solo terá atingido a condição ativa de equilíbrio plástico e a razão entre a tensão efetiva horizontal e vertical é dada pelo coeficiente de empuxo ativo  $k_a$ .

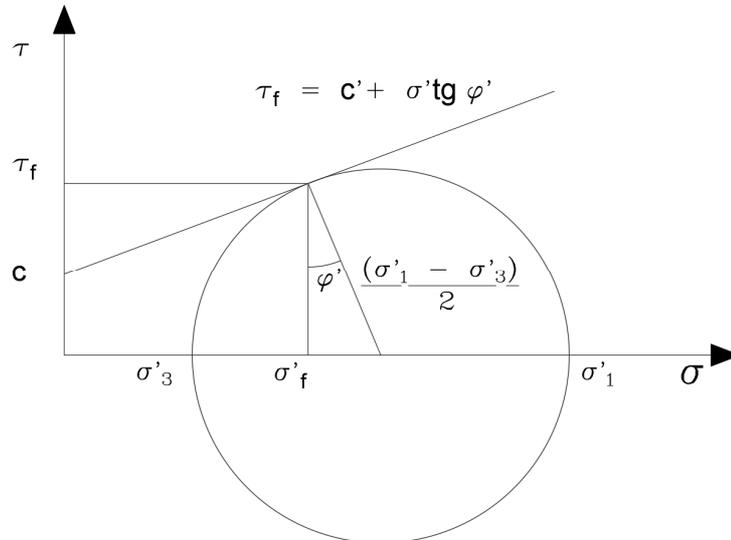
$$k_a = \frac{\sigma'_{ha}}{\sigma'_v} \quad (1)$$

Com o deslocamento da parede de encontro ao maciço, haverá um acréscimo de tensões horizontais, passando a tensão horizontal a ser a principal, com a continuidade do deslocamento  $\sigma_h/\sigma_v$  atinge o limite superior, o limite de ruptura, atingindo a chamada condição passiva de limite plástico. Nessa condição, a razão entre a tensão efetiva horizontal e a tensão efetiva vertical é definida pelo coeficiente de empuxo passivo,  $k_p$ .

$$k_p = \frac{\sigma'_{hp}}{\sigma'_v} \quad (2)$$

Após uma análise da relação das tensões principais com as direções das superfícies de ruptura nos estados de equilíbrio ativo-passivo observa-se que se forma um ângulo de  $45^\circ - \phi'$ , em que  $\phi$ , é o ângulo de atrito interno do solo. Para solos coesivos, são encontradas as relações das tensões de ruptura substituindo as equações de  $k_a$  e  $k_p$  na equação da envoltória de resistência de Mohr-Coulomb, conforme Figura 5.

Figura 5 - Círculo de Mohr para solo coesivo



Fonte: Autor (2024)

Ao aplicar a relação dos senos, e rearranjar as relações matematicamente tem-se, para o estado de limite ativo:

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v k_a - 2c' \sqrt{k_a} = \sigma'_v k_a - 2c' k_{ac} \quad (3)$$

Sendo:

$$k_a = \frac{1 - \text{sen}\phi'}{1 + \text{sen}\phi'} \quad (4)$$

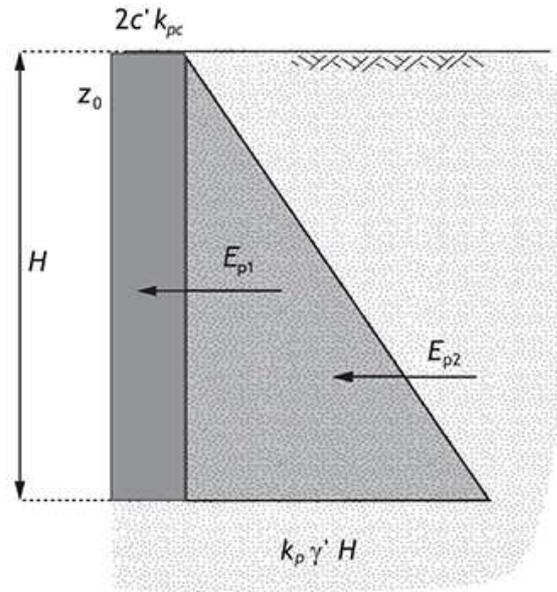
Da mesma forma, para o estado de limite passivo:

$$\sigma'_{hp} = \sigma'_v k_p + 2c' \sqrt{k_a} = \sigma'_v k_p + 2c' k_p \quad (5)$$

Sendo:

$$k_p = \frac{1 + \text{sen}\phi'}{1 - \text{sen}\phi'} \quad (6)$$

Na Figura 6, para uma estrutura de altura  $H$ , e solo homogêneo considerando que o empuxo total é calculado por metro linear, no caso passivo por meio do equilíbrio de forças têm-se:

Figura 6 - Distribuição de empuxos passivos ( $c \neq 0$ )

Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

$$E_p = \int_0^H (\sigma'_v k_p + 2c'k_{pc})dz = \int_0^H (\gamma' H k_p + 2c'k_{pc})dz = \frac{\gamma' H^2 k_p}{2} + 2c'Hk_{pc} \quad (7)$$

### 2.8.1 Empuxo de maciços com lençol freático

Em face de condições hidrostática, a pressão de água é transmitida igualmente em todas as direções, adicionando mais uma parcela de pressão sobre o muro. Nesse caso, o cálculo do empuxo é dado por:

$$E_a = \int_0^H (\sigma'_v k_a - 2c'k_{ac})dz + \int_0^H u(z)dz \quad (8)$$

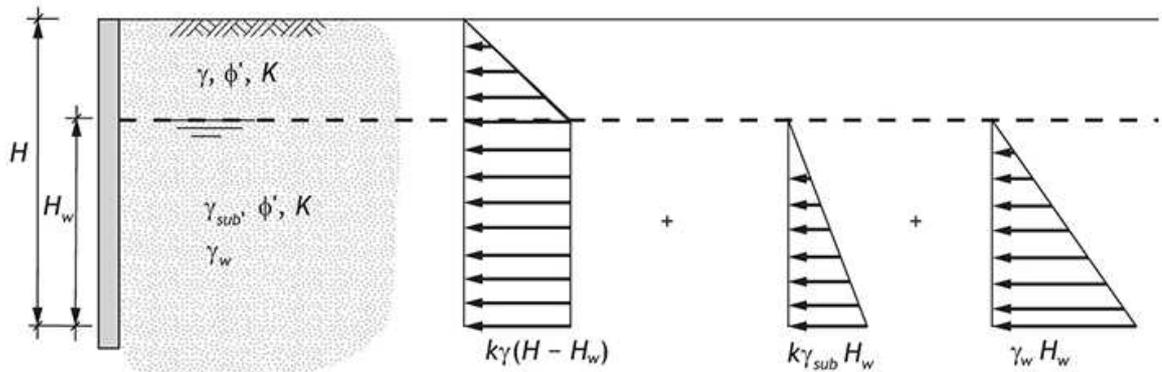
Na condição estática de poropressão o empuxo ativo é dado por:

$$E_a = \left[ \frac{\gamma' H^2 k_a}{2} - 2c'Hk_{ac} \right] + \frac{\gamma_w H_w^2}{2} \quad (9)$$

Gerscovich, Danziger, Saramago (2016) descrevem a distribuição da pressão lateral exercida sobre um muro de altura  $H$  por camadas hipotéticas dois estratos estáticos, em que um deles está totalmente submerso (peso específico  $\gamma_{sub}$ ) e o outro não (peso específico  $\gamma$ ) conforme a Figura 7. No diagrama (A) a tensão horizontal é diretamente proporcional ao aumento da profundidade, a partir de onde o diagrama se estabiliza, já que a carga cima pode

ser considerada uniformemente distribuída. O diagrama (B) refere-se ao solo abaixo do nível freático. O diagrama (C) é o das pressões hidrostáticas.

Figura 7 - Aplicação do método de Rankine: (A) diagrama referente ao solo acima do nível freático; (B) diagrama referente ao solo abaixo do nível freático; (C) diagrama das pressões hidrostáticas



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

### 2.8.2 Coeficientes de Empuxo para Superfícies Inclinadas

Para determinação da parcela do empuxo para superfícies inclinadas Gerscovich, Danziger, Saramago (2016) descreveram um maciço não coesivo com uma superfície inclinada de ângulo  $\beta$  em relação à horizontal. Semelhante as Equações 3 e 4 fazendo substituições das equações de equilíbrio da Figura 8 e fazendo-se rearranjos matemáticos tem-se:

Figura 8 - Aplicação do método de Rankine a maciços com superfície inclinada: (A) tensões atuantes no elemento A; (B) tensão vertical em elemento inclinado; (C) tensões determinadas no círculo de Mohr

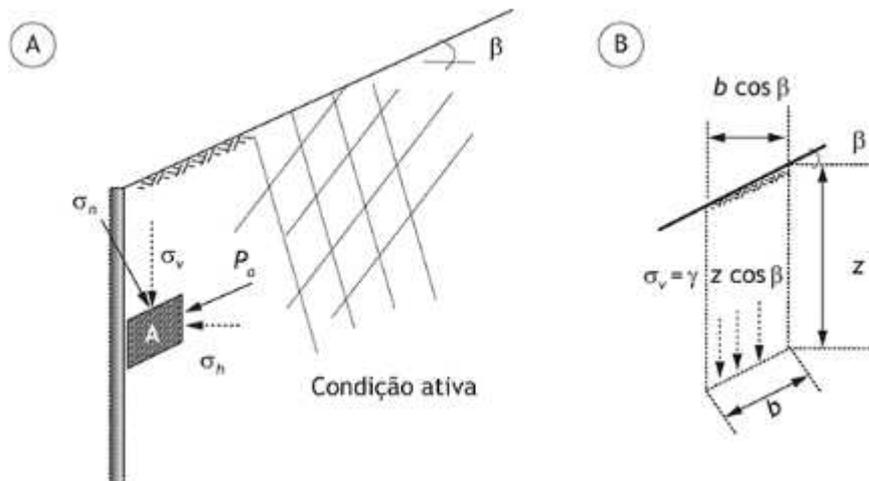
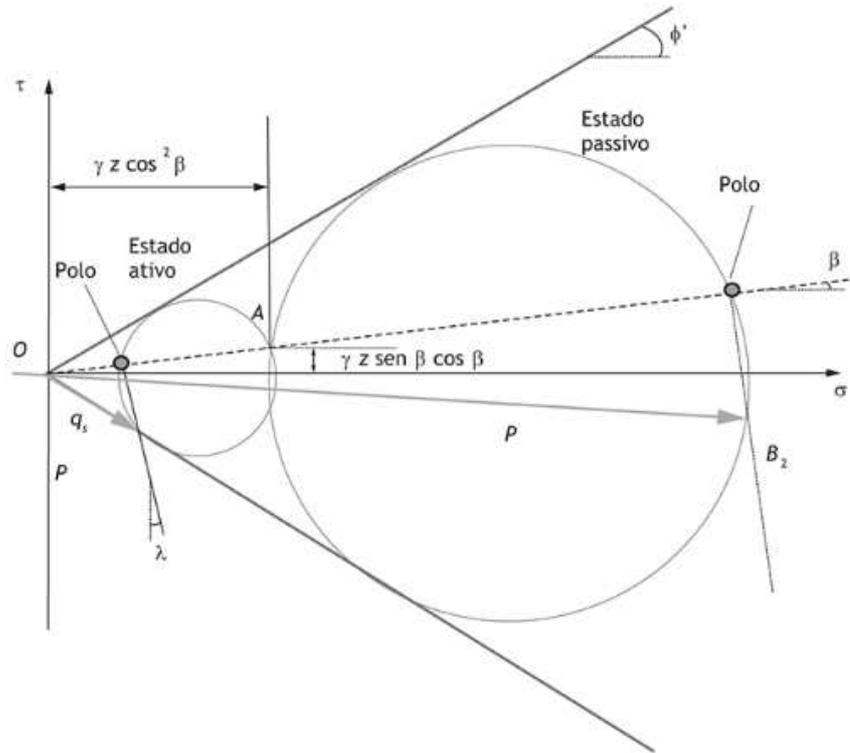




Figura 9 - Método de Rankine para maciços com parede e superfície do terreno inclinadas



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

$$E_a = \gamma z \cos \beta \frac{\sqrt{1 + \operatorname{sen}^2 \phi - 2 \operatorname{sen} \phi' \cos \theta_a}}{\cos \beta + \sqrt{\operatorname{sen}^2 \phi' - \operatorname{sen}^2 \beta}} = \gamma z k_{a\beta\lambda} \quad (12)$$

$$E_p = \gamma z \cos \beta \frac{\sqrt{1 + \operatorname{sen}^2 \phi - 2 \operatorname{sen} \phi' \cos \theta_p}}{\cos \beta - \sqrt{\operatorname{sen}^2 \phi' - \operatorname{sen}^2 \beta}} = \gamma z k_{p\beta\lambda} \quad (13)$$

Na qual:

$$\theta_a = \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \phi'} \right) - \beta + 2\lambda \quad (14)$$

$$\theta_p = \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \phi'} \right) - \beta - 2\lambda \quad (15)$$

### 2.8.4 Sobrecarga uniforme

As equações de empuxo têm um uma parcela adicional dada por  $k_{\Delta q}$  quando há uma sobrecarga uniformemente distribuída ( $\Delta q$ ) aplicada na superfície do maciço contido pela estrutura, e isto implica no acréscimo de um diagrama retangular de tensões, ver Figura 10.

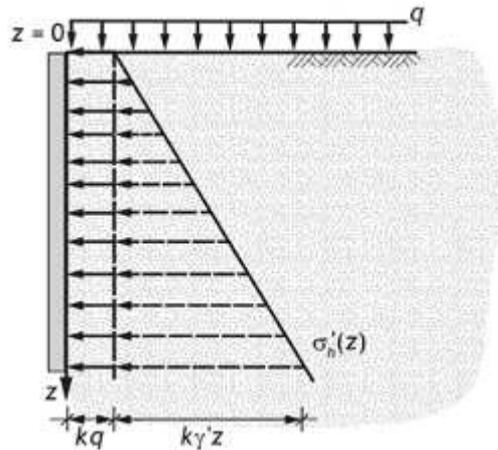
Então o empuxo ativo fica descrito pela Equação 16:

$$E_a = \int_0^h (k_a[\gamma' h + \Delta q] - 2c'k_{ac}) dz = \frac{\gamma' h^2 k_a}{2} - 2c'hk_{pc} + k_a \Delta q h \quad (16)$$

E o passivo pela Equação 17:

$$E_p = \int_0^h (k_p[\gamma' h + \Delta q] + 2c'k_{pc}) dz = \frac{\gamma' h^2 k_a}{2} - 2c'hk_{pc} + k_a \Delta q h \quad (17)$$

Figura 10 - Aplicação do método de Rankine a casos com sobrecarga uniforme



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

Gerscovich, Danziger, Saramago (2016) analisaram várias situações impostas a muros de arrimo, porém até agora elas foram demonstradas de formas isoladas. No presente trabalho será dimensionado um muro com a combinação de várias condições: coesão, camadas de solo abaixo do lençol freático, muro e terreno com inclinações e sobrecarga na primeira camada. Para se obter a equação de Rankine se fez uma consulta a Braja Das (2011) e de forma adaptada diz que:

$$k_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (18)$$

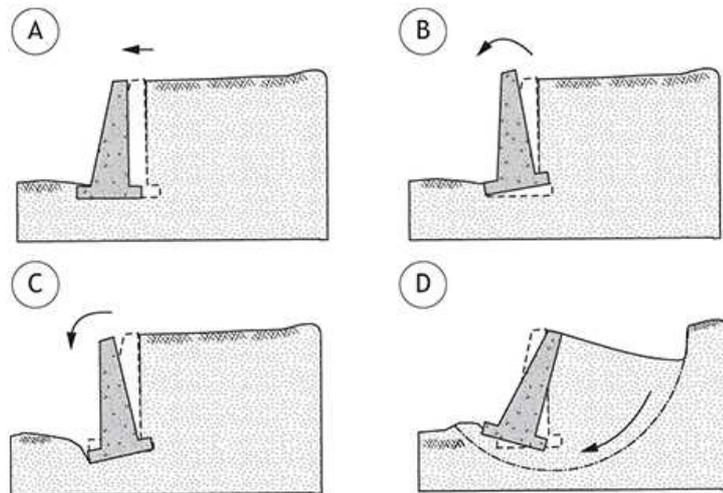
$$k_p = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (19)$$

As equações 18 e 19 são respectivamente, as equações do coeficiente de empuxo ativo e passivo de Rankine, que são as equações utilizadas nesse trabalho.

## 2.9 Verificações de Estabilidade

Após a verificação das diversas condições que podem alterar o empuxo em um muro de arrimo, devem ser feitas suas análises de estabilidade. Na verificação de segurança da estrutura, seja qual for a sua seção, devem ser investigadas as seguintes condições de estabilidade: deslizamento da base, tombamento, capacidade de carga da fundação e estabilidade global, conforme Figura 11, porém para o presente trabalho esta última não será feita, uma vez que exige uma abordagem específica que foge do escopo deste trabalho.

Figura 11 - Estabilidade de muros de arrimo: (A) deslizamento; (B) tombamento; (C) capacidade de carga; (D) estabilidade global



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

As verificações são feitas a partir do cálculo dos coeficientes de segurança, conforme a Equação 20 e posterior comparação com os valores mínimos permitidos. Para as verificações de estabilidade contra o deslizamento e tombamento, os valores mínimos foram os da ABNT NBR 11682:2009, a qual atribui os valores de 1,5 para o deslizamento e 2,0 para o tombamento, podendo esses valores serem adaptados em “função da situação potencial de ruptura do talude, no que diz respeito ao perigo de perda de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e de danos ao meio ambiente” (ABNT NBR 11682, 2009).

$$FS = \frac{R}{S} \quad (20)$$

Para a verificação da capacidade de carga do solo, foi criado um parâmetro adicional na família, onde o projetista pode indicar o fator de segurança que deseja aplicar, de acordo com os tipos de ensaios que foram realizados no plano de sondagem do terreno

---

### 3 METODOLOGIA

Para implementação de rotina que realizasse o dimensionamento do muro de arrimo através do *Dynamo*, a princípio foi criado um elemento do modelo que armazenasse as informações necessárias ao cálculo entre elas ângulo de atrito interno, peso específico do solo e altura do talude. O elemento escolhido foi uma família parametrizada cuja geometria é controlada pelos dados de entrada do programa referentes à geometria do muro. Além dos dados de geometria, a família também armazena os valores dos parâmetros geotécnicos do solo.

Após a modelagem da família foi criada uma rotina no *Dynamo* que lê os valores dos parâmetros e os carrega no código criado para dimensionamento, no qual também foram implementadas as equações para obtenção do empuxo atuante sobre o muro com base nos dados de entrada. Conhecidos os valores do empuxo, sua direção e ponto de aplicação são feitas as principais verificações necessárias à estabilidade da estrutura, à saber: equilíbrio de translação, equilíbrio de rotação e tensão aplicada no solo.

A saída da rotina, após a execução, é um relatório contendo os principais resultados do cálculo entre eles os valores dos empuxos ativo e passivo e os resultados das verificações. Além desses resultados também é gerado o diagrama das tensões atuantes ao longo da altura do muro. A rotina não determina as dimensões ideais do muro, apenas verifica se os valores atribuídos atendem às verificações.

#### 3.1 Criação do elemento parametrizado (Modelagem da família)

Foi modelada uma família da categoria de modelo, cuja parametrização adotada está mostrada na Figura 12. Tanto a geometria do muro quanto das camadas de solo é controlada pelos parâmetros correspondentes, fornecendo uma representação gráfica atualizada em tempo real dos dados de entrada fornecidos pelo usuário. Ressalta-se que os nomes dos parâmetros foram escritos sem acentuações, a fim de evitar problemas no código da rotina.

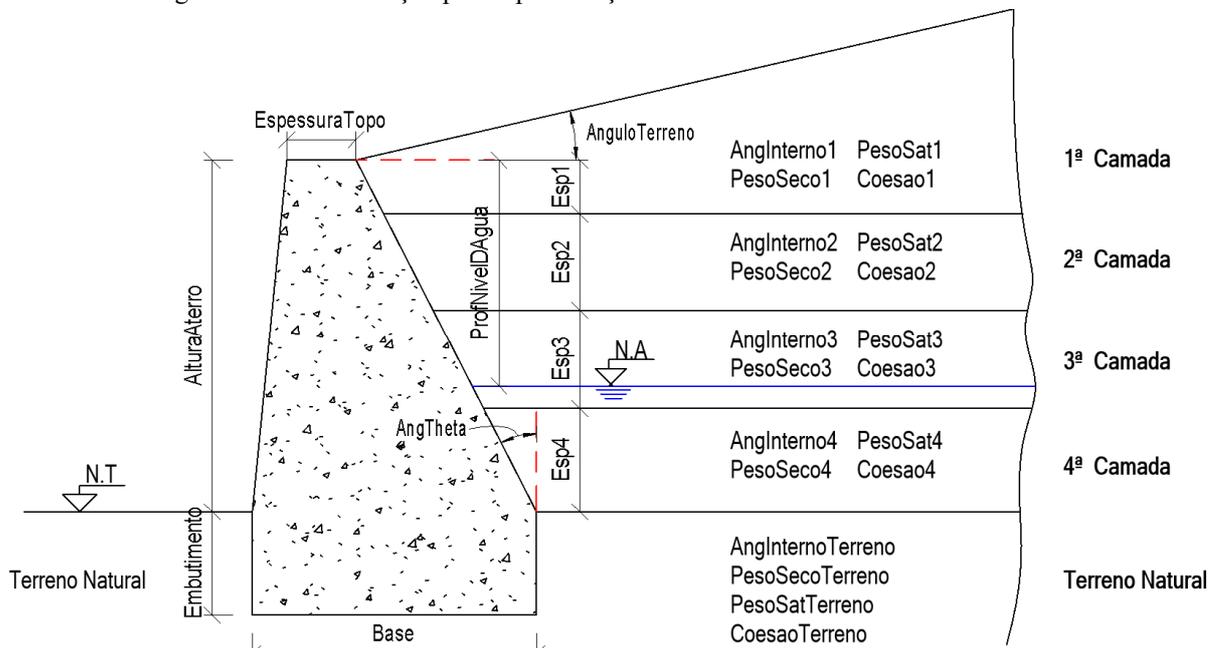
Também foram criadas famílias de anotação, cuja função é obter ou inserir dados na família do modelo, ao estabelecerem uma conexão entre os parâmetros do modelo e uma legenda cujo conteúdo é variável e reproduz o valor do parâmetro associado. Na Tabela 1 estão descritos os parâmetros da categoria de modelo criados para o trabalho.

Além dos parâmetros a serem lidos pela rotina, há também dois parâmetros utilizados para o pré-dimensionamento do muro. O método seguido foi o utilizado por Moliterno (1994), onde a base do muro ( $b$ ) e a espessura do topo ( $b_0$ ) são estimados em função da altura do muro ( $h$ ). As Equações 21 e 22 são propostas pelo método, e também foram inseridas dentro da modelagem da família a fim de fornecer o resultado do pré-dimensionamento em tempo real ao usuário.

$$b_0 = 0,14 * h \tag{21}$$

$$b = b_0 + \frac{h}{3} \tag{22}$$

Figura 12: Parametrização para representação do muro de arrimo a ser dimensionado



Fonte: Autor (2024)

**Tabela 1** – Parâmetros da Categoria Modelo

NOME	FUNÇÃO	UNIDADE	NOME	FUNÇÃO	UNIDADE
AlturaAterro	Desnível entre montante e jusante do muro	m	Embutimento	Profundidade enterrada do muro	m
Base	Comprimento da base do muro	m	EspessuraTopo	Espessura do topo do muro	m
AngTheta	Ângulo do paramento do muro com a vertical	graus	AnguloTerreno	Ângulo de inclinação do retroaterro	graus
Esp1...4	Espessura da i-ésima camada	m	AngInterno1...4	Ângulo de atrito da i-ésima camada	graus
PesoSeco1...4	Peso específico seco da i-ésima camada	kN*m <sup>-3</sup>	PesoSat1...4	Peso específico saturado da i-ésima camada	kN*m <sup>-3</sup>
Coesão1...4	Coesão do solo da i-ésima camada	kN*m <sup>-2</sup>	AngInternoTerreno	Ângulo de atrito interno do terreno natural	graus
PesoSecoTerreno	Peso específico do terreno natural	kN*m <sup>-3</sup>	PesoSatTerreno	Peso específico saturado do terreno natural	kN*m <sup>-3</sup>
CoesaoTerreno	Coesão do solo do terreno natural	kN*m <sup>-2</sup>	ProfNivelDAgua	Profundidade do nível d'água à montante do muro	m
CargaTopo	Carga linear sobre o topo do muro	kN*m <sup>-1</sup>	q	Sobrecarga distribuída sobre o retroaterro	kN*m <sup>-2</sup>
ResistenciaSolo	Tensão admissível do solo de fundação	kN*m <sup>-2</sup>	CoefAtritoBaseSolo	Coefficiente de atrito entre a base do muro e o terreno natural	-
PesoConcreto	Peso específico do material do muro	kN*m <sup>-3</sup>			

Fonte: Autor (2024)



os pontos do diagrama. Este módulo também desenha o diagrama em uma vista apropriada, criando uma tabela de apoio onde são listados os pontos com suas respectivas profundidades e tensões horizontais. Esse módulo também inclui um nó com código em *Python*.

Por último, o módulo de cor azul possui um único nó de um tipo especial chamado *CodeBlock*, onde é possível escrever comandos na linguagem padrão do Dynamo, o *DesignScript*. O módulo azul recebe os dados dos módulos anteriores, além de ler da família os dados necessários às verificações do dimensionamento, como a capacidade de carga do solo e o peso específico do concreto. No código é calculado o empuxo ativo por meio do volume de um sólido obtido pela extrusão do diagrama de tensões. Nessa etapa, foi desconsiderada a parte negativa do diagrama, para o caso de solo coesivo, a fim de não permitir a redução do valor do empuxo. O módulo realiza todos os cálculos de verificações, e retorna os resultados para parâmetros da família criados para esse fim (Figura 14).

Figura 14: Parâmetros retornados pela rotina

Resultados do Cálculo			
Quantitativo		Verificações	
Volume por metro (m <sup>3</sup> )	9	Fator de Segurança do Deslizamento	0,83
Peso por metro (kg)	198	Verificação Deslizamento	NÃO PASSA
Cargas		Fator de Segurança do Tombamento	1,69
Atrito na base (kN)	108,9	Verificação Tombamento	NÃO PASSA
Momento Atuante (kN*m)	185,28	Tensão máxima no solo (kgf/cm <sup>2</sup> )	205,35
Momento Resistente (kN*m)	312,56	Fator de Segurança da Tensão no Solo	1,46
Empuxos		Verificação Tensão no solo	PASSA
Empuxo Ativo (kN)	138,29		
Empuxo Passivo (kN)	5,31		

Fonte: Autor (2024)

### 3.3 Apresentação dos casos de simulação

A fim de verificar a consistência e segurança dos resultados obtidos pela rotina, realizou-se o cálculo de empuxos e dimensionamento de muros de arrimo de exemplos didáticos obtidos na literatura. O objetivo foi comparar os valores retornados pela rotina com aqueles encontrados pelos autores especializados. A seguir são apresentados os casos utilizados para a simulação.

### 3.3.1 Simulação 1: Dimensionamento de muro de arrimo por gravidade

O exemplo utilizado para simulação foi extraído do livro Cadernos de Muros de Arrimo, Moliterno (1994), página 58, onde o autor mostra um exemplo prático de dimensionamento de muros de arrimo por gravidade. Os dados do problema, que foram utilizados pela rotina estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de entrada da simulação 1

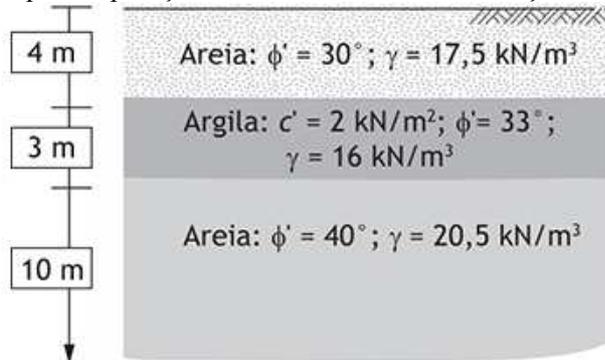
DADO	VALOR
Altura do muro	5,0 m
Inclinação do terreno	0° (horizontal)
Carga aplicada no topo	0
Sobrecarga no terreno	4 kN/m <sup>2</sup>
Ângulo de atrito do solo	30°
Inclinação do paramento	0° (vertical)
Massa específica aparente do solo	16 kN/m <sup>3</sup>
Massa específica aparente do concreto	22 kN/m <sup>3</sup>
Tensão admissível do terreno de fundação	200 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente de atrito fundação/solo	0,55
Espessura do topo	0,70 m
Base do muro	2,5 m
Profundidade da sapata	0,3 m

Fonte: Autor (2024)

### 3.3.2 Simulação 2: Diagrama de empuxo em solo estratificado

Outro exemplo utilizado para simulação, foi do livro Contensões: Teoria e Aplicações em Obras, de Gerscovich, Danziger, Saramago (2016), exemplo 2.2 do Capítulo 1, onde os autores obtêm as distribuições de tensão horizontal correspondentes a condição ativa. Os dados utilizados são mostrados na Figura 15:

Figura 15 - Exemplo de aplicação do método de Rankine a maciços estratificados ( $c' = 0$ )



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

---

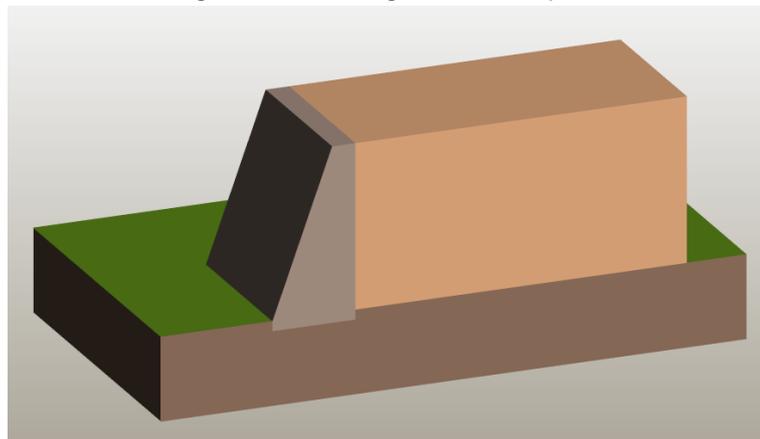
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a inserção dos dados de entrada de cada caso e execução da rotina, foram obtidos os resultados apresentados a seguir, os quais foram comparados com os resultados obtidos pelos respectivos autores de referência.

### 4.1 Simulação 1

A seguir estão apresentados o dimensionamento para o primeiro caso: a modelagem tridimensional (Figura 16), dados de entrada (Figura 17), verificações de estabilidade (Figura 18), diagrama de tensões horizontais (Figura 19) e detalhamento da seção (Figura 20), tudo conforme a família criada no programa Revit.

Figura 16 – Modelagem da Simulação 1



Fonte: Autor (2024)

Figura 17 - Dados de Entrada da Simulação 1

Dados de entrada			
Geometria		Parâmetros de cálculo	
Altura do aterro (m)	5,00	Profundidade nível d'água (m)	8,00
Embutimento da base (m)	0,30	Sobrecarga no terreno (kN/m <sup>2</sup> )	4
Inclinação do retroaterro	0,00°	Peso específico do concreto (kN/m <sup>3</sup> )	22
Inclinação paramento interno	0,00°	Tensão admissível do solo (kN/m <sup>2</sup> )	200
<i>* Ver pré-dimensionamento</i>		Fator de segurança mínimo para tensão	1
Largura do topo (m)	0,70	Coef. de atrito base/solo	0,55
Largura da base (m)	2,50	Carga no topo do muro (kN/m)	0
Pré-dimensionamento		Terreno Natural	
Largura do topo (m)	0,7	Ângulo de Atrito do solo	30,00°
Largura da base (m)	2,37	Peso Seco (kN/m <sup>3</sup> )	16
		Peso Saturado (kN/m <sup>3</sup> )	16
		Coesão (kN/m <sup>2</sup> )	0
Camada 1		Camada 2	
Espessura da Camada 01 (m)	5,00	Espessura da Camada 02 (m)	0,00
Ângulo de atrito interno	30,00°	Ângulo de atrito interno	35,00°
Coesão (kN/m <sup>2</sup> )	0	Coesão (kN/m <sup>2</sup> )	0
Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	16	Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	18
Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> )	16	Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> )	20
<i>Espessuras corretas</i>			
Camada 3		Camada 4	
Espessura da Camada 03 (m)	0,00	Espessura da Camada 04 (m)	0,00
Ângulo de atrito interno	25,00°	Ângulo de atrito interno	25,00°
Coesão (kN/m <sup>2</sup> )	0	Coesão (kN/m <sup>2</sup> )	0
Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	18	Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	18
Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> )	19	Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> )	18

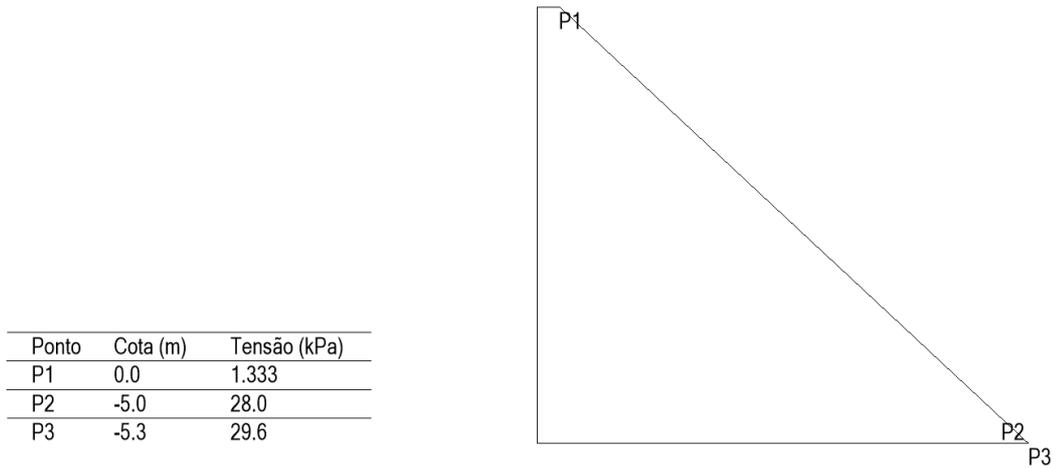
Fonte: Autor (2024)

Figura 18 – Verificações da Simulação 1

Resultados do Cálculo			
Quantitativo		Verificações	
Volume por metro (m <sup>3</sup> )	8,75	Fator de Segurança do Deslizamento	1,32
Peso por metro (kg)	192,5	Verificação Deslizamento	NÃO PASSA
Cargas		Fator de Segurança do Tombamento	2,02
Atrito na base (kN)	105,87	Verificação Tombamento	PASSA
Momento Atuante (kN*m)	151,06	Tensão máxima no solo (kgf/cm <sup>2</sup> )	160,28
Momento Resistente (kN*m)	305,19	Fator de Segurança da Tensão no Solo	1,25
Empuxos		Verificação Tensão no solo	PASSA
Empuxo Ativo (kN)	81,97		
Empuxo Passivo (kN)	2,16		

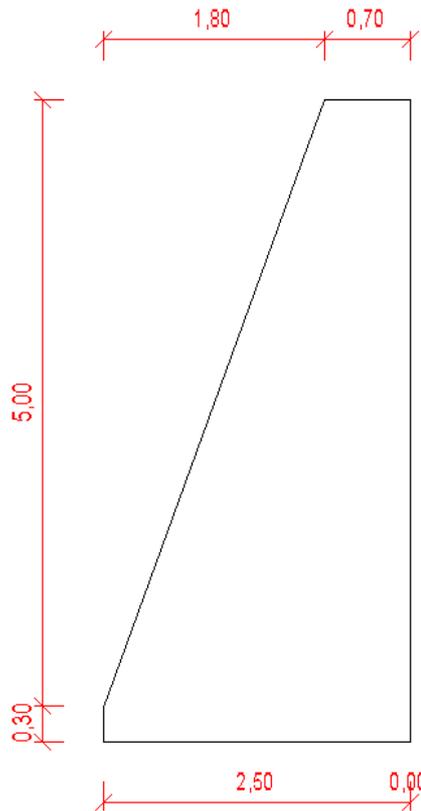
Fonte: Autor (2024)

Figura 19 - Diagrama de Tensões da Simulação 1



Fonte: Autor (2024)

Figura 20 – Detalhamento da seção da Simulação 1



Fonte: Autor (2024)

Na Tabela 3 estão descritos de forma comparativa os resultados obtidos quanto às principais verificações de estabilidade para muros de arrimo citadas pela ABNT NBR 11682:2009.

**Tabela 3 – Comparações de Resultados: Literatura de Referência e Saída do Dimensionamento**

VERIFICAÇÃO	MOLITERNO (1994)	ROTINA
DESLIZAMENTO	1,45 ~ 1,5 (ACEITÁVEL)	1,32 < 1,5 (NÃO PASSA)
TOMBAMENTO	1,8 > 1,5 (PASSA)	2,02 > 1,5 (PASSA)
CAPACIDADE DE CARGA NA FUNDAÇÃO	160 < 200 kN*m <sup>-2</sup> (PASSA)	160,28 < 200 kN*m <sup>-2</sup> (PASSA)

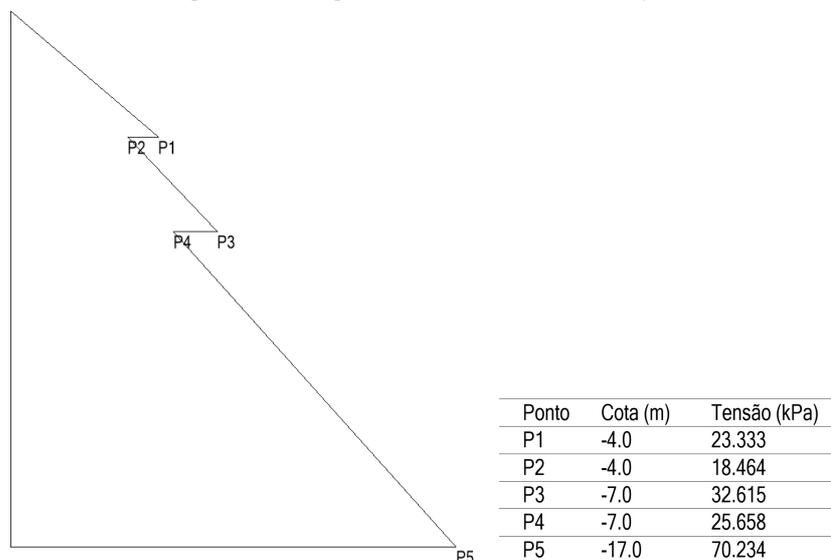
Fonte: Autor (2024)

É possível observar que a maioria dos resultados do dimensionamento do presente trabalho foram similares aos da literatura de referência, porém, quanto à verificação de deslizamento houve divergência, uma vez que a proximidade dos valores dos coeficientes de segurança calculado (1,45) e mínimo (1,5) levou Moliterno a considerar o resultado “aceitável”. A mesma proximidade não aconteceu nos dados de saída da rotina uma vez que não foram aplicados arredondamentos nos números durante as etapas do cálculo obtendo-se, assim, um resultado mais preciso, o que confirma ainda mais a eficácia da proposta do trabalho desenvolvido. Nesse caso, a diferença significativa entre os valores dos fatores de segurança calculado e mínimo (1,32 contra 1,5) levaram à consideração de que a verificação da estabilidade contra o deslizamento não foi atendida.

## 4.2 Simulação 2

A Figura 21 mostra o diagrama de tensões horizontais de acordo com a cota para o caso em estudo, onde é possível constatar a mudança nas interfaces entre cada camada, evidenciando a heterogeneidade do terreno.

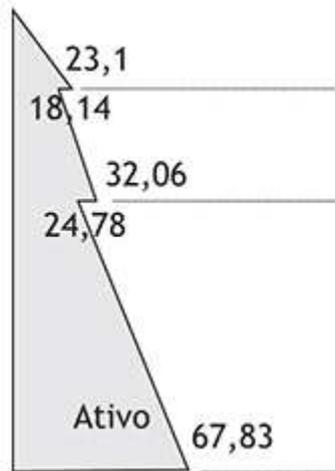
Figura 21 - Diagrama de Tensões da Simulação 2



Fonte: Autor (2024)

Na Figura 22, é mostrado o diagrama obtido da literatura, para fins de comparação com o resultado da rotina.

Figura 22: Diagrama de tensões obtido da literatura



Fonte: GERSCOVICH, DANZIGER, SARAMAGO (2016)

Destaca-se que esse exemplo não usou qualquer informação sobre o tipo ou material do muro, o que mostra que embora a família criada e os cálculos de verificação e detalhamento sejam restritos ao tipo de muro estudado (de gravidade), os cálculos de tensões e a determinação do empuxo atuante podem ser usados em qualquer caso. Da mesma forma que no Caso 1, os valores obtidos na rotina foram próximos aos da literatura de referência, com algumas diferenças devidas aos arredondamentos aplicados pela literatura. As diferenças encontradas para os valores das tensões tornam-se maiores para os pontos mais profundos devido ao caráter cumulativo do cálculo das tensões. Ainda assim, no ponto mais profundo (P5), a diferença entre os valores de tensão da literatura e o obtido da rotina representa um erro menor que 4%.

---

## 5 CONCLUSÕES

Em resumo o atual trabalho alcançou êxito ao empregar o *Dynamo* para o dimensionamento de estruturas de muro de arrimo em solos homogêneos ou heterogêneos, com presença de nível d'água ou sem, além de presença ou não de sobrecarga, e ainda terrenos com retroaterros horizontais ou inclinados, sendo uma ferramenta para obtenção de resultados de dimensionamentos consistentes através de uma ferramenta automatizada, com verificação dos principais quesitos de segurança.

Com a família de muros de arrimo e simulação do retroaterro, é possível se modificar alguns parâmetros das dimensões pré-definidos, cabendo ao usuário redefinir esses parâmetros de acordo com os dados de saída da verificação do dimensionamento. Cabe informar também que o programa permite fazer simulações diversas com perfis heterogêneos com até 4 camadas, e que o programa foi devidamente comparado com planilhas de cálculo desenvolvidas por Soares (2021) que permitem o cálculo da distribuição de tensões horizontais e, conseqüentemente, cálculo dos empuxos, dados esses importantes para a análise da estabilidade do muro.

Pode se destacar que a ferramenta se sobressai por ser colaborativa e facilitar a interoperabilidade com diversos outros programas, reduzindo o ruído de informações na importação da modelagem de um software para outro e o retrabalho de remodelagem já que o modelo BIM permite integração com diversas extensões de projetos.

Com o desenvolvimento desta família, verifica-se a possibilidade de uso tanto para fins de projeto, quanto para fins de aprendizagem, contribuindo para os interessados em usar esta ferramenta, como embasamento para estudos de empuxos de terra e dimensionamento de muros de arrimo em salas de aula. A disponibilização do código também pode ajudar desenvolvedores e profissionais da área a criarem seus próprios códigos, e assim, é ressaltado a performance do BIM quando utilizado em aplicações da engenharia, sendo importante a difusão desse conhecimento já que a ferramenta facilita o desempenho de projetos.

Para trabalhos, futuros fica como sugestão adicionar à rotina algumas melhorias, a fim de torna-la mais abrangente: a determinação da seção ótima, tendo como objetivo o menor volume de material, emissão de memorial de cálculo detalhado na saída do programa a fim de torna-lo mais técnico, expandir a família e rotina para outros tipos e seções de muro, inserir a implementação das teorias modernas para cálculo do empuxo e a ação de sismos (terremotos) para cálculo de empuxo.

---

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AUTODESK. **Knowledge Network**: Revit – Suporte e Aprendizado. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit?sort=score>>.

AUTODESK. **Vídeo: Trabalhar com níveis em vistas 3D**. 2024. Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/PTB/?guid=GUID-679F08DB-BE43-472E-8E98F9DC62E6060E26>>. Acesso em: 17 mar. 2024

BRAJA, M. Das. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. Tradução: EZ2Translate. Revisão técnica: Leonardo R. Miranda. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

BITTENCOURT, Douglas M. A.. **Empuxos de Terra: Teoria de Coulomb, Teoria de Rankine**. GEOTECNIA II SLIDES 11 / AULA 22. s.d. PUC- Goiás. Disponível em: <[https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO\\_II\\_11\\_Empuxos%20de%20Terra.pdf](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO_II_11_Empuxos%20de%20Terra.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2024

DAY, Martyn. Revit 2022 and Beyond. **AEC Magazine**. 2021. Disponível em: <<https://aecmag.com/bim/revit-2022-and-beyond/>> Acesso em: 17 mar. 2024.

DYNAMO. O que é o Dynamo? s.d. Disponível em: < [https://primer.dynamobim.org/pt-br/01\\_Introduction/1-2\\_what\\_is\\_dynamo.html](https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html)> Acesso em: 17 mar. 2024.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACHS, Rafael; KATHLEEN, Liston. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Revisão técnica: Eduardo Toledo Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ENTRADA da geometria e do tipo de muro. **Total CAD**, 2017. Disponível em <<https://totalcad.com.br/software-muros-de-contencao-muro-de-arrimo/>> Acesso em 17 mar. 2023.

FORMATO IFC e Open BIM: Tudo o que é Preciso Saber. **Biblus**, 2024. Disponível em:<[\[biblus.accasoftware.com/ptb/formato-ifc-e-open-bim-tudo-o-que-e-preciso-saber/\]\(https://biblus.accasoftware.com/ptb/formato-ifc-e-open-bim-tudo-o-que-e-preciso-saber/\)> Acesso em: 17 mar. 2024](https://</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

GERSCOVICH, Denise, DANZIGER, Bernadete Ragoni; SARAMAGO, Robson. **Contenções teoria e aplicações em obras**, 2– Teoria de empuxo aplicada a estruturas rígidas – muros de contenção. 2 ed. rev. e atual. - São Paulo: Oficina de Textos, 2016

GONÇALVES, Jean Osmar. **AUTOCAD: E QUANDO NÃO EXISTIA A FERRAMENTA? Pormad Blog.** 2023. Disponível em: < <https://blog.pormade.com.br/2023/05/23/autocad/#:~:text=Como%20os%20projetos%20eram%20feitos,muito%20tempo%20para%20serem%20conclu%C3%ADdos.>> Acesso em: 17 mar. 2024.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MENEZES, Guilherme. Como Foi o Avanço de Desenhos de Engenharia? **Engenharia 360.** 2020. Disponível em: < <https://engenharia360.com/o-avanco-dos-desenhos-na-engenharia/>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Muros de Arrimo.** São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 1994.

MORAES, Jackeline Barbosa de. **Detalhamento de paredes de reservatórios de concreto armado usando a ferramenta Dynamo.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - FT - Faculdade de Tecnologia. - Manaus – AM, p. 72, 2023. Disponível em < [https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6968/5/TCC\\_JackelineMoraes.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6968/5/TCC_JackelineMoraes.pdf)> Acesso em 09 mar. 2023.

OTTO. Revit vs. Autocad. **Autodesk.** S.d. Disponível em: < <https://www.autodesk.com.br/solutions/revit-vs-autocad>> Acesso em: 17 mar. 2024.

**Revit API Docs.** Disponível em: <https://www.revitapidocs.com/>

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico.** 24. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2019.

SILVA, Arlindo; RIBEIRO, C. Tavares; DIAS, João; SOUZA, Luís. **Desenho técnico moderno.** 4. ed. Tradução Antônio Eustáquio de Melo Pertence, Ricardo Nicolau Nassar Koury. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SOARES, J. M. **Comunicação pessoal,** 2021.

SOUZA, Marco Túlio De. **Desenvolvimento de Rotina de Cálculo Para Laje Maciça Através do Dynamo Revit.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano – Campus Trindade. Trindade – GO, p. 33, 2023. Disponível em < <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4177/1/TCC%20-%20Marco%20T%3%b%20alio%20de%20Souza.pdf>> Acesso em 09 mar. 2023.

TEIXEIRA, Maria Luíza Nunes. **Modelagem computacional de dispositivos de drenagem em cortinas atirantadas.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto - Ouro Preto – MG, p. 52, 2018. Disponível em < [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1727/1/MONOGRAFIA\\_ModelagemComputacionalDispositivos.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1727/1/MONOGRAFIA_ModelagemComputacionalDispositivos.pdf)> Acesso em 10 mar. 2023.

## APÊNCIDE A - CÓDIGO PARA CÁLCULO DAS TENSÕES E DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DO DIAGRAMA

#IMPORTAÇÃO DAS BIBLIOTECAS NECESSÁRIAS E ADIÇÃO DAS REFERÊNCIAS

```
import clr
```

```
import math
```

```
clr.AddReference('RevitAPI')
```

```
import Autodesk
```

```
import Autodesk.Revit.DB as DB
```

```
clr.AddReference('RevitServices')
```

```
import RevitServices
```

```
from RevitServices.Transactions import TransactionManager
```

```
from RevitServices.Persistence import DocumentManager
```

```
clr.AddReference('RevitNodes')
```

```
import Revit
```

```
clr.ImportExtensions(Revit.Elements)
```

```
clr.AddReference('ProtoGeometry')
```

```
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
```

```
doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
```

#DEFINIÇÃO DE FUNÇÕES

```
seno = math.sin
```

```
cos = math.cos
```

```
tan = math.tan
```

```
pot = math.pow
```

```
raiz2 = math.sqrt
```

```

metros = lambda x: DB.UnitUtils.ConvertToInternalUnits(x, DB.UnitTypeId.Meters)
Ponto = lambda x, y: DB.XYZ(metros(x), metros(y), 0)

```

```
#ENTRADA DOS DADOS
```

```
lst_variaveis = IN[0]
```

```
lst_valores = IN[1]
```

```
ftr_escala = IN[2] #FATOR PARA REDUÇÃO DA ESCALA HORIZONTAL DO
DIAGRAMA DE TENSÕES
```

```
vista_diagrama = UnwrapElement(IN[3])
```

```
tipo_texto = UnwrapElement(IN[4][0])
```

```
tipo_texto_id = tipo_texto.Id
```

```
#CRIA E ATRIBUI O VALOR DE TODAS AS VARIÁVEIS
```

```
for var, val in zip(lst_variaveis, lst_valores):
```

```
    if "Ang" in var:
```

```
        #CONVERSÃO DOS ÂNGULOS DE GRAUS PARA RADIANOS
```

```
        rad = math.radians(val)
```

```
        exec(var + " = " + str(rad))
```

```
    else:
```

```
        exec(var + " = " + str(val))
```

```
#LISTAS DOS PARÂMETROS DO SOLO DAS CAMADAS
```

```
AngInterno = [AngInterno1, AngInterno2, AngInterno3, AngInterno4, AngInternoTerreno]
```

```
PesoSeco = [PesoSeco1, PesoSeco2, PesoSeco3, PesoSeco4, PesoSecoTerreno]
```

```
PesoSat = [PesoSat1, PesoSat2, PesoSat3, PesoSat4, PesoSatTerreno]
```

```
Esp = [Esp1, Esp2, Esp3, Esp4, Embutimento] #ESPESSURAS DAS CAMADAS
```

```
Coesao = [Coesao1, Coesao2, Coesao3, Coesao4, CoesaoTerreno]
```

```
prof_total = AlturaAterro + Embutimento
```

```
#COEFICIENTES DE EMPUXO ATIVO EM CADA CAMADA
```

```
Ka = []
```

```
theta = AngTheta
```

```
for i in range(5):
```

```
    #if i == 4: #TERRENO NATURAL
```

```
        #theta = 0 #PARAMENTO VERTICAL (SAPATA)
```

```
    #EQUAÇÃO DO COEFICIENTE DE EMPUXO SEPARADA EM FATORES
```

```
    fator1 = seno(AngInterno[i])* seno(AngInterno[i] - AnguloTerreno)
```

```
    fator2 = cos(theta) * cos(theta - AnguloTerreno)
```

```
    fator3 = 1 + pot(fator1/fator2, 0.5)
```

```
    fator4 = cos(AngInterno[i] - AngTheta) / (cos(theta) * fator3)
```

```
    Ka.append(fator4 * fator4 / cos(theta))
```

```
#EMPUXO PASSIVO
```

```
Kp = pot(tan(math.pi / 4 + AngInternoTerreno / 2), 2)
```

```
Ep = 0.5 * Kp * PesoSecoTerreno * Embutimento**2
```

```
#CÁLCULO DAS TENSÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS
```

```
pts_X, pts_Y = [0], [0] #VARIÁVEIS PARA ARMAZENAMENTO DAS ABSCISSAS E  
ORDENADAS DOS PONTOS DO DIAGRAMA
```

```
Zb = 0 #PROFUNDIDADE DA BASE DA CAMADA
```

```
HNaAc = 0 #LÂMINA D'ÁGUA ACUMULADA AO LONGO DA PROFUNDIDADE  
ANALISADA
```

```
tensao_vertical = Sobrecarga #TENSÃO VERTICAL ACUMULADA AO LONGO DA  
PROFUNDIDADE ANALISADA
```

```
yw = 9.81 #PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA EM kN/m³
```

```
#CÁLCULO DAS TENSÕES NAS CAMADAS E PONTOS DO DIAGRAMA
```

```
for i in range(5):
```

```

if Esp[i] == 0:
    continue

Zb += Esp[i]
Z2 = (Zb - ProfNivelDAgua) #PARTE SUBMERSA DA CAMADA

if Z2 <= 0:
    Z2 = 0 #CAMADA TOTALMENTE SECA
elif Z2 >= Esp[i]:
    Z2 = Esp[i] #CAMADA TOTALMENTE SUBMERSA

Z1 = Esp[i] - Z2 #PARTE SECA DA CAMADA
parcela_coesao = 2 * Coesao[i] * raiz2(Ka[i])

#TENSÃO HORIZONTAL NO TOPO DA CAMADA
th_topo = tensao_vertical * Ka[i] - parcela_coesao + HNaAc*yw
pts_X.append(th_topo)
pts_Y.append(-Zb+Esp[i]) # -1*(Zb-ESP)

#TENSÃO HORIZONTAL NO POSSÍVEL NÍVEL D'ÁGUA DA CAMADA
tensao_vertical += PesoSeco[i]*Z1
th_HNa = tensao_vertical * Ka[i] - parcela_coesao + HNaAc*yw
pts_X.append(th_HNa)
pts_Y.append(-Zb+Z2) # -1*(Zb-Z2)

#TENSÃO HORIZONTAL NA BASE DA CAMADA
HNaAc += Z2 #INCREMENTO DA PARTE SUBMERSA
tensao_vertical += (PesoSat[i]-yw)*Z2
th_base = tensao_vertical * Ka[i] - parcela_coesao + HNaAc*yw
pts_X.append(th_base)
pts_Y.append(-Zb)

```

```

pts_X.append(0)
pts_Y.append(-prof_total)

#*****DESENHO DO DIAGRAMA DE TENSÕES*****

#CRAS OS PONTOS ALTERANDO A ESCALA DOS VALORES DAS TENSÕES
pts_diagrama = [Point.ByCoordinates(x*ftr_escala, y, 0) for x, y in zip(pts_X, pts_Y)]
pts_diagrama = Point.PruneDuplicates(pts_diagrama, 0.01) #REMOVE PONTOS
DUPLICADOS

pts_X = [pt.X/ftr_escala for pt in pts_diagrama]
pts_Y = [pt.Y for pt in pts_diagrama]

pts_EmpA = list(pts_diagrama).copy() #LISTA DE PONTOS UTILIZADA PARA O
DIAGRAMA DO EMPUXO
pt_Intersecao = None

for i in range(len(pts_diagrama)-1):
    xA = pts_diagrama[i].X
    xB = pts_diagrama[i+1].X

    if xA < 0:
        del pts_EmpA[1] #REMOVE OS PONTOS DE TENSÃO NEGATIVA DO
DIAGRAMA DO EMPUXO

    if xA * xB < 0: #PONTOS DA RETA QUE INTERCEPTA O EIXO VERTICAL
        yA = pts_diagrama[i].Y
        yB = pts_diagrama[i+1].Y

        m = (yB - yA) / (xB - xA) #COEFICIENTE ANGULAR DA RETA
        n = yA - m * xA #COEFICIENTE LINEAR DA RETA
        pt_Intersecao = Point.ByCoordinates(0, n, 0)

```

```

if not pt_Intersecao:
    pts_EmpA.insert(1, pt_Intersecao) #INSERE O PONTO DE INTERSEÇÃO NA
SEGUNDA POSIÇÃO DA LISTA
    del pts_EmpA[0] #REMOVE O PONTO (0, 0) CASO HAJA COESÃO

nomes_pontos = ["P" + str(x) for x in range(1, len(pts_diagrama)-1)]

#INÍCIO DA TRANSAÇÃO PARA REALIZAR ALTERAÇÕES NO MODELO
TransactionManager.Instance.EnsureInTransaction(doc)

for nome, local in zip(nomes_pontos, list(pts_diagrama)[1:-1]):
    x = metros(local.X)
    y = metros(local.Y)
    ponto = DB.XYZ(x, y, 0)
    DB.TextNote.Create(doc, vista_diagrama.Id, ponto, nome, tipo_texto_id)

#*****CRIAÇÃO DA TABELA DE PONTOS*****

#VARIÁVEIS DE AJUSTE DAS DIMENSÕES DA TABELA
altura_celulas = 0.35
larguras_colunas = [1, 2, 2]
largura_tabela = sum(larguras_colunas)
afastamento_tabela = 2
margem = 0.3

#ABSCISSAS DOS PONTOS DA ESQUERDA PARA DIREITA
x = [-afastamento_tabela - largura_tabela]
for i in range(3):
    x.append(x[-1] + margem) #POSIÇÃO DOS TEXTOS
    x.append(x[-2] + larguras_colunas[i]) #POSIÇÃO DAS DIVISÕES DAS COLUNAS

```

```

#ORDENADAS DOS PONTOS DE BAIXO PARA CIMA
y = [-prof_total]
for i in range(len(nomes_pontos)+1):
    y.append(y[-1] + margem) #POSIÇÃO DOS TEXTOS
    y.append(y[-2] + altura_celulas) #POSIÇÃO DAS DIVISÕES DAS LINHAS

cabecalho = [["Ponto", "Profundidade (m)", "Tensão (kPa)"]]
rev_nomes = reversed(nomes_pontos)
rev_y = reversed(pts_Y[1: -1])
rev_x = reversed(pts_X[1: -1])

conteudo = [(n, round(y, 3), round(x, 3)) for n, y, x in zip(rev_nomes, rev_y, rev_x)]
conteudo.extend(cabecalho)

#DESENHA AS LINHAS DA TABELA
for j in range(1, len(y), 2):
    inicio_linha = Ponto(x[0], y[j])
    final_linha = Ponto(x[-1], y[j])
    linha = DB.Line.CreateBound(inicio_linha, final_linha)
    doc.Create.NewDetailCurve(vista_diagrama, linha)

#CRIA OS TEXTOS DA TABELA
for i in range(1, len(x), 2):
    ponto_texto = Ponto(x[i], y[j])
    texto = str(conteudo[int((j-1)/2)][int((i-1)/2)])
    DB.TextNote.Create(doc, vista_diagrama.Id, ponto_texto, texto, tipo_texto_id)

#FINAL DA TRANSAÇÃO
TransactionManager.Instance.TransactionTaskDone()

#SAÍDA DO NÓ
OUT = pts_diagrama, pts_EmpA, Ep

```

## APÊNCIDE B - CÓDIGO PARA DETALHAMENTO DAS SEÇÕES

#IMPORTAÇÃO DAS BIBLIOTECAS NECESSÁRIAS E ADIÇÃO DAS REFERÊNCIAS

```
import clr
import math
```

```
clr.AddReference('RevitAPI')
import Autodesk
import Autodesk.Revit.DB as DB
```

```
clr.AddReference('RevitServices')
import RevitServices
from RevitServices.Transactions import TransactionManager
from RevitServices.Persistence import DocumentManager
```

```
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
```

#DOCUMENTO ATUAL

```
doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
```

#DEFINIÇÃO DE FUNÇÕES

```
tan = math.tan
metros = lambda x: DB.UnitUtils.ConvertToInternalUnits(x, DB.UnitTypeId.Meters)
Ponto = lambda x, y: DB.XYZ(metros(x), metros(y), 0)
```

#ENTRADA DOS DADOS

```
lst_parametros = IN[0] #NOMES DOS PARÂMETROS NECESSÁRIOS
lst_valores = IN[1] #VALORES DOS PARÂMETROS
vista_secao = UnwrapElement(IN[2]) #VISTA PARA DESENHAR A SEÇÃO
tipo_texto_id = UnwrapElement(IN[3][0]).Id #TIPO DO TEXTO A SER UTILIZADO
```

```
tipo_cota = UnwrapElement(IN[4][0]) #TIPO DA COTA A SER UTILIZADA
```

```
#CRIA E ATRIBUI O VALOR DE TODAS AS VARIÁVEIS
```

```
for var, val in zip(lst_parametros, lst_valores):
```

```
    if "Ang" in var:
```

```
        #CONVERSÃO DOS ÂNGULOS DE GRAUS PARA RADIANS
```

```
        rad = math.radians(val)
```

```
        exec(var + " = " + str(rad))
```

```
    else:
```

```
        exec(var + " = " + str(val))
```

```
recuo = AlturaAterro * tan(AngTheta)
```

```
AlturaTotal = AlturaAterro + Embutimento
```

```
P1 = Ponto(0, 0)
```

```
P2 = Ponto(Base, 0)
```

```
P3 = Ponto(Base, Embutimento)
```

```
P4 = Ponto(Base - recuo, AlturaTotal)
```

```
P5 = Ponto(Base - recuo - EspessuraTopo, AlturaTotal)
```

```
P6 = Ponto(0, Embutimento)
```

```
pontos = [P1, P2, P3, P4, P5, P6]
```

```
xmin = min(0, Base - recuo - EspessuraTopo)
```

```
desloc = 0.5
```

```
#INÍCIO DA TRANSAÇÃO PARA REALIZAR ALTERAÇÕES NO MODELO
```

```
TransactionManager.Instance.EnsureInTransaction(doc)
```

```
#DESENHA AS LINHAS DA SEÇÃO
```

```
linhas = []
```

```
linhas_secao = []
```

```
for i in range(-1, len(pontos)-1):
```

```

linha = DB.Line.CreateBound(pontos[i], pontos[i+1])
linhas.append(linha)
linhas_secao.append(doc.Create.NewDetailCurve(vista_secao, linha))

```

#### #LINHAS AUXILIARES

```

laux1 = DB.Line.CreateBound(P6, P6.Add(Ponto(-0.01, 0)))
laux1 = doc.Create.NewDetailCurve(vista_secao, laux1)

```

```

laux2 = DB.Line.CreateBound(P4, P4.Add(Ponto(0, 0.01)))
laux2 = doc.Create.NewDetailCurve(vista_secao, laux2)

```

```

laux3 = DB.Line.CreateBound(P5, P5.Add(Ponto(0, 0.01)))
laux3 = doc.Create.NewDetailCurve(vista_secao, laux3)

```

```

cotas = []

```

#### #COTAS VERTICAIS

```

referencias = DB.ReferenceArray()
referencias.Append(linhas_secao[1].GeometryCurve.Reference)
referencias.Append(laux1.GeometryCurve.Reference)
referencias.Append(linhas_secao[4].GeometryCurve.Reference)

```

```

linha = DB.Line.CreateBound(Ponto(xmin - desloc, 0), Ponto(xmin - desloc, 1))
cotas.append(doc.Create.NewDimension(vista_secao, linha, referencias, tipo_cota))

```

#### #COTAS BASE

```

referencias = DB.ReferenceArray()
referencias.Append(linhas_secao[0].GeometryCurve.Reference)
referencias.Append(linhas_secao[2].GeometryCurve.Reference)

```

```

linha = DB.Line.CreateBound(P1.Add(Ponto(0, -desloc)), P2.Add(Ponto(0, -desloc)))
cotas.append(doc.Create.NewDimension(vista_secao, linha, referencias, tipo_cota))

```

```
#COTAS TOPO
```

```
referencias = DB.ReferenceArray()
referencias.Append(linhas_secao[0].GeometryCurve.Reference)
referencias.Append(laux2.GeometryCurve.Reference)
referencias.Append(laux3.GeometryCurve.Reference)
```

```
linha = DB.Line.CreateBound(P4.Add(Ponto(0, desloc)), P5.Add(Ponto(0, desloc)))
cotas.append(doc.Create.NewDimension(vista_secao, linha, referencias, tipo_cota))
```

```
#LINHA DO TERRENO
```

```
pt1 = Ponto(xmin - 3 * desloc, Embutimento)
pt2 = Ponto(2 * Base, Embutimento)
l = DB.Line.CreateBound(pt1, pt2)
doc.Create.NewDetailCurve(vista_secao, l)
```

```
#FINAL DA TRANSAÇÃO
```

```
TransactionManager.Instance.TransactionTaskDone()
```

```
pts = []
```

```
for pt in pontos:
```

```
    pts.append(Point.ByCoordinates(pt.X * 0.3048, pt.Y * 0.3048 - AlturaTotal))
```

```
#SAÍDA DO NÓ SÃO OS PONTOS DA SEÇÃO
```

```
OUT = pts
```

**APÊNDICE C - CÓDIGO PARA VERIFICAÇÕES**

```
//VARIÁVEIS DE ENTRADA

//REFERÊNCIA DO MURO NO PROJETO;
muro;

//PONTOS QUE DEFINEM A SEÇÃO DO MURO;
PtsSecao;

//CURVA FECHADA DO DIAGRAMA DE TENSÕES;
CurvaDiagrama;

//FATOR UTILIZADO PARA COMPACTAR O DIAGRAMA;
FatorEscala;

//EMPUXO PASSIVO;
Ep;

//FUNÇÕES
val = Revit.Element.GetParameterValueByName;
set = Revit.Element.SetParameterByName;
round = Math.Round;

//PARÂMETROS
Base = val(muro, "Base");
AlturaTotal = val(muro, "AlturaTotal");
AngTheta = val(muro, "AngTheta");
CargaTopo = val(muro, "CargaTopo");
CoefAtritoBaseSolo = val(muro, "CoefAtritoBaseSolo");
Comprimento = val(muro, "Comprimento");
```

```

Vol = val(muro, "Volume");
PesoConcreto = val(muro, "PesoConcreto");
Embutimento = val(muro, "Embutimento");
ResistenciaSolo = val(muro, "ResistenciaSolo");
FSMinTensao = val(muro, "FatorSegTensao");

AreaMuro = Vol / Comprimento;
PesoMuro = AreaMuro * PesoConcreto;

//CENTROIDE E BRACO DA SEÇÃO DO MURO
CurvaSecao = Polygon.ByPoints(PtsSecao);
SldSecao = PolyCurve.ExtrudeAsSolid(CurvaSecao, 1);
centro = Solid.Centroid(SldSecao);
CentroideMuro = Point.ByCoordinates(centro.X, centro.Y);
BracoMuro = CentroideMuro.X;

//CÁLCULO DO EMPUXO PASSIVO POR MEIO DO VOLUME DO DIAGRAMA
SldDiagrama = PolyCurve.ExtrudeAsSolid(CurvaDiagrama, 1);
VolDiagrama = Solid.Volume(SldDiagrama);
Ea = VolDiagrama / FatorEscala;

//COMPONENTES DO EMPUXO
Eax = Ea * Math.Cos(AngTheta);
Eay = Ea * Math.Sin(AngTheta);

Fh_atuante = Eax;

//VERIFICAÇÃO CONTRA DESLIZAMENTO
CargaVertical = Eay + CargaTopo + PesoMuro;
FAtritoBase = CargaVertical * CoefAtritoBaseSolo;

Fh_resistente = Ep + FAtritoBase;

```

$FSDesliz = Fh\_resistente / Fh\_atuante;$

$VerifDesliz = FSDesliz \geq 1.5 ? "PASSA" : "NÃO PASSA";$

//LOCAL DO EMPUXO É O CENTROIDE DO SÓLIDO

$CentroideDiagrama = Solid.Centroid(SldDiagrama);$

$bracoEax = CentroideDiagrama.Y + AlturaTotal;$

$bracoEay = Base;$

$MomMuro = PesoMuro * BracoMuro;$

$bracoEp = Embutimento/3;$

//VERIFICAÇÃO CONTRA TOMBAMENTO

$MomResistente = Eay * bracoEay + Ep * bracoEp + PesoMuro * BracoMuro;$

$MomAtuante = Eax * bracoEax;$

$FSTomb = MomResistente / MomAtuante;$

$VerifTomb = FSTomb \geq 2 ? "PASSA" : "NÃO PASSA";$

//VERIFICAÇÃO CAPACIDADE DE CARGA

$CentroPressao = (MomResistente - MomAtuante) / CargaVertical;$

$Excentricidade = Base / 2 - CentroPressao;$

$TensaoMedia = CargaVertical / Base;$

$Ftr = 6 * Excentricidade / Base;$

//VERDADEIRO SE HOVER TRAÇÃO;

$TesteTracao = Ftr > 1;$

$TensaoMaxima1 = 2 * CargaVertical / (3 * CentroPressao);$

$TensaoMaxima2 = TensaoMedia * (1 + Ftr);$

$TensaoMaxima = TesteTracao ? TensaoMaxima1 : TensaoMaxima2;$

$FSTensao = ResistenciaSolo / TensaoMaxima;$

$VerifTensao = FSTensao \geq FSMintensao ? "PASSA" : "NÃO PASSA";$

```
//ENVIO DOS RESULTADOS PARA O MODELO
set(muro, "AreaMuro", Math.Round(AreaMuro, 2));
set(muro, "PesoMuro", Math.Round(PesoMuro, 2));
set(muro, "EmpuxoAtivo", Math.Round(Ea, 2));
set(muro, "EmpuxoPassivo", Math.Round(Ep, 2));
set(muro, "ForcaAtritoBase", Math.Round(FAtritoBase, 2));
set(muro, "MomAtuante", Math.Round(MomAtuante, 2));
set(muro, "MomResistente", Math.Round(MomResistente, 2));
set(muro, "VerifDesl", VerifDesliz);
set(muro, "VerifTomb", VerifTomb);
set(muro, "VerifTensao", VerifTensao);
set(muro, "FSDeslizamento", Math.Round(FSDesliz, 2));
set(muro, "FSTombamento", Math.Round(FSTomb, 2));
set(muro, "FSTensao", Math.Round(FSTensao, 2));
set(muro, "TensaoMax", Math.Round(TensaoMaxima, 2));
```

DANIEL SILVA BARBOSA

**DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO AUTOMATIZADOS DE MUROS DE  
ARRIMO POR MEIO DA API DO SOFTWARE AUTODESK REVIT**

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 a  
obtenção do grau de bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovado em: 25/03/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. D.Sc. José Moura Soares (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. D.Sc. Saul Barbosa Guedes (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. D.Sc. Gerson Jacques Miranda Dos Anjos (Examinador Externo)

Universidade Federal do Pará