



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DEIVYD HEIVYSON DIÓGENES COSTA

**USO DE PROGRAMAÇÃO VBA NA PARAMETRIZAÇÃO DE PROJETOS NO
AUTOCAD PARA CORTINAS DE ESTACAS ATIRANTADAS**

MOSSORÓ

2024

DEIVYD HEIVYSON DIÓGENES COSTA

**USO DE PROGRAMAÇÃO VBA NA PARAMETRIZAÇÃO DE PROJETOS NO
AUTOCAD PARA CORTINAS DE ESTACAS ATIRANTADAS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. John Eloi Bezerra.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C838e Costa, Deivyd Heivyson Diógenes.
USO DE PROGRAMAÇÃO VBA NA PARAMETRIZAÇÃO DE
PROJETOS NO AUTOCAD PARA CORTINAS DE ESTACAS
ATIRANTADAS / Deivyd Heivyson Diógenes Costa. -
2022.
32 f. : il.

Orientador: John Eloi Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. engenharia. 2. excel. 3. programação. 4.
contenção. 5. ferramenta. I. Bezerra, John Eloi,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DEIVYD HEIVYSON DIÓGENES COSTA

**USO DE PROGRAMAÇÃO VBA NA PARAMETRIZAÇÃO DE PROJETOS NO
AUTOCAD PARA CORTINAS DE ESTACAS ATIRANTADAS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: ____ / ____ / 2 ____.

BANCA EXAMINADORA

**JOHN ELOI
BEZERRA**

Digitally signed by JOHN ELOI BEZERRA:
DN: cn=JOHN ELOI BEZERRA, ou=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Arido, o=ICPEdu, c=BR
Date: 2024.04.26 09:42:45 -03'00'

Prof. Dr. John Eloi Bezerra (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente

ALISSON GADELHA DE MEDEIROS
Data: 26/04/2024 10:06:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente

JOAO PAULO MATOS XAVIER
Data: 26/04/2024 08:59:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof Dr. João Paulo Matos Xavier (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha abençoada família, em especial aos meu país, minhas duas bases principais que sempre fizeram de tudo para que eu pudesse ter uma boa educação e chegasse onde eu cheguei hoje. Além disso, por sempre estarem presente quando passei por alguma dificuldade nesse meu processo de graduação.

Agradeço a todos os meus professores, desde os do ensino fundamental até os da minha graduação. Sou orgulhoso de ter tido grandes professores que me ajudaram no meu processo de crescimento e de amadurecimento crítico.

Agradeço a todos os meus amigos que fizeram parte da minha vida até aqui, em especial ao meu atual colega de quarto, Gardel, por ter me ajudado em vários momentos difíceis durante minha graduação.

Agradeço ao Professor Dr. John Eloi Bezerra pela orientação e oportunidade dada nesse trabalho que tanto representa para minha vida acadêmica.

Agradeço a banca examinadora presente, por contribuírem para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende
o que ensina.

Cora Carolina

RESUMO

Diante do inevitável avanço da informática e da programação de softwares, é de grande importância enfatizar o poder dessas ferramentas quando aplicadas nas diversas áreas da engenharia civil, seja para solução de problemas complexos ou para auxílio do engenheiro em atividades de repetições. Dessas ferramentas, a programação Visual Basic for Applications (VBA) tem uma boa aderência por engenheiros civis, se destacando por sua linguagem simples e sua possibilidade de interação com softwares bastantes comuns da área, como o Excel da Microsoft e o AutoCAD da AutoDesk. Partindo dessa ideia, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso dessa ferramenta para auxílio de engenheiros civis, apresentando uma planilha eletrônica em Excel programada via linguagem VBA com capacidade de parametrizar partes do desenho de projetos de contenções em cortinas com estacas atirantadas. Como resultado foi confeccionado um código capaz de parametrizar três partes fundamentais em um projeto de contenção de cortinas de estacas atirantadas, sendo elas, a vista perfil, armaduras e seus detalhamentos, e, por fim, o detalhamento de tirantes do tipo cordoalha.

Palavras-chave: engenharia civil; excel; programação; contenção; ferramenta.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ambiente de Desenvolvimento da linguagem VBA.....	4
Figura 2 - Exemplo de procedimento Sub com nome de “Exemplo_1”.....	5
Figura 3 - Exemplo de declaração de variável com nome de “Var_Exemplo”.	6
Figura 4 - Modelo de Objetos do AutoCAD.....	7
Figura 5 - Componente frontal e tirante de uma contenção atirantada.	9
Figura 6 - Contenção de pilares descontínuos e ancorados.	9
Figura 7 – Elementos do tirante.	10
Figura 8 – Comprimento dos tirantes.....	12
Figura 9 – Objetos manipulados em ordem hierárquica.	15
Figura 10 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_VISTA_PERFIL.	21
Figura 11 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_ARMADURA_COMPLETA.	21
Figura 12 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_VIGA.	21
Figura 13 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_ESTACA.	22
Figura 14 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_TIRANTE.	22
Figura 15 – UI da planilha da vista perfil.	23
Figura 16 – UI da planilha da armadura.	23
Figura 17 – UI da planilha do detalhamento do tirante.	24
Figura 18 – Detalhamento do tirante monobarra desenhado a partir da pasta de trabalho parametrizada.	24
Figura 19 – Vista perfil desenhada a partir da pasta de trabalho parametrizada.	25
Figura 20 – Detalhamento da armadura desenhado a partir da pasta de trabalho parametrizada.	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de objetos e seus métodos construtores criados no ModelSpace.	15
Quadro 2 – Rotinas do Módulo a __VAR_INPUT.....	16
Quadro 3 – Rotinas do Módulo b __TEXTOS_E_TITULOS.	16
Quadro 4 – Rotinas do Módulo c __VISTA_PERFIL_OBJS.	17
Quadro 5 – Rotinas do Módulo d __LAYERS_CORES_E_PESOS.....	17
Quadro 6 – Rotinas do Módulo e __COTAS.....	17
Quadro 7 – Rotinas do Módulo f __GRUPOS.....	18
Quadro 8 – Rotinas do Módulo g __CLASSE_TIRANTES_VP.	18
Quadro 9 – Rotinas do Módulo h __DET_ARMADURA_COMP.	18
Quadro 10 – Rotinas do Módulo i __DET_ARMADURA_SEP.	19
Quadro 11 – Rotinas do Módulo j __DET_TIRANTE.....	20
Quadro 12 – Rotinas do Módulo k __CMDs.....	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO LITERÁRIA.....	2
2.1	A Revolução da Tecnologia na Engenharia Civil	2
2.2	O Poder da Manipulação de Códigos de Programação por Engenheiros Cíveis	2
2.3	VBA - Visual Basic for Applications.....	3
2.3.1	Subrotinas.....	4
2.3.2	Variáveis	5
2.3.3	Objetos, Propriedades e Métodos.....	6
2.4	Parametrização de Projetos	8
2.5	Cortina de Estacas Atirantada	8
2.5.1	Paramento frontal	9
2.5.2	Tirantes.....	10
3	OBJETIVOS.....	13
3.1	Objetivo Geral	13
3.2	Objetivos Específicos.....	13
4	METODOLOGIA	14
4.1	Tecnologias	14
4.2	Interface de Usuário e Parâmetros de Entrada	14
4.3	Objetos do AutoCAD Manipulados	14
4.4	Objetos Criados.....	15
4.5	Divisão do Código	16
4.5.1	Módulo a__VAR_INPUT	16
4.5.2	Módulo b__TEXTOS_E_TITULOS.....	16
4.5.3	Módulo c__VISTA_PERFIL_OBJs	16
4.5.4	Módulo d__LAYERS_CORES_E_PESOS	17
4.5.5	Módulo e__COTAS	17
4.5.6	Módulo f__GRUPOS	18
4.5.7	Módulo g__CLASSE_TIRANTES_VP.....	18
4.5.8	Módulo h__DET_ARMADURA_COMP.....	18
4.5.9	Módulo i__DET_ARMADURA_SEP.....	19
4.5.10	Módulo j__DET_TIRANTE	19
4.5.11	Módulo k__CMDs	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
	REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, o ser humano sempre se destacou das demais espécies por sua habilidade em utilizar ferramentas para auxiliá-lo em suas atividades cotidianas e complexas. No mundo contemporâneo, essas ferramentas de auxílio, em sua grande maioria, incorporam códigos e algoritmos que, cada vez mais, se tornam mais robustos e, conseqüentemente, mais poderosos. Devido isso, cada vez mais o mercado de trabalho exige habilidades e competências dos profissionais para manuseio ou, até mesmo, programação destas ferramentas. O relatório *The Future of Jobs 2023* do Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*) relata que, hoje, aproximadamente de 34% das atividades de mercado já são automatizadas por máquinas, além de estimar que esse percentual cresça para 47% até o ano de 2027.

Nesse sentido, diante dos avanços nos softwares usados na engenharia civil, é compreensível que cada vez mais o mercado de trabalho necessite de engenheiros com habilidades e competências em programação, tendo em vista que, essas habilidades podem auxiliar o profissional na execução de tarefas repetitivas ou na solução de problemas mais complexos. Além disso, sabe-se que atualmente grande parte dos softwares utilizados por engenheiros permitem que o usuário programe códigos e algoritmos aumentando o poder destas ferramentas, muitas vezes para realização de atividades específicas do engenheiro.

Posto isso, dois softwares bastantes comuns na vida do engenheiro são: o Excel da Microsoft e o AutoCAD da Autodesk. Tratando-se do Excel, este software, assim como os demais do pacote Office da Microsoft, possui a programação Visual Basic for Applications (VBA) integrada, permitindo que o próprio usuário crie aplicações específicas que não foram programadas pela empresa desenvolvedora. Esta ferramenta de programação tem um grande poder para engenheiros, pois, a partir dela é possível automatizar diversas atividades repetitivas do dia-a-dia do profissional, como, por exemplo, criar uma nova função para o Excel que calcule o quantitativo de aço de um pilar de dimensões definidas pelo usuário. Além disso, outro grande poder da programação VBA é sua capacidade de enviar comandos para outros softwares, como o AutoCAD, através da simples interface do Excel.

A partir dos conhecimentos supracitados, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da programação VBA para engenheiros civis, utilizando como exemplo uma planilha eletrônica do Excel, programada e linkada ao AutoCAD via programação VBA, para a parametrização de desenhos de projeto de contenção em cortina com estacas atirantada.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 A Revolução da Tecnologia na Engenharia Civil

A engenharia civil é uma área profissional que está sempre buscando auxílio das novas tecnologias disponíveis no mercado para solução de problemas que estão cada vez mais complexos. Como consequência disso e diante do grande avanço dos softwares e hardwares das últimas décadas, a engenharia civil sofreu uma importante revolução em seus métodos de trabalho.

Para Bezerra e Coelho (2019), antes das tecnologias Computer Aided Design (CAD) e Build Information Modeling (BIM), as principais ferramentas de trabalho dos projetistas eram lápis, pranchetas, régua e transferidores. Contudo, a partir da década de 80, a empresa Autodesk apresentou seu novo software para o mundo, o AutoCAD, revolucionando a metodologia de trabalho dos engenheiros e arquitetos (SOUZA et al., 2020). Esse fenômeno é comentado por Aguilar-Molina e Junior (2015). Para os autores, a incorporação da tecnologia CAD significou um avanço fundamental para a área, possibilitando a automatização de cálculos complexos e deixando os projetistas com mais espaço para tarefas de análise. Posteriormente, na metade dos anos 2000, a tecnologia BIM começou a ser implementada nos Estados Unidos da América (LATIFFI et al., 2013), entretanto, no Brasil, só passou a ser exigida nas obras do governo a partir de 2021. Para Cho et al. (2011), a tecnologia BIM transformou a maneira que as infra estruturas são projetadas, analisadas, construídas e gerenciadas graças a sua capacidade de compatibilizar as diversas etapas do projeto.

Apesar da tecnologia BIM, à primeira vista, oferecer diversas vantagens em relação a tecnologia CAD (DA COSTA, 2015), hoje, ambos os softwares ainda são bastante utilizados por profissionais da engenharia e da arquitetura. Isso se dá devido cada uma das ferramentas terem características positivas e negativas, sendo necessário que cada profissional avalie a situação em qual a plataforma vai se familiarizar melhor, além do potencial de investimento da empresa e de todos os envolvidos na área de projeto para a escolha do software que melhor atenderá suas necessidades (NETO, 2017).

2.2 O Poder da Manipulação de Códigos de Programação por Engenheiros Civis

No mundo profissional atual, observa-se que cada vez mais as competências em programação estão ganhando notoriedade em uma vasta variedade de setores (THOMPSON, 2020), e, como consequência disso, engenheiros que conseguem manipular códigos de programação para criar suas próprias rotinas podem ganhar cada vez mais destaque no mercado de trabalho.

É sabido que, no campo acadêmico da Engenharia Civil, existem diversos estudiosos buscando, testando e programando algoritmos e ferramentas computacionais para solução de diversos problemas da área. Como exemplos, os autores Teles e Gomes (2010), mencionam a utilização de ferramentas computacionais de análise de estruturas utilizando técnicas numéricas (elementos finitos, elementos de contorno, etc) que teve grandes influências no avanço dos métodos de otimização, ferramenta utilizada por Souza Jr (2005) para solução de problemas de dimensionamento de estruturas tubulares metálicas espaciais com barras cruzadas para

cobertas. Lushui (2016) fala da importância de simulações computacionais para solução de problemas complexos da engenharia, dando como exemplo o dimensionamento de pontes. Já Pérez et al. (2008) utiliza programação genética para melhoramento dos modelos de cálculos de deformação do concreto devido sua fluência. Utilizando o Dynamo, ferramenta que funciona como uma programação visual, Ferreira (2023) conseguiu automatizar e otimizar processos dentro do ambiente Revit, em uma modelagem de drenagem superficial de subestação elétrica. Ainda nessa vertente, Oliveira (2018), desenvolveu um programa em linguagem Python que apresenta ao seu usuário a resolução de problemas estruturais para análise de vigas, por meio do método das seções. Indo além, LU et al. (2012) fez uma revisão bibliográfica de pesquisas recentes de diversos autores envolvendo Inteligência Artificial (AI) aplicada ao campo da Engenharia Civil.

Posto os exemplos supracitados, é importante ressaltar que habilidades em entender, modificar ou criar códigos computacionais não necessariamente precisam solucionar problemas complexos. Na conjuntura atual da Engenharia Civil, diversos softwares, utilizados comumente na área, permitem que seus usuários os manipulem através de códigos de programação simples em diversas linguagens. Como exemplo disso, a Microsoft permite seus usuários utilizarem a linguagem VBA, que está incorporada em seus mais famosos softwares do pacote Office, para que o usuário possa aprimorar as aplicações do software, além de automatizar a execução de tarefas rotineiras (DREUX e AZEVEDO, 2009). Tal ideia é potencializada quando se entende que, dentre os softwares mais utilizados por engenheiros, o Excel se destaca por trabalhar com planilhas eletrônicas que apresentam grande versatilidade e utilidade na rotina dos profissionais da área, além de ser uma ferramenta bastante difundida já no meio acadêmico da Engenharia (MORAIS e ARAÚJO, 2013).

Sabendo disso, na literatura é possível encontrar diversos trabalhos aplicados à área da Engenharia Civil, conciliando a programação VBA e o Excel. Como exemplo disso, Costa (2019) realizou um programa computacional em VBA para automatizar o projeto de ancoragem de terminações de dutos flexíveis marinhos. Já da Silva (2019), desenvolveu um software em linguagem VBA para dimensionamento de instalações de distribuição de água fria. Reforçando, de Sousa (2018), projetou uma planilha em VBA que auxilie o engenheiro no dimensionamento de elementos de fundações superficiais, necessitando apenas da inserção dos valores de tensão admissível do solo, solicitações, geometria e os diâmetros das armaduras dos pilares. Por fim, Souza (2021) apresenta planilhas orçamentárias dinâmicas através de programação VBA destinadas a orçamentos da construção civil.

2.3 VBA - Visual Basic for Applications

O VBA é uma linguagem de programação que está em conjunto com todos os produtos da família Microsoft Office, e é uma das derivações do Visual Basic (VB), linguagem de programação produzida pela empresa Microsoft. Segundo Jones (2001), tal linguagem é descrita como uma linguagem dirigida por eventos (event driven) e possui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) próprio, denominado Visual Basic Editor (VBE). A Figura 1 apresenta a interface do VBE, ambiente de desenvolvimento da linguagem VBA.

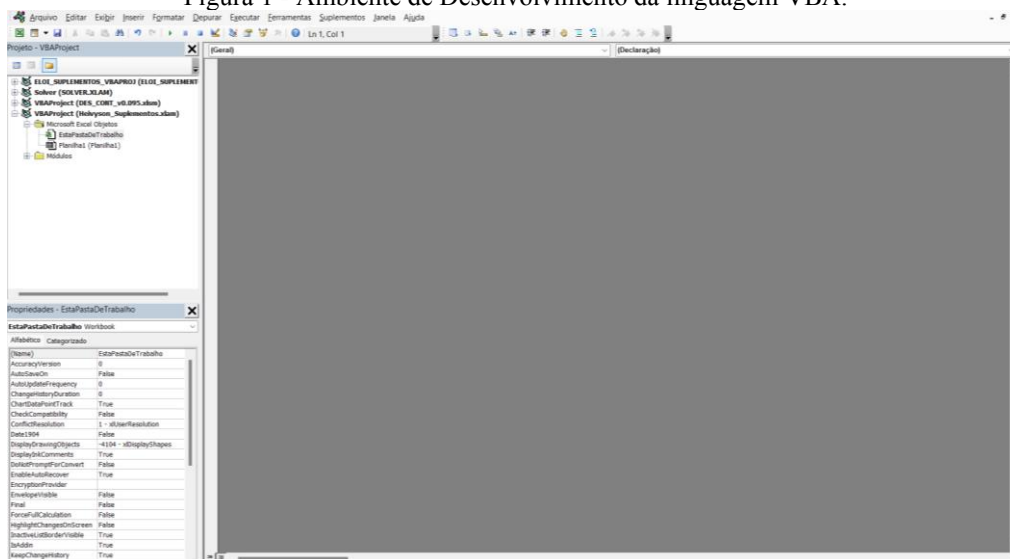
Quando usada para o Excel, a linguagem VBA é um poderoso complemento ao software, possibilitando interações com suas planilhas, células e objetos, além de enviar

comandos para outros softwares, como o AutoCAD e Inventor (MICROSOFT, 2001). Para Roman (2002), esses aplicativos que oferecem suporte a linguagem VBA são chamados de aplicativos hospedeiros (host applications).

A grande vantagem da programação em VBA no Office é que quase todas as operações que podem ser executadas com um mouse, teclado ou uma caixa de diálogo também podem ser automatizadas com o uso do VBA. Além disso, se a operação pode ser realizada uma vez com o VBA, ela pode ser feita com a mesma facilidade centenas de vezes. Na verdade, a automatização de tarefas repetitivas é um dos usos mais comuns do VBA no Office. (MICROSOFT, 2021).

Posto isso, a possibilidade de conciliar a programação VBA com o AutoCAD torna suas rotinas uma grande ferramenta para a engenharia civil, tendo em vista que, segundo Peres et al. (2007), o AutoCAD detém mais de 70% do mercado mundial de softwares de CAD.

Figura 1 - Ambiente de Desenvolvimento da linguagem VBA.



Fonte: Autor (2024).

2.3.1 Subrotinas

Uma subrotina, ou Sub, trata-se um dos procedimentos utilizados pela linguagem VBA, juntamente com os procedimentos Function e Property. Tal procedimento é delimitado pelas palavras-chave Sub e End sub, onde todo o código da rotina criada deverá estar dentro desses delimitadores. Além disso, subrotinas podem usar argumentos, executar uma série de instruções, alterar valores de argumentos e chamar outras rotinas. No entanto, diferentemente das funções, esse procedimento não retorna valores (MICROSOFT, 2022; CHAMON, 2019)

Figura 2 - Exemplo de procedimento Sub com nome de “Exemplo_1”.

```
Public Sub Exemplo_1()  
    'código da rotina  
End Sub
```

Fonte: Autor (2024).

Procedimentos do tipo Sub podem ser acessados por procedimentos declarados em qualquer outro módulo, desde que estejam classificados como procedimento público (MICROSOFT, 2022). Para isso, deve-se adicionar o código Public antes do Sub, como indicado na Figura 2. Entretanto, por padrão, caso não seja prescrito nenhum tipo de restrição antes de Sub, a linguagem VBA entenderá a rotina como pública.

2.3.2 Variáveis

Uma variável de programação pode ser atribuída como uma abstração de uma célula de memória do computador ou uma coleção de células, que tem como característica alguns atributos, como: nome, tipo, endereço e valor (SEBESTA, 2012). Para Frenz (2002), as linguagens de programação usam o termo *data type* (tipo de dados) para classificar as informações com as quais seus aplicativos lidam, e que, cada variável declarada deve carregar dados que pertencem a algum desses tipos.

Na linguagem VBA, a declaração de variáveis necessita que o usuário declare no mínimo dois parâmetros, sendo o primeiro a instrução de que irá declarar a variável, e o segundo o nome dessa variável.

Para a declaração de variáveis, na maior parte dos casos, utiliza-se a instrução Dim, que serve justamente para declarar e alocar essas variáveis em um espaço de armazenamento da memória. Entretanto, também é possível declarar de variáveis utilizando as instruções Public e Private, onde a primeira irá declarar a variável de maneira pública, permitindo que qualquer procedimento e módulo do projeto acesse essa variável, e a segunda irá declarar uma variável que será acessada apenas pelos procedimentos de seu módulo (MICROSOFT, 2023).

Além da declaração da instrução e do nome da variável, há um terceiro parâmetro de extrema importância na criação de uma variável, sendo que esse será responsável por definir o tipo de dado que essa variável representa. Um tipo de dados representa as características de uma variável que determina que tipo de dados ela pode conter. Segundo Frenz (2002), existe uma grande variedade de tipos de dados numéricos e, além desses, dados também podem ser textos no formato string, bem como operadores booleanos. Na linguagem VBA, os tipos de variáveis mais comuns são: String, Boolean, Integer, Long, Single, Double, Integer, Date, Variant e Object. Vale ressaltar que, caso o usuário não declare o tipo de dados da variável, por padrão, a linguagem irá identificar a variável como do tipo Variant. A figura 3 apresenta exemplifica a declaração de uma variável do tipo String dentro de uma rotina exemplo.

Figura 3 - Exemplo de declaração de variável com nome de “Var Exemplo”.

```
Public Sub Exemplo_1()  
  
    Dim Var_Exemplo As String  
  
End Sub
```

Fonte: Autor (2024).

Os tipos de dados supracitados já vêm embutidos na biblioteca padrão do VBE. Entretanto, é possível importar bibliotecas externas de outros aplicativos e, junto a elas, novos tipos de dados e objetos. O AutoCAD é um exemplo disso, onde, desde sua 14ª versão, o software suporta e disponibiliza sua biblioteca de dados para a linguagem VBA (COTTINGHAM, 2006). Alguns exemplos comuns de tipos de dados disponíveis na biblioteca do AutoCAD são: AcadLine, AcadPolyline, AcadCircle, AcadArc, AcadText, etc.

2.3.3 Objetos, Propriedades e Métodos

Para a linguagem VBA objetos são blocos de construção fundamentais, onde grande parte das ações realizada por uma rotina envolve manipulação desses objetos. Exemplificando, todos os elementos do Microsoft Word, como documentos, tabelas, parágrafos, indicadores e campo, podem ser representados por um objeto (MICROSOFT, 2023).

No Excel, um objeto é algo que pode ser programado ou controlado. O Excel tem centenas de objetos. Tudo que você pode especificar as características (cor, nomes, valores, largura) e/ou com que pode realizar alguma ação (salvar, abrir, fechar) são objetos; por exemplo: planilha(s), célula(s), um gráfico(s), linha(s), coluna(s), comentário(s), pasta(s) de trabalho, etc. (COSTA, 2016).

Além disso, Costa (2016) menciona que para a linguagem VBA, cada objeto possui um conjunto de propriedades e métodos, onde um dos segredos da linguagem é a manipulação desses objetos através de suas propriedades e métodos.

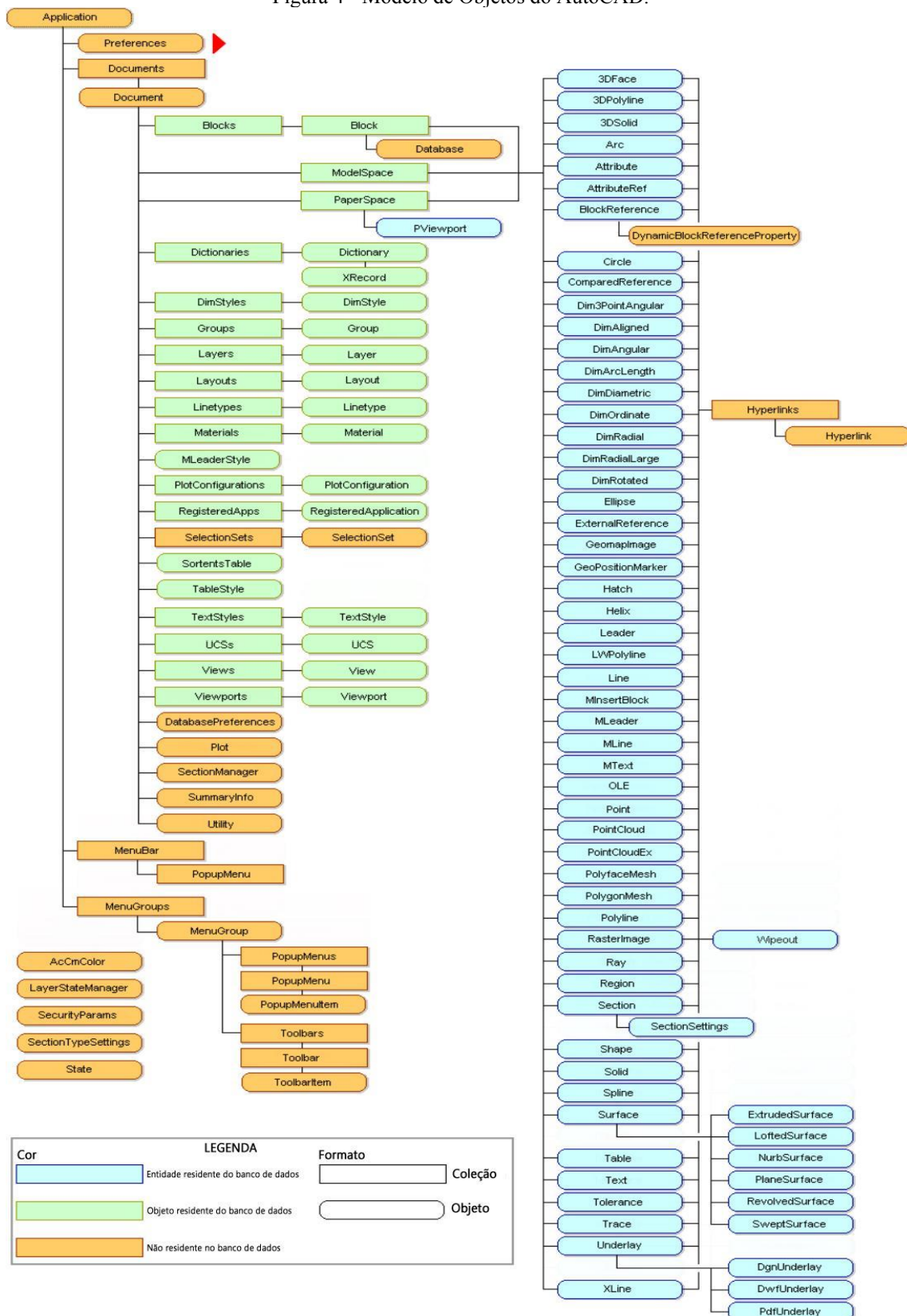
No contexto da programação, entende-se como propriedade um atributo ou característica de um objeto (ROMAN, 2002). Usando um documento do Word como um exemplo de objeto, suas propriedades incluem seu nome, seu conteúdo e seus status de salvamento, e se o controle de alterações está ativado. Para alterar as características desse objeto, deve-se alterar os valores de suas propriedades (MICROSOFT, 2023).

Falando sobre métodos, na programação, eles são ações que podem ser executadas no (ou em nome do) objeto. Usando o exemplo do documento Word supracitado, esse objeto possui o método Protect, que pode ser usado para ativar ou desativar a proteção contra alterações do arquivo (ROMAN, 2002; MICROSOFT, 2023).

Posto isso, na programação de rotinas para manipulação do AutoCAD utilizando linguagem VBA, os objetos representam partes precisas do AutoCAD (o próprio aplicativo, as vistas, camadas, grupos, textos, linhas, etc.), as propriedades representam as características desses objetos (coordenadas, cor, espessura da linha, etc.) e os métodos serão as ações que o

usuário irá realizar com esses objetos (mover, duplicar, offset, etc.) (AUTODESK, 2024). A Figura 4 ilustra os objetos do AutoCAD de maneira hierárquica.

Figura 4 - Modelo de Objetos do AutoCAD.



Fonte: Autor (2024), adaptado de AutoDesk.

2.4 Parametrização de Projetos

Nos últimos anos a computação gráfica vem se desenvolvendo de maneira a impactar diretamente a indústria e o mercado com suas novas capacidades e técnicas (MOREIRA, 1991). Tendo isso em vista, para Junior (2015), a parametrização é uma técnica que proporciona a definição de um modelo por meio de sua geometria e tamanho, finalmente criando um relacionamento entre as suas partes. Em outras palavras, a parametrização consiste em vincular um projeto a uma tabela de parâmetros, que contenha todas as suas variáveis, permitindo que o usuário modifique as características do projeto alterando apenas os parâmetros da tabela (PERES et al., 2007; ALMEIDA, 2015; ALBUQUERQUE, 2006). Além disso, essas variáveis mantêm uma relação topológica entre si, utilizando um processo matemático, baseado em algoritmos e equações (CAMPOS, 2017).

Posto isso, é entendível o porquê a parametrização de projetos ser um recurso amplamente utilizado por empresas a fim de reduzir seus custos com a elaboração de projetos. Segundo Peres et al. (2007), essa técnica pode reduzir o tempo de confecção de projetos da engenharia em aproximadamente 60%. Isso porque com a parametrização o usuário pode, uma vez que parametrizado, reaproveitar seus projetos alterando apenas algumas dimensões na tabela ou formulário de *input* de parâmetros, necessitando apenas fazer alguns ajustes, como legendas, indicações de cortes, indicações de solda e algumas mudanças na posição das cotas.

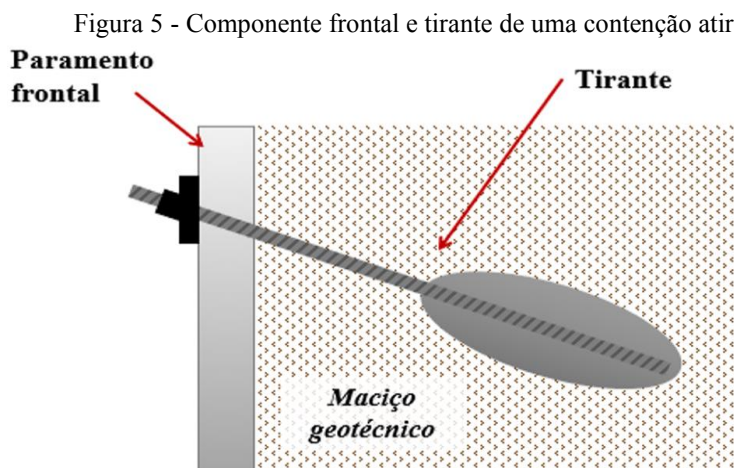
2.5 Cortina de Estacas Atirantada

As estruturas de contenção, desde a antiguidade, estão presentes em diversos ambientes construídos pelo homem. Isso porque, atividades de movimentação de terra, como escavações e aterros, são bastante comuns na engenharia civil, e, normalmente, essas atividades necessitam ser acompanhadas de algum método que proteja os entornos da obra, principalmente em casos de obras vizinhas existentes (BOWLES, 1996; BUDHU, 2013).

Dentre as estruturas de contenções, as contenções atirantadas possuem uma grande relevância na engenharia civil, sendo essas, estruturas do tipo flexível projetadas para ter grandes capacidades de resistência à flexão a fim de combater os esforços horizontais projetados pelo solo. Normalmente, esse tipo de contenção é empregado em situações de escavações acima de 3,5 m, e quando deseja-se realizar o mínimo de perturbação possível aos terrenos adjacentes (GERSCOVICH et al., 2016; OLIVEIRA, 2023).

Posto isso, Dias (2019) fala que estruturas de contenção atirantadas, em sua grande maioria, são compostas por duas regiões: paramento frontal e tirantes. Para o autor, o parâmetro frontal é a parte da estrutura responsável por suportar as cargas de tração das ancoragens e assegurar a estabilidade do maciço. Os tirantes, por sua vez, são responsáveis por transmitir as

cargas de tração à uma região estável do terreno. A Figura 5 ilustra esses dois componentes de uma contenção atirantada.



Fonte: Oliveira (2023), adaptado de Dias (2019).

2.5.1 Paramento frontal

O paramento frontal pode ser constituído de distintos materiais, como concreto armado maciço, cortinas de estacas (secantes, justapostas, espaçadas), grelhas de concreto ou de aço, perfis metálicos com pranchão, entre outros (GERSCOVICH et al., 2016; SILVA, 2016). Dentre esses, provavelmente o paramento frontal mais comum é o constituído por concreto armado, formando as conhecidas cortinas atirantadas. Entretanto, uma variação desse tipo de contenção é a cortina de estacas atirantadas, onde o paramento frontal é constituído, principalmente, por estacas espaçadas, tangentes ou secantes (MOREIRA, 2016). Esse tipo de contenção possui a vantagem de ser uma contenção completamente na vertical, sendo ideal para locais onde não há espaço o suficiente para realizar uma contenção inclinada, como as cortinas atirantadas de placas de concreto armado (ABRAMSON, 2001).

Figura 6 - Contenção de pilares descontínuos e ancorados.

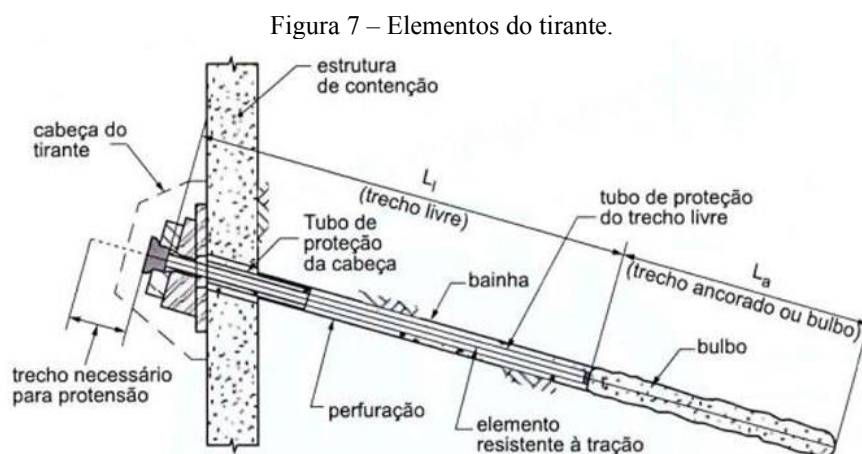


Fonte: Raddatz e Taiba (2017).

2.5.2 Tirantes

Os tirantes utilizados nas estruturas de contenções permitem que a estrutura se comporte de maneira ativa. Isso porquê, como explicado por Dias e Yassuda (2016), durante a fase de construção da contenção, os tirantes são tracionados fazendo com que, posteriormente, os mesmos trabalhem impondo cargas contra o maciço, contrapondo seus empuxos ativos e estabilizando-o.

Segundo a ABNT (2018), os tirantes, os sistemas de ancoragem ativa, estão regulamentados pela norma NBR 5629, a qual aborda o planejamento e a implementação desses componentes. De acordo com essa norma, um tirante constitui-se de “dispositivo capaz de transmitir esforços ativos de tração distribuídos a uma região estável do terreno, sendo constituído de cabeça, trecho livre e trecho ancorado ou bulbo”. A Figura 7 ilustra um tirante para contenções atirantadas e seus elementos.



Fonte: ABNT (2018).

Assim como apresentado na Figura 7, um tirante pode ser dividido em três elementos principais, sendo eles: cabeça, trecho livre e trecho ancorado.

A cabeça refere-se ao componente que conecta a armadura do tirante (parte metálica) com o paramento frontal. Durante o processo executivo, a cabeça é responsável por receber e transferir as cargas da protensão para a parte inserida no terreno e, após seu travamento, a cabeça transfere as cargas atuantes no bulbo para o paramento (GERSCOVICH et al. 2016; SILVA, 2016). Já o trecho livre, corresponde à distância entre a cabeça do tirante e o início de seu trecho ancorado. Esse componente é responsável por transmitir as cargas de tração entre as duas extremidades do elemento de ancoragem, sendo que, para isso, esse trecho deve encontrar-se livre de obstáculos e travamentos que impeçam o mesmo de realizar suas deformações elásticas. Em outras palavras, nesta porção não deve ocorrer transferência entre o maciço e o tirante, e para isso, esse trecho deve estar completamente isolado com um tubo de proteção (SILVA, 2016). O trecho ancorado, também conhecido como bulbo, por sua vez, trata-se do comprimento do tirante envolto por um aglutinante, normalmente argamassa ou nata de cimento Portland, cuja sua função é transferir as cargas de tração aplicadas ao tirante, durante sua protensão, à região estável do maciço (ABNT, 2018).

Além dos três elementos principais dos tirantes supracitados, Oliveira (2023) também destaca a existência diversos acessórios associados a este elemento, como: conjunto de placa,

porca e cunha de grau na cabeça do tirante; tubos de proteção para o trecho livre; espaçadores; tubos de injeção; válvulas manchetes; etc.

Conforme Matos (1990), o ideal seria que os tirantes fossem implantados na horizontal. No entanto, para o autor, a instalação de tirantes com inclinações inferiores a 10°, com relação à horizontal, torna-se bastante desafiadora devido aos problemas que essa configuração pode trazer para as etapas de perfuração e, principalmente, na introdução da calda de cimento. Além desses problemas, na escolha da inclinação dos tirantes, deve-se considerar a presença de obras próximas e a profundidade da camada de solo estável. Posto isso, o autor menciona que normalmente essas inclinações chegam próximo aos 30° com relação à horizontal.

Sobre os tipos de tirantes, More (2003) os divide em:

a) tirantes monobarras: barra única como elemento principal do tirante, frequentemente empregado no final da década de 1960 e início dos anos 1970, com barras de aço CA-50A (tensão de escoamento 500 MPa, carga de trabalho de 100 a 200 kN) ou CA-60A (tensão de escoamento 600 MPa, cargas de 120 a 240 kN) e diâmetros entre $\frac{3}{4}$ " e 1. $\frac{1}{4}$ ". Com o passar do tempo consolidou-se a tendência de se utilizar tirantes de maior capacidade de carga, necessitando-se, portanto, de aços mais resistentes que os aços comuns da construção civil. Surgiram então no mercado barras de aço especial (tensão de escoamento de 850 MPa, diâmetros entre 19 e 32mm), com mossas protuberantes que funcionam como roscas, permitindo a execução de emendas com luvas especiais bem como a fixação da cabeça através de porcas;

b) tirantes de barras múltiplas: a ancoragem é composta por mais de uma barra de aço. Pouco utilizada no Brasil, sua concepção é a mesma dos tirantes de fios ou cordoalhas, exceto pelo bloco de ancoragem que requer um sistema de roscas e porcas para a fixação da cabeça e execução da protensão;

c) tirantes de fios: [...] apresenta uma área mínima de 50 mm² ou 8 mm de diâmetro. Comercialmente se encontram fios com diâmetro de 8mm e 9mm, fabricados em aço 150RN, 150RB, 160RN e 160RB (RN = relaxação normal; RB = relaxação baixa). A carga de trabalho do tirante é proporcional à quantidade de fios do tirante, sendo o número destes limitado pelo diâmetro da perfuração. Na prática, a grande maioria dos furos é executado com diâmetros próximos de 115mm [...] o que limita o número de fios em 12 e assegura cargas de trabalho de até 419 kN por tirante. Normalmente os fios são pintados com duas demãos de tinta anticorrosiva, com bloco de ancoragem por clavetes e cunhas com proteção contra corrosão. Apesar destes cuidados, este tipo de tirante está deixando de ser utilizado em virtude de problemas causados pela corrosão;

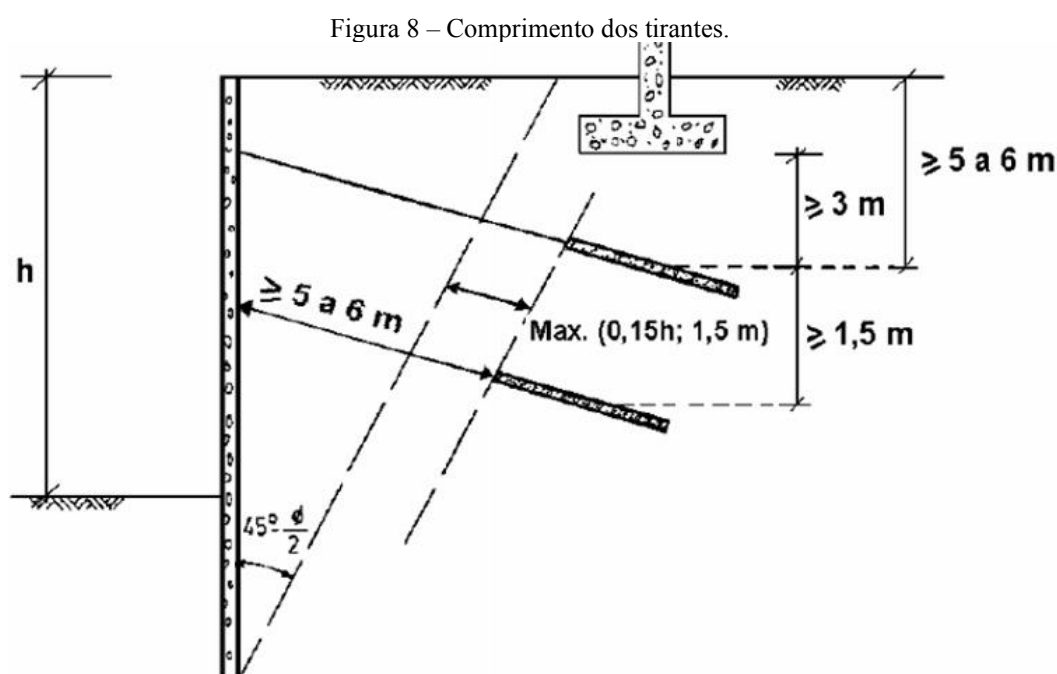
d) tirantes de cordoalhas: o elemento resistente à tração é constituído por cordoalhas de aço, semelhantes às usadas em obras civis de concreto protendido. Existem vários tipos de cordoalhas [...] que podem ser comercialmente adquiridas em aço 175RN, 175RB, 190RN e 190RB. No Brasil, as cordoalhas empregadas têm geralmente diâmetro de 12,7mm, sendo fabricadas em aço 190RB. Usualmente as cordoalhas são pintadas em todo seu comprimento com duas demãos de tinta anticorrosiva;

e) tirantes de materiais sintéticos: fabricados com novos materiais resistentes à corrosão e apresentando elevada resistência à tração, com fibras de carbono ou fibras de poliéster. No Brasil ainda não são aplicados em larga escala como elementos de ancoragem.

Sobre a locação e comprimento dos tirantes nas contenções, segundo Chuva (2011), são levados em consideração os seguintes aspectos:

- a) Os bulbos de ancoragens devem estar situados fora da cunha do empuxo ativo do solo suportado pela cortina ancorada;
- b) as profundidades dos bulbos devem ser de 5m a 6m abaixo da superfície do terreno, ou de 3m abaixo das fundações de edifícios. Esta recomendação é baseada nos efeitos na superfície do terreno ou nos elementos de fundação das elevadas pressões de injeção para a formação dos bulbos de ancoragem;
- c) o espaçamento mínimo entre os bulbos de ancoragem deve ser da ordem de 1,5 m de modo a minimizar a interferência entre ancoragens, ocasionando eventuais reduções da capacidade de carga do grupo de ancoragens [...];
- d) o comprimento livre não deve ser inferior a 5m – 6m, de modo que as tensões transmitidas ao solo através do bulbo de ancoragem não ocasionem significativos aumentos da pressão de contato sobre a cortina;
- e) comprimentos de bulbo inferiores a 3m não são aconselháveis. O valor final depende da capacidade de carga desejável na ancoragem.

A Figura 8 demonstra alguns dos parâmetros levados em conta no dimensionamento de tirantes para contenções.



Fonte: Ostermayer (1976).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Criar uma pasta eletrônica no Excel, programada com linguagem VBA, para parametrização de projetos de cortinas de estacas atirantadas no AutoCAD, com intuito de demonstrar e estimular o uso da programação para auxiliar o profissional da engenharia civil em atividades cotidianas da área.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilidade da programação para a engenharia civil, principalmente para casos voltados a parametrização de projetos;
- Criar um código para um projeto, em linguagem VBA, para parametrização de projetos de cortinas de estacas atirantadas no AutoCAD;
- Apresentar os resultados da pasta de trabalho criada.

4 METODOLOGIA

4.1 Tecnologias

O presente trabalho visa a criação de uma pasta de trabalho programada para parametrização de um projeto de contenção, mais especificamente, uma cortina com estacas atirantada. Para isso, como tecnologia, foram utilizados apenas dois softwares bastante comuns no dia-a-dia do engenheiro civil, sendo esses, o Excel versão LTSC 2021 da empresa Microsoft e o AutoCAD versão 2021 da empresa Autodesk. O código foi inteiramente escrito em linguagem VBA, onde a IDE utilizada para tal foi a própria IDE que vem embutida ao Excel, sendo necessário apenas a instalação da biblioteca de referências do AutoCAD, disponibilizada gratuitamente pelo site da Autodesk.

4.2 Interface de Usuário e Parâmetros de Entrada

O design da interface de usuário, também conhecida como *user interface* (UI), é uma etapa essencial para maximizar a usabilidade e experiência do usuário (COOPER, 2014). Posto isso, uma das grandes vantagens da programação em linguagem VBA é dar a possibilidade ao programador de utilizar a própria pasta de trabalho do Excel como UI.

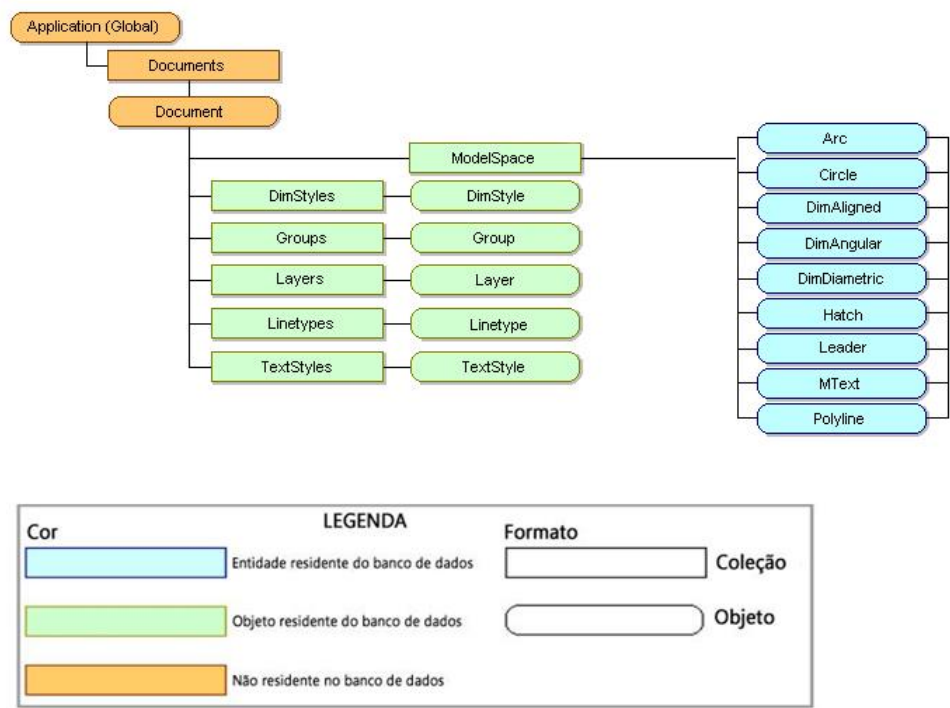
Pensando nisso, para este trabalho, a própria interface da pasta de trabalho programada para a parametrização do projeto foi utilizada como UI. Além disso, a fim de facilitar o entendimento do usuário, a pasta de trabalho foi dividida em três planilhas com layouts amigáveis ao usuário, onde essas funcionam como abas indicando a qual parte do projeto seus parâmetros serão atribuídos. Essas partes do projeto são: vista perfil; armadura e; detalhamento do tirante.

Para a inserção e modificação dos parâmetros de entrada, o usuário poderá adicionar e alterar os valores de seu projeto apenas interagindo com as células indicadas para inserção de parâmetros, com algumas caixas de seleção (checkbox) e alguns outros elementos comuns do Excel.

4.3 Objetos do AutoCAD Manipulados

Assim como já explicado capítulo 2 deste trabalho, no AutoCAD os objetos representam suas partes precisas, sendo que, esses objetos podem ser classificados de maneira hierárquica, como ilustrado na Figura 4. Para este trabalho, em uma ordem hierárquica, todos os objetos manipulados estão abaixo do objeto Document. A Figura 9 representa, de maneira hierárquica, todos os objetos necessários para esta parametrização.

Figura 9 – Objetos manipulados em ordem hierárquica.



Fonte: Autor (2024), adaptado de AutoDesk.

4.4 Objetos Criados

O objeto ModelSpace refere-se ao espaço de modelagem do AutoCAD, onde todos os objetos referentes ao desenho (linhas, círculos, textos, etc.) serão posicionados geometricamente. Objeto ModelSpace aceita a manipulação de diversas classes de objetos, bem como criação deles através de seus métodos construtores. Métodos construtores são métodos que tem como função criar um objeto ou, nesse caso, desenhos dentro do objeto ModelSpace.

Posto isso, para este trabalho, todas as classes de objetos utilizadas, bem como seus métodos construtores, estão apresentadas na Tabela 1.

Quadro 1 – Classes de objetos e seus métodos construtores criados no ModelSpace.

Nome da Classe	Tipo de Objeto	Método Construtor
AcadPolyline	Polilinha	AddPolyline
AcadCircle	Círculo	AddCircle
AcadArc	Arco	AddArc
AcadMText	Texto com múltiplas linhas	AddMText
AcadHatch	Hachura	AddHatch
AcadLeader	Linha de chamada	AddLeader
AcadDimAligned	Cota Alinhada	AddDimAligned
AcadDimDiametric	Cota de diâmetro	AddDimDiametric
AcadDimAngular	Cota angular	AddDimAngular

Fonte: Autor (2024).

4.5 Divisão do Código

Com intuito de organizar o código, facilitando futuras implementações e correções, o código foi dividido em 11 módulos e 61 subrotinas.

4.5.1 Módulo a__VAR_INPUT

Esse módulo ficou responsável por criar as principais variáveis do projeto, bem como associando-as aos parâmetros do projeto declarados pelo usuário. Neste módulo, todas as variáveis foram criadas fora das rotinas e com a instrução Public, tornando possível qualquer módulo ou rotina do projeto acessar seus valores.

Nesse módulo duas rotinas foram criadas, sendo elas apresentadas no Quadro 2, junto suas às funções no projeto.

Quadro 2 – Rotinas do Módulo a__VAR_INPUT.

Rotina	Ação
a_SET_VAR_INICIAIS	Relaciona os valores das células preenchidas pelo usuário com as variáveis criadas neste mesmo modulo.
a_SET_P0_VISTA_PERFIL	Obtém as coordenadas referentes ao ponto de início do desenho da Vista perfil.

Fonte: Autor (2024).

4.5.2 Módulo b__TEXTOS_E_TITULOS

Esse módulo ficou responsável por criar os três estilos de textos que podem ser usados no projeto. Para isso, nesse módulo apenas uma rotina foi criada, sendo ela apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Rotinas do Módulo b__TEXTOS E TITULOS.

Rotina	Ação
b_TEX_DIM_STYLES	Cria três estilos de textos, onde o primeiro se difere dos outros dois por estar em negrito (bold), sendo apropriado para o título dos cortes. Os outros dois podem ser usados nas demais partes do projeto, como em escalas, legendas e cotas.

Fonte: Autor (2024).

4.5.3 Módulo c__VISTA_PERFIL_OBJS

Esse módulo ficou responsável por criar os principais objetos do desenho da Vista perfil do projeto. Para isso, o desenho da Vista perfil foi dividida em quatro etapas: solo, estaca e viga, tirantes e, títulos. Pensando nisso, esse módulo possui 4 rotinas, sendo elas apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Rotinas do Módulo c VISTA PERFIL OBJs.

Rotina	Ação
c_OBJ_SOLO	Desenha, junto com suas hachuras, o solo escavado e o talude contido.
c_OBJ_ESTACA_E_VIGA_COROAMENTO	Desenha a estaca e a viga de coroamento.
c_OBJ_TIRANTE	Desenha os tirantes, aplicando os parâmetros fornecidos pelo usuário na rotina classe dos tirantes (módulo “h”). Além disso, adiciona as cotas do tirante.
c_OBJ_ARMADURA_COMPLETA_VP	Desenha a armadura da estaca e da viga de coroamento junto com o desenho da Vista perfil.
c_TITULO_VISTA	Adiciona o título e a escala da Vista perfil.

Fonte: Autor (2024).

4.5.4 Módulo d__LAYERS_CORES_E_PESOS

Esse módulo ficou responsável por criar as camadas, variáveis de cores e variáveis de pesos para o projeto. Sendo assim, o módulo ficou dividido em 3 rotinas, sendo estas representadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Rotinas do Módulo d LAYERS CORES E PESOS.

Rotina	Ação
d_CRIAR_LAYERS	Cria todas as camadas (layers) do projeto e as caracterizam, atribuindo suas cores e espessuras de linha.
d_VAR_CORES	Cria todas as variáveis de cores possíveis para o projeto.
d_VAR_WEIGHT	Cria todas as variáveis de peso de linha (espessura) possíveis para o projeto.

Fonte: Autor (2024).

4.5.5 Módulo e__COTAS

Esse módulo ficou responsável por criar os estilos de cotas, além de aplicar as cotas em toda a Vista perfil do projeto. Para isso, esse módulo ficou dividido em 5 rotinas, sendo uma para a criação dos estilos, e as outras quatro responsáveis por cotar o desenho, como apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Rotinas do Módulo e COTAS.

Rotina	Ação
e_DIM_STYLES	Cria todos os estilos de cotas do projeto, atribuindo suas características.
e_COTAS_VIGA_ESTACA	Aplica todas as cotas referentes à viga e à estaca no desenho da Vista perfil.
e_COTAS_TIRANTES	Aplica todas as cotas referentes aos tirantes no desenho da vista perfil.
e_COTAS_CN_VIGA	Aplica a cota de nível referente ao topo da viga (ponto mais alto da contenção) no desenho da vista perfil.
e_COTAS_CN_TIRANTES	Aplica-se as cotas de níveis referentes a cada tirante no desenho da vista perfil.

Fonte: Autor (2024).

4.5.6 Módulo f__GRUPOS

Esse módulo ficou responsável por criar novos grupos. Para isso, nesse módulo apenas uma rotina foi criada, sendo ela apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Rotinas do Módulo f__GRUPOS.

Rotina	Ação
f_NOVO_GRUPO	Cria um novo grupo sempre que é chamada por outra rotina.

Fonte: Autor (2024).

4.5.7 Módulo g__CLASSE_TIRANTES_VP

Esse módulo ficou responsável por arquitetar uma classe (modelo) para o desenho dos tirantes, sendo necessário alimentar suas rotinas com parâmetros referentes a dimensões e ângulos dos tirantes. Esse módulo foi dividido em 3 rotinas, estando elas apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Rotinas do Módulo g__CLASSE_TIRANTES_VP.

Rotina	Ação
g_CLASSE_TIRANTE_CABECA	Sempre que alimentada e chamada, essa rotina desenha a cabeça do tirante.
g_CLASSE_TIRANTE_CORPO	Sempre que alimentada e chamada, essa rotina desenha o corpo do tirante.
g_CLASSE_TIRANTE_BAINHAS_BULBOS	Sempre que alimentada e chamada, essa rotina desenha a bainha e o bulbo de tensão do tirante.

Fonte: Autor (2024).

4.5.8 Módulo h__DET_ARMADURA_COMP

Esse módulo ficou responsável por desenhar o detalhamento da armadura completa. Para isso, o módulo foi dividido em 5 rotinas. Essas rotinas estão apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Rotinas do Módulo h__DET_ARMADURA_COMP.

Rotina	Ação
h_SET_P0_ARMADURA_COMPLETA	Obtém as coordenadas referentes ao ponto de início do desenho do detalhamento da armadura completa.
h_OBJ_DET_ARMADURA_COMPLETA_ESTACA	Desenha a armadura da estaca para o detalhamento da armadura completa.
h_OBJ_DET_ARMADURA_COMPLETA_VIGA	Desenha a armadura da viga de coroamento para o detalhamento da armadura completa.
h_DET_ACO_COMPLETO_TITULOS	Adiciona o título e a escala ao detalhamento da armadura completa.
h_DET_ACO_COMPLETO_COTAS	Adiciona as cotas do detalhamento da armadura completa.

Fonte: Autor (2024).

4.5.9 Módulo i__DET_ARMADURA_SEP

Esse módulo ficou responsável por desenhar o detalhamento das armaduras separadas (armadura da viga e armadura da estaca), aplicando um fator escala, bem como uma legenda resumo ao lado. Para isso, esse módulo criou novas variáveis e foi dividido em 16 rotinas, apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Rotinas do Módulo i__DET_ARMADURA_SEP.

Rotina	Ação
i_SET_VAR_INICIAIS_DET_ACO	Relaciona os parâmetros informados pelo usuário com novas variáveis criadas neste módulo, além de aplicar um Fator Escala nesses parâmetros.
i_SET_P0_DET_ACO	Obtém as coordenadas referentes ao ponto de início do desenho de detalhamento da armadura requerida.
i_DET_ACO_VIGA	Desenha superfície da viga para o detalhamento da armadura da viga.
i_DET_ACO_VIGA ESTRIBO	Desenha o estribo no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_VIGA LONGITUDINAL	Desenha os aços longitudinais no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_VIGA COTAS	Adiciona as cotas no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_LEADERS_VIGA	Adiciona as linhas de chamada no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_TITULO_VIGA	Adiciona o título e a escala no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_DETALHAMENTO_VIGA	Adiciona a legenda resumo no detalhamento do aço da viga.
i_DET_ACO_ESTACA	Desenha superfície da estaca para o detalhamento da armadura da estaca.
i_DET_ACO_ESTACA ESTRIBO	Desenha o estribo no detalhamento do aço da estaca.
i_DET_ACO_ESTACA LONGITUDINAL	Desenha os aços longitudinais no detalhamento do aço da estaca.
i_DET_ACO_ESTACA COTAS	Adiciona as cotas no detalhamento do aço da estaca.
i_DET_ACO_LEADERS_ESTACA	Adiciona as linhas de chamada no detalhamento do aço da estaca.
i_DET_ACO_TITULO_ESTACA	Adiciona o título e a escala no detalhamento do aço da estaca.
i_DET_ACO_DETALHAMENTO_ESTACA	Adiciona a legenda resumo no detalhamento do aço da estaca.

Fonte: Autor (2024).

4.5.10 Módulo j__DET_TIRANTE

Esse módulo ficou responsável por desenhar o detalhamento dos tirantes. Para isso, o usuário precisa definir apenas o tipo de tirante utilizado no projeto e o tamanho do quadro de desenho. Para isso, esse módulo é dividido em 14 rotinas, apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 – Rotinas do Módulo j DET TIRANTE.

Rotina	Ação
j_SET_VAR_INICIAIS_DET_T	Cria variáveis das dimensões do detalhamento, aplicando um fator escala, de acordo com o tamanho do quadro que o usuário escolheu.
j_SET_P0_DET_T	Obtém as coordenadas referentes ao ponto de início do desenho de detalhamento do tirante.
j_CRIAR_LAYER_DET_T	Cria novas camadas para o detalhamento do tirante.
j_OBJ_ESTACA_DET_T	Desenha a parte referente à estaca no detalhamento do tirante.
j_OBJ_CABECA_DET_T	Desenha a parte referente à cabeça do tirante no detalhamento do tirante.
j_OBJ_TIRANTE_DET_T	Desenha a parte referente ao tirante no detalhamento do tirante.
j_OBJ_TUBOS_INJ_E_VALV_MANCH_DET_T	Desenha as partes referentes ao tubo de injeção e às válvulas manche no detalhamento do tirante.
j_OBJ_BAINHA_DET_T	Desenha a parte referente à bainha no detalhamento do tirante.
j_OBJ_BULBO_DET_T	Desenha a parte referente ao bulbo de tensão no detalhamento do tirante.
j_OBJ_SETA_CORTE_DET_T	Desenha a linha e seta de cortes no detalhamento do tirante.
j_OBJ_CORTE_A	Desenha a vista do corte A no detalhamento do tirante.
j_OBJ_CORTE_B	Desenha a vista do corte B no detalhamento do tirante.
j_OBJ_LEADER_DET_T	Desenha as linhas de chamadas no detalhamento do tirante.
j_OBJ_TITULO_DET_T	Desenha o título e a escala no detalhamento do tirante.

Fonte: Autor (2024).

4.5.11 Módulo k_CMDs

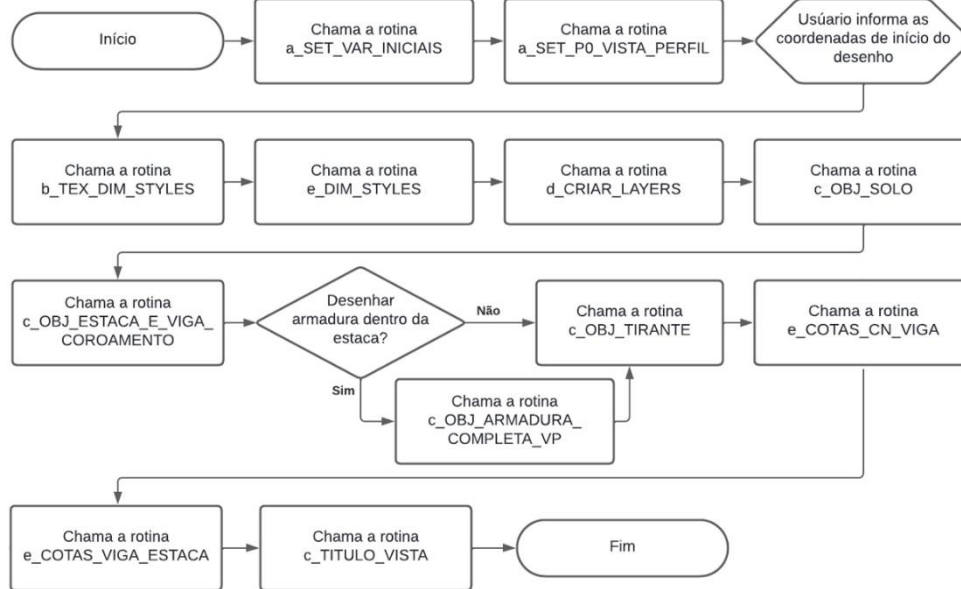
O as rotinas do módulo k_CMDs funcionam como comandos que chamam outras rotinas referentes a determinadas partes do desenho, isto é, sempre que o usuário quiser desenhar uma das partes do projeto, ele irá executar uma dessas “rotinas de chamada”, onde, essa mesma rotina irá chamar todas as outras rotinas referentes a essa parte do projeto. As 5 rotinas que compõem esse módulo estão apresentadas no Quadro 12. Além disso, das figuras 10 a 14 são apresentados os fluxogramas de cada uma dessas rotinas.

Quadro 12 – Rotinas do Módulo k CMDs.

Rotina	Ação
k_CMD_DESENHAR_VISTA_PERFIL	Comando que chama todas as rotinas referentes a vista perfil do projeto.
k_CMD_DESENHAR_DET_ARMADURA_COMPLETA	Comando que chama todas as rotinas referentes ao Detalhamento da Armadura Completa do projeto.
k_CMD_DESENHAR_DET_VIGA	Comando que chama todas as rotinas referentes ao Detalhamento da Armadura da Viga do projeto.
k_CMD_DESENHAR_DET_ESTACA	Comando que chama todas as rotinas referentes ao Detalhamento da Armadura da Estaca do projeto.
k_CMD_DESENHAR_DET_TIRANTE	Comando que chama todas as rotinas referentes ao Detalhamento do Tirante do projeto.

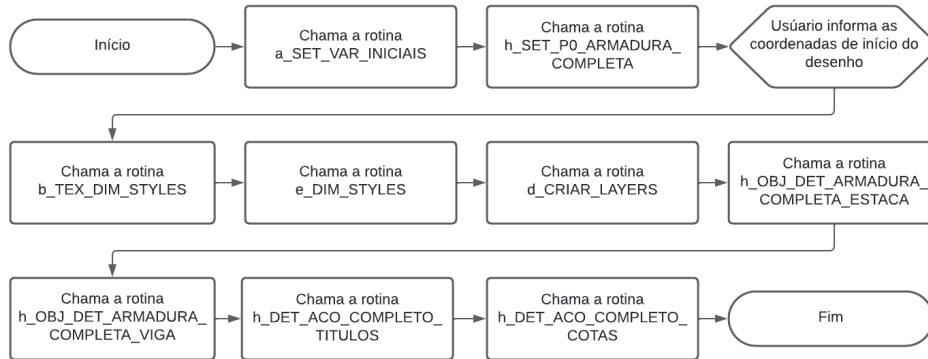
Fonte: Autor (2024).

Figura 10 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_VISTA_PERFIL.



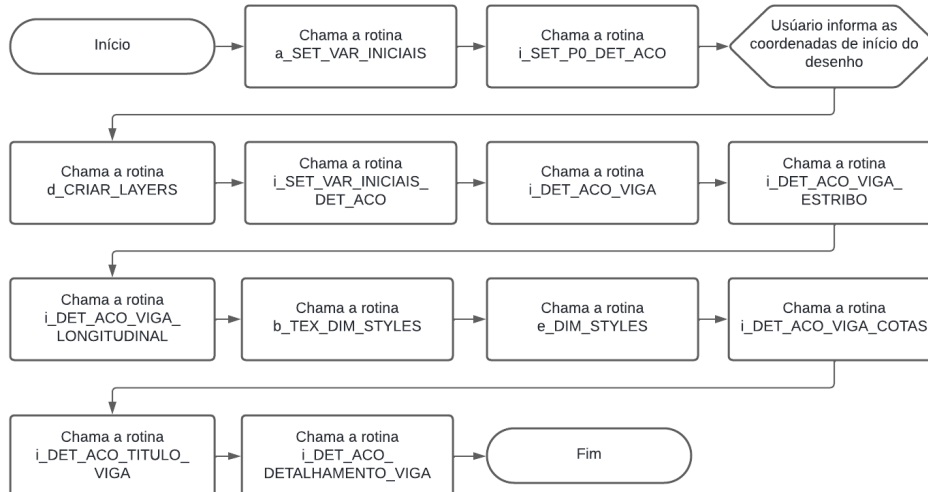
Fonte: Autor (2024).

Figura 11 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_ARMADURA_COMPLETA.



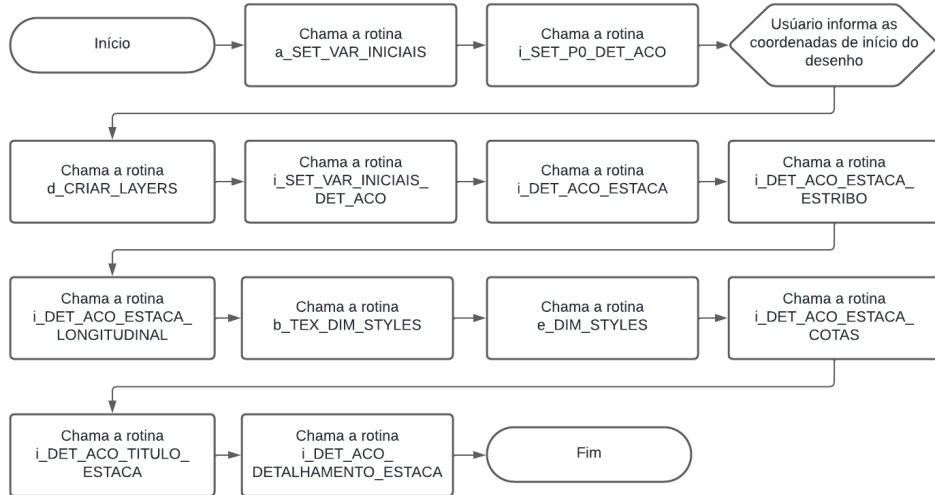
Fonte: Autor (2024).

Figura 12 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_VIGA.



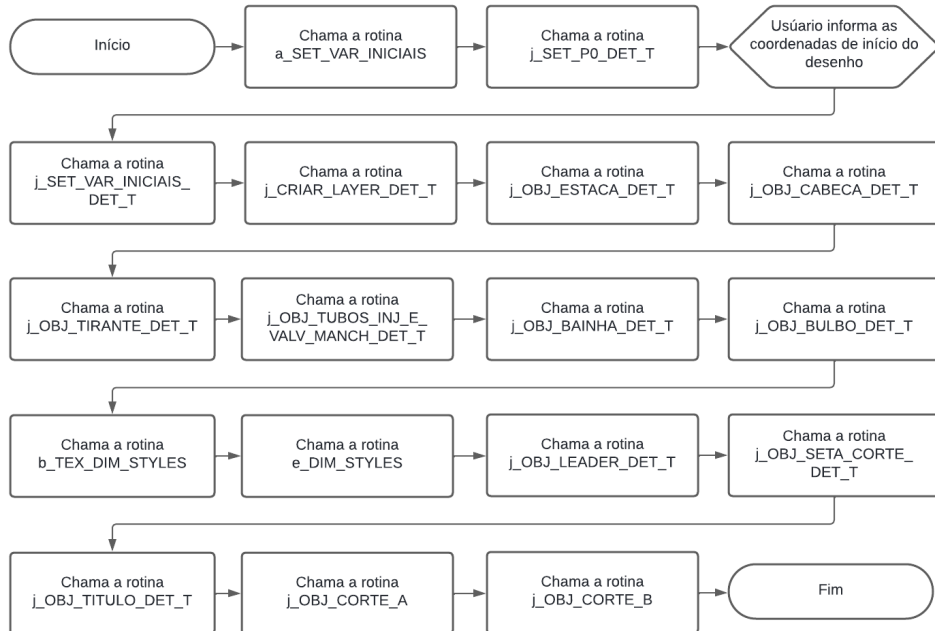
Fonte: Autor (2024).

Figura 13 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_ESTACA.



Fonte: Autor (2024).

Figura 14 – Fluxograma da rotina de chamada k_CMD_DESENHAR_DET_TIRANTE.



Fonte: Autor (2024).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando apenas programação VBA junta aos softwares Excel, da Microsoft, e AutoCAD, da AutoDesk, foi possível criar uma pasta de trabalho programada para parametrização de três partes de um projeto de contenção em cortina de estacas atirantada.

Em uma estimativa aproximada, de sua idealização até a etapa atual da parametrização, o tempo de confecção desta pasta de trabalho, tanto dos layouts das UIs como do código de programação, foi de aproximadamente 6 meses, levando em conta uma média de 2 horas diárias de trabalho dedicado a pasta. As figuras 15, 16 e 17 demonstram as interfaces de usuário finais de cada uma das planilhas do projeto.

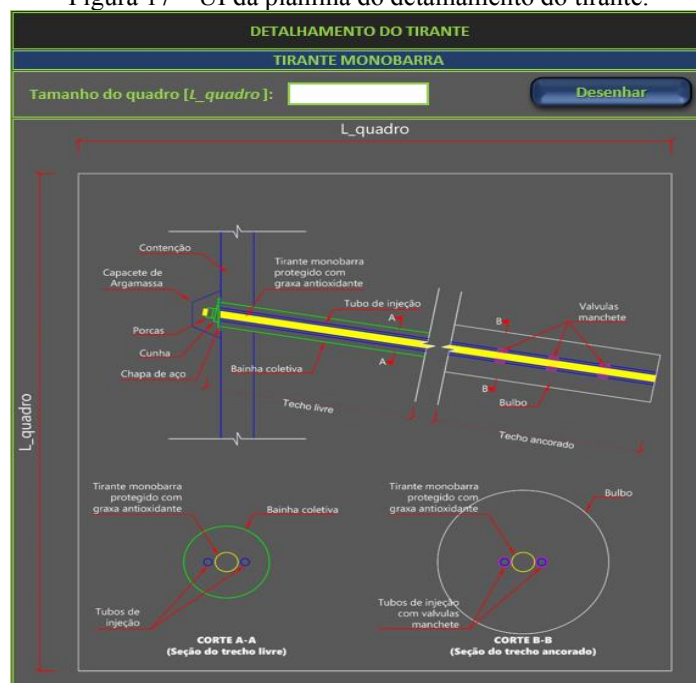
Figura 15 – UI da planilha da vista perfil.

Fonte: Autor (2024).

Figura 16 – UI da planilha da armadura.

Fonte: Autor (2024).

Figura 17 – UI da planilha do detalhamento do tirante.



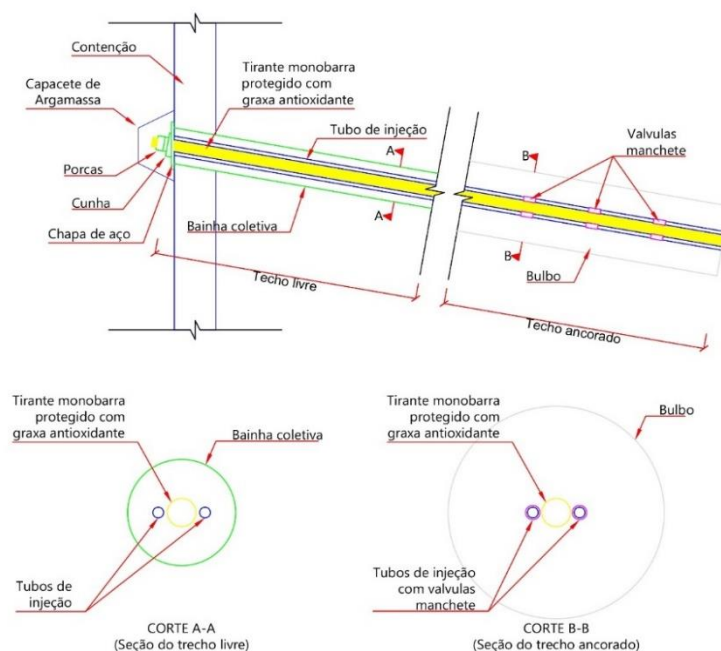
Fonte: Autor (2024).

Depois do trabalho de confecção da pasta de trabalho, o usuário necessita apenas adicionar ou alterar os parâmetros de entrada do projeto e enviar os comandos de desenho para o AutoCAD, processo que pode ser realizado em menos de 5 minutos. As figuras 18, 19 e 20 exemplificam os resultados das três partes do projeto de contenção, sendo que, para efeitos de demonstrações, foram adotados parâmetros a gosto do autor.

Figura 18 – Detalhamento do tirante monobarra desenhado a partir da pasta de trabalho parametrizada.

Detalhamento - Tirante monobarra

Esc.: Sem Escala

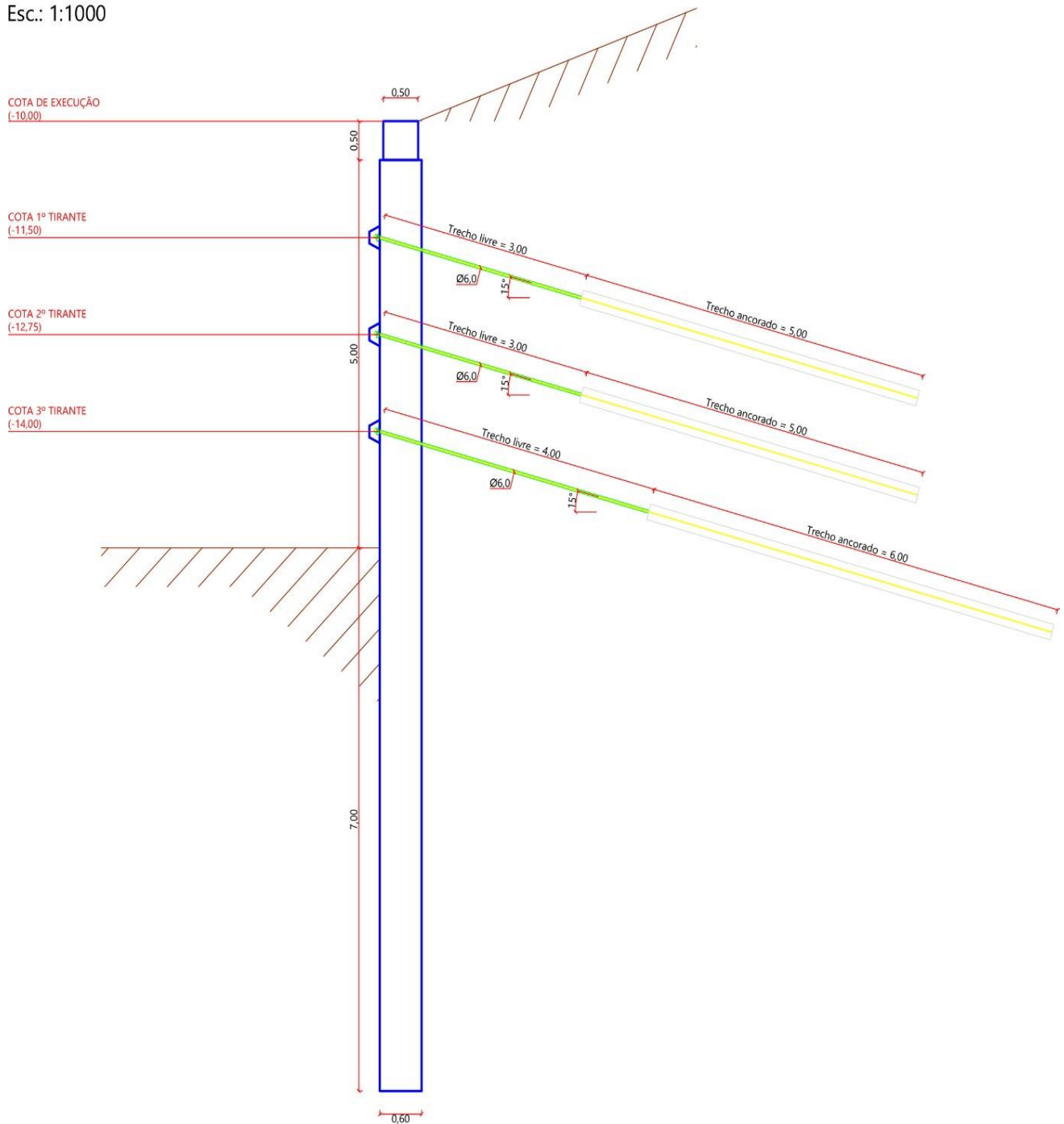


Fonte: Autor (2024).

Figura 19 – Vista perfil desenhada a partir da pasta de trabalho parametrizada.

Vista Perfil

Esc.: 1:1000

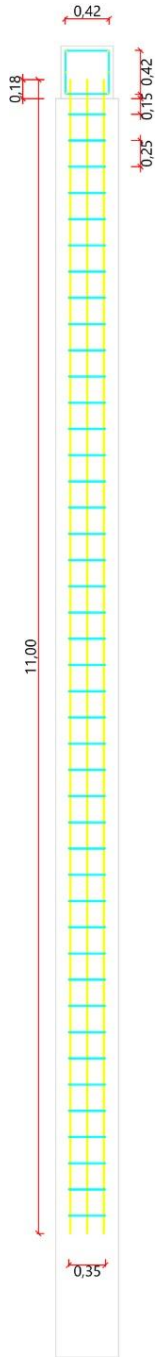


Fonte: Autor (2024).

Figura 20 – Detalhamento da armadura desenhado a partir da pasta de trabalho parametrizada.

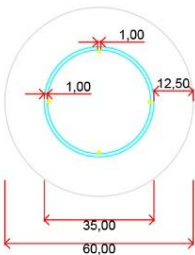
Armadura Viga + Estaca

Esc.: 1:1000



Detalhamento 1: Armadura Estaca

Esc.: Sem Escala

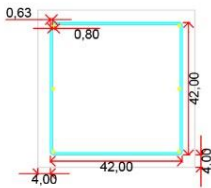


Detalhamento:
Diâmetro estribo (Dj): 35,00 cm
Bitola do estribo: 10,00 mm
Bitola do aço long.: 10,00 mm
Recobrimento: 12,50 cm

Resumo:
9 N3 Ø10,00 C = 500
43 N4 Ø10,00 c/25 C = 110

Detalhamento 2: Armadura Viga

Esc.: Sem Escala



Detalhamento:
Largura do estribo: 42,00 cm
Altura do estribo: 42,00 cm
Bitola do estribo: 6,30 mm
Bitola do aço long.: 8,00 mm
Recobrimento X: 4,00 cm
Recobrimento Y: 4,00 cm

Resumo (p/ 1m de viga):
6 N1 Ø8,00 C = 100
4 N2 Ø6,30 c/25 C = 168

Fonte: Autor (2024).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as competências em programação ganhando cada vez mais notoriedade em uma vasta variedade de setores do mundo profissional, engenheiros que conseguem manipular códigos de programação para criar suas próprias rotinas podem ganhar cada vez mais destaque no mercado de trabalho. Nessa mesma linha de raciocínio, habilidades em parametrização de projetos também ganham um grande destaque no mercado de trabalho atual, principalmente para empresas que trabalham com a confecção de projetos. Isso porquê, uma parametrização de projeto busca, como objetivos principais, a redução do tempo de confecção, bem como a redução em seus custos na realização de múltiplos projetos que se diferem apenas por alguns parâmetros.

Posto isso, o presente trabalho consistiu na criação de uma pasta de trabalho programada via VBA para parametrização de projetos de cortina de estacas atirantada. A partir desse trabalho, foi possível compreendermos melhor o poder da manipulação de linguagens de programação, bem como da parametrização de projetos alinhado a engenheiros civis, tendo em vista que, apesar desta pasta ter levado em torno de 6 meses de trabalho para ser confeccionada até o estado atual, agora é possível desenhar no AutoCAD projetos de contenção do tipo em menos de 5 minutos, alterando apenas alguns parâmetros necessários nas planilhas.

A princípio o presente trabalho tinha como objetivo na parametrização de mais partes do projeto, como a planta baixa, vista frontal e quantitativo de aço. Entretanto, por questões de prazos, essas outras partes ficaram para serem implementadas em versões futuras da pasta de trabalho.

Outro ponto que deve ser destacado sobre o presente trabalho, é que a pasta de trabalho apresentada tem como único e exclusivo objetivo o desenho de projetos de contenção de cortinas com estacas atirantada, não tendo nenhuma função de dimensionamento de resistências ou esforços. Entretanto, é de interesse do autor deste trabalho, futuramente, implementar o dimensionamento dos tirantes e até mesmo o dimensionamento das estacas por elementos finitos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. 2018. NBR 5629: Tirantes ancorados no terreno – Projeto e execução. Rio de Janeiro.
- ABRAMSON, Lee W. et al. Slope stability and stabilization methods. John Wiley & Sons, 2001.
- AGUILAR-MOLINA, Mauricio Leonardo et al. O ensino/aprendizado do BIM no curso de Engenharia Civil da UFJF. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 2015.
- ALBUQUERQUE, Rodrigo Barbosa da Fonseca et al. Projeto de turbinas hidráulicas axiais com parametrização da geometria, equação de equilíbrio radial e técnicas de otimização. 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica.
- ALMEIDA, Rian Felipe Soares de. Desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica em linguagem APDL para o cálculo da estrutura de um pórtico rolante. 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica.
- AUTODESK. About the AutoCAD Object Model (VBA/ActiveX). Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/OARX/2023/ENU/?guid=GUID-68D6EFA7-ED2D-482C-BBA6-EB22F2854348>>. Acesso em: 7 mar. 2024.
- BEZERRA, Y.; DA COSTA, D.; COELHO, L. Estudo comparativo entre a tecnologia CAD e a tecnologia BIM aplicadas em projetos técnicos Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/60edfe1a-638a-45f5-8896-748e78dccc0d/content>> Acesso em: 5 mar. 2024.
- Bowles, J.E. 1996. Foundation Analysis and Design. 5. ed. The McGraw-Hill, Singapura.
- Budhu, M. 2013. Fundações e estruturas de contenção. 1 ed. LTC, Rio de Janeiro, RJ.
- CHAMON, José Eduardo. Excel com VBA na Prática. Saraiva Educação S.A., 2019. 184 p. ISBN 8536531401, 9788536531403.
- CHO, Hyun et al. Introduction of Construction management integrated system using BIM in the Honam High-speed railway lot No. 4-2. Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea, v. 29, 2011.

COOPER, Alan et al. About face: the essentials of interaction design. John Wiley & Sons, 2014. COSTA, Leonam Akira Ferreira. Automatização do projeto de ancoragem de terminações de dutos flexíveis marinhos. 2019. Dissertação de Mestrado.

COSTA, Leonardo de Oliveira. Excel 2016 VBA: Módulo I. Impacta Editora, 2016. 334 p.

COTTINGHAM, Marion. Mastering AutoCAD VBA. John Wiley & Sons, 2006. 668 p. ISBN 0782152821, 9780782152821.

DA SILVA, Izaque Bento. Desenvolvimento de um software em linguagem VBA para dimensionamento de instalações de água fria. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

DE SOUSA, Mauro Alexandre Paula et al. Automatização de projetos executivos de fundações superficiais com auxílio da ferramenta VBA nos softwares MS Excel e AutoCAD. 2018.

Dias, M.V.L. Proposta de dimensionamento geotécnico de tirantes por meio de ensaios de recebimento. 2019 Dissertação de mestrado.

Dias, P.H., e Yassuda, C.T. 2016. Capítulo 15 – Tirantes. In: Falconi, F., Corrêa, C.N., Orlando, C., Schimdt, C., Antunes, W. R., Albuquerque, P.J.R., Hachich, W., and Niyama, S. Fundações: Teoria e Prática. 2016. 3. ed. PINI, São Paulo.

DREUX, Marcelo de Andrade; AZEVEDO, Fernando Uilherme Barbosa de. Macros para Excel na prática. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 240p.

em obras. 2. ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP.

FERREIRA, Francielly Santos. Modelagem de drenagem superficial de subestação elétrica através do Revit com uso da programação visual. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

Frenz, C. (2002). Variables, Data Types, and Operators. In: Visual Basic and Visual Basic .NET for Scientists and Engineers. Apress, Berkeley, CA.

Gerscovich, D.M.S., Danziger, B.R., e Saramago, R. 2016. Contensões: teoria e aplicações

JONES, Phil. Visual Basic: A Complete Course. Continuum, 2001. 436 p. ISBN 0826454054, 9780826454058.

LATIFFI, A. Ahmad et al. Building information modeling (BIM) application in Malaysian construction industry. International Journal of Construction Engineering and Management, v. 2, n. 4A, p. 1-6, 2013.

LU, Pengzhen et al. Artificial intelligence in civil engineering. Mathematical Problems in Engineering, v. 2012, 2012.

MATOS FERNANDES, Manuel. Estruturas de suporte de terras. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1990.

MICROSOFT. Entendendo objetos, propriedades e métodos. 06 de abril de 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/office/vba/word/concepts/objects-properties-methods/understanding-objects-properties-and-methods>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

MICROSOFT. Sub statement. 30 de março de 2022. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/language/reference/user-interface-help/sub-statement>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

MICROSOFT. VBA programming in Office. 12 de setembro de 2021. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

MORAIS, Ceres Germanna Braga; ARAÚJO, Paulo Henrique. Utilização de planilhas eletrônicas no ensino de resistência dos materiais. ceres, v. 55, n. 84, p. 3337-2858, 2013.

MOREIRA, L.F.R. et al. Computer Graphics for Engineers and Architects. USA: Elsevier Computational Mechanics Publications, 1991.

MOREIRA, Pedro Santana et al. Estudo de comportamento mecânico de uma cortina de estacas atirantada. 2016.

NASCIMENTO JUNIOR, João Augusto do. Utilização de plataforma BIM para parametrização de projetos estruturais de concreto pré-moldados. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso.

NETO, Lúcio Campos et al. DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE EDIFICAÇÃO-UM ESTUDO COMPARATIVO NAS PLATAFORMAS CAD E BIM. Iberoamerican Journal of Project Management (IJoPM). Vol.8, No.2, A.E.C., p.31-48. 2017.

OLIVEIRA, Thays Car Feliciano de. Desempenho geotécnico de cortinas atirantadas executadas em Cascavel-PR. 2023.

OLIVEIRA, Webert Araújo et al. Desenvolvimento de um programa em python, para análise de vigas pelo método das seções. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

OSTERMAYER, H. Practice in the detail design applications of anchorages. Londres: Institution of civil engineers, 1976.

PERES, Mauro Pedro et al. A parametrização e a engenharia. In: VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. 2007.

PÉREZ, Juan L. et al. Applying genetic programming to civil engineering in the improvement of models, codes and norms. In: Advances in Artificial Intelligence–IBERAMIA 2008: 11th Ibero-American Conference on AI, Lisbon, Portugal, October 14-17, 2008. Proceedings 11. Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 452-460.

RADDATZ, Dennis; TAIBA, Oscar. Anchored piles in Santiago's gravel: modeling results for displacement curve. Revista de la Construcción. Journal of Construction, v. 16, n. 3, p. 457-467, 2017.

ROMAN, Steven. Writing Excel Macros with VBA: Learning to Program the Excel Object Model Using VBA. O'Reilly Media, Inc., 2002. 574 p. ISBN 0596555237, 9780596555238.

SEBESTA, Robert W. Concepts of Programming Languages. 10. ed. PEARSON, 2012. 816 p. ISBN 9780131395312.

Silva, K.F. Análise do comportamento tensão-deformação de cortinas atirantadas. 2016. Dissertação de mestrado.

SOUZA, D. S. DE et al. ANÁLISE COMPARATIVA DAS PLATAFORMAS BIM E CAD NA APLICAÇÃO DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES. Epitaya E-books, v. 1, n. 15, p. 343-358, 11 dez. 2020.

SOUZA, Ytalo Cleyton dos Santos. Criação de planilhas orçamentárias dinâmicas através do VBA destinada à orçamento da construção civil. 2021.

TELES, Mateus Lembi; GOMES, Herbert Martins. Comparação de algoritmos genéticos e programação quadrática seqüencial para otimização de problemas em engenharia. Teoria e Prática na Engenharia Civil, v. 10, n. 15, p. 29-39, 2010.

THOMPSON, Clive. Coders: the making of a new tribe and the remaking of the world. Penguin, 2020.

ZHOU, Lushui. Application of civil engineering in computer. In: International Conference on Education, Management, Computer and Society. Atlantis Press, 2016. p. 1731-1734.