



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

Marcos Antonio dos Santos Filho

**Automação de Desenho Parametrizado para Projetos de Dimensionamento de Blocos
Estruturais com Estacas Utilizando o *Visual Basic for Applications***

MOSSORÓ

2025

Marcos Antonio dos Santos Filho

**Automação de Desenho Parametrizado para Projetos de Dimensionamento de Blocos
Estruturais com Estacas Utilizando o *Visual Basic for Applications***

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

Orientador: John Eloi Bezerra, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2025

© 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.

S273a Santos Filho, Marcos Antonio dos.
Automação de Desenho Parametrizado para
Projetos de Dimensionamento de Blocos Estruturais
com Estacas Utilizando o Visual Basic For
Applications / Marcos Antonio dos Santos Filho. -
2025.
55 f. : il.

Orientador: John Eloi Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Automação. 2. Dimensionamento de Fundações.
3. Blocos sobre estacas. 4. VBA. 5. AutoCAD. 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.

Marcos Antonio dos Santos Filho

**Automação de Desenho Parametrizado para Projetos de Dimensionamento de Blocos
Estruturais com Estacas Utilizando o *Visual Basic for Applications***

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

Defendida em: 28 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

John Eloi Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

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

Valteson da Silva Santos, Prof. Me. (IFPB)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

À minha amada vó, que foi um alicerce fundamental na minha caminhada e grande exemplo de perseverança, parte dela está aqui também. Te amo eternamente. (In Memoriam).

Dedico este trabalho à minha família, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo seu apoio e me incentivando incansavelmente a perseguir meus sonhos e metas. Minha mais profunda gratidão a vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha mais sincera gratidão ao Grande Deus, que me proporcionou toda a força, sabedoria e inspiração, orientando-me e apoiando em cada etapa desta viagem. A sua presença constante me proporcionou coragem nos momentos de dúvida, persistência frente aos obstáculos e tranquilidade nos momentos mais desafiadores. A Ele, que me proporcionou as chances e a habilidade para alcançar este ponto, expresso minha mais sincera gratidão.

Agradeço aos meus pais, Marcos Antonio dos Santos e Norma França dos Santos, por todo o suporte, afeto e direcionamento que sempre me ofereceram. Vocês foram essenciais para que eu conseguisse atingir minhas metas, me motivando a nunca me render, mesmo perante os maiores obstáculos. Esta obra é tão minha quanto de vocês.

À minha tia, Míria Ângela dos Santos, que, através do seu amor, empenho e palavras de incentivo, se tornou uma autêntica âncora nos momentos mais desafiadores. A sua presença constante, atenta a cada pormenor e sempre pronta para me auxiliar, foi crucial para que eu conseguisse superar os obstáculos e realizar este sonho.

Aos meus amados avós, Manoel Julião dos Santos e Maria Miriam dos Santos, que, mesmo sendo idosos e sem entenderem profundamente sobre o campo em que me formei, sempre me envolveram com seu amor incondicional e apoio constante. Um especial para minha avó, que, embora não esteja mais entre nós, deixou em mim lições de amor, fé e perseverança que levarei, sem dúvida alguma, para o resto de minha vida.

Às minhas irmãs, Maria Eduarda França dos Santos e Maria da Glória Karen França dos Santos, que, mesmo sendo pequenas, me alegraram com seu carinho e sorrisos nos momentos mais desafiadores. Vocês, com sua pureza e inocência, trouxeram leveza aos dias mais pesados e me lembraram da importância da família em todos os momentos.

Aos meus tios e tias, e aos meus primos e primas, que sempre me motivaram e apoiaram de todas as formas possíveis. Agradeço por acreditarem em mim e contribuírem, mesmo que minimamente, para essa conquista.

Agradeço imensamente aos tantos projetos de extensão e de pesquisa dos quais tive a honra de participar. Acesso à Terra Urbanizada, ALPE Engenharia, RN Júnior, PRH 55.1, Ajuda dos Universitários, monitorias, entre outros, bem como todos os amigos a quem tive o prazer de conhecer nesse tempo. Essas vivências foram cruciais para o meu crescimento pessoal e acadêmico, possibilitando a aplicação prática do conhecimento obtido em sala de aula e a contribuição para a comunidade.

Também gostaria de expressar minha gratidão à SPPE, na pessoa do professor e secretário Almir Mariano, que sempre desempenhou um papel crucial na minha trajetória pessoal e profissional. Também gostaria de agradecer a todos os amigos que a secretária me proporcionou, especialmente à minha diretoria de terras, representada por Marianne Maia, minha querida e admirável líder, que sempre tive como referência de pessoa e profissional, e ao meu secretário Augusto César, um modelo a ser seguido.

Expresso minha sincera gratidão ao meu Orientador, Professor Dr. John Eloi Bezerra, por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência e pela orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para que eu pudesse crescer tanto profissional quanto academicamente.

Finalmente, minha gratidão à Banca Examinadora, composta pelos professores John Eloi Bezerra, João Paulo Matos Xavier e Valteson da Silva Santos, pela disponibilidade em participar deste momento tão importante de minha trajetória acadêmica.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há
tempo para todo o propósito debaixo do céu”
(Eclesiastes 3.1)

RESUMO

A demanda crescente por exatidão e eficácia em projetos de engenharia civil tem estimulado a implementação de processos de cálculo automatizados, principalmente no dimensionamento de fundações. Contudo, o uso dessa tecnologia ainda é restrito, levando a falhas manuais e ineficiência no procedimento. Neste contexto, este estudo apresenta a criação e implementação de um programa que utiliza rotinas parametrizadas, com a finalidade de dimensionar blocos de fundação apoiados em estacas. O estudo se apoia em padrões técnicos e referências bibliográficas da engenharia de fundações, garantindo a exatidão dos cálculos e a aderência aos critérios estruturais e geotécnicos. O programa automatiza as operações matemáticas utilizadas nos projetos estruturais de fundações e produz, através das rotinas do *Visual Basic for Applications* (VBA), os esboços parametrizados das fundações no *AutoCAD*. O dimensionamento inclui blocos com uma quantidade variável de estacas, dependendo das informações fornecidas, como as dimensões do pilar, a carga aplicada, o diâmetro das estacas, a resistência característica do concreto, a taxa de armadura e a carga admissível do solo. Assim, enquanto o método tradicional leva horas para finalizar o dimensionamento, o programa executou o mesmo procedimento em apenas segundos, resultando numa significativa economia de tempo.

Palavras-chave: Automação, Dimensionamento de Fundações, Blocos sobre estacas, VBA, *AutoCAD*.

ABSTRACT

The increasing demand for accuracy and efficiency in civil engineering projects has driven the use of automated calculation processes, especially in foundation design. However, the application of this technology remains limited, leading to manual errors and inefficiencies in the process. Given this scenario, this study presents the development and application of a program based on parameterized routines, aimed at designing pile cap foundations. The research is based on technical standards and bibliographic references in foundation engineering, ensuring calculation accuracy and compliance with structural and geotechnical criteria. The program automates the calculations commonly used in structural foundation projects and generates, through Visual Basic for Applications (VBA) routines, the parameterized foundation drawings in *AutoCAD*. The design process covers pile caps with a variable number of piles, depending on the input data provided, such as column dimensions, applied load, pile diameter, characteristic concrete strength, reinforcement ratio, and soil bearing capacity. Thus, whereas the conventional process requires several hours to complete the design, the program executed the same procedure within seconds, resulting in a substantial time saving.

Keywords: Automation, Foundation Design, Pile Caps, VBA, *AutoCAD*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Ilustração do método das bielas em uma fundação de duas estacas	28
Figura 02 – Ilustração da altura útil de um bloco com duas estacas	29
Figura 03 – Etapas do estudo.....	34
Figura 04 – Bloco sobre uma estaca.....	37
Figura 05 – Bloco sobre duas estacas.....	37
Figura 06 – Bloco sobre três estacas (primeiro tipo).....	38
Figura 07 – Bloco sobre três estacas (segundo tipo)	38
Figura 08 – Blocos sobre quatro estacas (primeiro tipo).....	38
Figura 09 – Blocos sobre quatro estacas (segundo tipo)	39
Figura 10 – Blocos sobre cinco estacas	39
Figura 11 – Blocos sobre seis estacas.....	39
Figura 12 – Menu Principal da Ferramenta	41
Quadro 04 – Parâmetros para uma estaca.....	42
Figura 13 – Desenho parametrizado para uma estaca.	42
Figura 14 – Desenho parametrizado para duas estacas.	43
Figura 15 – Desenho parametrizado para três estacas (1).	44
Figura 16 – Desenho parametrizado para três estacas (2).	45
Figura 17 – Desenho parametrizado para três estacas (3).	45
Figura 18 – Desenho parametrizado para quatro estacas (1).....	46
Figura 19 – Desenho parametrizado para quatro estacas (2).....	47
Figura 20 – Desenho parametrizado para quatro estacas (3).....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Coeficiente K segundo Decourt e Quaresma para cálculo de capacidade de carga de estaca.....	25
Quadro 02 – Fatores de correção de ponta α e de atrito β	26
Quadro 03 – Dados adotados para dimensionamento	42
Quadro 05 – Parâmetros para duas estacas.....	43
Quadro 06 – Parâmetros para três estacas.	44
Quadro 07 – Parâmetros para quatro estacas.....	46
Quadro 08 – Tempo de execução automatizado.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
Esp	Especialista
GE	Gestão do Conhecimento
GI	Gestão da Informação
IES	Instituição de Ensino Superior
Me	Mestre
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
UI	Unidade de Informação
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO GERAL	18
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 Automação em Engenharia Civil.....	19
4.1.1. Evolução da Automação na Engenharia.....	20
4.1.2. Benefícios da Automação.....	20
4.1.3. Desafios na Implementação da Automação	21
4.2. Visual Basic for Applications (VBA)	22
4.2.1. Aplicações do VBA na Engenharia Civil.....	22
4.2.2. Vantagens do VBA.....	23
4.2.3. Limitações do VBA.....	23
4.3 Cálculo da Carga Admissível.....	24
4.4 Blocos de Fundação	26
4.5 Método das Bielas de Blévo	27
4.6 Número de Estacas no Bloco.....	28
4.7 Definição Geométrica de Bloco de Coroamento	29
4.8 Altura Útil.....	29
4.9 Verificação das Bielas	31
5 METODOLOGIA.....	33
5.2 Pesquisa bibliográfica	34
5.3 Definição dos Parâmetros de Entrada	35
5.4 Desenvolvimento do Algoritmo de Cálculo	36
5.5 Implementação da Automação no AutoCAD.....	36
5.5.1 Geração do Bloco de Fundação.....	36
5.5.2 Posicionamento das Estacas	36
5.5.3 Geração de Vistas em Planta e Corte	37
5.5.4 Modelos de dimensionamento.....	37
5.6 Análise dos Resultados	40
5.7 Tomada de Decisão	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Dados de Entrada.....	41

6.2 Possibilidades presentes	41
6.2.1 Primeiro Cenário: uma estaca	42
6.2.2 Segundo Cenário: duas estacas	43
6.2.3 Terceiro Cenário: três estacas	44
6.2.4 Quarto Cenário: quatro estacas	46
6.2.7 Análise de parâmetros	48
6.3 Geração de Desenhos Automáticos no AutoCAD	49
6.4 Discussão sobre Tomada de Decisão	49
6.5 Tempo de Execução	50
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

O cálculo de fundações é um passo fundamental para a elaboração de projetos estruturais, sendo um elemento fundamental na tomada de decisões em construções, especialmente no começo do processo (CABRAL et al, 2022). Entre as diversas categorias de fundações, os blocos estruturais apoiados em estacas se sobressaem, sendo amplamente empregados e encarregados de transferir as cargas do pilar para o solo de forma eficaz (DUTRA, 2022). Ademais, a elaboração do projeto técnico desses blocos é crucial para a realização da construção, que exige exatidão e aderência às normas técnicas.

Contudo, a criação desses projetos costuma ser um procedimento demorado e propenso a falhas quando conduzido manualmente ou sem o uso de métodos automatizados. Portanto, quando empregada na engenharia civil, a automação melhora a qualidade dos projetos e diminui consideravelmente os gastos associados, pois oferece uma execução ágil e precisa de tarefas repetitivas, otimizando o tempo de implementação do projeto (AROUCHA JUNIOR et al, 2024). Essa situação evidencia a relevância da automação no dimensionamento de blocos com estacas na indústria da construção, proporcionando mais rapidez e exatidão no setor para os especialistas do setor.

À luz desses fatos, a aplicação do *Visual Basic for Applications* (VBA) no *Microsoft Excel* emerge com uma alternativa sustentável para que se possa automatizar esses processos bastante presentes no dia-a-dia da construção civil (COSTA, 2024). Essa tecnologia permite a criação de rotinas parametrizadas que automatizam os cálculos presentes nos projetos de blocos de fundação e interage com o *AutoCAD* para a concepção de desenhos técnicos (SOUSA et al, 2019). Deste modo, a ferramenta proporciona a redução, em grande escala, de tempo de trabalho necessário para a elaboração dos projetos, além de minimizar erros e garantir uma maior padronização dos resultados.

Sendo assim, o presente trabalho objetiva desenvolver um programa parametrizado para o dimensionamento e concepção automatizada do projeto estrutural de blocos estruturais com estacas, utilizando-se do VBA no *Microsoft Excel*. O sistema possibilitará a inserção de dados de entrada, necessários para fornecimento de cálculos detalhados, que, automaticamente, permitirá a geração dos desenhos no *AutoCAD*. O programa busca otimizar fluxos de trabalho e transformar as tarefas essenciais em elementos eficientes, confiáveis, precisos e acessíveis, para a contribuição de uma evolução tecnológica e modernização da engenharia estrutural na área da construção civil.

2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema automatizado para aprimorar o processo de dimensionamento de fundações, removendo a exigência de cálculos manuais e diminuindo o tempo requerido para produzir os desenhos estruturais no *AutoCAD*. A automação sugerida tem como objetivo, além de assegurar a exatidão dos cálculos, melhorar a eficácia na implementação de projetos de fundações, proporcionando aos engenheiros um instrumento prático, ágil e seguro.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desenvolver um programa em *Visual Basic for Applications* que calcule automaticamente as dimensões e armaduras dos blocos de fundação com estacas, levando em conta diversas configurações estruturais;
2. Integrar a rotina parametrizada do VBA com a geração automática de desenhos no *AutoCAD* a partir dos cálculos realizados no *Microsoft Excel*, eliminando a necessidade de modelagem manual.
3. Elaborar a personalização dos parâmetros de entrada pelo usuário, como dimensões do pilar, carga aplicada, tipo de solo e materiais utilizados, garantindo flexibilidade no uso da ferramenta.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

A automação de processos na engenharia civil tem se consolidado como uma alternativa progressivamente mais relevante para o incremento da eficiência dos processos, a redução de custos e a otimização de tempo. Nesse cenário, a aplicação de tecnologias como o *Visual Basic for Applications* (VBA) em tarefas repetitivas e complexas, como o dimensionamento de fundações de blocos estruturais com estacas, emerge como uma solução inovadora para a gestão na construção civil. Este tópico visa explorar os principais conceitos, métodos e avanços na automação de projetos de engenharia, com ênfase na utilização de ferramentas computacionais como o VBA para o dimensionamento de fundações.

Oliveira et al (2024) afirma que um grande desafio enfrentado pelos profissionais de engenharia é a complexidade dos projetos que serão executados, que, por existir demandas altamente tecnológicas, requer uma atenção minuciosa em cada etapa do processo, desde a concepção do projeto até a execução e entrega final da obra. Isto é, a grande quantidade de detalhes e informações, pode exigir um gasto alto de tempo para se cumprir todos os processos, afetando negativamente a produtividade (OLIVEIRA et al, 2024).

4.1 Automação em Engenharia Civil

A automação no setor da construção civil está relacionada ao uso de tecnologias e sistemas informáticos para a realização de tarefas que, tradicionalmente, requerem intervenções manuais. Devido à vasta oferta de tecnologias avançadas, diversos negócios no setor de construção civil têm procurado integrar a automação em seus procedimentos, especialmente na realização de seus projetos (EIRAS; SILVA; PIRES, 2023).

Aroucha Junior et al (2024) Aroucha Junior et al. (2024) argumentam que a mudança de mentalidade dentro da engenharia, ao considerar a automação não apenas como um fator de velocidade, mas também de precisão e qualidade, reflete em uma maior adesão a ferramentas de automação que aceleram a tomada de decisões, reduz retrabalhos e aumentam a eficiência operacional. Aliás, no cenário onde a qualidade e precisão são essenciais para a execução dos processos, investir na otimização de *softwares* é mais que uma simples questão estratégica (AROUCHA JUNIOR et al, 2024).

4.1.1. Evolução da Automação na Engenharia

Em 1946 (FILIPPO FILHO, 2014), o termo "automação" foi introduzido, substituindo a expressão "automatização" do começo do século XX, que se referia a processos simples e constantes para aprimorar a produção e a segurança (FERNANDES, 2020). Inicialmente, a automação era fundamentada em relés e válvulas. Contudo, com a chegada do transistor em 1956 e as inovações tecnológicas subsequentes, tais como microcomputadores e sistemas de controle programável, a automação evoluiu para sistemas mais versáteis e eficazes (OLIVEIRA, 2012; FERNANDES, 2020).

A introdução de motores a vapor na segunda metade do século XVIII teve um impacto significativo no começo da Revolução Industrial, substituindo a força humana e animal e possibilitando o crescimento das indústrias (CAPELLI, 2006). No final do século XIX, a introdução da eletricidade e motores elétricos aprimorou ainda mais a produção (PESSOA, 2014). Em seguida, no começo do século XX, a refinação do petróleo e a criação de motores de combustão interna impulsionaram um progresso significativo na indústria automobilística e de transporte (VENANZI; SILVA, 2016; FERNANDES, 2020).

Por outro lado, durante a Segunda Guerra Mundial, a utilização de computadores e válvulas para a gestão de processos deu origem à era da automação programada, substituindo os sistemas rígidos de relés e válvulas. A criação do transistor e sua redução de tamanho nas décadas subsequentes permitiram o progresso dos sistemas de controle e automação, conforme mencionado por Groover (2017) e Fernandes (2020).

Posteriormente, surgiram os robôs industriais em 1954, sendo o primeiro deles instalado em 1961. A sua notoriedade aumentou nas décadas subsequentes, particularmente no setor automobilístico (FILIPPO FILHO, 2014). A partir da década de 1990, as redes industriais passaram de conexões ponto a ponto para sistemas distribuídos e Fieldbus (CAPELLI, 2006). A automação na indústria começou a incorporar sistemas de controle digital e redes LAN (GROOVER, 2017). Por outro lado, a chegada dos microcomputadores nos anos 70 revolucionou a computação e a automação, fomentando o desenvolvimento de empresas como Apple e Microsoft, além da incorporação dos microcomputadores na automação de processos (OLIVEIRA, 2012; FERNANDES, 2020).

4.1.2. Benefícios da Automação

Alves e Hirosue (2021) asseguram que o uso de sistemas automatizados implica em um avanço significativo não somente na construção civil, mas em diversas outras áreas de

conhecimento, e para dimensionamento de fundações com estacas não é diferente. À vista disso, pode-se destacar alguns dos principais benefícios que resultam da implementação dessa metodologia, como a obtenção de uma solução rápida, mutável e dinâmica, e, ainda, erros podem ser rapidamente reparados, conferindo alta produtividade ao método.

De igual modo, destaca-se também a execução do método pela tecnologia que evita drasticamente a possibilidade de erros de cálculo e proporciona a integração com outros métodos de cálculo, facilitando o comparativo entre resultados. Outrossim, a automação promove uma facilidade na correção de erros sem comprometer a precisão do processo e também possibilita a aplicação em diversas situações, adaptando-se a necessidades específicas de cada projeto (ALVES; HIROSUE, 2021).

4.1.3. Desafios na Implementação da Automação

Apesar de existir uma garantia de uma maior eficiência e produtividade nos processos da construção civil, uma gama de desafios ainda impede a segura aplicação dentro do ramo. Isto porque surge uma dualidade entre a eficiência aprimorada e os desafios de sua implementação. Isto é, a aplicação da automação na construção civil não deve negligenciar a realidade de desafios associados à automação, porém, faz-se necessário integrá-los na transformação e avanço tecnológico da indústria (AROUCHA JUNIOR, 2024).

Aroucha Junior et al (2024) afirma que os principais desafios na implementação da automação estão ligados primeiramente ao investimento inicial e treinamento e, depois, à dependência tecnológica e sua manutenção.

De acordo com Santos et al (2018), a dificuldade na aquisição de tecnologias de automação em muitas empresas, principalmente de pequeno porte, atrela-se ao custo associado, sem contar na necessidade de adquirir uma equipe bem preparada, carecendo da aplicação de treinamentos direcionados. Todavia, é importante ressaltar que esse investimento trará resultados significativos a longo prazo (SANTOS, 2018).

Além disso, Silva et al. (2021) destacam que a existência de grande dependência na automação resultará em vulnerabilidade, sobretudo em falhas técnicas ou ausência de uma boa manutenção dos sistemas automatizados. Tendo em vista que essa circunstância tem uma grande probabilidade de ocorrer, as empresas precisam estar preparadas para aplicar um bom plano de manutenção e proporcionar uma pluralidade de habilidades entre os colaboradores (AROUCHA JUNIOR, 2024).

4.2. Visual Basic for Applications (VBA)

O *Visual Basic for Applications* (VBA) refere-se a uma linguagem de programação incorporada ao *Microsoft Excel* que permite a criação de macros e automação de tarefas repetitivas, ela é usada para ser programada e executada em uma pasta de trabalho do *Microsoft Excel* (KALWAR, 2022). Kalwar *et al.* (2022) afirmam que as operações realizadas no VBA apresentam baixo custo ou custo nulo, mesmo sendo possível a realização de estudos e análises complexas com alto desempenho. Essa ferramenta é poderosa para os engenheiros, pois quando usada em planilhas eletrônicas facilita a parametrização de dados e a execução de cálculos complexos.

Além disso, G. Júnior, Ferreira e Gomes (2022), também asseguram que o VBA possibilita a criação de aplicativos desenvolvidos com módulos que calculam variáveis e parâmetros de estudo, como também permite a plotagem de gráficos.

4.2.1. Aplicações do VBA na Engenharia Civil

Devido à sua capacidade de otimizar processos e realizar cálculos complexos, o VBA tem se tornado cada vez mais comum na engenharia civil. De acordo com Sousa (2023) o VBA é uma ferramenta que, além de gratuita, é bastante funcional, tendo como objetivo a melhoria da eficiência no ambiente acadêmico e profissional da Engenharia Civil. Igualmente, o VBA também possui a capacidade de facilitar e potencializar o processo de concepção (SOUSA, 2023).

Dentro da construção civil, os engenheiros podem automatizar atividades e analisar dados com maior precisão. Isso se aplica à criação de planilhas orçamentárias (SOUZA, 2021), a cálculos para capacidade de carga em fundações (SROCZYNSKI, SANTOS, 2020), à dimensionamento de estrutura de madeira (FELIX, 2022; SOUSA, 2023), à determinação da temperatura crítica em pilares de aço (MARCELINO; AZEVEDO; CALENZANI, 2023), à elaboração de projetos de lajes nervuradas unidirecionais (SILVA, 2022) e a muitos outros casos.

4.2.2. Vantagens do VBA

Segundo Degrandi e Caracini (2023), quando bem aplicado, o VBA por se tornar uma ferramenta poderosa e uma alternativa potente para automatizar processos e atividades, proporcionando melhoria tais como redução de erros, aumento da produtividade e economia de tempo. Outrossim, com a transformação digital, há uma busca incessante das empresas pela melhoria de seus processos, e diminuir custos e o sucesso do cliente são prioridades em seus modelos de negócio, assegurando a importância deste recurso em sua rotina (THOMAS, 2020; DEGRANDI; CARACINI, 2023).

Althaus et al. (2022) acrescenta que a utilização do VBA proporciona a interligação e gestão de dados, fazendo uso da programação para geração de planilhas inteligentes com acessibilidade para qualquer usuário, possibilitando, por exemplo, automatização de processos repetitivos. De acordo com Alarcão et al. (2022), sua aplicação otimiza atividades de digitação de informações, através de formulários para preenchimento por ele criados, formulário este que evita maior possibilidade de erros.

Velasco, Carvalho e Matias (2021), também aponta para usabilidade do *Microsoft Excel* interligado ao VBA, evidenciando o gerenciamento e análise de dados como uma das principais funcionalidades, além da possibilidade de criação de gráficos e desenvolvimento de planilhas com cálculos dinâmicos parametrizados. Os autores destacam, inclusive, a vinculação com o Microsoft Word, que favorece que as ações do *software* sejam executadas em uma maior velocidade como criação de tabelas, modificações no layout, formação de texto, entre outros, e permite, além disso, dividir o arquivo em vários outros e modificar trechos baseado em variáveis pré-estabelecidas (VELASCO; CARVALHO; MATIAS, 2021).

4.2.3. Limitações do VBA

Além das inúmeras vantagens presentes na utilização do VBA, Santos (2023) também destaca desvantagens associadas. Para o seu uso, é essencial adquirir um conhecimento básico da linguagem de programação existente no VBA. Outrossim, cada usuário precisa possuir sua própria cópia da planilha com o código de programação. Além disso, é importante salientar que, em casos específicos, o funcionamento do programa não será executado como esperado, isto é,

podem surgir cenários que exijam uma maior análise do código escrito para que o programa funcione corretamente (SANTOS, 2023).

Uma outra grande desvantagem está associada à compatibilidade entre versões do *Microsoft Excel*. Em outras palavras, o programa que foi escrito em uma versão mais antiga do *software* dificilmente funcionará em alguma de suas versões mais recentes (SANTOS, 2023). Embora a Microsoft busque constantemente uma solução para uma possível compatibilização, a atualização de versões da Microsoft ainda é um desafio exorbitante (SANTOS, 2023).

Oliveira Júnior e Silva (2021) asseguram que a plataforma utilizada, o *Microsoft Excel*, tem uma usabilidade fácil e acessível para discentes e docentes, contando com uma gama de funções matemáticas para a otimização do cálculo, no entanto, os autores também ressaltam a dependência à mesma plataforma, que é *software* proprietário e, para seu funcionamento, requer presença no computador do usuário.

4.3 Cálculo da Carga Admissível

O cálculo da carga admissível de estacas pelo método Decourt-Quaresma é amplamente aplicado em projetos de fundações no Brasil. Desenvolvido por Decourt e Quaresma (1978), esse método baseia-se em correlações empíricas por meio de ensaios de Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT (Standard Penetration Test), muito comuns no país. A partir do valor do índice de resistência à penetração (N_{spt}), obtido no ensaio de SPT, são estimados os parâmetros de resistência do solo para o dimensionamento das estacas.

A capacidade de carga de uma estaca, segundo o método Decourt-Quaresma, pode ser calculada pela soma das cargas máximas que são suportadas pelo atrito lateral e pela ponta (FALCONI et al, 2019), como é possível observar na Equação 1:

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (1)$$

Por sua vez, as cargas máximas são compostas, segundo Falconi et al (2019), pelas “tensões limites de cisalhamento (q_s e q_p) ao longo do fuste e normal ao nível da base A_s e A_p respectivamente a área lateral da estaca e da seção transversal de sua ponta”, logo, a Equação 2 descreve:

$$Q_u = Q_s + Q_p = q_s A_s + q_p A_p \quad (2)$$

A tensão de ruptura de ponta é dada pela Equação 3:

$$q_p = \alpha \cdot K \cdot N \quad (3)$$

E o atrito lateral unitário é dado pela Equação 4:

$$q_s = \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N}{3} + 1 \right) \quad (4)$$

Onde:

- q_p : tensão de ruptura de ponta;
- q_s : atrito lateral unitário;
- N : também chamado de N_{spt} , trata-se do número de golpes necessários para que o equipamento de sondagem penetre 30 cm no solo.

O K é um valor é tabelado e varia de acordo com o tipo de solo (DÉCOURT; QUARESMA, 1978), como é mostrado no Quadro 01 a seguir:

Quadro 01 – Coeficiente K segundo Decourt e Quaresma para cálculo de capacidade de carga de estaca

Coeficiente K – Decourt e Quaresma		
Tipo de solo	K – (kN/m ²) Estacas em geral	K – (kN/m ²) Estacas escavadas
Areia	400	200
Silte Arenoso	250	140
Silte Argiloso	200	120
Argila	120	100

Fonte: Adaptado (DÉCOURT; QUARESMA, 1978).

Já os valores de α e β são, respectivamente, o fator de correção de ponta e o fator de correção do atrito, e são estabelecidos pelo Quadro 02 a seguir:

Quadro 02 – Fatores de correção de ponta α e de atrito β

Estaca	Cravada (Estaca Padrão)		Escavada (Em Geral)		Escavada (c/ Bentonita)		Hélice contínua		Raiz		Injetada (alta pressão)	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Solo												
Argilas	1,00*	1,00*	0,85	0,80	0,85	0,90**	0,30**	1,00**	0,85**	1,50**	1,00**	3,00**
Solos***	1,00*	1,00*	0,60	0,65	0,60	0,75**	0,30**	1,00**	0,60**	1,50**	1,00**	3,00**
Areias	1,00*	1,00*	0,50	0,50	0,50	0,60**	0,30**	1,00**	0,50**	1,50**	1,00**	3,00**
*valores para o qual a correlação inicial foi desenvolvida ** valores apenas indicativos diante do reduzido número de dados disponíveis *** Solos intermediários												

Fonte: Adaptado (JOPPERT JÚNIOR, 2007).

Todavia, a carga máxima de ruptura não é utilizada para a continuidade dos cálculos. Em seu lugar, utiliza-se a carga admissível, que é determinada pela Equação 5, considerando as cargas minoradas:

$$Q_{adm} = \frac{q_p}{4} + \frac{q_s}{1,3} \quad (5)$$

4.4 Blocos de Fundação

No item 22.7.1, a NBR 6118 conceitua blocos como elementos estruturais volumétricos que desempenham um importante papel na edificação e visam, por exemplo, transferir as cargas de fundação para as estacas e para os tubulões, sendo classificados enquanto rígidos ou flexíveis, de acordo com critério análogo ao aplicado em sapatas.

Ademais, a depender das propriedades do solo, da capacidade da estaca e carga do pilar, os blocos serão apoiados em uma certa quantidade de estacas, podendo variar sua quantidade. O uso mais frequente varia de uma a três estacas. Em edificações simples, no caso de galpões, residências térreas e sobrados, usa-se com maior frequência uma ou duas estacas, por receber do pilar uma carga de menor esforço. Já em edificações com muitos pavimentos, receber uma

carga de maior esforço, a quantidade de estacas é maior, variando a partir de três. Um terceiro caso consiste no bloco sobre o tubulão, considerando que esse bloco está atuando enquanto elemento que transmite a carga do pilar para o fuste do tubulão (BASTOS, 2020).

Ainda, no item 22.7.2.1, a norma destaca que o comportamento estrutural de um bloco rígido pode ser caracterizado de três formas:

“a) trabalho à flexão nas duas direções, mas com trações essencialmente concentradas nas linhas sobre as estacas (reticulado definido pelo eixo das estacas, com faixas de largura igual a 1,2 vez seu diâmetro); b) forças transmitidas do pilar para as estacas essencialmente por bielas de compressão, de forma e dimensões complexas; c) trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruínas por tração diagonal, e sim por compressão das bielas, analogamente às sapatas.”

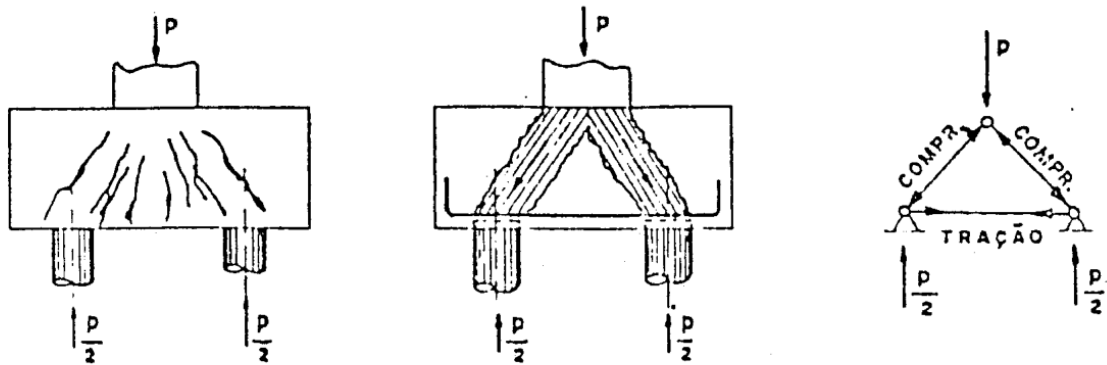
Complementando, no item 22.7.2.2, ela também descreve a necessidade de se realizar um estudo mais amplo e detalhista para o bloco flexível, considerando tanto a distribuição de carga nas estacas como a verificação da punção.

Seguindo, a norma assegura que são contemplados “modelos tridimensionais lineares ou não lineares e modelos biela-tirante tridimensionais” para o cálculo e dimensionamento dos blocos, tais modelos precisam atender todas as particularidades já mencionadas nos parágrafos anteriores. Já na área de contato do bloco com o pilar, cabe contemplar os efeitos de fendilhamento, “permitindo-se a adoção de um modelo de bielas e tirantes para a determinação das armaduras”. Somado a isso, o modelo requer a cooperação entre solo e estrutura, sempre que existir “forças horizontais ou forte assimetria”.

4.5 Método das Bielas de Blévo

O Método da Bielas é um dos modelos de cálculo mais aplicados no nosso país para dimensionar blocos sobre estacas, devendo sua aplicação se associar apenas à blocos rígidos. Isto se sucede por razões principais: extenso suporte experimental, tradição no Brasil e na Europa e intuição no modelo de treliça (BASTOS, 2023). Segundo Bastos (2023), esse modelo, proposto por Blévo, considera a treliça como um esquema de resistência no interior do bloco, atuando de forma plana quando ao se trabalhar com blocos de duas estacas, e espacial nos blocos com mais de duas estacas, como observa-se na Figura 01.

Figura 01 – Ilustração do método das bielas em uma fundação de duas estacas



Fonte: (ALMEIDA, 2004).

Bastos (2023) afirma, ainda, que o concreto contribui na resistência das forças atuantes nas barras comprimidas e a armadura contribui na resistência das forças atuantes nas barras tracionadas. Além disso, Blévo (1967) obteve sucesso ao conseguir solucionar uma das principais dificuldades do dimensionamento, que se trata da definição das bielas comprimidas, como forma, dimensões, inclinação, etc.).

Por conseguinte, para que seja empregado esse método no dimensionamento, é imprescindível se atentar para dois cenários. O primeiro se efetiva quando o carregamento é quase centrado, isto é, o método se aplica em carregamento não centrado que considera todas as estacas com a maior carga, com dimensionamento antieconômico. Já o segundo cenário considera todas as estacas igualmente espaçadas no centro do pilar.

4.6 Número de Estacas no Bloco

De acordo com Almeida (2004), a quantidade de estacas presentes no bloco de coroamento será determinada pela relação entre a carga recebida pelo bloco e a carga máxima permitida para o tipo de estaca escolhida, dada a partir da seguinte fórmula, pela Equação 6:

$$n = \frac{Q_{NP}}{Q_{adm}} \quad (6)$$

Onde:

- n : quantidade de estacas presentes no bloco de coroamento;
- Q_{NP} : carga recebida pelo bloco;
- Q_{adm} : carga máxima permitida.

4.7 Definição Geométrica de Bloco de Coroamento

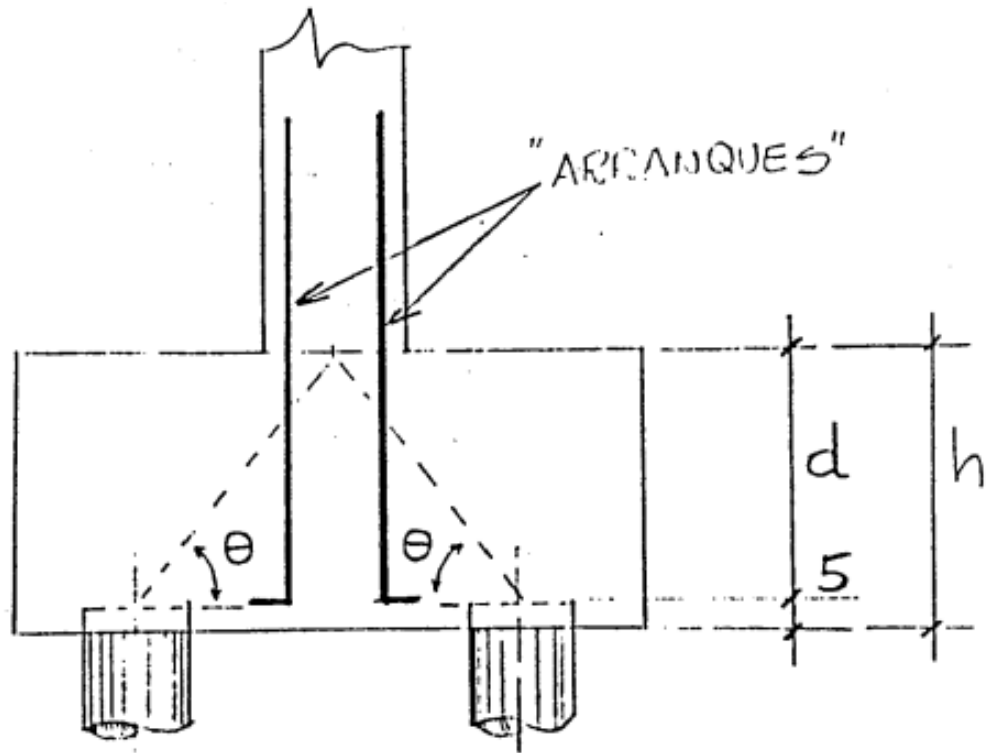
Almeida (2004) assegura que para definir a geometria do bloco de coroamento, necessita-se perseguir importantes recomendações:

- Em planta, o contorno do bloco de coroamento deve se alinhar ao formato das estacas, garantindo que as estacas estejam “envolvidas” por um mínimo de 15 centímetros entre a face do bloco e a face da estaca;
- As estacas devem possuir um cobrimento de, no mínimo, 5 centímetros no interior do bloco.
- A distância entre as estacas de um mesmo bloco deve ser maior ou igual a 2,5 vezes o diâmetro do fuste para estacas pré-moldadas e 3,0 vezes o diâmetro para estacas moldadas in loco. No caso de estacas prismáticas usa-se a maior dimensão de sua seção transversal;

4.8 Altura Útil

Quanto à altura do bloco, Almeida (2004) recomenda que ela deve ser determinada pelo comprimento de ancoragem das barras de espera (“arranques”) do pilar e pelo ângulo de bielamento, que, segundo Machado (1985), deve variar entre 45° e 55° na definição geométrica do bloco, como se observa na Figura 02 e na Equação 7.

Figura 02 – Ilustração da altura útil de um bloco com duas estacas



Fonte: (ALMEIDA, 2004).

Ou seja:

$$h = \begin{cases} d \geq l_b \text{ dos arranques} \\ 45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ \end{cases} \quad (7)$$

Onde:

- d : armadura longitudinal vertical do pilar;
- l_b : comprimento de ancoragem da arma

Conforme essa prescrição, as bielas de compressão não tendem a apresentar risco de ruptura por punção, desde que o ângulo esteja dentro do intervalo, deste modo, Bastos (2023) propõe Equação 8:

$$tg \alpha = \frac{d}{\frac{e}{2} - \frac{a_p}{4}} \quad (8)$$

E substituindo com o intervalo proposto por Machado (1985), tem-se a Equação 9:

$$0,5 \cdot \left(e - \frac{a_p}{2}\right) \leq d \leq 0,71 \cdot \left(e - \frac{a_p}{2}\right) \quad (9)$$

Logo, a Equação 10:

$$h = d + d' \quad (10)$$

- $d' = \begin{cases} 5 \text{ cm} \\ \frac{a_{est}}{5} \end{cases}$;
- a_{est} : lado de uma estaca de seção quadrada, com área igual à da estaca de seção circular

4.9 Verificação das Bielas

Para dar sequência ao dimensionamento, Bastos (2023) detalha a análise das seções tanto na região do pilar quanto na das estacas, levando em consideração que a seção das bielas de concreto varia conforme a altura do bloco. Ao examinar a equação fundamental de tensão, $\sigma_{cd} = R_{cd} / A_b$, e as forças atuantes nas bielas ($R_{cd} = N_d / 2 \sin \alpha$), conclui-se que a tensão normal de compressão na biela, tanto em relação ao pilar quanto à estaca, é determinada pela Equação 11 e Equação 12:

$$\sigma_{cd,b,pil} = \frac{N_d}{A_p \sin^2 \alpha}; A_b = \frac{A_p}{2} \sin \alpha \text{ (No pilar)} \quad (11)$$

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{N_d}{2A_c \sin^2 \alpha}; A_b = A_c \sin \alpha \text{ (Na estaca)} \quad (12)$$

Para prevenir o colapso por esmagamento do concreto, as tensões aplicadas precisam ser inferiores às tensões máximas de resistência (Bastos, 2023). Blévyot levou em conta o seguinte princípio, com a Equação 13:

$$\sigma_{cd,b,lim,pil} = \sigma_{cd,b,lim,est} = 1,4 K_R f_{cd} \quad (13)$$

$K_R = 0,9$ a $0,95$: coeficiente que considera a redução gradual da resistência do concreto ao longo do tempo, em decorrência de cargas permanentes, conhecido como efeito Rüsç (Bastos, 2023). A segurança será garantida se a condição a seguir for cumprida pela Equação 14:

$$\sigma_{cd,b,pil} \leq \sigma_{cd,b,lim,pil} \quad e \quad \sigma_{cd,b,est} \leq \sigma_{cd,b,lim,est} \quad (14)$$

4.10 Armadura principal

Blévot (1967) constatou, por meio de experimentos, que a força registrada na armadura principal era 15% maior do que a prevista pelos cálculos teóricos. Com base nisso, considera-se o valor de R_s aumentado em 15%, observando a Equação 15:

$$R_s = \frac{1,15N}{8} \cdot \frac{2e - a_p}{d} \quad (15)$$

A armadura principal no topo das estacas, é dada pela Equação 16:

$$A_s = \frac{R_{sd}}{\sigma_{sd}} = \frac{1,15N_d}{8df_{yd}} (2e - a_p) \quad (16)$$

5 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado através do desenvolvimento de um programa em VBA (*Visual Basic for Applications*) que combina o *Microsoft Excel* e o *AutoCAD* para automatizar o processo de dimensionamento de fundações, em blocos de fundação especiais com estacas.

Uma revisão bibliográfica e normativa foi levada em conta para fundamentar tecnicamente e teoricamente, recorrendo a livros, artigos científicos e normas de construção civil, com foco no dimensionamento de fundações. O propósito desta pesquisa foi desenvolver um instrumento prático e eficaz que configurasse automaticamente no *AutoCAD* os cálculos e desenhos de blocos de fundação com uma quantidade específica de estacas, diminuindo o tempo de processamento e minimizando falhas em projetos estruturais concebidos manualmente.

O estudo foi motivado pela necessidade de entender os fatores que influenciam o dimensionamento de fundações, tais como a capacidade de carga do solo, a performance das estacas, os fatores de segurança e os padrões para a determinação do concreto e da armadura. Esses princípios foram utilizados como fundamento para estabelecer os parâmetros de entrada e as fórmulas utilizadas no *software*.

5.1 Métodos Utilizados

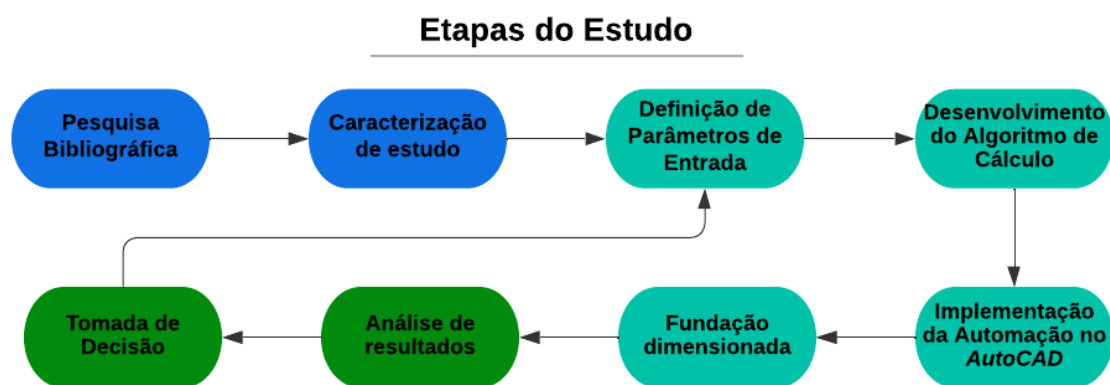
O processo de criação do programa utilizou uma metodologia quali-quantitativa, unindo a análise de dados numéricos a uma avaliação mais abrangente do processo de implementação. A parte quantitativa focou na elaboração e implementação de algoritmos matemáticos para o dimensionamento de fundações, assegurando a exatidão dos cálculos e a aderência às normas técnicas. Simultaneamente, a metodologia qualitativa possibilitou uma avaliação crítica da usabilidade e eficácia da interface criada em VBA, examinando como a incorporação de cálculos complexos e a criação de desenhos automáticos podem aprimorar o processo de design. Esta fusão de métodos normativos com a avaliação da experiência do usuário garantiu que o programa não só cumprisse os requisitos técnicos, mas também fosse adaptável e eficaz para o uso profissional.

O método utilizado para o desenvolvimento do programa foi prático e prático, concentrando-se na elaboração de uma resposta direta para os desafios que os engenheiros

enfrentam diariamente. O desenvolvimento do programa foi guiado pela necessidade de assegurar sua facilidade de uso, mesmo para profissionais sem muita experiência em programação. Isso possibilita que engenheiros estruturais calculem e desenhem fundações de maneira rápida e automatizada, usando dados de entrada simples e padronizados.

Com base nas informações obtidas na pesquisa, foi possível definir os procedimentos para o desenvolvimento do programa, que envolvem a integração do *Excel* com o *AutoCAD* por meio de VBA (*Visual Basic for Applications*). O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas, de acordo com a Figura 03:

Figura 03 – Etapas do estudo



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.2 Pesquisa bibliográfica

Antes de começar a desenvolver a ferramenta, foi conduzida uma investigação meticulosa em várias fontes de literatura e regulamentações. Foi crucial consultar normas brasileiras, como a NBR 6122 (que trata do Projeto e Execução de Fundações), para assegurar que o dimensionamento sugerido pelo programa de computador estivesse em harmonia com os padrões definidos na indústria da construção civil. Adicionalmente, foram examinados livros e artigos de escritores que tratavam de fundamentos, o que proporcionou uma sólida fundamentação teórica para a criação dos algoritmos de cálculo.

5.3 Definição dos Parâmetros de Entrada

A segunda etapa consistiu em identificar os parâmetros de entrada necessários que usuário precisaria fornecer para o dimensionamento das fundações. Para simplificar a interação, escolheu-se o *Excel* como a principal ferramenta para a inserção de dados. O *software* foi projetado para permitir ao usuário a inserção das seguintes informações:

- **Tipo de Estaca:** Para definir o material e o método de execução da estaca que influenciam a capacidade de carga e comportamento sob pressão.
- **Tipo de Solo:** A resistência do solo é crucial para calcular a profundidade e o número de estacas requeridos para aguentar a carga da estrutura.
- **Diâmetro do Fuste (cm):** A dimensão do fuste tem um impacto direto na sua capacidade de carga, uma vez que um fuste mais largo pode aguentar mais peso.
- **Comprimento da Estaca (m):** Este é o comprimento estipulado até o ponto em que a estaca atinge o solo, assegurando que ela alcance camadas com capacidade de carga apropriada, além de ter impactos na resistência à tensão e no atrito lateral.
- **Dimensões do pilar (cm):** As medidas do pilar são cruciais para estabelecer o tamanho do bloco de fundação e a distribuição da carga nas estacas.
- **Carga do Pilar NP (tf):** A carga que o pilar transmite ao bloco de fundação determina o número e o tamanho das estacas necessárias para suportar o peso total da estrutura.
- **Aço (mm) ≥ 8 :** O diâmetro do aço usado na armadura do bloco deve ser calculado conforme as tensões geradas no concreto, para garantir resistência ao esforço de tração.
- **Fck (kg/cm²):** A resistência característica do concreto à compressão é utilizada para dimensionar a estrutura de acordo com a capacidade de suportar cargas sem sofrer deformações significativas.
- **Aço CA:** O tipo de aço (como CA-50 ou CA-60) influencia a resistência da armadura, e deve ser compatível com o projeto estrutural para garantir a segurança da fundação.
- **Cobrimento (cm):** O cobrimento é a espessura de concreto que protege a armadura das estacas e do bloco contra a corrosão e outros danos. Um cobrimento adequado garante a durabilidade da estrutura.

5.4 Desenvolvimento do Algoritmo de Cálculo

Depois de inserir as informações no *Excel*, o *software* efetua os cálculos necessários para o dimensionamento do bloco de fundação e das estacas. Estes cálculos estão em conformidade com a NBR 6118 (Projetos de Estruturas de Concreto) e a NBR 6122 (Projetos de Fundações), assegurando que as fundações projetadas estejam em conformidade com os critérios de segurança estabelecidos pelas normas. Dentre as principais operações matemáticas realizadas estão:

- Cálculo da Capacidade de Carga das Estacas
- Dimensionamento do Bloco de Fundação
- Verificação do Número de Estacas
- Cálculo da Armadura de Aço

5.5 Implementação da Automação no AutoCAD

Após os cálculos serem realizados no *Excel*, o programa utiliza o VBA para transferir os resultados diretamente para o *AutoCAD*, onde o desenho da fundação é gerado automaticamente. O VBA foi programado para criar diferentes configurações de blocos de fundação, variando de duas a seis estacas, conforme os dados de entrada.

5.5.1 Geração do Bloco de Fundação

O VBA desenha automaticamente o bloco de fundação no *AutoCAD*, de acordo com as dimensões calculadas no *Excel*. O programa gera a geometria do bloco, considerando a sua área e espessura, e posiciona o pilar no centro do bloco.

5.5.2 Posicionamento das Estacas

Com base no número de estacas calculado, o VBA posiciona as estacas ao redor do bloco de fundação, distribuindo-as de forma simétrica para garantir uma distribuição equilibrada das cargas baseando-se na geometria pré-estabelecida.

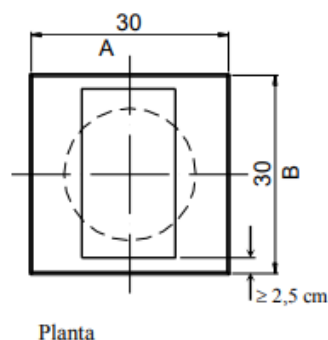
5.5.3 Geração de Vistas em Planta e Corte

Além da vista em planta, o VBA também gera cortes detalhados do bloco de fundação, mostrando a disposição das estacas e a armadura de aço (de forma simplificada). Isso facilita a análise técnica do projeto e permite que o engenheiro visualize os elementos estruturais envolvidos.

5.5.4 Modelos de dimensionamento

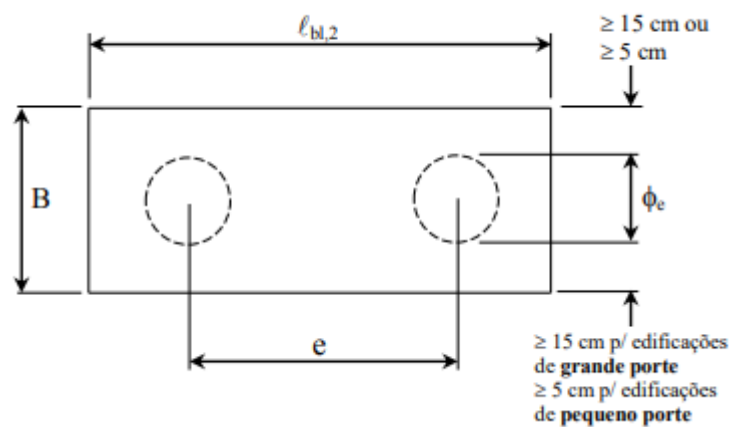
Ao se selecionar o tipo de fundação para uma estrutura, diversas opções se apresentam, sobretudo no que concerne aos blocos de coroamento com estacas. A literatura especializada oferece uma ampla diversidade de tipos, variando tanto em quantidade quanto na disposição das estacas. Diante disso, procedeu-se à escolha dos modelos que seriam utilizados nesta pesquisa, os quais estão apresentados a seguir, considerando sempre estacas em formato circular, como se observa nas Figuras 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11:

Figura 04 – Bloco sobre uma estaca



Fonte: (BASTOS, 2023).

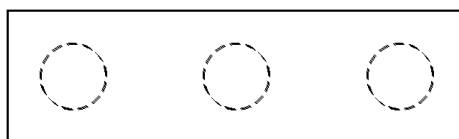
Figura 05 – Bloco sobre duas estacas



Fonte: (BASTOS, 2023).

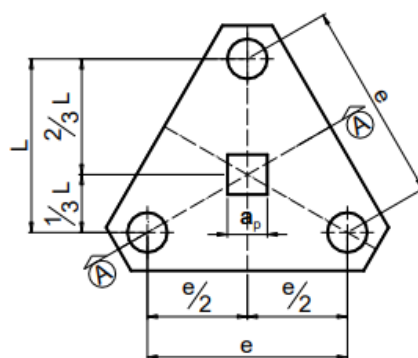
Para os blocos sobre três e quatro estacas foram escolhidos dois tipos:

Figura 06 – Bloco sobre três estacas (primeiro tipo)



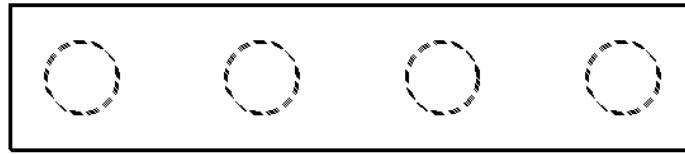
Fonte: (BASTOS, 2023).

Figura 07 – Bloco sobre três estacas (segundo tipo)



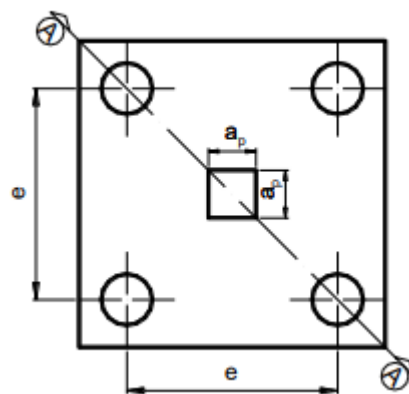
Fonte: (BASTOS, 2023).

Figura 08 – Blocos sobre quatro estacas (primeiro tipo)



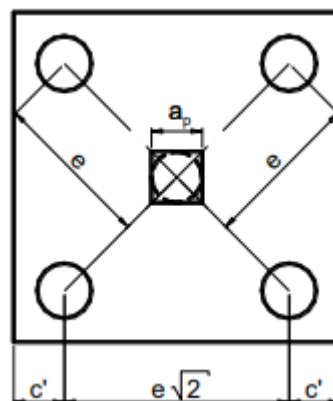
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 09 – Blocos sobre quatro estacas (segundo tipo)



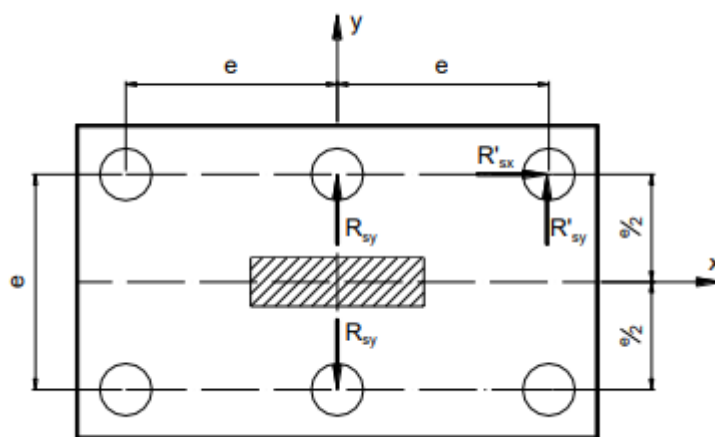
Fonte: (BASTOS, 2023).

Figura 10 – Blocos sobre cinco estacas



Fonte: (BASTOS, 2023).

Figura 11 – Blocos sobre seis estacas



Fonte: (BASTOS, 2023).

5.6 Análise dos Resultados

Depois de realizar os cálculos e criar os desenhos no *AutoCAD*, foi feita uma avaliação minuciosa dos resultados alcançados. Avaliamos a conformidade dos dados com os padrões técnicos e contrastamos os achados com exemplos disponíveis na literatura especializada. A finalidade desta avaliação foi assegurar a confiabilidade dos resultados do programa, em conformidade com as melhores práticas de engenharia de fundações. Nesta fase, analisamos as capacidades de carga das estacas, a conformidade das dimensões do bloco e a organização da armadura.

5.7 Tomada de Decisão

Com base nos resultados obtidos e na análise realizada, foram tomadas decisões sobre possíveis ajustes no programa e melhorias no algoritmo de cálculo. Esse processo de revisão contínua garantiu que o programa não apenas automatizasse as tarefas, mas também possibilitasse uma maior precisão e eficiência no dimensionamento das fundações. A decisão final incluiu a implementação de ajustes no *software* para garantir que a ferramenta fosse prática, robusta e adaptável às diversas situações encontradas em projetos de fundações.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa criado foi utilizado em variados cenários de dimensionamento de fundações para confirmar sua efetividade e exatidão no projeto e na criação automática de blocos com estacas. A seguir, apresentamos os resultados alcançados, ressaltando as circunstâncias em que a ferramenta demonstrou um bom rendimento e os aspectos que necessitaram de ajustes e aprimoramento.

6.1 Dados de Entrada

O menu principal da planilha é o espaço onde se insere os dados de entrada de acordo com as necessidades do dimensionamento da fundação, como se observa na Figura 12.

Figura 12 – Menu Principal da Ferramenta

Fonte: Autoria própria (2025).

6.2 Possibilidades presentes

O programa parametrizado desenvolvido em VBA (*Visual Basic for Applications*) no *Excel* possibilita o cálculo automatizado e a geração do desenho das fundações, com a variação do número de estacas entre duas e seis, conforme os dados de entrada fornecidos pelo usuário. Dessa forma, para testar a aplicação da ferramenta, torna-se viável a utilização de dados básicos e gerais para os dimensionamentos, conforme ilustrado no Quadro 03 a seguir:

Quadro 03 – Dados adotados para dimensionamento

Formato da estaca	Cravada
Tipo da estaca	Pré-moldada
Tipo de solo	Areia
Dimensões do pilar (cm)	40x50
Aço (mm)	10
Aço-CA	50
Fck (kg/cm²)	450
Cobrimento (cm)	10

Fonte: Autoria própria (2025).

Além das informações fornecidas, serão empregados parâmetros específicos para cada cenário, visando alterar o número de estações que resultam dos cálculos. Ademais, é importante salientar que, para tornar os cálculos mais simples, utilizamos valores médios para o Nps. A resistência na ponta requerida é de 8 e a resistência lateral é de 12. Os cenários podem ser vistos nas Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e Quadros 04, 05, 06, 07.

6.2.1 Primeiro Cenário: uma estaca

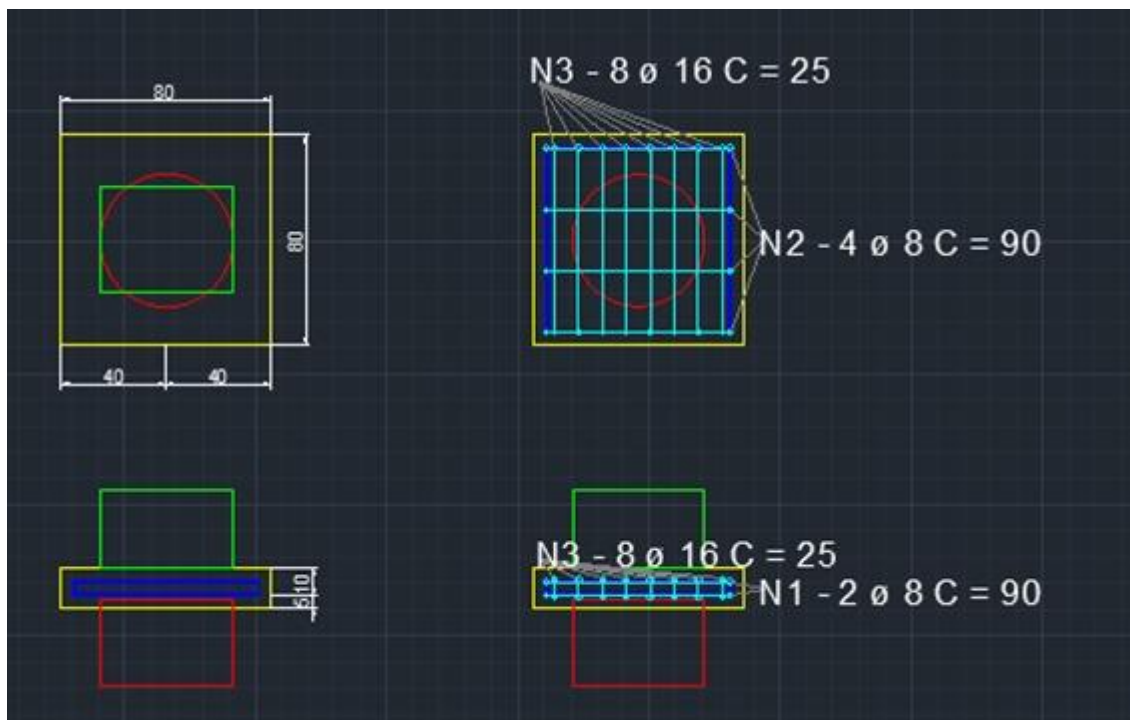
- Diâmetro: 30 cm
- Comprimento: 7 metros
- Carga no pilar: 30 tf
- Tipo de Solo: Areia

Quadro 04 – Parâmetros para uma estaca

Estacas	
Número de estacas	1
Carga admissível (tf)	58,00
Bloco	
Comprimento (cm)	80
Largura (cm)	80
Distância entre eixos (cm)	0
Armadura	
Verificação	10
As (cm ²)	32,2
As estribo (cm ²)	4,025
41 barras	10 mm
14 estribos	6,3 mm

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 13 – Desenho parametrizado para uma estaca.



Fonte: Autoria própria (2025).

6.2.2 Segundo Cenário: duas estacas

- Diâmetro: 30 cm
- Comprimento: 6 metros
- Carga no pilar: 30 tf
- Tipo de Solo: Areia

Quadro 05 – Parâmetros para duas estacas.

Estacas	
Número de estacas	2
Carga admissível (tf)	27,40

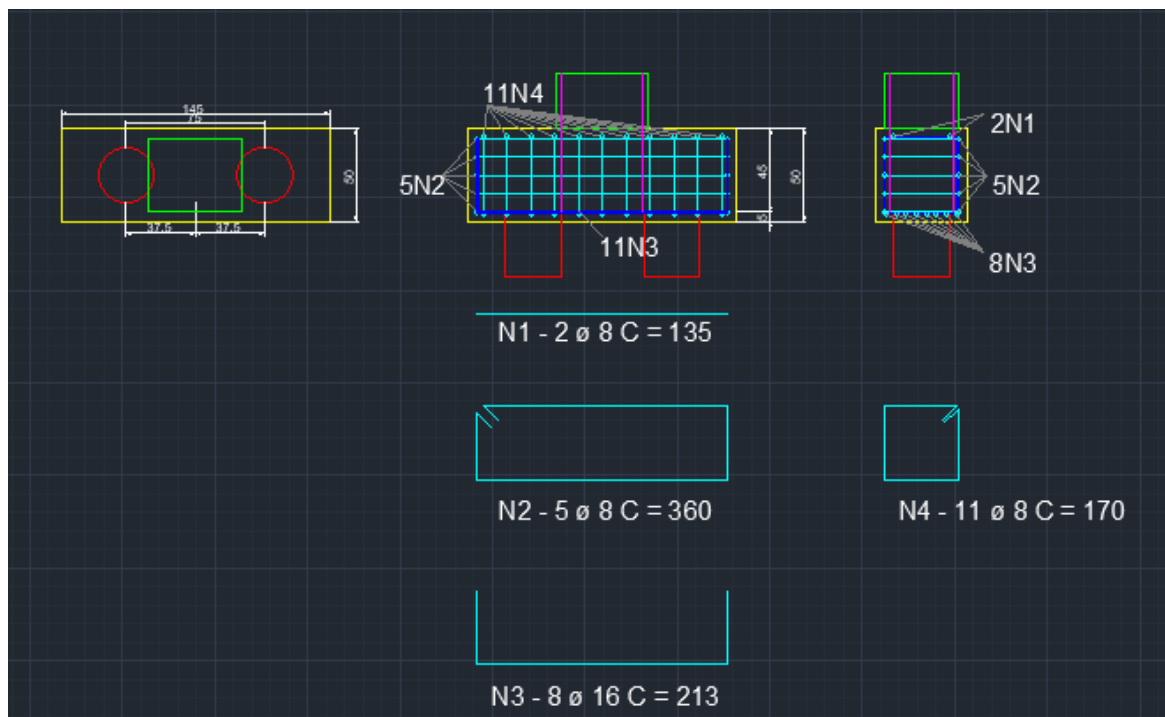
Bloco	
Comprimento (cm)	145
Largura (cm)	50
Distância entre eixos (cm)	75

Armadura	
Verificação	40
As (cm ²)	3,01875
As estribo (cm ²)	0,37734375

4 barras	10 mm
2 estribos	6,3 mm

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 14 – Desenho parametrizado para duas estacas.



Fonte: Autoria própria (2025).

6.2.3 Terceiro Cenário: três estacas

- Diâmetro: 30 cm
- Comprimento: 5 metros
- Carga no pilar: 40 tf
- Tipo de Solo: Argila

Quadro 06 – Parâmetros para três estacas.

Estacas	
Número de estacas	3
Carga admissível (tf)	19,82

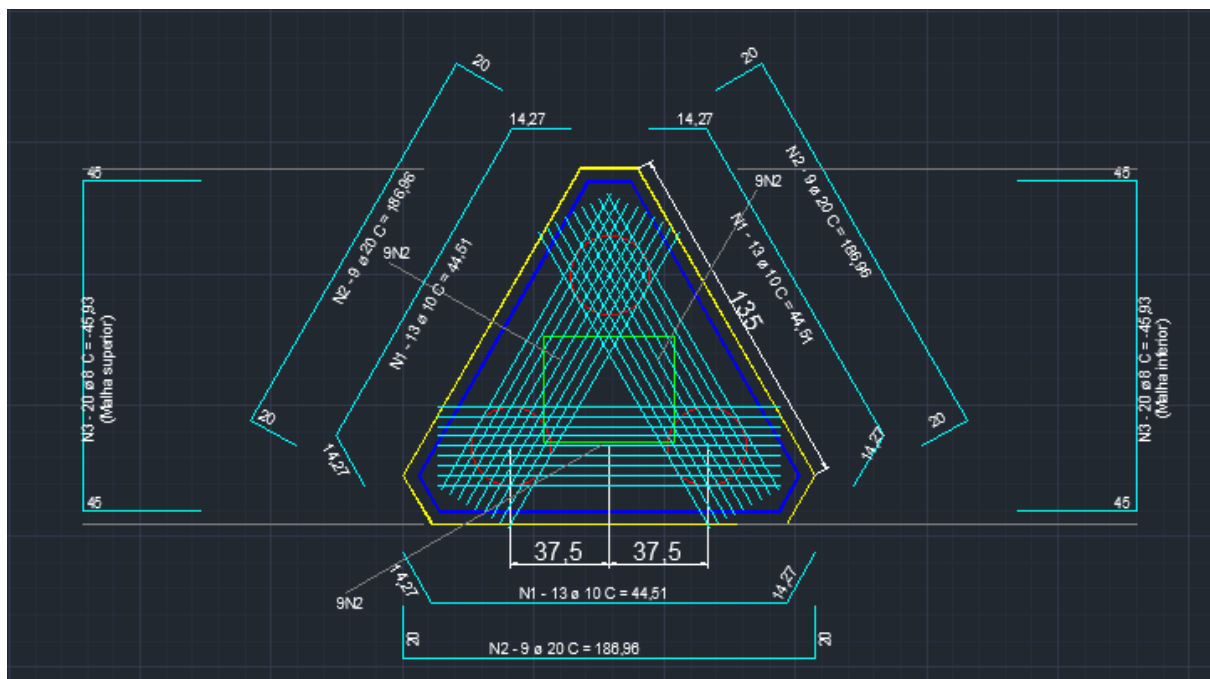
Bloco	
Comprimento (cm)	135
Largura (cm)	0
Distância entre eixos (cm)	75

Armadura	
Verificação	45
As (cm ²)	1,995686075
As estribo (cm ²)	0,249460759

9 barras	10 mm
2 estribos	6,3 mm

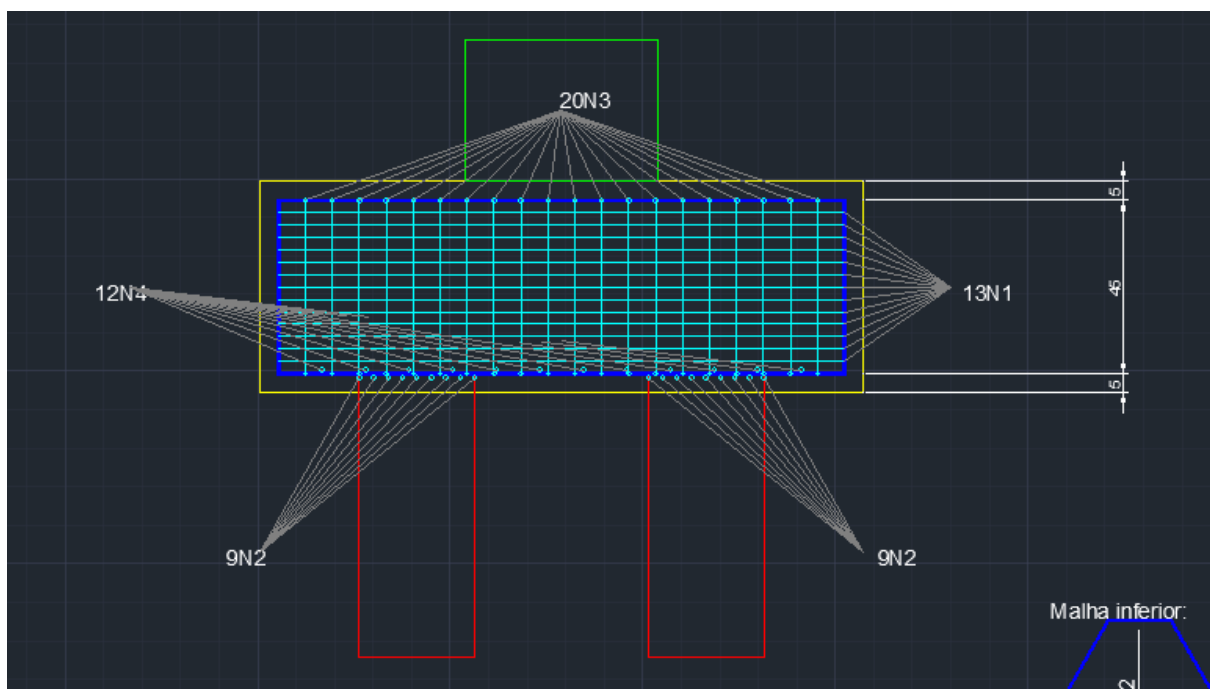
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 15 – Desenho parametrizado para três estacas (1).



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 16 – Desenho parametrizado para três estacas (2).



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 17 – Desenho parametrizado para três estacas (3).



Fonte: Autoria própria (2025).

6.2.4 Quarto Cenário: quatro estacas

- Diâmetro: 25 cm
- Comprimento: 5 metros
- Carga no pilar: 50 tf
- Tipo de Solo: Argila

Quadro 07 – Parâmetros para quatro estacas.

Estacas	
Número de estacas	4
Carga admissível (tf)	16,28

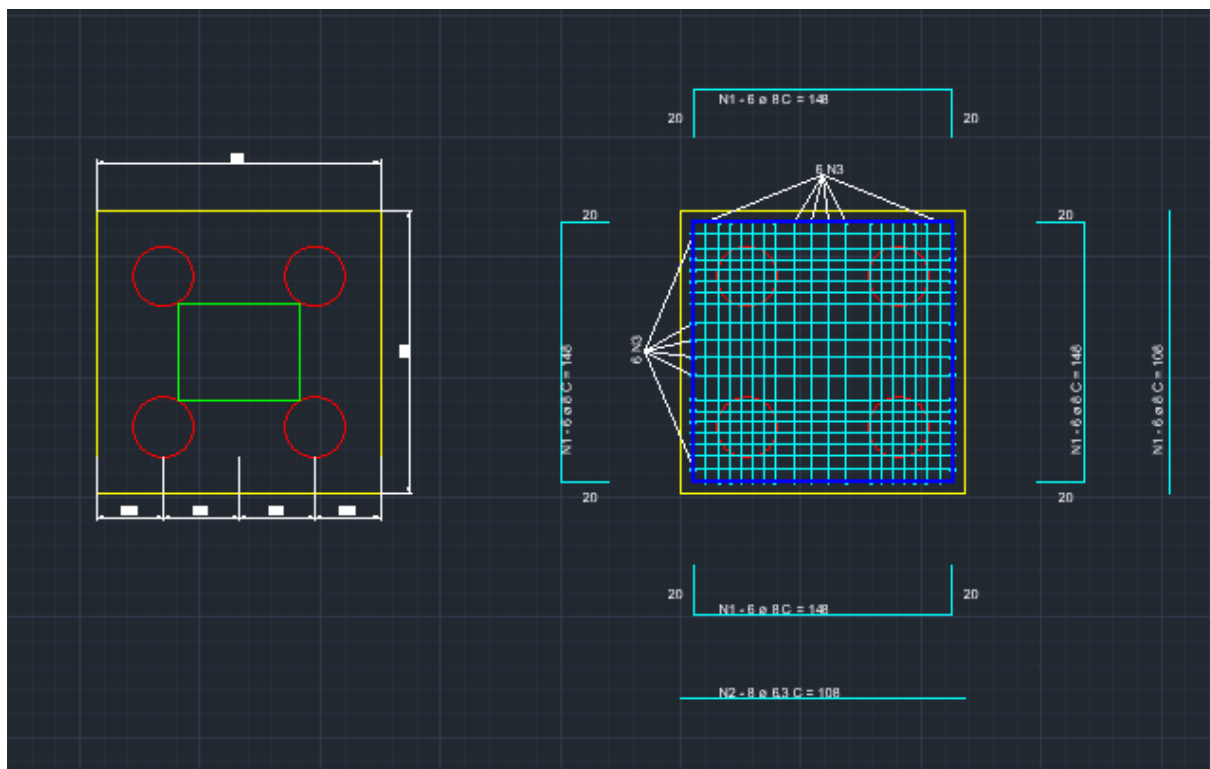
Bloco	
Comprimento (cm)	118
Largura (cm)	118
Distância entre eixos (cm)	63

Armadura	
Verificação	45
As (cm ²)	3,398888889
As estribo (cm ²)	0,424861111

10 barras	10 mm
2 estribos	6,3 mm

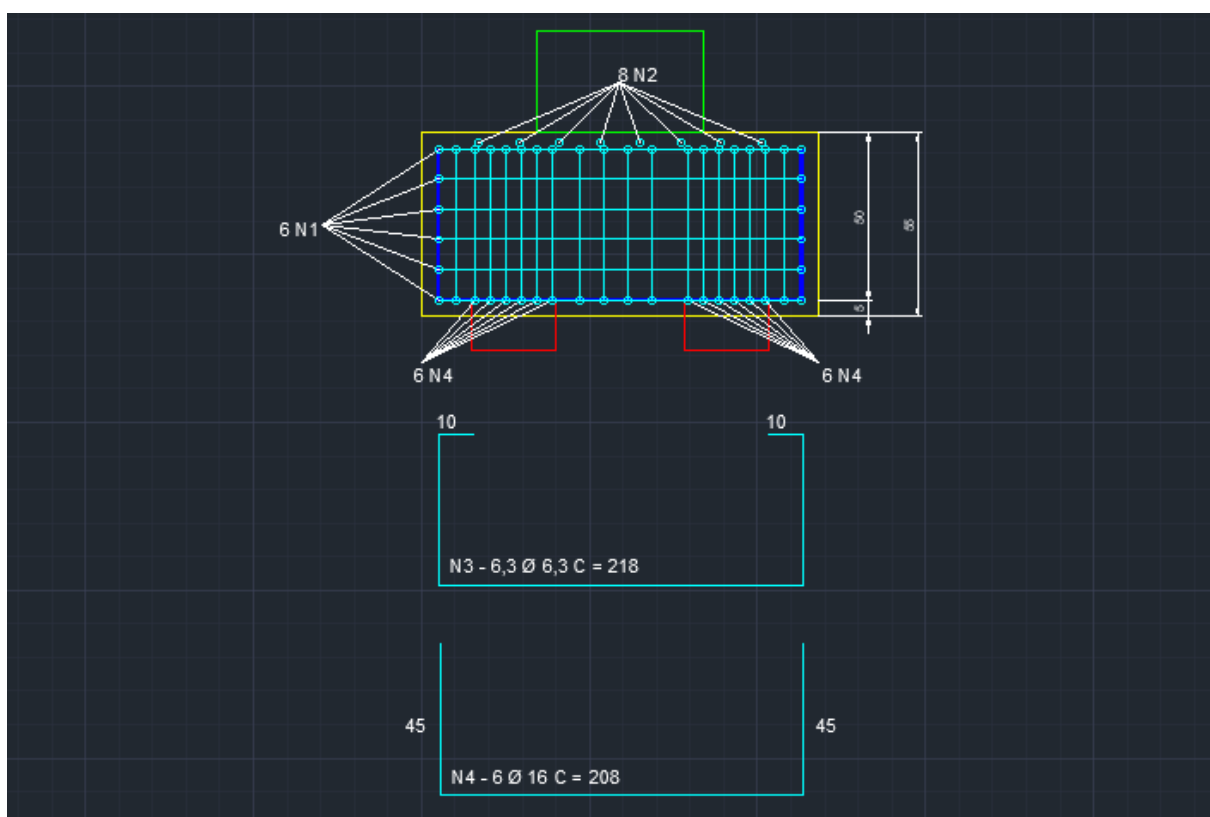
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 18 – Desenho parametrizado para quatro estacas (1).



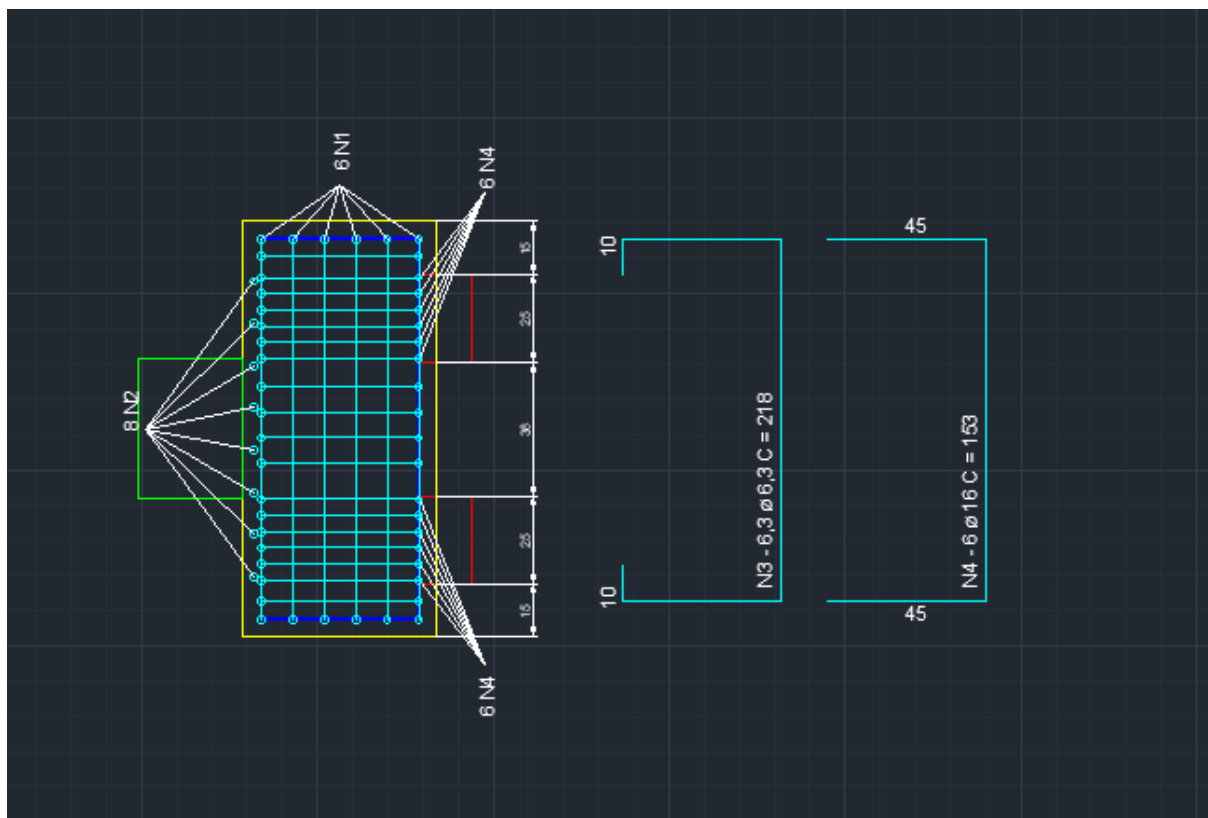
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 19 – Desenho parametrizado para quatro estacas (2).



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 20 – Desenho parametrizado para quatro estacas (3).



Fonte: Autoria própria (2025).

6.2.7 Análise de parâmetros

Vários parâmetros determinam a quantidade de estacas permitidas para assegurar a estabilidade estrutural. O diâmetro das estacas, a extensão das estacas, a carga aplicada ao pilar e as características do terreno são os elementos mais relevantes. Como se pode notar, estacas com diâmetro superior a 30 cm suportam mais peso devido à maior superfície de contato com o solo, o que possibilita a utilização de menos estacas. À medida que o diâmetro se limita (25 cm e 20 cm), a capacidade de carga da estaca diminui, necessitando de um maior número de estacas para distribuir a carga de forma apropriada.

Em relação ao comprimento das estacas, nota-se que estacas com mais de 7 metros de comprimento e que penetram mais profundamente no solo proporcionam uma resistência superior tanto na extremidade quanto na lateral. Estacas curtas (4 metros) têm menor resistência e demandam um aumento no número de estacas para compensar a capacidade reduzida.

Além disso, a carga no pilar é outro fator importante. À medida que a carga aumenta, como observado nos cenários (de 30 tf a 60 tf), é necessário ajustar o número de estacas para garantir que cada uma delas suporte adequadamente uma parte da força total. Por fim, quanto

ao solo, nota-se que solos arenosos apresentam maior resistência lateral e na ponta, permitindo o uso de menos estacas. Já solos argilosos, mais coesivos, mas com menor capacidade de suporte, especialmente sob cargas elevadas, exigem um número maior de estacas para garantir a segurança estrutural.

Dessa forma, o equilíbrio entre os parâmetros é essencial para otimizar o número de estacas e garantir a eficácia do dimensionamento.

6.3 Geração de Desenhos Automáticos no *AutoCAD*

Após o dimensionamento realizado no *Excel*, os desenhos gerados automaticamente no *AutoCAD* apresentaram resultados satisfatórios em termos de precisão e clareza. A disposição das estacas foi simetricamente organizada ao redor do bloco de fundação, como preconizado pela norma. A ferramenta gerou, tanto em planta quanto em corte, visualizações claras do bloco, estacas e armadura.

Contudo, ao examinar um caso onde seis estacas desejavam uma configuração assimétrica devido às limitações geométricas do projeto, o *software* teve problemas para ajustar o desenho à forma irregular do bloco. Isso apontou para a necessidade de adicionar mais flexibilidade ao algoritmo de distribuição das estacas, a fim de gerenciar configurações geométricas mais intrincadas.

6.4 Discussão sobre Tomada de Decisão

A partir dos resultados alcançados, foram tomadas decisões para aprimorar o programa, que incluíram modificações no projeto da altura do bloco de fundação para suportar cargas pesadas e a introdução de uma disposição mais flexível das estacas no *AutoCAD*. Essas alterações tinham como objetivo não só aprimorar a performance do programa, mas também assegurar sua capacidade de gerir uma variedade mais ampla de projetos reais, com condições de solo e carga que podem variar consideravelmente.

Ademais, a decisão requer modificações nos coeficientes de segurança, assegurando que o programa proporcione alternativas mais adequadas às particularidades do terreno, sem colocar em risco a segurança da estrutura.

6.5 Tempo de Execução

A duração de um processo é um dos elementos mais significativos para avaliar a eficácia de um sistema de ocupação. O desenvolvimento do programa parametrizado não teve apenas como meta a automatização, mas também a diminuição do tempo de concepção e execução do projeto, demonstrando maior rapidez e utilidade no contexto real da engenharia civil.

À vista disso, realizou-se uma medição do tempo nos quatro diferentes cenários, isto para demonstração da eficiência da rotina aplicada no VBA. Os profissionais podem levar horas para execução manual do dimensionamento e desenho no *AutoCAD*. O Quadro 08 apresenta esses resultados a seguir.

Quadro 08 – Tempo de execução automatizado

Número de Estacas	Tempo de Execução pelo Programa (inserção de dados + desenho parametrizado no <i>AutoCAD</i>)
1 estaca	2 minutos + 2 segundos
2 estacas	2 minutos + 5 segundos
3 estacas	2 minutos + 7 segundos
4 estacas	2 minutos + 10 segundos

Fonte: Autoria própria (2025).

Ao se analisar os dados dispostos no quadro acima, percebe-se um ganho expressivo de tempo com a utilização do programa. A rotina proporciona a execução do projeto em poucos segundos. Deste modo, a aplicação de ferramentas computacionais no dimensionamento de blocos com estacas revela-se como uma alternativa com ampla vantagem na construção civil, permitindo que o profissional direcione sua atenção para outras etapas estratégicas do projeto e da obra como um todo, caso necessário.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um programa para calcular blocos de fundação com estacas se mostrou uma opção eficaz e precisa para automatizar os cálculos estruturais durante a fase de desenvolvimento do projeto de fundações. Assim, pode-se dizer que o uso de rotinas parametrizadas durante a elaboração do projeto não apenas prolonga o tempo de dimensionamento, mas também previne falhas manuais, assegurando maior precisão nos resultados.

Ademais, a análise do tempo de execução revelou uma diminuição notável no esforço exigido para efetuar os cálculos. O programa executa as mesmas tarefas manuais em poucos segundos, resultando numa significativa economia de tempo.

Para aprimoramentos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um módulo que permita ao usuário determinar a localização das estações de maneira independente, seja por meio da digitação manual de coordenadas ou por meio de um algoritmo de distribuição automática. Ademais, a ligação a coleções matemáticas avançadas pode melhorar o cálculo estrutural para tais circunstâncias.

Assim, esta pesquisa ressalta a importância do uso de tecnologias digitais no setor de construção, por meio da automatização de processos. Isso evidencia o poder da programação aplicada aos cálculos no campo da engenharia. Para futuras pesquisas, recomenda-se a expansão do programa para abranger outros tipos de fundações, além da integração com diversas plataformas de modelagem estrutural, ampliando ainda mais suas utilidades e vantagens para o setor.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.
- ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, Brasil, 2019.
- ALARCÃO, K. L. *et al.* **Utilização de planilha em Visual Basic Application: VBA para análise de dados de pavimentos urbanos**. Conjecturas, ISSN: 1657-5830, Vol. 22, Nº 14, p. 493–512. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.53660/CONJ-1764-2K61>>. Acesso em: 01 set. 2024.
- ALMEIDA, L. C. de. **Blocos de fundação**. Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Notas de aula. UNICAMP. 2004. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Blocos%20sobre%20estacas/Blocos_sobre_estacas.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.
- ALTHAUS, C. *et al.* **Aprendizagem Ativa: Desenvolvimento de Programa em VBA para o projeto de Eficiência Energética**. Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC). Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/27161>>. Acesso em: 01 set. 2024.
- ALVES, H. V.; HIROSUE, F. H. **Proposta de Automatização do Método Leonês para Cálculo da Tarifa do Transporte Público Urbano em Visual Basic for Applications (VBA)**. RCT – Revista de Ciência e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar) – São Carlos, SP – Brazil. 2021. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rct/article/view/7075/3399>>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- AROUCHA JUNIOR, J. A. M. *et al.* **Automação aplicada na engenharia civil: a otimização de softwares e sua aplicação no campo da construção civil**. Revista Caderno Pedagógico – Studies Publicações e Editora Ltda., Curitiba, v.21, n.1, p.299. 2024. Disponível em: <<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/2168/1778>>. Acesso em: 11 ago. 2024.
- BASTOS, P. S. **Blocos de Fundação**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Estruturas de Concreto III. Baurú, SP, 2023. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf>>. Acesso em: 20 ago 2024.
- BLEVOT, J.; FREMY, R. **Semelles sur pieux**. Annales de I.T.B.T.P.(230), 1967.
- CABRAL, J. M. *et al.* **Estudo Comparativo sobre o Dimensionamento de Fundações em Diferentes Cotas de Assentamento**. Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 14, n. 4, p. 23-33. 2022. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20887>>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- CAPELLI, A. **Automação industrial: controle de movimento e processos contínuos**. São Paulo: Érica, 2006.
- COSTA, D. H. D. **Uso de Programação VBA na Parametrização de Projetos no AutoCAD**

para Cortinas de Estacas Atirantadas. Trabalho de Conclusão de Curso – UFERSA. 2024. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bc561ed2-c80e-4e68-9189-27c690cef4a7/content>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. (1978). **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT.** COBRAMSEF, 6., p 45 - 53. Rio de Janeiro.

DEGRANDI, L. A.; CARACINI, L. G. **Um Estudo de Caso Sobre Automatização nas Atividades do PCP com Scripts SAP e VBA.** Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec). Taquaritinga, SP, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/inf.v20i2.1742>>. Acesso em: 26 ago.2024.

DUTRA, B. T. **Desenvolvimento de planilha eletrônica para dimensionamento de blocos rígidos de fundação sobre estacas.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – UFSM. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23795?show=full>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

EIRAS, C. V. S.; SILVA, L. dos S. PIRES, R. C. S. **Processos de Automação Residencial na Construção Civil e suas Diretrizes nas Etapas Construtivas.** Construção Civil: Engenharia e Inovação - Vol. 5. Editora Epitaya. ISBN: 978-65-87809-72-4. Rio de Janeiro, 2023, p. 182. Disponível em: <<https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/730/597>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

FALCONI, F. et al. **Fundações Teoria e Prática.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

FELIX, G. E. da S. **Desenvolvimento de Planilha Eletrônica em VBA para Dimensionamento de Estrutura de Madeira.** Trabalho Final - Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. Mossoró, RN, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/1161c9ed-5856-4d9d-878d-c77119b294eb/content>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

FERNANDES, K. **A Evolução dos Sistemas Aplicados à Automação na Manufatura.** Trabalho de Conclusão de Curso. Anhanguera. Osasco, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/31513/1/KELLY_FERNANDES_ATIVIDADE3.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2024.

FILIPPO FILHO, G. **Automação de Processos e de Sistemas.** Érica, 2014.

G. JUNIOR, L. M. FERREIRA, F. C. L. GOMES, L. M. **Electrodynamics: Um aplicativo em linguagem Visual Basic for Applications voltado para o ensino de Eletrodinâmica no ensino médio.** Scientia Plena. Disponível em: <<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.084818>>. Acesso em 14 ago. 2024.

GROOVER, M. P. **Fundamentos da Moderna Manufatura.** Versão SI - Vol. 1, 5ª edição. LTC, 2017.

JOPPERT JÚNIOR, I. de O. **Fundações e contenções de edifícios.** Pini, São Paulo, 2007.

KALWAR, M. A. *et al.* **Automation of Order Costing Analysis by Using Visual Basic for**

Applications in Microsoft Excel. Journal of Applied Research in Technology & Engineering. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.4995/jarte.2022.16390>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MACHADO, C.P. **Edifícios de Concreto Armado - Fundações.** São Paulo, FDTE/EPUSP, 1985.

MARCELINO, T. C. dos S.; AZEVEDO, M. S.; CALENZANI, A. F. G. **Determinação da Temperatura Crítica em Pilares de Aço em Situação de Incêndio.** Construmetal 2023. Disponível em: <https://cdn-grifa.s3.amazonaws.com/construmetal/2023/10/02164240/28_Construmetal2023_Contribuicao_o_Tecnocientifica_Determinacao-da-temperatura-critica-em-pilares-de-aco.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

OLIVEIRA, A. S. **Controle e Automação.** 1ª edição. São Paulo, Editora LT, 2012.

OLIVEIRA, T. H. G. **Transformação da engenharia civil através da inteligência artificial: Um novo horizonte de inovação.** Nativa, v. 13, n. 1. 2024. Disponível em: <<https://www.revistanativa.com.br/index.php/nativa/article/view/515/808>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, N. dos S. SILVA, E. A. B da. **Plataformas interativas de biofísica para os cursos da área da saúde.** Arq. Med Hosp. Fac. Cienc. Med Santa Casa. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.26432/1809-3019.2021.66.027>>. Acesso em: 01 set. 2024.

PESSOA, M. S. P. **Introdução à Automação Para Cursos de Engenharia e Gestão.** Editora: Elsevier; Edição: 1ª, 2014.

SANTOS, F. G. dos. **A Construção de uma Ferramenta em VBA para resolução de Problemas Básicos da Matemática Financeira.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Matemática. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Cuité, PB, 2023. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/30973/FELIPE%20GALDINO%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20LICENCIATURA%20EM%20MATEM%C3%81TICA%20CES%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 set. 2024.

SANTOS, R. S. et al. **Realidade Aumentada no Processo de Ensino-Aprendizagem da Topografia em Projeto de Engenharia Civil.** III Congresso sobre Tecnologias na Educação (Ctrl + E 2018). Cultura Maker na Escola. Fortaleza - CE, 2018. Disponível em: <https://ceur-ws.org/Vol-2185/CtrlE_2018_paper_78.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SILVA, I. L. et al. **Capítulo 6: Construção e gerenciamento de projetos utilizando a plataforma BIM: A metodologia BIM e suas tecnologias na construção civil.** Tópicos em construção civil: Tecnologia, inovação e metodologias aplicadas. Editora Poisson, 2021. Dispon. em: <https://concifa.fametro.edu.br/storage/2022/10/topicos_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SILVA, K. B. **Desenvolvimento de uma Ferramenta em Ambiente Excel para Projeto de**

Lajes Nervuradas Unidirecionais com Fôrmas Plásticas Reutilizáveis. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. Pombal, PB, 2022. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/27115>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SOUSA, M. A. P. *et al.* **Automatização de projetos executivos de fundações superficiais com auxílio da ferramenta VBA nos softwares MS Excel e AutoCAD.** XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, COBRAMSEG, Salvador, Bahia. 2019.

SOUSA, P. H. P. **Desenvolvimento de Aplicativo de Dimensionamento de Estruturas de Madeira Segundo a Norma NBR 7190-1/2022.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado (Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas. Palmas, TO, 2023. Disponível em: <<https://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca/Acervo/trabalhos-academicos/engenharia-civil/2023/pedro-henrique-pinheiro-de-sousa.pdf>>. Acesso em 25 ago. 2024.

SOUZA, R. K. Q. *et al.* Verificação das tensões nodais em blocos sobre estacas.

SOUZA, Y. C. dos S. **Criação de Planilhas Orçamentárias Dinâmicas Através do VBA Destinada à Orçamento da Construção Civil.** Trabalho de conclusão de curso para Bacharel em Engenharia Química. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Mossoró, RN, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/c74cacc1-d68b-46eb-b508-c7fec670a1c3/content>>. Acesso em 26 ago. 2024.

SROCZYNSKI, L. L. P.; SANTOS, B. R. **Utilização do Software Excel com a Ferramenta VBA na Previsão da Capacidade de Carga Utilizando Métodos Semi-empíricos em Fundações do Tipo Estaca.** UNIFASIPE Centro Universitário, Engenharia Civil. 2020. Disponível em: <<http://104.207.146.252:8080/xmlui/handle/123456789/371>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

THOMAS, G. **Digital transformation and the role of automation.** Journal of Information Technology Management, v. 31, n. 3, p. 1-10, 2020.

VENANZI, D.; SILVA, O. **Introdução à Engenharia de Produção - Conceitos e Casos Práticos.** LTC, 2016.

VELASCO, D. C. R. CARVALHO, A. L. V. MATIAS, I. de O. **Criação e Distribuição de Documentos: Proposta de Utilização do Visual Basic for Applications (VBA) para Automatização de Tarefas.** International Scientific Journal –ISSN: 1679-9844Nº 3, volume 16, article nº 07, p. 129-143, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.6020/1679-9844/v16n3a7>>. Acesso em: 01 set. 2024.