



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

ANA MARIA RODRIGUES BARBOSA

**FUNDAÇÃO INTELIGENTE: UM CHATBOT ESPECIALIZADO PARA APOIO
TÉCNICO EM ENGENHARIA CIVIL**

PALMAS

2025

ANA MARIA RODRIGUES BARBOSA

**FUNDAÇÃO INTELIGENTE: UM CHATBOT ESPECIALIZADO PARA APOIO
TÉCNICO EM ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Flávio da Silva Ornelas
Coorientador: Prof. Me. Ricardo Loureiro Soares

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B238f Barbosa, Ana Maria Rodrigues
 Fundação inteligente: um chatbot especializado para apoio
 técnico em engenharia civil / Ana Maria Rodrigues Barbosa. –
 Palmas, TO, 2025.
 56 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Flávio da Silva Ornelas
Coorientador: Me. Ricardo Loureiro Soares

1. Inteligência artificial. 2. Fundações. 3. Chatbot. I. Ornelas,
Flávio da Silva. II. Soares, Ricardo Loureiro. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANA MARIA RODRIGUES BARBOSA

FUNDAÇÃO INTELIGENTE: UM CHATBOT ESPECIALIZADO PARA APOIO TÉCNICO EM ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 01/08/2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente



FLAVIO DA SILVA ORNELAS

Data: 31/07/2025 08:29:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio da Silva Ornelas
Orientador

Documento assinado digitalmente



EVANDRO SCHMITT

Data: 01/08/2025 09:39:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Evandro Schmitt

Documento assinado digitalmente



RICARDO LOUREIRO SOARES

Data: 31/07/2025 21:46:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Ricardo Soares
Coorientador

Dedico este trabalho aos que vieram antes de mim: meu avós, que hoje são as estrelas mais bonitas do céu; meus tios, que cuidam de mim como se eu fosse filha; e, principalmente, meus pais, que, debaixo de muito sol, me fizeram chegar até aqui na sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Flávio Ornelas, pela orientação segura e constante ao longo dessa jornada.

Ao meu coorientador Prof. Me. Ricardo Loureiro Soares, que me deu luz e clareza especialmente na parte da tecnologia.

À minha família, que sempre acreditou em mim e esteve ao meu lado com amor, paciência e incentivo nos momentos mais desafiadores.

Sem vocês, essa conquista não seria possível.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo o desenvolvimento de um chatbot inteligente, baseado no modelo de linguagem Llama 2, para atuar como uma ferramenta de apoio técnico na área de fundações da engenharia civil. A proposta visa auxiliar profissionais e estudantes, fornecendo respostas confiáveis e imediatas para dúvidas técnicas recorrentes, com foco em todos os tipos de fundações utilizados na construção civil, incluindo fundações rasas (como sapatas, radier e blocos de fundação) e fundações profundas (como estacas escavadas, hélice contínua e strauss). O sistema será estruturado como uma consultoria virtual, oferecendo respostas fundamentadas nas normas técnicas brasileiras vigentes, especialmente a NBR 6122:2019. Utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), o chatbot será capaz de interpretar perguntas formuladas em linguagem natural e fornecer respostas claras, coerentes e tecnicamente embasadas. O trabalho apresenta todo o processo de desenvolvimento da ferramenta, a estrutura computacional adotada, os critérios utilizados para validação das respostas e os testes aplicados para avaliar sua eficiência como suporte técnico na área de fundações.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Fundações. Chatbot.

ABSTRACT

This undergraduate thesis aims to develop an intelligent chatbot based on the Llama 2 language model, designed to serve as a technical support tool in the field of foundations in civil engineering. The proposal seeks to assist professionals and students by providing reliable and immediate answers to recurring technical questions, with a focus on all types of foundations used in construction, including shallow foundations (such as footings, raft slabs, and foundation blocks) and deep foundations (such as bored piles, continuous flight auger piles, and Strauss piles). The system will be structured as a virtual consultancy, offering responses grounded in current Brazilian technical standards, especially NBR 6122:2019. Using Natural Language Processing (NLP) techniques, the chatbot will be capable of interpreting questions formulated in natural language and providing clear, coherent, and technically accurate answers. This work presents the entire development process of the tool, the adopted computational architecture, the criteria used for response validation, and the tests conducted to evaluate its effectiveness as a technical support resource in the field of foundations.

Keywords: Artificial intelligence. Foundations. Chatboot.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causa e efeito de erros em projeto de fundação.....	31
---	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	18
Figura 2	19
Figura 3	20
Figura 4	21
Figura 5	22
Figura 6	23
Figura 7	25
Figura 8	26
Figura 9	27
Figura 10	35
Figura 11	40
Figura 12	41
Figura 13	42
Figura 14	48
Figura 15	48
Figura 16	49
Figura 17	50
Figura 18	51

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
IA	Inteligência Artificial
PLN	Processamento de Linguagem Natural

LISTA DE ACRÔNIMOS

ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Computer
-------	--

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Fundações	16
2.1.1	Fundações Rasas	16
2.1.1.1	Sapatas	16
2.1.1.1.1	Sapata Isolada	16
2.1.1.1.2	Sapata Corrida	17
2.1.1.1.3	Sapata Associada.....	18
2.1.1.1.4	Sapata Alavancada	19
2.1.1.2	Blocos de Fundação	20
2.1.1.3	Radier	21
2.1.2	Fundações Profundas ..	22
2.1.2.1	Estacas	23
2.1.2.1.1	Estaca Escavada	23
2.1.2.1.2	Estaca Hélice Contínua	25
2.1.2.1.3	Estaca Strauss	26
2.1.3	Normas Técnicas	27
2.1.4	Desafios nos Projetos de Fundações	27
2.1.5	Riscos Associados a Falhas de Fundação	29
2.2	Inteligência Artificial	31
2.2.1	O Surgimento da Inteligência Artificial	31
2.2.2	O Surgimento da IA na Indústria da Construção Civil	31
2.2.3	Chatbots: Definição e Uso	32

2.2.4	O Modelo de Linguagem Llama 2 e sua Aplicação neste Trabalho	33
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
3.1	Pesquisa Bibliográfica	35
3.2	Desenvolvimento do chatbot.....	36
3.2.1	Estrutura do projeto	36
3.2.2	Configuração do ambiente	37
3.2.3	Interface do Usuário (Front-end)	38
3.2.4	Backend e Processamento de Linguagem Natural	42
3.2.5	Funcionalidades Avançadas	43
3.2.6	Justificativa das Escolhas Técnicas	44
4	RESULTADOS	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil enfrenta desafios constantes no que diz respeito à padronização, segurança e conformidade técnica dos projetos, especialmente quando se trata das fundações, elementos essenciais para a estabilidade das edificações. No contexto de fundações, é comum que profissionais e estudantes encontrem dificuldades na correta interpretação e aplicação das normas técnicas, bem como na escolha da solução mais adequada diante das características do solo e das cargas envolvidas.

Em muitos casos, essas dúvidas técnicas surgem no cotidiano da prática profissional ou acadêmica e exigem consultas rápidas a fontes seguras, como normas da ABNT e literatura especializada. No entanto, esse processo nem sempre é direto, podendo demandar tempo para localizar e interpretar as informações pertinentes. Dessa forma, ferramentas que reúnem o conhecimento técnico de maneira clara e acessível podem tornar a tomada de decisão mais eficiente e segura.

Nesse cenário, a inteligência artificial (IA) surge como uma aliada estratégica, oferecendo novas possibilidades de acesso à informação técnica de forma ágil, padronizada e confiável. A utilização de modelos de linguagem natural permite a criação de sistemas inteligentes, como chatbots, capazes de compreender perguntas formuladas em linguagem cotidiana e fornecer respostas fundamentadas em normas e literatura especializada.

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver um chatbot baseado no modelo de linguagem Llama 2, voltado à consultoria técnica em fundações rasas e profundas, com foco nos tipos mais utilizados em Palmas/TO. A ferramenta proposta busca auxiliar profissionais e estudantes com respostas rápidas, claras e fundamentadas, contribuindo para a qualidade dos projetos de fundações e para decisões de engenharia mais seguras e eficientes.

Além de sua utilidade como suporte técnico, o chatbot configura uma aplicação real da inteligência artificial generativa no campo da engenharia civil, ilustrando como tecnologias linguísticas podem ser moldadas para contextos especializados. Essa proposta combina avanço tecnológico com a rotina profissional, favorecendo a aproximação entre engenharia e TI e estimulando a criação de soluções mais direcionadas e democráticas no setor da construção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O dimensionamento de fundações é um processo crítico na engenharia civil que exige conhecimento técnico e domínio das normas da engenharia civil. Dúvidas recorrentes sobre sua aplicação podem dificultar a tomada de decisões seguras e eficientes. Diante deste cenário, a utilização de um chatbot baseado em inteligência artificial pode ser utilizado como ferramenta de apoio para esclarecer dúvidas técnicas relacionadas a fundações rasas e profundas na engenharia civil.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica pela necessidade de inovar e modernizar as práticas de engenharia civil, proporcionando ferramentas que aumentem a eficiência, precisão e segurança dos projetos estruturais. Ao explorar o potencial dos chatbots baseados em inteligência artificial, este estudo pretende contribuir para a evolução da engenharia civil, oferecendo uma solução prática e eficaz para um problema complexo e recorrente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver e validar um chatbot baseado em inteligência artificial capaz de atuar como ferramenta de apoio técnico na resolução de dúvidas relacionadas a fundações rasas e profundas, com base em normas técnicas e referências bibliográficas da engenharia civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Realizar uma revisão bibliográfica das principais normas técnicas e referências especializadas relacionadas a fundações rasas e profundas, com foco em sapatas, radier, blocos de fundação e estacas.
- b. Estudar e selecionar a arquitetura do modelo de linguagem LLaMA 2 para a implementação do chatbot e desenvolvê-lo utilizando técnicas de processamento de linguagem natural (PLN) para interpretar e responder dúvidas técnicas sobre fundações rasas e profundas
- c. Treinar o chatbot com base em conteúdos normativos, garantindo a precisão e a confiabilidade das respostas fornecidas.
- d. Testar o chatbot com perguntas reais, simuladas ou coletadas de profissionais, para avaliar se as respostas são corretas, claras e úteis. Caso necessário, refinar o treinamento ajustando os dados ou parâmetros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fundações

2.1.1 Fundações Rasas

De acordo com a NBR 6122:2022, fundações rasas são aquelas em que a profundidade de assentamento é pequena em relação às suas dimensões horizontais. A norma define fundações rasas da seguinte forma: "elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada." (ABNT NBR 6122:2022, p. 5).

As fundações rasas são divididas em:

2.1.1.1 Sapatas

A NBR 6122 (2022, p. 8) também afirma que sapatas são um "elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim."

Temos quatro tipos de sapatas, são elas:

2.1.1.1.1 Sapata Isolada

É um tipo de fundação rasa que consiste em uma base de concreto armado, projetada para suportar uma única coluna ou pilar. É uma das formas mais comuns de fundação utilizada em obras de pequeno a médio porte, devido à sua simplicidade e eficiência, podendo ser quadrada, retangular ou circular, dependendo das necessidades estruturais e do formato da coluna que está suportando. Construída em concreto armado proporcionando uma resistência adequada para suportar as cargas da estrutura, isto é, o peso da edificação é transmitido para as colunas, que por sua vez, transferem o peso para as sapatas que distribuem para o solo.

As sapatas isoladas apresentam várias vantagens significativas em projetos de engenharia civil. A simplicidade de construção é uma das suas principais características, permitindo uma execução rápida e eficiente, o que resulta em economia de tempo e recursos. Além disso, são soluções econômicas devido ao menor consumo de materiais e à necessidade reduzida de mão de obra especializada. A versatilidade das sapatas isoladas permite sua aplicação em uma ampla gama de construções, desde

pequenas edificações residenciais até projetos comerciais de médio porte. Outro benefício importante é a capacidade de distribuir a carga de maneira eficaz para o solo, garantindo estabilidade e segurança para estruturas de carga moderada.

Figura 1 – Anatomia da execução de uma sapata isolada



Fonte: Fundações em Sapatas Isoladas (2000, p. 13).

2.1.1.2 Sapata Corrida

É um tipo de fundação rasa que se estende ao longo de uma linha contínua, suportando uma parede ou uma série de colunas alinhadas. Este tipo de sapata é frequentemente utilizado em estruturas lineares, como paredes de alvenaria, muros de arrimo, e fundações para edifícios com várias colunas em uma linha. Geralmente longa e estreita, com uma seção transversal constante ou variável. Pode ter uma base reta ou em degraus, dependendo das condições do solo e das cargas aplicadas.

A sapata corrida oferece várias vantagens que a tornam uma escolha eficiente para muitos tipos de construção. Uma de suas principais vantagens é a capacidade de distribuir uniformemente as cargas ao longo de sua extensão, o que reduz a possibilidade de recalques diferenciais, especialmente em solos com variações na capacidade de suporte. Esse tipo de fundação é particularmente eficiente para suportar cargas distribuídas ao longo de uma linha, como em paredes portantes, resultando em uma distribuição mais homogênea das tensões no solo. Além disso, a construção de

sapatas corridas é relativamente simples e rápida, especialmente em terrenos nivelados, facilitando a colocação do concreto e da armadura. A forma contínua da sapata corrida também pode resultar em economia de materiais, pois reduz a quantidade de formas e armaduras necessárias em comparação com múltiplas sapatas isoladas.

Figura 2 – Sapata Corrida e Sapata Isolada



Fonte: LinkedIn – Felipe Maeda (2020).

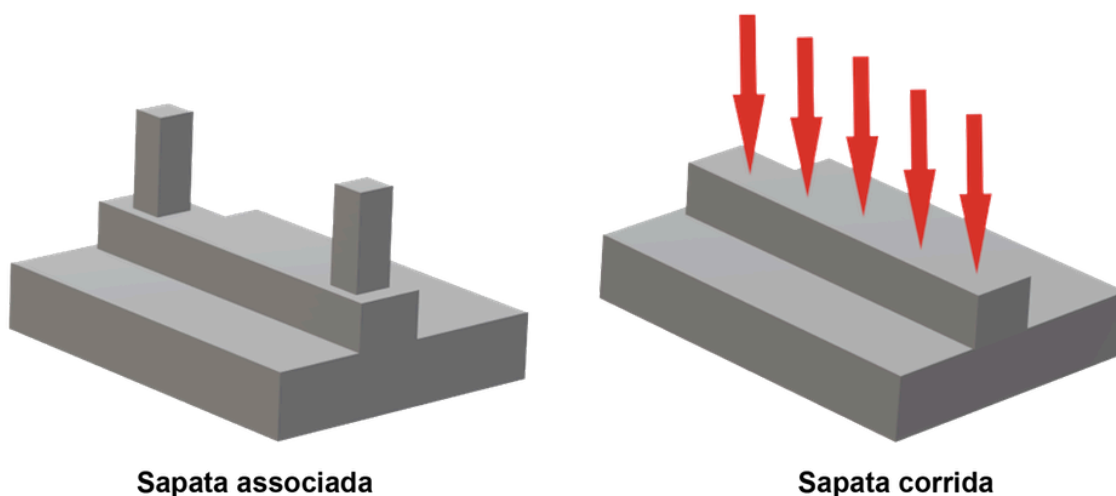
2.1.1.3 Sapata Associada

É um tipo de fundação rasa que conecta duas ou mais colunas ou pilares próximos, formando uma base comum para suportar as cargas estruturais. Este tipo de sapata é utilizado quando as colunas estão próximas uma da outra a ponto de as sapatas isoladas interferirem entre si ou quando uma coluna está sujeita a uma carga excêntrica que pode causar momentos de tombamento. Tem uma forma retangular ou trapezoidal, conectando duas ou mais bases de colunas com uma viga de rigidez.

Essa estrutura é especialmente útil quando se trata de otimizar a distribuição de cargas em colunas próximas, proporcionando uma base comum que reduz a interferência entre sapatas isoladas individuais. Ao conectar múltiplas colunas com uma base compartilhada, a sapata associada melhora a eficiência estrutural ao distribuir uniformemente as cargas entre os pontos de apoio, minimizando os

momentos de flexão e aumentando a estabilidade geral da fundação. Isso não apenas simplifica o processo construtivo, mas também pode resultar em economia de materiais e mão de obra. Além disso, a capacidade da sapata associada de suportar cargas excêntricas e redistribuir as tensões de maneira equilibrada no solo aumenta a segurança estrutural, reduzindo os riscos de recalques diferenciais e outros problemas associados a variações na capacidade de suporte do solo.

Figura 3 – Sapata associada e sapata corrida



Fonte: Revista Digital Casa Cor (2025).

2.1.1.4 Sapata Alavancada

É um tipo de fundação rasa, também conhecida como sapata de cantiléver ou com viga de equilíbrio, é um tipo específico de fundação rasa projetada para suportar cargas excêntricas ou desalinhadas de uma coluna. Essa fundação é caracterizada pela sua estrutura que se estende além do limite da base da coluna, criando um braço de alavanca para equilibrar momentos de inclinação ou deslocamento causados pela carga aplicada. É composta por uma base de concreto armado que se estende além da linha central da coluna. Esse prolongamento forma um braço de alavanca que contrabalança as forças excêntricas da carga, distribuindo-as de maneira mais eficiente no solo.

É utilizada em situações onde a coluna está próxima de uma linha de divisa ou onde a carga aplicada não pode ser centralizada diretamente sobre a sapata. Isso é comum em estruturas de edifícios com várias colunas alinhadas ao longo de um perímetro ou onde há necessidade de redistribuição de momentos de inclinação.

Figura 4 – Sapata alavancada ou com viga de equilíbrio



Fonte: MAC Engenharia (2019).

2.1.2 Blocos de Fundação

De acordo com a ABNT NBR 6122:2022, os blocos de fundação são definidos como elementos de fundação superficial em concreto, projetados de forma que as tensões de tração sejam resistidas pelo próprio concreto, sem a necessidade de armadura. Conforme a ABNT NBR 6122:2022, pode ter suas faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar normalmente em planta seção quadrada ou retangular. Esses blocos são comumente utilizados para transferir diretamente as cargas dos pilares às estacas, sendo empregados em arranjos que permitem uma distribuição centrada e eficiente dos esforços.

Além das diretrizes estabelecidas na NBR 6122:2022, a ABNT NBR 6118:2014 — que trata do projeto de estruturas de concreto — também oferece subsídios importantes para o dimensionamento de blocos de fundação. Segundo essa norma, os blocos devem ser

considerados elementos submetidos predominantemente a esforços de compressão, sendo dispensada a utilização de armaduras para tração, desde que seja comprovado que as tensões atuantes podem ser suportadas pelo concreto. A NBR 6118:2014 também orienta quanto à verificação da punção nos blocos, principalmente quando há pilares centrais ou cargas concentradas, bem como sobre as condições de ancoragem das estacas e do concreto em relação ao solo. Portanto, o projeto de blocos deve garantir não apenas a integridade estrutural sob carregamentos verticais, mas também a segurança contra falhas locais, levando em conta aspectos como o espaçamento entre estacas, o tipo de solo, o posicionamento dos pilares e a qualidade dos materiais empregados.

Figura 5 – Bloco de Fundação



Fonte: Site Educa Civil (2020).

2.1.3 Radier

De acordo com a ABNT NBR 6122:2022, o radier é um tipo de fundação rasa que consiste em uma laje de concreto armado ou protendido, dimensionada para distribuir as cargas da edificação sobre uma área extensa do terreno. Essa fundação é indicada principalmente quando a capacidade de suporte do solo é baixa ou quando há necessidade de reduzir a tensão admissível por meio da ampliação da área de contato. A norma classifica o radier como uma fundação superficial, e destaca que ele deve ser dimensionado levando em

consideração as interações entre o solo e a estrutura, garantindo a uniformidade na distribuição de tensões e o controle de recalques diferenciais (ABNT NBR 6122:2022).

Os critérios para o dimensionamento do radier, são estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014, que determina o projeto de estruturas de concreto. Segundo a norma, esse tipo de fundação deve ser concebido como uma laje apoiada diretamente sobre o terreno, podendo ser do tipo maciça ou com nervuras, conforme as exigências estruturais do projeto. O dimensionamento deve contemplar o correto posicionamento e quantidade das armaduras, em função dos momentos fletores e das reações transmitidas ao solo. Além disso, é fundamental observar a espessura mínima da laje, os apoios laterais e a necessidade de juntas de dilatação ou de controle de tensões, garantindo assim a durabilidade e a segurança da fundação. Por essas razões, o radier se mostra uma solução técnica adequada para diferentes tipos de edificações, inclusive em terrenos com baixa resistência.

Figura 6 – Radier com pilares



Fonte: Cravestak Construções e Comércio Ltda (2025).

2.1.2 Fundações Profundas

Segundo a ABNT NBR 6122:2022, as fundações profundas são aquelas em que a transferência das cargas da estrutura para o solo ocorre em níveis mais profundos, por meio de elementos como estacas ou tubulões. Essas fundações são indicadas quando as camadas superficiais do terreno apresentam baixa capacidade de suporte ou quando as cargas estruturais são elevadas, exigindo transferência para camadas mais resistentes situadas em maior profundidade. A norma define que as fundações profundas devem garantir a segurança estrutural e o controle de recalques, considerando aspectos como a interação solo-estrutura, o

tipo de solo e as características geométricas dos elementos de fundação, assegurando a estabilidade da edificação.

A ABNT NBR 6122:2022 também classifica as fundações profundas em dois tipos principais: estacas e tubulões. As estacas podem ser moldadas in loco ou pré-moldadas, e são executadas por cravação, escavação ou perfuração, com ou sem revestimento, dependendo das características do solo e das cargas a serem suportadas. Já os tubulões são elementos escavados manual ou mecanicamente, com ou sem o uso de ar comprimido, geralmente com base alargada e com a presença de um trabalhador no fundo da escavação durante a execução. No entanto, o uso de tubulões tem se tornado cada vez menos comum em muitas regiões, devido às exigências de segurança e à complexidade de execução. Por essa razão, o foco deste trabalho será voltado para as estacas, com ênfase em três tipos amplamente utilizados na engenharia civil: estaca escavada, hélice contínua e estaca Strauss, abordando suas definições e características.

2.1.2.1 Estacas

As estacas são componentes estruturais empregados em fundações profundas, visando transferir as cargas das construções para estratos mais profundos do solo que apresentem maior capacidade de suporte. De acordo com a ABNT NBR 6122:2022, o cálculo e a execução das estacas devem garantir a estabilidade da estrutura, o controle dos assentamentos e a adequação à carga suportada. A transferência de cargas para o solo pode ocorrer por fricção ao longo do tronco, por apoio na extremidade ou por uma combinação de ambos os mecanismos. Graças à sua eficácia e versatilidade, as estacas são frequentemente utilizadas em várias categorias de projetos, desde obras menores até grandes empreendimentos.

Nos próximos tópicos, serão abordadas com mais detalhes as três estacas que constituem o foco desta pesquisa: estaca escavada, hélice contínua e estaca Strauss. Serão apresentados os conceitos e as principais características de cada uma, com base nas normas técnicas e na prática da engenharia civil.

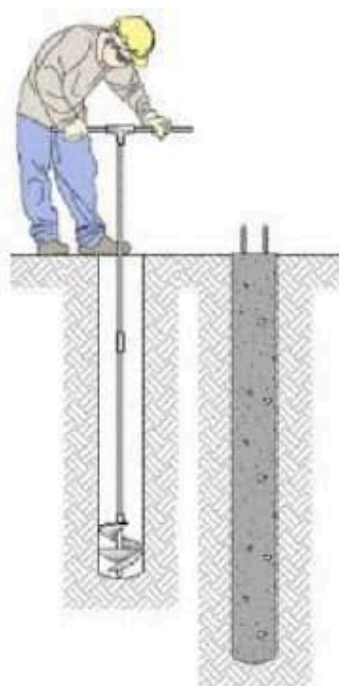
2.1.2.1.1 Estaca Escavada

As estacas escavadas são elementos de fundação profunda moldados no local, cuja execução se dá por meio da escavação do solo até a profundidade prevista em projeto, seguida da colocação do concreto, com ou sem armadura. De acordo com a ABNT NBR 6122:2022, essas estacas transferem as cargas da estrutura para o solo por atrito lateral ao longo do fuste,

por apoio na base ou pela combinação de ambos. São amplamente utilizadas em obras de médio e grande porte, sendo especialmente indicadas quando é necessário evitar vibrações que poderiam comprometer estruturas vizinhas, como em áreas urbanas densamente ocupadas. A escavação pode ser feita com trado mecânico, perfuratriz ou caçamba, permitindo a adaptação a diversos tipos de solo e profundidade.

Entre suas principais características, destacam-se a versatilidade de execução, a possibilidade de uso em variados diâmetros — geralmente entre 30 cm e 200 cm — e a baixa emissão de ruído e vibração durante os trabalhos. A inspeção visual do solo escavado é uma vantagem importante, pois possibilita ajustes no momento da execução. No entanto, em solos com baixa coesão ou presença de água, pode ser necessário adotar métodos auxiliares que garantam a estabilidade das paredes do furo durante a escavação, evitando colapsos ou perda de material. A concretagem deve ser realizada logo após a escavação para garantir a integridade da estaca (APL ENGENHARIA, 2019). Quando bem executadas, as estacas escavadas oferecem alta capacidade de carga e excelente desempenho estrutural.

Figura 7 – Estaca escavada a trado



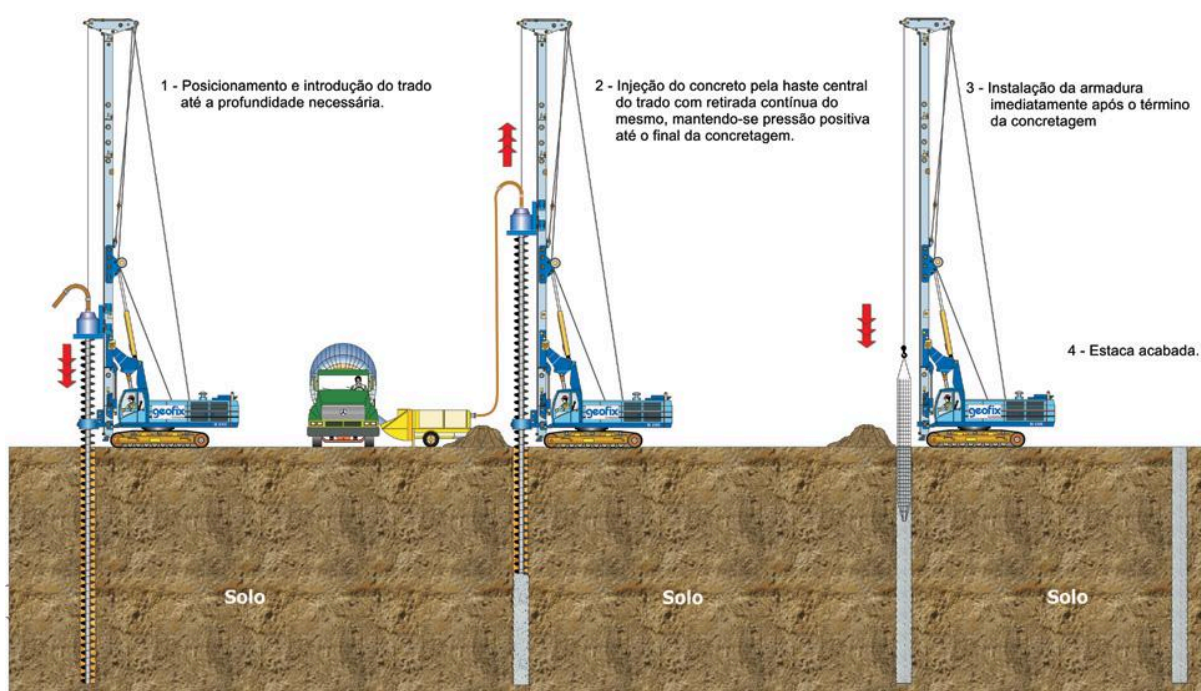
Fonte: Fundações sem complicações (2022).

2.1.2.1.2 Estaca Hélice Contínua

A estaca hélice contínua é um tipo de fundação profunda moldada in loco, executada por meio de um equipamento dotado de uma hélice tubular que penetra o solo em rotação contínua, escavando-o até a profundidade prevista no projeto. Ao atingir a cota desejada, o concreto é bombeado sob pressão por dentro do tubo central da hélice, ao mesmo tempo em que esta é retirada gradualmente, preenchendo o fuste com concreto e evitando o colapso das paredes da escavação. Após a concretagem, a armadura é introduzida ainda com o concreto fresco, geralmente com o auxílio de um vibrador para facilitar a penetração.

Entre suas principais características estão a rapidez de execução, o baixo nível de ruído e vibração, o que a torna adequada para obras em áreas urbanas densas, e a segurança quanto à estabilidade do furo, mesmo em solos com baixa coesão ou presença de água. Segundo Fontes et al. (2022), a estaca hélice contínua se destaca por permitir um controle técnico rigoroso da execução, além de reduzir impactos ambientais e transtornos em áreas sensíveis. Por essas razões, essa técnica tem sido amplamente adotada em obras de médio e grande porte, especialmente em terrenos de resistência intermediária, onde a precisão e a eficiência do processo são essenciais.

Figura 8 – Processo Executivo da Estaca Hélice Contínua



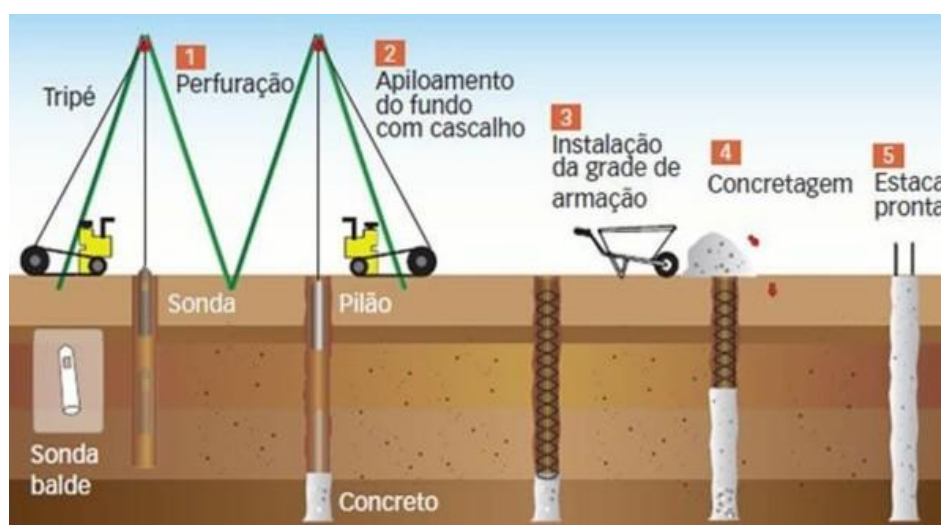
Fonte: Geofix Fundações (2019).

2.1.2.1.3 Estaca Strauss

A estaca Strauss é um tipo de fundação profunda moldada in loco, executada por meio de perfuração manual ou mecanizada com o uso de um tripé, sonda e sistema de bate-estaca. A escavação ocorre com a introdução de um tubo metálico no solo, que é cravado com auxílio de um martelo, geralmente com uso de bucha e água para facilitar a perfuração em solos mais coesivos. Após atingir a profundidade prevista, o material escavado é removido, o tubo permanece como forma provisória, e em seguida é feita a colocação da armadura (quando especificada) e a concretagem do fuste. O tubo metálico é removido de forma progressiva conforme o concreto vai sendo lançado, permitindo que a estaca seja moldada diretamente no interior do solo.

Dentre suas características, destacam-se o baixo custo de execução, a simplicidade de equipamentos, e a possibilidade de uso em locais de difícil acesso, onde grandes máquinas não conseguem operar, como em obras de reformas ou áreas confinadas. No entanto, seu uso é mais limitado em relação à profundidade e diâmetro, sendo recomendada para cargas moderadas e solos de resistência média. De acordo com Nogueira e Farias (2020), a estaca Strauss é uma solução prática e econômica para obras de pequeno a médio porte, além de apresentar baixa vibração e ruído durante a execução, o que a torna indicada para áreas urbanas com restrições operacionais.

Figura 9 – Etapas da Execução da Estaca Strauss



Fonte: Site Carluc (2022).

2.1.3 Normas Técnicas

As normas técnicas são fundamentais para garantir a segurança estrutural das edificações, incluindo suas fundações. Elas estabelecem critérios claros e específicos que devem ser seguidos por engenheiros e projetistas durante todas as fases do projeto e da execução. No caso das fundações rasas e profundas citadas no item 2.1.1 e 2.1.2, o atendimento às normas assegura que as estruturas sejam dimensionadas de forma segura e eficiente, considerando as cargas atuantes e as características geotécnicas do solo.

No Brasil, o dimensionamento de fundações é regido principalmente pela NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações, que estabelece os procedimentos e requisitos mínimos para o projeto, execução e controle das fundações, levando em conta aspectos como segurança, estabilidade e desempenho. Além dela, a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – fornece as diretrizes para o dimensionamento estrutural dos elementos em concreto armado, incluindo as sapatas, abordando critérios de resistência, detalhamento das armaduras e verificações de esforço. Já a NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland – trata das exigências para produção e controle de qualidade do concreto utilizado nas fundações. Complementarmente, a NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto – especifica as boas práticas durante a execução das estruturas de concreto, e a NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – define os critérios para consideração das cargas atuantes e coeficientes de segurança. A aplicação conjunta dessas normas garante que o projeto estrutural e de fundações seja desenvolvido com base em critérios técnicos rigorosos, assegurando a durabilidade, a estabilidade e a segurança da edificação ao longo de sua vida útil.

2.1.4 Desafios no Projetos de Fundações

Os projetos de fundação desempenham um papel crucial na segurança e estabilidade das edificações, sendo a base sobre a qual toda a estrutura é erguida. No entanto, equívocos comuns cometidos durante o projeto dessas fundações podem ter consequências severas, comprometendo a integridade e a durabilidade das construções. Esses equívocos frequentemente resultam de falhas na investigação geotécnica, na interpretação das condições do solo, subdimensionamento ou na escolha inadequada do tipo de fundação para o terreno específico.

A definição do modelo de fundações para as características geológicas do local é um desafio crítico que pode comprometer a segurança e a durabilidade de uma estrutura. Quando essa escolha é feita de maneira inadequada, sem considerar corretamente os dados da investigação geotécnica, os riscos estruturais aumentam significativamente. Conforme a ABNT NBR 6122:2022, o projeto e a execução das fundações devem levar em conta, obrigatoriamente, fatores como a resistência do solo, o nível do lençol freático, a profundidade das camadas competentes e a compressibilidade dos materiais. A negligência em analisar e interpretar essas condições pode levar à adoção de soluções de fundação incompatíveis com o comportamento do subsolo, gerando recalques diferenciais, fissuras, instabilidades e até colapsos estruturais.

Por exemplo, optar por fundações rasas, como sapatas, em solos argilosos saturados — que apresentam baixa resistência e alta deformabilidade — pode resultar em perda de capacidade de suporte e deslocamentos verticais excessivos. Além disso, falhas no projeto podem desconsiderar aspectos fundamentais como a interação solo-estrutura, as variações sazonais de umidade, e a atuação de cargas dinâmicas, como sismos ou vibrações provenientes de tráfego intenso. Tais omissões favorecem o surgimento de patologias como trincas, recalques acentuados e deformações permanentes. Segundo Caputo (2001), uma fundação mal projetada compromete não apenas a segurança imediata da edificação, mas também sua vida útil e desempenho ao longo do tempo.

O subdimensionamento das fundações também é uma consequência grave da falha em considerar adequadamente as características do solo e as cargas atuantes. Quando a fundação não tem capacidade para resistir aos esforços solicitantes, podem ocorrer desde pequenos deslocamentos até colapsos parciais ou totais da estrutura. Isso pode decorrer de investigação geotécnica insuficiente, uso de parâmetros conservadores mal aplicados ou desprezo às recomendações normativas. Como destaca Massad (2009), uma avaliação geotécnica detalhada, aliada ao correto dimensionamento estrutural, é indispensável para garantir a integridade da fundação e da superestrutura.

Dessa forma, torna-se essencial que o engenheiro responsável realize uma análise geotécnica criteriosa, com base em sondagens, ensaios de laboratório e testes *in situ*, a fim de obter uma compreensão precisa das condições do terreno. Essa etapa deve ser complementada por um projeto de fundações que considere todas as variáveis envolvidas, tanto geológicas quanto estruturais. O uso das normas técnicas vigentes, como a NBR 6122:2022 (fundações), NBR 6118:2023 (estruturas de concreto), NBR 12655:2022 (controle de concreto), NBR

14931:2004 (execução de estruturas) e NBR 8681:2003 (ações e segurança nas estruturas), é fundamental para assegurar a confiabilidade, a durabilidade e o desempenho adequado das fundações, sejam rasas ou profundas.

2.1.5 Riscos Associados a Falhas de Fundação

Erros no projeto de fundações podem gerar consequências graves e multifacetadas, afetando diretamente a segurança estrutural, a funcionalidade e a viabilidade econômica de uma edificação. Um dos efeitos mais comuns e críticos é o recalque diferencial, caracterizado pelo assentamento desigual entre diferentes pontos da fundação, o que leva a fissuras em paredes, pisos desnivelados, esquadrias travadas e perda de estabilidade da estrutura. Segundo Caputo (2022), o recalque diferencial ocorre frequentemente quando não se considera de forma adequada a heterogeneidade do solo e a distribuição das cargas, resultando em manifestações patológicas de difícil correção. Além disso, essas falhas comprometem a estética, a habitabilidade e geram custos elevados de intervenção e reforço estrutural.

Outro impacto significativo é a instabilidade estrutural, que pode culminar em colapsos parciais ou totais da edificação, colocando em risco a integridade física de usuários e trabalhadores. A ABNT NBR 8681:2003 estabelece que as ações atuantes nas estruturas e os coeficientes de segurança devem ser corretamente considerados no projeto para evitar tais ocorrências. Erros de fundação também podem comprometer infraestruturas vizinhas, especialmente em áreas urbanas densamente ocupadas, ocasionando danos indiretos e passivos judiciais relacionados à responsabilidade civil. Conforme Massad (2009), negligenciar aspectos como a drenagem e a movimentação da água subterrânea pode levar ao acúmulo de umidade, proliferação de mofo e deterioração dos elementos construtivos, reduzindo o conforto, a durabilidade e o valor de mercado da edificação.

Em projetos de infraestrutura pesada, como pontes, viadutos e rodovias, as falhas de fundação podem causar colapsos catastróficos, resultando em prejuízos econômicos e sociais de grande escala. Por isso, a ABNT NBR 6122:2022 reforça que o projeto deve ser baseado em investigação geotécnica adequada, compatibilizada com as exigências estruturais e funcionais da obra. Portanto, um projeto de fundação elaborado com precisão técnica, embasado em dados confiáveis do subsolo e nas normas técnicas vigentes, é fundamental para assegurar a segurança, a durabilidade e o retorno econômico dos empreendimentos.

Quadro 1 – Causa e Efeito de Erros no Projeto de Fundação

Causa	Efeito
Investigação geotécnica insuficiente	Subdimensionamento da fundação, recalque excessivo, instabilidade estrutural
Subestimação das cargas atuantes	Falha na capacidade de suporte, colapso parcial ou total da edificação
Uso de parâmetros conservadores inadequados	Fundamentos subdimensionados ou superdimensionados, aumentando o custo e comprometendo a segurança
Escolha inadequada do tipo de fundação	Recalque diferencial, danos estruturais, custos elevados de reparo
Alterações não refletidas no projeto	Desempenho estrutural insatisfatório, necessidade de reavaliação e ajustes caros
Materiais e técnicas de construção inadequadas	Deterioração precoce, falhas estruturais, aumento na manutenção
Problemas de drenagem inadequada	Acúmulo de água, mofo, deterioração dos materiais de construção
Erro na interpretação dos dados geotécnicos	Escolha incorreta de fundação, comprometimento da estabilidade e segurança
Falha na verificação de compatibilidade do solo	Recalque excessivo, instabilidade da fundação, necessidade de reforço.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Caputo (2022), Massad (2009), ABNT NBR 6122:2022 e NBR 8681:2003.

Conclui-se que erros no projeto de fundação, como investigação geotécnica insuficiente, subestimação das cargas atuantes e escolha inadequada de materiais, podem ter efeitos devastadores, incluindo recalque excessivo, instabilidade estrutural e aumento dos custos de reparo e manutenção. A correta avaliação e consideração das características do solo, bem como a escolha adequada do tipo de fundação, são essenciais para garantir a segurança, durabilidade e viabilidade econômica das construções.

2.2 Inteligência Artificial

2.2.1 O Surgimento da Inteligência Artificial

O surgimento da Inteligência Artificial (IA) surgiu como resposta à crescente necessidade de automatizar a resolução de problemas complexos, por meio de sistemas computacionais capazes de simular aspectos do raciocínio humano. O marco inicial desse campo pode ser atribuído ao matemático britânico Alan Turing, que, em 1936, propôs o conceito de uma máquina universal capaz de executar qualquer cálculo matemático possível — a chamada Máquina de Turing — estabelecendo os fundamentos teóricos da computação (TURING, 1936). Durante a década de 1940, especialmente no contexto da Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidos os primeiros computadores eletrônicos programáveis, como o ENIAC e o Colossus, destinados a realizar cálculos matemáticos de alta complexidade e decodificação de mensagens criptografadas (HAUGELAND, 1985). Esses avanços tecnológicos criaram um ambiente propício para o surgimento de ideias mais ambiciosas no campo da automação da inteligência.

O ponto de inflexão para o desenvolvimento da IA como disciplina científica ocorreu em 1956, com a realização do Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, idealizado por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon. O objetivo do projeto era investigar como fazer com que máquinas simulassem aspectos do comportamento humano, como a resolução de problemas e o aprendizado por experiência, estabelecendo assim as bases formais da Inteligência Artificial (MCCARTHY et al., 1955). O projeto destacou a importância de uma abordagem interdisciplinar envolvendo áreas como matemática, psicologia e ciência da computação. Desde então, a IA evoluiu significativamente, influenciando inúmeros campos do conhecimento. Como observam Russell e Norvig (2010), o principal objetivo da área é desenvolver sistemas que superem as capacidades humanas em tarefas complexas, tornando-se uma das tecnologias mais transformadoras do século XXI.

2.2.2 O Surgimento da IA na Indústria da Construção Civil

Os primeiros registros da aplicação de IA na indústria da construção civil ocorreram nas décadas de 1950 e 1960 com o desenvolvimento de sistemas especializados para

problemas específicos, como planejamento de rotas e design estrutural, e segue ampliando os horizontes dos profissionais da área realizando tarefas complexas de forma automatizada, por exemplo a utilização de sensores que podem prever falhas ou problemas estruturais, possibilitando o reparo imediato e evitando danos maiores. Podemos citar que, “a importância da IA na construção civil pode ser observada em várias áreas, como otimização de projetos, gestão de construção, manutenção preditiva e segurança no local de trabalho.” (GETENS et al., 2024, p. 21).

2.2.3 Chatbots: Definição e Uso

Um chatbot é um programa de computador projetado para simular interações humanas por meio de linguagem natural, com o objetivo de fornecer respostas automáticas, relevantes e contextualizadas. Essas ferramentas utilizam inteligência artificial (IA), especialmente técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), para interpretar e responder a perguntas feitas por usuários, seja em formato de texto ou voz. No contexto da engenharia civil, e particularmente no projeto de fundações, os chatbots vêm sendo explorados como instrumentos tecnológicos capazes de auxiliar na automação de consultas técnicas e na disseminação de informações normativas com maior agilidade e precisão.

O funcionamento de um chatbot envolve uma sequência de etapas coordenadas. Inicialmente, a entrada do usuário é processada por algoritmos de PLN, que analisam estruturas gramaticais, identificam palavras-chave e interpretam o significado da consulta com base no contexto (Vaswani et al., 2017). Com essa compreensão semântica, o sistema então processa a requisição acessando bancos de dados específicos, normas técnicas ou modelos de linguagem treinados com conteúdos especializados. A resposta gerada pode ser apresentada em diversos formatos, como texto escrito, mensagens de voz ou sugestões interativas, e o chatbot pode ainda realizar perguntas adicionais para refinar a consulta e garantir maior precisão nas informações fornecidas (Touvron et al., 2023).

Apesar dos avanços significativos de modelos como o ChatGPT, que utilizam grandes volumes de dados da internet para gerar respostas em linguagem natural, é importante destacar que esse tipo de sistema pode apresentar informações imprecisas ou não verificadas, já que sua base de conhecimento é ampla, mas não necessariamente especializada ou normativamente estruturada. Nesse contexto, o diferencial deste trabalho está na criação de um chatbot técnico cujo conteúdo é inteiramente fundamentado em normas técnicas da

ABNT. Isso busca assegurar que as respostas fornecidas estejam em conformidade com os critérios estabelecidos para o projeto, execução e dimensionamento de fundações rasas e profundas, oferecendo uma fonte tecnicamente confiável e alinhada às exigências da engenharia civil brasileira.

2.2.4 O Modelo de Linguagem Llama 2 e sua Aplicação neste Trabalho

O modelo de linguagem Llama 2 representa uma das mais avançadas arquiteturas de inteligência artificial desenvolvidas para processamento de linguagem natural (PLN). Projetado para compreender, interpretar e gerar textos em linguagem humana com alto grau de precisão, o Llama 2 combina técnicas modernas de aprendizado profundo e redes neurais transformadoras, permitindo uma interação mais fluida e contextualizada entre máquina e usuário (Touvron et al., 2023). Sua capacidade de entender nuances e contextos complexos torna-o ideal para aplicações técnicas que demandam respostas detalhadas e embasadas, como o suporte na área de engenharia civil.

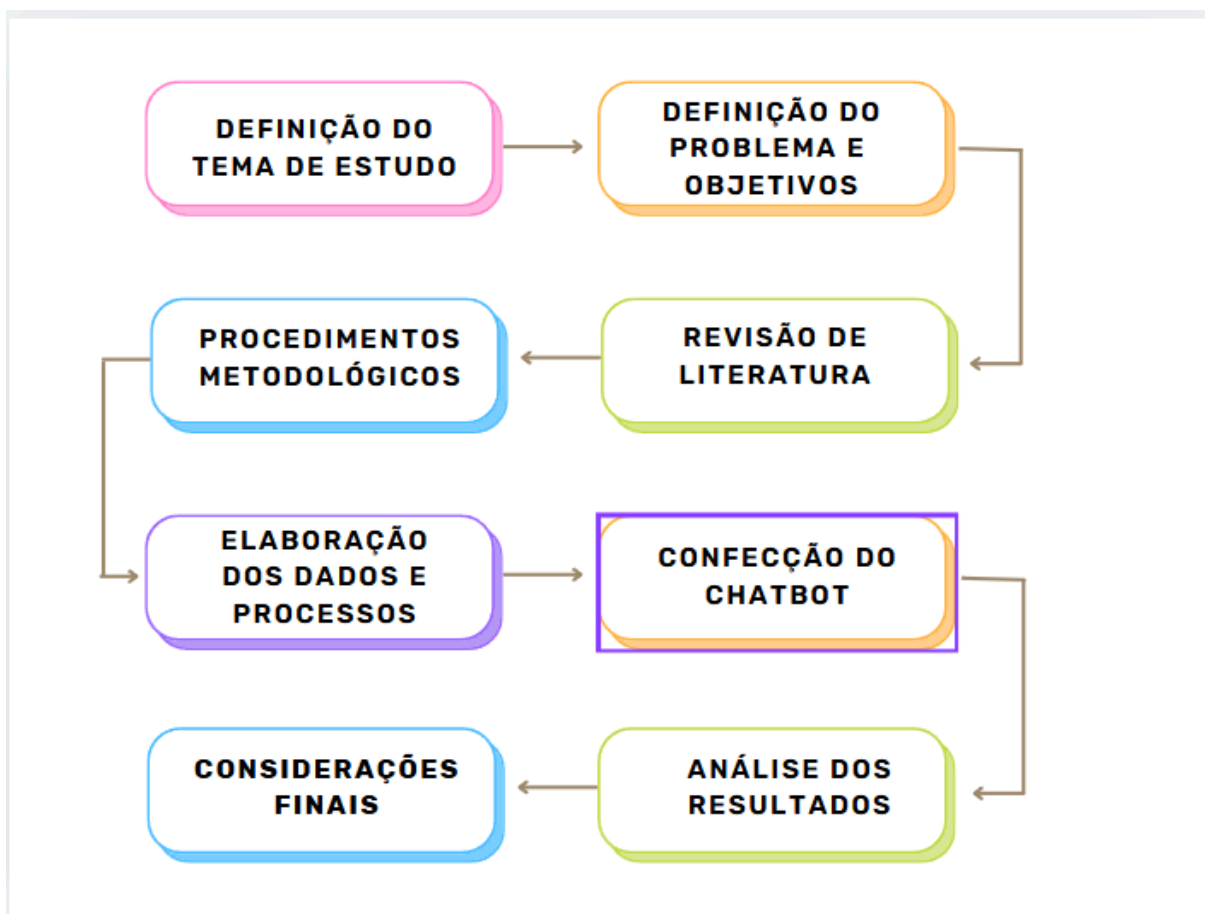
A base tecnológica do Llama 2 está na arquitetura Transformer, que revolucionou o campo do PLN ao introduzir o mecanismo de atenção (attention mechanism), possibilitando o processamento paralelo e a captura eficiente de relações de longo alcance em sequências textuais (Vaswani et al., 2017). O Transformer do Llama 2 é composto por múltiplas camadas de atenção auto-regressiva e redes neurais feed-forward, que trabalham em conjunto para processar sequências de texto, compreendendo não apenas palavras isoladas, mas também seu significado no contexto geral (Brown et al., 2020). Isso possibilita ao modelo gerar respostas coerentes, precisas e tecnicamente detalhadas, essenciais para um chatbot que oferece suporte especializado em engenharia civil.

Neste trabalho, o Llama 2 é a base para a construção do chatbot inteligente especializado em fundações. Ao incorporar o modelo, a ferramenta consegue interpretar dúvidas formuladas em linguagem natural por profissionais e estudantes, respondendo com informações precisas, claras e alinhadas às normas técnicas brasileiras, em especial a NBR ABNT 6122:2022, e à literatura especializada. A utilização do Llama 2 permite que o sistema funcione como uma consultoria virtual dinâmica, oferecendo suporte técnico imediato e personalizado, facilitando o acesso ao conhecimento e contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas no âmbito das fundações rasas e profundas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho seguiu a metodologia de pesquisa bibliográfica e em seguida o desenvolvimento do chatbot, seguindo o fluxograma a seguir:

Figura 10 – Fluxograma do trabalho



Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Pesquisa bibliográfica

Na metodologia deste trabalho, a pesquisa bibliográfica foi empregada como principal abordagem, concentrando-se especificamente em normas técnicas já citadas neste estudo, bem como em artigos científicos relevantes sobre fundações rasas e profundas. Esta abordagem permitiu uma revisão crítica e direcionada de materiais normativos e acadêmicos consolidados, garantindo uma base teórica sólida e atualizada para o desenvolvimento do tema.

Entre as normas técnicas fundamentais para esta pesquisa destacam-se a NBR 6122:2019 – “Projeto e execução de fundações”, que estabelece diretrizes específicas para o dimensionamento e execução de fundações rasas e profundas. A análise desta norma possibilita compreender os critérios oficiais para projeto e controle das fundações, alinhando-se às melhores práticas recomendadas para evitar falhas estruturais.

Complementando a base normativa, foram revisados artigos científicos que abordam impactos dos erros em projetos de fundações e as técnicas de mitigação. Por exemplo, o artigo “Impact of Foundation Design Errors on Structural Stability” (Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2020) examina as consequências do subdimensionamento e da escolha inadequada de materiais tanto em fundações rasas quanto profundas, destacando soluções práticas adotadas em casos reais. Outro estudo relevante é “Geotechnical Investigation and Foundation Design: A Case Study” (International Journal of Civil Engineering, 2018), que ressalta a importância da investigação geotécnica detalhada para a correta escolha do tipo de fundação, seja rasa ou profunda, garantindo maior segurança e eficiência no projeto. Além disso, para fundamentar o uso de inteligência artificial na engenharia civil, este trabalho baseia-se em conceitos e avanços presentes em modelos de linguagem avançados, como Llama 2, cuja arquitetura Transformer tem sido amplamente discutida por Vaswani et al. (2017) como um marco para o processamento eficiente e contextualizado de linguagem natural, o que justifica a adoção de chatbots inteligentes como ferramentas de apoio técnico.

A utilização combinada destas normas e referências científicas assegura uma compreensão abrangente dos desafios técnicos envolvidos no dimensionamento e execução de fundações, além de subsidiar a aplicação de tecnologias avançadas, como a inteligência

artificial via chatbots, para otimizar o suporte e funcionar como uma consultoria virtual eficaz para projetos de fundações na engenharia civil.

3.2 Desenvolvimento do chatboot

A criação de um chatbot técnico baseado nas normas da ABNT, como a NBR 6122:2019 (projeto e execução de fundações), NBR 6118:2019 (projeto de estruturas de concreto), NBR 12655:2015 (execução de estruturas de concreto), NBR 14931:2004 (execução de estruturas de concreto – requisitos gerais) e NBR 8681:2003 (ações em estruturas), é de grande relevância para o setor. Essas normas estabelecem os critérios técnicos fundamentais para o dimensionamento, segurança, durabilidade e execução de fundações rasas (como sapatas, blocos e radier) e fundações profundas (como estacas escavadas, cravadas e hélice contínua). Ao implementar um chatbot alinhado a essas diretrizes, engenheiros e estudantes têm acesso a uma ferramenta inteligente que auxilia na interpretação e aplicação correta das normas, promovendo projetos mais seguros, padronizados e eficientes. Além de oferecer respostas embasadas tecnicamente, o uso de chatbots normativos contribui para reduzir erros humanos, agilizar decisões técnicas e padronizar processos dentro dos escritórios de projeto ou em campo. A automação desse tipo de consulta técnica por meio da IA promove maior conformidade com os requisitos legais e fortalece a qualidade técnica dos projetos desenvolvidos, reforçando a credibilidade e a segurança das construções.

Pensando nisso, o FundIA foi desenvolvido como uma solução inovadora para consulta e interpretação de normas técnicas da engenharia civil brasileira. A seguir, detalho cada etapa e decisão da implementação, justificando as escolhas técnicas e explicando o funcionamento de cada componente.

3.2.1 Estrutura do Projeto

Para garantir uma melhor organização, manutenção e escalabilidade da aplicação, o projeto foi estruturado em diretórios específicos, cada um com uma função bem definida:

/documents: Armazena os arquivos PDF das normas técnicas da ABNT utilizadas como base de conhecimento para as respostas do chatbot.

`/models`: Contém o modelo de linguagem Llama 2 quantizado, responsável por processar as entradas em linguagem natural e gerar respostas adequadas.

`/static`: Guarda recursos visuais do sistema, como o logotipo da aplicação e outros elementos gráficos utilizados na interface.

`/cache`: Utilizado para armazenamento temporário de dados, agilizando o tempo de resposta do sistema e otimizando buscas já realizadas.

`/env`: Diretório que contém o ambiente virtual Python, onde estão isoladas as bibliotecas e dependências necessárias para o funcionamento do chatbot, evitando conflitos com outras aplicações.

A criação dessa estrutura foi realizada durante a etapa de desenvolvimento do sistema, com o objetivo de garantir clareza no gerenciamento dos arquivos e facilitar a evolução futura do projeto. Cada diretório foi planejado para cumprir uma função específica dentro do fluxo de funcionamento da aplicação, desde a leitura das normas técnicas até a geração das respostas. Essa divisão permite que ajustes sejam feitos em módulos separados, sem comprometer o restante do sistema, o que é especialmente importante em projetos que envolvem aprendizado de máquina e inteligência artificial.

3.2.2 Configuração do Ambiente

A configuração do chatbot é realizada por meio de um arquivo de ambiente, comumente chamado de `.env`, onde são definidos os caminhos essenciais para o funcionamento da aplicação, como a localização dos documentos (normas técnicas em PDF) e do modelo de linguagem Llama 2. Esse arquivo facilita a customização e a adaptação do sistema a diferentes ambientes, sem a necessidade de alterar o código-fonte diretamente, o que torna o processo mais seguro e eficiente.

Além disso, o projeto utiliza um ambiente virtual Python, gerenciado pela ferramenta de ambiente virtual (`venv`), para isolar as dependências da aplicação. Isso significa que todas as bibliotecas e pacotes necessários para o funcionamento do chatbot ficam restritos a esse ambiente, evitando conflitos com outras aplicações Python instaladas no mesmo sistema. Essa prática é fundamental para garantir a estabilidade do projeto e facilitar a manutenção, especialmente em equipes que trabalham com múltiplos projetos simultaneamente.

3.2.3 Interface do Usuário (Front-end)

A interface da aplicação, também conhecida como front-end, é a camada do sistema com a qual o usuário interage diretamente. Trata-se da parte visual do software, responsável por organizar, exibir e facilitar a entrada e saída de informações. Neste projeto, a interface foi desenvolvida utilizando o framework Streamlit, escolhido por sua praticidade, rapidez na prototipação e integração eficiente com aplicações baseadas em inteligência artificial.

A construção da interface seguiu princípios de clareza, objetividade e acessibilidade, visando oferecer uma experiência de uso intuitiva tanto para estudantes quanto para profissionais da engenharia civil. A seguir, são descritos os principais componentes que compõem o frontend do chatbot:

- Logo e Identidade Visual: Um logotipo em formato SVG, aliado a um esquema de cores escuras, compõem uma identidade visual moderna e profissional, alinhada ao caráter técnico do sistema.
- Campo de Pergunta: Espaço destinado para que o usuário digite suas dúvidas em linguagem natural.
- Botão de Envio: Ao ser clicado, envia a pergunta ao modelo Llama 2 para processamento e geração da resposta.
- Exibição da Resposta: Apresenta a resposta de forma clara, formatada para facilitar a leitura e interpretação.
- Sistema de Feedback: Permite ao usuário avaliar a resposta recebida como “útil”, “parcialmente útil” ou “não útil”, fornecendo subsídios para a melhoria contínua da aplicação.
- Histórico de Perguntas: Exibe as últimas 10 interações realizadas com o chatbot, permitindo consultar rapidamente dúvidas anteriores.
- Exportação de Histórico: Funcionalidade que possibilita o download do histórico de perguntas e respostas em formato CSV, útil para fins de análise ou arquivamento técnico.

Essa organização visual e funcional da interface permite uma navegação fluida e objetiva, tornando o uso da ferramenta acessível mesmo para usuários com pouca familiaridade com sistemas baseados em inteligência artificial.

Abaixo temos a interface com a qual o usuário interage:

Figura 11 – Interface do FundIA

The image shows a mobile application interface for 'FundIA', a virtual assistant for Civil Engineering. The top section has a blue header with the 'FundIA' logo (a white hard hat icon) and the text 'Assistente Virtual de Engenharia Civil'. Below this, a white box contains the text: 'Tire suas dúvidas sobre normas técnicas ABNT, cálculos estruturais e boas práticas da engenharia civil brasileira.' The main content area is white and contains a blue 'FundIA' header, followed by a greeting: 'Olá! Sou o FundIA, seu assistente virtual especializado em engenharia civil brasileira. Como posso ajudar você hoje? Você pode me perguntar sobre normas técnicas ABNT, cálculos estruturais e boas práticas da engenharia civil.' Below the greeting is a feedback section titled 'Esta resposta foi útil?' with three buttons: 'Útil' (green), 'Parcialmente' (yellow), and 'Não útil' (red). At the bottom, there is a text input field with the placeholder 'Digite sua pergunta sobre enge' and a blue 'Enviar' button with a paper plane icon. A small disclaimer at the very bottom reads 'Respostas baseadas nas normas técnicas ABNT vigentes'.

FundIA
Assistente Virtual de Engenharia Civil

Tire suas dúvidas sobre normas técnicas ABNT, cálculos estruturais e boas práticas da engenharia civil brasileira.

FundIA

Olá! Sou o FundIA, seu assistente virtual especializado em engenharia civil brasileira. Como posso ajudar você hoje? Você pode me perguntar sobre normas técnicas ABNT, cálculos estruturais e boas práticas da engenharia civil.

Esta resposta foi útil?

Útil Parcialmente Não útil

Digite sua pergunta sobre enge

Enviar

Respostas baseadas nas normas técnicas ABNT vigentes

Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

Figura 12 – Interface do FundIA

Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

Figura 13 – Interface do FundIA

Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

3.2.4 Backend e Processamento de Linguagem Natural

O backend é a parte da aplicação que não aparece para o usuário, mas que realiza todo o trabalho pesado por trás da interface. Enquanto o usuário vê apenas a tela do chatbot (o campo de perguntas, os botões e as respostas), o backend está por trás fazendo com que tudo isso funcione corretamente. Ele é responsável por processar as perguntas, buscar a informação certa e gerar a resposta adequada com base nas normas técnicas utilizadas.

Veja, a seguir, como isso acontece em etapas:

1. Leitura e Carregamento dos Documentos Técnicos:

O sistema começa lendo os arquivos PDF das normas técnicas da ABNT que estão salvos na pasta /documents. Essa leitura é feita por uma ferramenta chamada SimpleDirectoryReader, que extrai o texto de cada norma de forma estruturada para que o conteúdo possa ser analisado.

2. Divisão do Texto e Indexação Semântica

O conteúdo extraído não é analisado de uma vez só. Ele é dividido em partes menores (chamadas chunks), com cerca de 512 palavras cada, e um pequeno trecho repetido entre elas para manter o contexto.

Depois disso, cada uma dessas partes é transformada em um tipo especial de informação matemática (vetores), que permite ao sistema entender o significado e o contexto dos textos, e armazená-los de forma eficiente para buscas futuras. Essa transformação é feita por um modelo chamado all-MiniLM-L6-v2, que já sabe interpretar a linguagem humana.

3. Uso do Modelo de Linguagem (Geração da Resposta)

Para gerar as respostas, o sistema utiliza um modelo de inteligência artificial chamado Llama 2 – 7B Chat, que foi treinado para compreender perguntas e produzir respostas em linguagem natural.

Esse modelo foi ajustado para responder em português técnico, com uma configuração que prioriza a precisão (temperatura 0.1) e um limite de até 3900

palavras de contexto, o que permite gerar respostas bem fundamentadas e focadas no conteúdo técnico.

4. Processo de Pergunta e Resposta

Quando o usuário envia uma dúvida, o sistema primeiro verifica se já tem uma resposta pronta (armazenada no cache). Se for uma pergunta nova, ele faz uma busca no conteúdo das normas técnicas que foi previamente analisado, encontra os trechos mais relevantes e passa essas informações para o modelo de linguagem gerar a resposta final.

5. Memória Inteligente (Cache)

O sistema guarda as respostas que já foram geradas para que, se alguém fizer a mesma pergunta no futuro, ele consiga responder muito mais rápido — sem precisar refazer todo o processo. Isso ajuda a economizar tempo e tornar o chatbot mais eficiente.

Em resumo, o backend é como um especialista que trabalha nos bastidores. Ele já estudou toda a base normativa e, quando recebe uma pergunta, procura a resposta correta nas normas técnicas, analisa o que é mais importante e entrega ao usuário uma explicação clara, precisa e confiável — tudo em poucos segundos.

3.2.5 Funcionalidades Avançadas

Além de oferecer respostas técnicas fundamentadas nas normas da ABNT, o chatbot desenvolvido neste trabalho conta com algumas funcionalidades adicionais que tornam o sistema mais completo, interativo e útil para o usuário. Essas funcionalidades ajudam a manter a organização, identificar pontos de melhoria e garantir que tudo esteja funcionando corretamente. Veja a seguir como cada uma delas funciona:

- Feedback do Usuário

Após cada resposta gerada pelo chatbot, o sistema oferece a possibilidade de o usuário avaliar se a resposta foi útil, parcialmente útil ou não útil. Esse recurso é fundamental para acompanhar o desempenho da aplicação. Com base nessas

avaliações, o desenvolvedor pode identificar quais respostas estão mais claras e completas e quais ainda precisam ser aprimoradas. Assim, o sistema pode evoluir continuamente conforme o uso real.

- Mensagens de Erro e Validação do Sistema

Para garantir o bom funcionamento da aplicação, o sistema realiza uma verificação automática dos arquivos e pastas necessários sempre que é iniciado. Caso algum documento obrigatório não esteja presente (por exemplo, uma norma técnica ausente), o sistema informa isso de maneira clara e direta ao usuário, com uma mensagem de erro explicando o que está faltando. Isso evita confusões e facilita a correção do problema sem a necessidade de conhecimento técnico avançado.

Essas funcionalidades tornam o chatbot não apenas uma ferramenta inteligente de consulta técnica, mas também um ambiente organizado, confiável e aberto à melhoria contínua — o que é essencial em qualquer aplicação voltada para uso profissional e educacional.

3.2.6 Justificativa das Escolhas Técnicas

Para o desenvolvimento deste chatbot especializado em apoio técnico para fundações na engenharia civil, foram adotadas soluções técnicas específicas que garantem equilíbrio entre desempenho, qualidade e praticidade. A seguir, explicamos os principais motivos das escolhas feitas durante a implementação:

- Streamlit

O framework Streamlit foi escolhido por permitir um desenvolvimento rápido e simplificado, além de oferecer uma interface amigável e intuitiva. Isso possibilita que o chatbot seja acessado facilmente por profissionais e estudantes, sem exigir conhecimentos avançados em informática.

- Llama 2 Quantizado

O modelo de linguagem Llama 2, em sua versão quantizada, foi adotado para reduzir o uso de memória e recursos computacionais sem comprometer a qualidade das respostas. A quantização torna o modelo mais leve, viabilizando sua execução em máquinas com limitações técnicas, o que facilita a escalabilidade e manutenção do sistema.

- Embeddings HuggingFace

Para otimizar a busca semântica nos documentos normativos, foram utilizados embeddings gerados pelo modelo all-MiniLM-L6-v2 da HuggingFace. Esses embeddings transformam os textos em representações matemáticas que permitem ao sistema entender o contexto e significado das palavras, aumentando a precisão nas respostas.

- Cache e Chunking

A combinação da técnica de divisão do texto em chunks (pedaços) com a utilização de cache inteligente melhora significativamente o desempenho da aplicação. O chunking permite preservar o contexto durante a busca nos documentos, enquanto o cache armazena respostas frequentes para acelerar consultas repetidas, garantindo rapidez e maior precisão no atendimento.

4 RESULTADOS

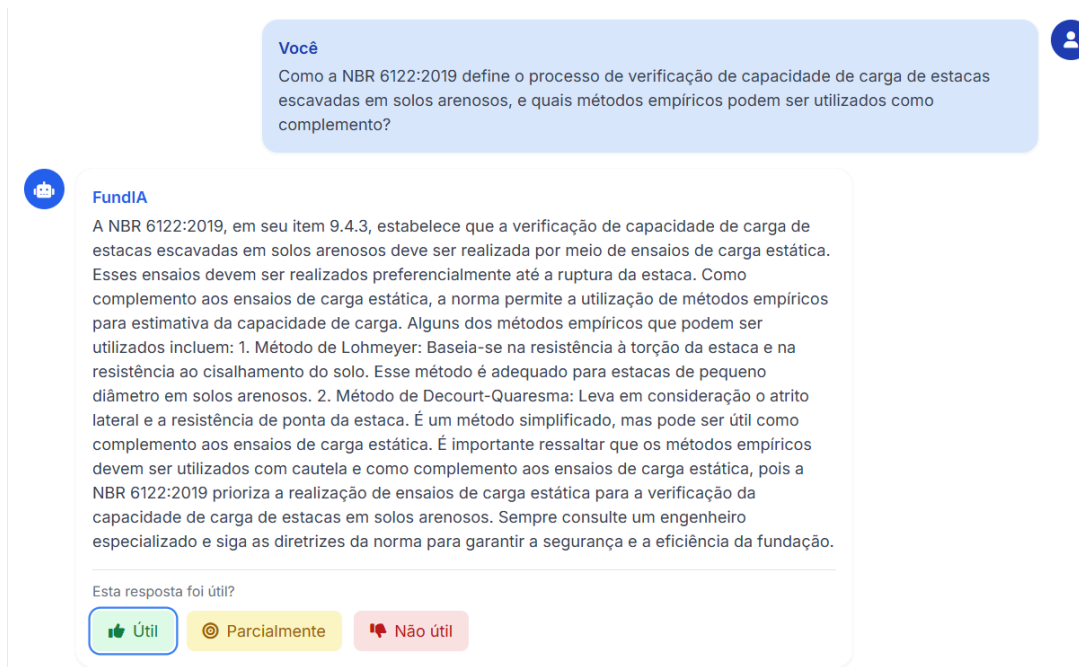
Para a validação do chatbot especializado em fundações da engenharia civil, foram realizados testes práticos com um grupo de 20 participantes, composto por 10 profissionais experientes da área, que incluíram 3 professores do IFTO e 7 colegas do prof. Dr Flávio da Silva Ornelas e presente orientador deste trabalho, e 10 estudantes em formação, meus colegas e orientandos também do orientador. Cada participante submeteu, em média, cinco perguntas ao sistema, abrangendo desde questões mais genéricas até dúvidas técnicas específicas envolvendo fundações rasas e profundas. Essa diversidade de questionamentos permitiu avaliar a capacidade do chatbot em lidar com diferentes níveis de complexidade e demanda técnica.

Os resultados demonstraram que o sistema apresenta alta precisão na geração de respostas, com 100% das respostas sendo consideradas corretas e fundamentadas em normas técnicas oficiais, sobretudo a ABNT NBR 6122:2019. Esse desempenho confirma a eficácia da metodologia adotada, que inclui o uso do modelo Llama 2 quantizado, indexação vetorial dos documentos e o processamento em linguagem natural para interpretação das perguntas. A qualidade técnica das respostas reforça o potencial do chatbot como uma ferramenta confiável para consulta rápida e embasada em projetos de fundações.

A avaliação subjetiva do grupo, baseada em análise quantitativa, também revelou uma alta taxa de satisfação geral, com 98% dos participantes classificando o chatbot como útil e eficaz para o suporte técnico. Profissionais destacaram a praticidade do sistema como um recurso auxiliar na rotina de projetos, enquanto estudantes enfatizaram o valor educacional de ter acesso facilitado a normas e explicações técnicas. Por outro lado, as sugestões apontam para o enriquecimento do banco de conhecimento para lidar com perguntas mais específicas.

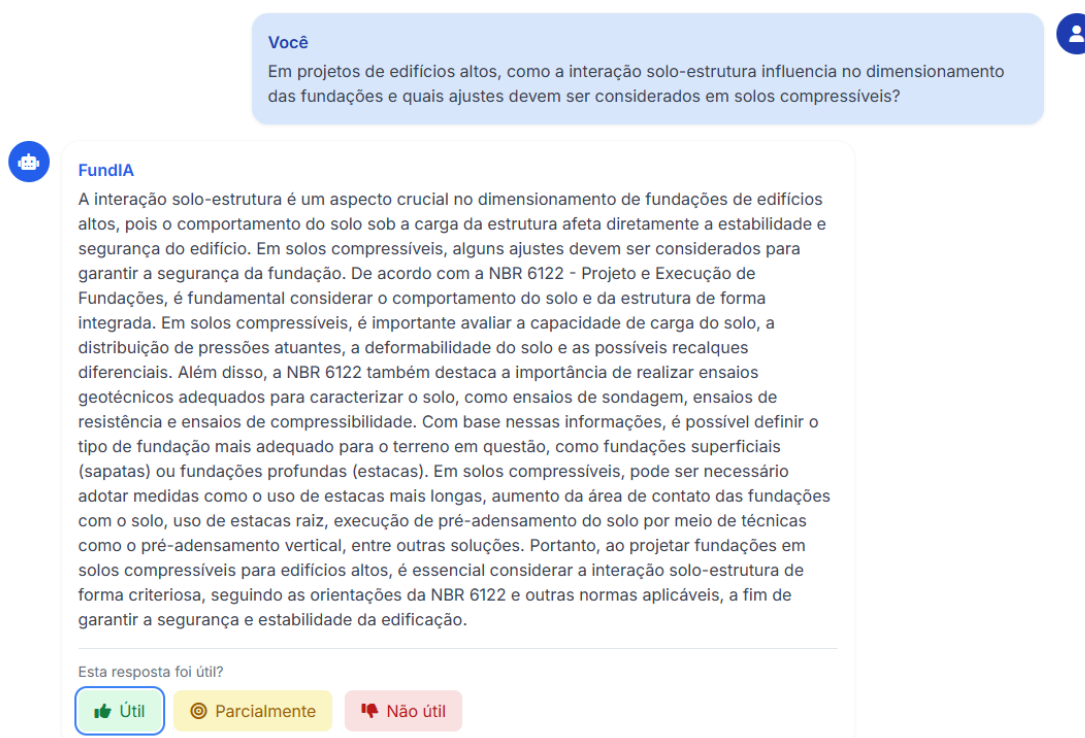
Além da boa performance nas perguntas gerais, o FundIA demonstrou um desempenho satisfatório também frente a questões técnicas de maior complexidade. Durante os testes, o sistema foi submetido a perguntas que exigiam interpretação normativa, raciocínio técnico e capacidade de contextualização, especialmente relacionadas a critérios de escolha entre tipos de fundações, recalques admissíveis, interação solo-estrutura e métodos executivos. O chatbot respondeu com alta precisão, coesão e clareza, apresentando explicações fundamentadas nas normas brasileiras vigentes e utilizando linguagem adequada ao público-alvo, como podemos ver nos exemplos a seguir:

Figura 14 – Demonstração do Uso do FundIA



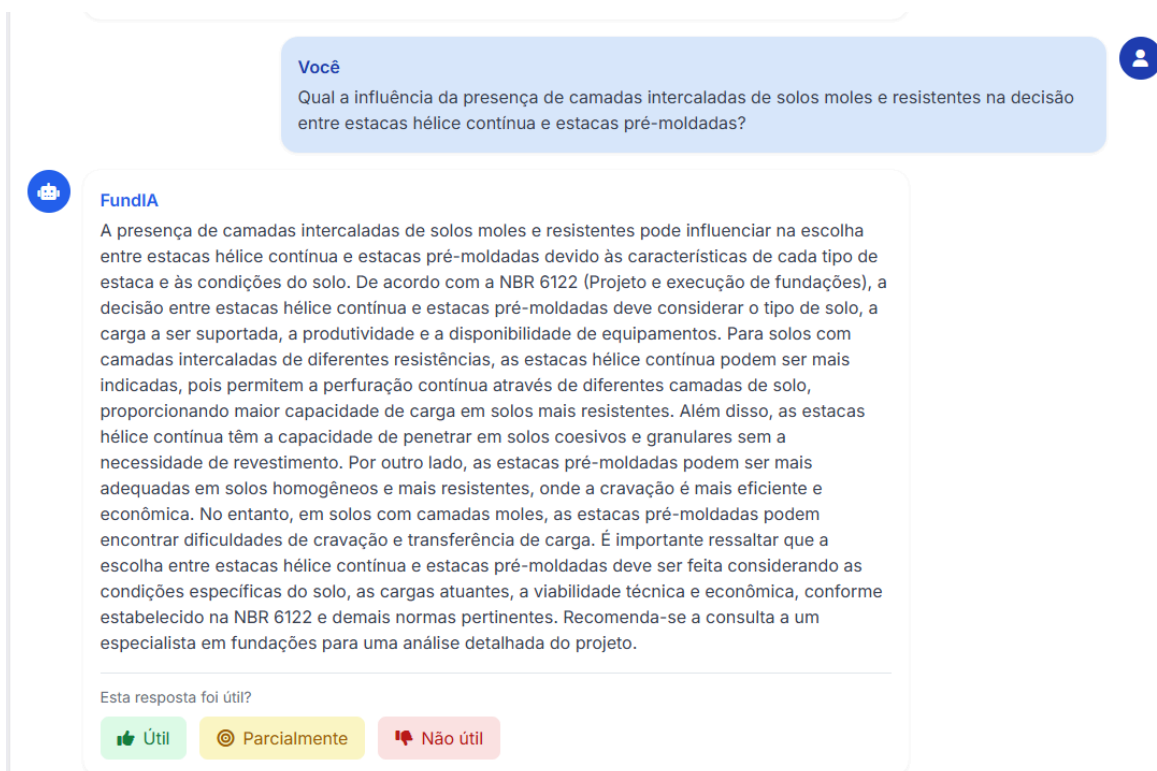
Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

Figura 15 – Demonstração do Uso do FundIA



Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

Figura 16 – Demonstração do Uso do FundIA

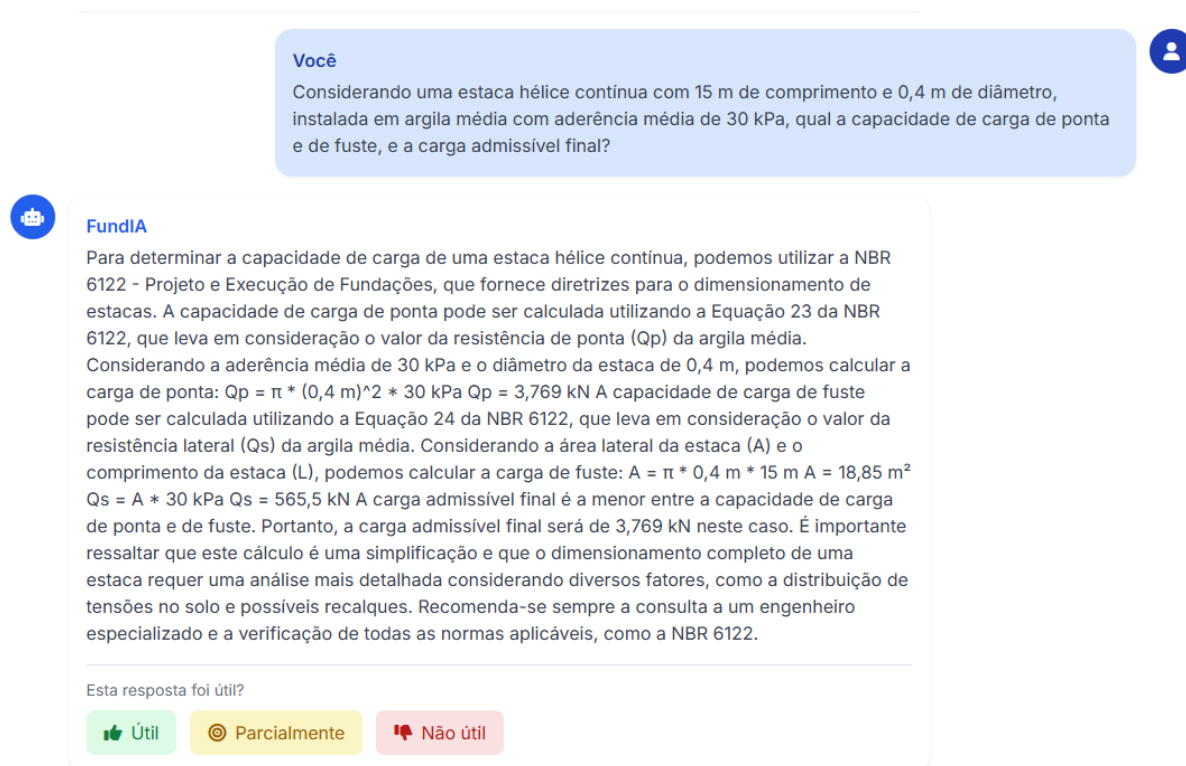


Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

O FundIA demonstra como a integração de modelos de linguagem avançados, técnicas de indexação vetorial e interfaces modernas pode transformar o acesso ao conhecimento técnico na engenharia civil. Cada etapa da implementação foi pensada para garantir precisão, eficiência e facilidade de uso, tornando o sistema uma ferramenta valiosa para o contexto acadêmico e profissional.

Além da avaliação da precisão técnica das respostas, foi realizada uma análise qualitativa com base nas interações geradas durante os testes com o FundIA. Um dos pontos que mais se destacou foi a postura consciente do chatbot diante de perguntas envolvendo dimensionamentos geotécnicos complexos. Em uma das interações, por exemplo, ao calcular a capacidade de carga de uma estaca hélice contínua instalada em argila média, o FundIA não apenas aplicou corretamente as fórmulas da NBR 6122:2019 para estimar as resistências de ponta e de fuste, como também incluiu um alerta ao final da resposta (Figura 17).

Figura 17 – Demonstração do Uso do FundIA



Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

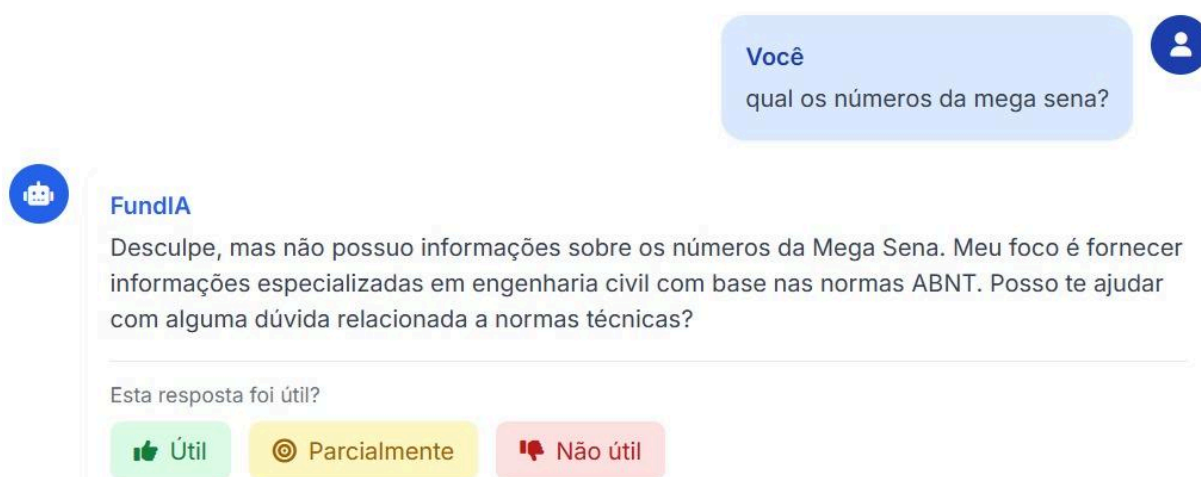
Esse alerta ressalta que o dimensionamento real de uma fundação exige uma análise mais completa, considerando variáveis que vão além dos parâmetros de entrada da pergunta, como distribuição de tensões, recalques, comportamento do solo em profundidade e segurança global da estrutura. Tal atitude mostra que o modelo compreende seus limites como ferramenta de consultoria automatizada, e não se posiciona como substituto da atuação técnica profissional.

Essa característica é extremamente positiva, pois evita que usuários com menor experiência se apoiem em resultados simplificados para tomar decisões de engenharia, ao mesmo tempo em que oferece um ponto de partida confiável e embasado em norma para o aprofundamento da análise. A abordagem responsável adotada pelo FundIA reforça sua utilidade não apenas como uma ferramenta de consulta técnica, mas também como

instrumento de apoio didático, guiando o usuário dentro dos limites seguros da atuação profissional.

Adicionalmente, durante os testes exploratórios com perguntas fora do escopo técnico, o FundIA demonstrou uma importante capacidade de reconhecer seus limites funcionais. Quando solicitado, por exemplo, a informar os números da Mega-Sena (Figura 18) — uma pergunta sem relação com a engenharia civil — o chatbot respondeu de forma adequada, recusando-se a fornecer dados irrelevantes e reafirmando seu propósito como ferramenta especializada em normas da ABNT. Essa postura evidencia um comportamento controlado e programado para manter o foco na área de fundações e engenharia civil, evitando desinformação e uso inadequado da ferramenta. Tal comportamento é essencial para garantir a confiabilidade do sistema, impedindo que ele seja utilizado fora de seu contexto técnico, o que reforça a seriedade e a consistência do projeto.

Figura 18 – Demonstração do Uso do FundIA



Fonte: Imagem da tela do navegador (2025).

Conclui-se que os testes realizados demonstram que o chatbot atende satisfatoriamente aos objetivos propostos, oferecendo respostas técnicas confiáveis e contribuindo significativamente para agilizar o acesso a informações normativas no contexto das fundações em engenharia civil. A principal limitação observada está relacionada à base de conhecimento ainda restrita, o que impacta, em alguns casos, a completude de certas respostas. Essa limitação, no entanto, não compromete a utilidade da ferramenta, mas aponta caminhos promissores para trabalhos futuros, como a ampliação do acervo de normas e documentos

técnicos, com o objetivo de proporcionar uma experiência cada vez mais precisa, contextualizada e eficaz para os usuários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um chatbot inteligente, especializado na área de fundações da engenharia civil, utilizando como base o modelo de linguagem Llama 2. Trata-se de uma contribuição inovadora, prática e altamente relevante para o campo da engenharia, pois oferece uma solução ágil, acessível e confiável para a consulta de informações técnicas, diretamente fundamentadas em normas como a ABNT NBR 6122:2022, NBR 8681, NBR 6118, NBR 14931 e NBR 12655. Em um cenário onde o tempo, a precisão e a conformidade técnica são essenciais, a ferramenta criada se destaca por seu potencial de se tornar um verdadeiro assistente técnico virtual, democratizando o acesso ao conhecimento normativo e oferecendo apoio direto à formação acadêmica, ao exercício profissional e à redução de erros em projetos estruturais.

Para alcançar esse resultado, foi necessário um processo amplo, técnico e exigente: realizou-se um estudo aprofundado das normas técnicas brasileiras aplicáveis às fundações, análise de bibliografia especializada em inteligência artificial e engenharia, estruturação de um banco de conhecimento confiável, desenvolvimento de uma interface funcional com o framework Streamlit e implementação de um backend robusto, com técnicas de vetorização semântica, indexação e carregamento automático de documentos técnicos. A integração com o modelo Llama 2 quantizado garantiu respostas em português técnico com alta fidelidade, controle de temperatura e contextualização. O software, batizado como FundIA, foi construído, testado e validado por meio de testes com 20 participantes (10 profissionais da engenharia civil e 10 estudantes), totalizando 100 interações. Os resultados demonstraram que 100% das respostas estavam tecnicamente corretas, com destaque para a clareza, coesão e aderência às normas. A análise qualitativa dos feedbacks também revelou que o chatbot compreende seus limites e reforça a responsabilidade técnica ao indicar a necessidade de validação com um engenheiro em casos mais complexos.

O impacto deste projeto vai além do campo acadêmico: o FundIA inaugura uma nova maneira de acessar conhecimento normativo, promovendo autonomia técnica, agilidade na tomada de decisões e maior segurança nos projetos de engenharia. Para os profissionais atuantes, a ferramenta representa um ganho de produtividade e confiabilidade, permitindo acessar informações críticas com poucos cliques, sem a necessidade de longas consultas manuais a normas extensas. Já para os estudantes e futuros engenheiros, o FundIA se apresenta como um instrumento pedagógico poderoso, capaz de auxiliar na compreensão

prática dos conceitos normativos e na aplicação das diretrizes técnicas no dia a dia de estudos e estágios. Em tempos de transformação digital e avanço das tecnologias na construção civil, essa solução se alinha aos desafios e necessidades da nova geração de engenheiros, que busca inovação, velocidade e precisão, sem abrir mão da qualidade técnica.

Ao unir inteligência artificial e engenharia civil com propósito educacional e técnico, este trabalho contribui para a modernização da prática profissional e promove uma cultura de acesso facilitado à informação normativa — algo ainda raro e, muitas vezes, restrito por barreiras de tempo, custo ou familiaridade com os textos das normas. O FundIA surge, assim, como um divisor de águas na maneira como engenheiros e estudantes interagem com o conhecimento técnico: mais do que uma ferramenta, ele representa um passo significativo rumo à engenharia civil do futuro — mais conectada, acessível, segura e eficiente.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Apesar dos resultados positivos, este trabalho também abre portas para múltiplas possibilidades de continuidade e expansão, que podem ser exploradas por pesquisas futuras. Entre as sugestões estão:

1. Desenvolver chatbots voltados para outras áreas da geotecnia, como contenções, ensaios de campo ou estabilidade de taludes.
2. Ampliar a base de documentos normativos, incorporando outras normas da ABNT, manuais técnicos, guias de boas práticas e literatura complementar.
3. Integrar funcionalidades de voz ou interação multimodal, tornando a ferramenta ainda mais acessível e interativa.
4. Criar uma plataforma web ou aplicativo móvel, ampliando o alcance e a usabilidade da solução.

Assim, esta pesquisa não apenas entrega um produto funcional e validado, mas também estabelece uma base sólida para a aplicação de inteligência artificial no suporte técnico da engenharia civil, com alto potencial de impacto educacional, profissional e social.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 11682:2009. Estabilidade de Encostas.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. **NBR 6118:2004. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 6122:2022. Projeto e execução de fundações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. **NBR 9061:1985. Segurança de escavação a céu aberto.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1985.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações.** São Paulo: Blucher, 2019.

APL ENGENHARIA. **Guia completo: Estaca escavada – Trado mecânico.** APL Engenharia, 6 ago. 2019. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/guia-completo-estaca-escavada-trado-mecanico/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

Aoki, N. **Fundações por Estacas: Projeto Geotécnico.** São Paulo: PINI, 2000.

BROWN, T. et al. Language Models are Few-Shot Learners. **Advances in Neural Information Processing Systems**, v. 33, p. 1877-1901, 2020.

BRÍGITTE, Giovanna Tomczinski Novellini. **PROJETO, PADRÕES E TECNOLOGIA: da linguagem de Alexander à programação e inteligência artificial.** PIXO-Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade, v. 5, n. 17, 2021.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. **Mecânica dos solos: obras de terra e fundações.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2022.

DE OLIVEIRA, Tharik Henrique Getens et al. **Transformação da engenharia civil através da inteligência artificial: Um novo horizonte de inovação.** Nativa–Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso, v. 13, n. 1, 2024.

DOS ANJOS, Roberta Maas; BASTOS, Rogério Cid. **INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A ENGENHARIA: DOS ORÁCULOS AO CHAT GPT: ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ENGINEERING: FROM ORACLES TO GPT CHAT.** Revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do CREA/SC, v. 1, n. 2, p. 94-116, 2023.

FELIPE, José Maick Moreira; ARAÚJO JUNIOR, José Luiz de. **Estudo dos tipos de fundações: sapatas**. In: I CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 1., 2018, UNIFIMES, Mineiros, GO. UNIFIMES, 2018. p. 11.

FONTES, Maria Paula de Castro Ferreira; CORGA, Júlia Cruz Bruno; CORTAT, Maria Júlia Bomfim. **Estaca hélice contínua: análise de cenário na construção civil**. Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares, v. 1, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47385/tudoeciencia.70.2022>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LOCATELLI, Cristian Carlos. *Manifestações patológicas em fundações: causas e tratamentos*. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Cuiabá (UNIC), Cuiabá, 2021.

MCCARTHY, John; MINSKY, Marvin; ROCHESTER, Nathaniel; SHANNON, Claude. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Artificial Intelligence, vol. 2, issue 1-2, pp. 1-24, 1971. DOI: 10.1016/0004-3702(71)90009-2.

OLIVEIRA E SOUZA FIGUEIRA, Sânzia de; CERQUEIRA, Niander Aguiar. **Consequências das manifestações patológicas das fundações nas estruturas - Estudo de caso**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico, Edição Especial, v. 5, n. 5, p. 72, jul./dez. 2019. DOI: <http://reinpec.cc/index.php/reinpec/article/view/436/357>.

REBELLO, Yopanan C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. São Paulo: Zigurate, 2007.

ROSA, Marcelino. **Linha de transmissão: critérios de projetos e definição do tipo de fundação. Trabalho de Conclusão de Engenharia Civil**. Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, SP, 2009.

TOUVRON, H. et al. **LLaMA 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models**. Meta AI, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2307.09288>

VASWANI, A. et al. **Attention is All You Need**. Advances in Neural Information Processing Systems, v. 30, 2017.