

**Paulo Yuri Pugliezi de Carvalho**

**RA 188140**

**Engenharia de Prompt, a Mentalidade de IA e o  
Conhecimento Digital**

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina “Engenharia de Prompt, a Mentalidade de IA e o Conhecimento Digital” do curso Engenharia de Produção do Centro universitário UniFECAF.

## **1. Introdução**

O governo estadual contratou a empresa (Engenharia Avançada S.A.) para modernizar o monitoramento estrutural de 15 pontes consideradas críticas na região metropolitana. Hoje, a empresa realiza inspeções trimestrais, baseadas principalmente em visitas presenciais dos engenheiros e análise manual de dados coletados pelos sensores instalados.

Apesar de existirem acelerômetros, extensômetros e inclinômetros, essas informações não são processadas em tempo real, o que reduz a capacidade de identificar riscos com antecedência.

Com o aumento do tráfego e a necessidade de decisões mais rápidas, ficou evidente que o modelo atual não é eficiente para garantir a segurança estrutural dessas obras. Por isso, o objetivo do projeto é desenvolver um sistema inteligente de análise, usando técnicas de Inteligência Artificial, capaz de identificar anomalias automaticamente e emitir relatórios confiáveis para orientar ações de manutenção.

Esse problema envolve tanto questões técnicas quanto organizacionais, já que a empresa possui uma equipe experiente em estruturas, mas com pouca familiaridade com IA. Isso significa que o projeto precisa ser implementado de forma gradual, com soluções que facilitem o uso pelos engenheiros, sem exigir conhecimentos avançados em programação ou ciência de dados.

## **2. Situação Atual e Suas Limitações**

Atualmente, o processo de monitoramento apresenta alguns problemas bem claros:

### **2.1 Coleta de dados atrasada:**

Os sensores já fornecem informações relevantes, mas como o processamento não é contínuo, eventuais anomalias só são percebidas semanas depois.

### **2.2 Dependência total de análise humana:**

Os relatórios são longos e dependem inteiramente do tempo disponível dos engenheiros. Isso gera atrasos e aumenta o risco de falhas passarem despercebidas.

### **2.3 Baixa integração entre sistemas:**

Informações estruturais, modelos CAD/BIM, planilhas e relatórios não se comunicam entre si. Cada setor trabalha isolado.

### **2.4 Volume de dados muito grande:**

Cada ponte gera mais de 10 mil pontos de medição. Somando todas as pontes, são mais de 50 GB por dia — algo impossível de acompanhar manualmente.

### **2.5 Equipe sem experiência em IA:**

Embora tecnicamente competente, a equipe ainda não está acostumada a usar ferramentas inteligentes no fluxo de trabalho.

Essas limitações tornam o sistema atual lento, vulnerável e dependente de esforço humano constante.

## **3. Objetivo**

Diante desse cenário, o grande desafio é implementar um sistema de análise estrutural inteligente, capaz de:

- processar o grande volume de dados em tempo quase real;
- identificar automaticamente padrões que indiquem problemas estruturais;
- entregar relatórios claros, práticos e bem organizados;
- se integrar aos softwares que a empresa já usa (como AutoCAD, SAP2000 e BIM);
- permitir que qualquer engenheiro da equipe consiga utilizar o sistema sem complexidade.

Ou seja, o objetivo é criar uma solução que une inteligência artificial, engenharia estrutural e ferramentas digitais de forma simples, eficiente e confiável.

## **4. Riscos e Desafios Técnicos**

Ao estudar o problema, ficou claro que alguns pontos exigem atenção:

### **4.1 Volume de dados e tempo de resposta**

O sistema deve lidar com dezenas de gigabytes por dia e entregar alertas em até 5 minutos.

## **4.2 Integração com ferramentas e normas**

É necessário compatibilizar a solução com:

- AutoCAD
- SAP2000
- Planilhas Excel
- Normas NBR 6118 e 8681
- IFC (padrão BIM)

## **4.3 Uso fácil por engenheiros**

A interface precisa ser intuitiva, sem depender de conhecimentos avançados de IA.

## **4.4 Orçamento limitado**

O projeto deve caber em R\$ 2,5 milhões, incluindo:

- desenvolvimento
- infraestrutura
- treinamento da equipe

## **4.5 Segurança e privacidade**

O sistema deve seguir LGPD, especialmente porque registra dados de obras públicas críticas.

## **5. Oportunidade de Transformação**

Apesar dos desafios, o projeto representa uma grande evolução para a empresa, porque:

- Automatiza tarefas repetitivas e demoradas
- Reduz riscos de falhas estruturais
- Melhora a capacidade de tomada de decisão
- Moderniza os processos internos
- Permite criar uma base robusta para futuros projetos com IA

Além disso, o sistema pode ser escalado futuramente para monitorar viadutos, túneis, hospitais, edifícios públicos e outras infraestruturas.

## **6. Conclusão da Análise**

O problema, não é apenas “monitorar pontes”, mas transformar a forma como a empresa trabalha com dados estruturais. O sistema a ser desenvolvido precisa unir:

- confiabilidade da engenharia estrutural

- automação da IA
- integração com ferramentas técnicas
- e facilidade de uso para a equipe

Essa primeira análise serve como base para definir os requisitos, projetar a arquitetura e construir os prompts que serão usados ao longo da solução.

## 7. Definição dos Requisitos Técnicos

Com base no diagnóstico do problema e nas limitações identificadas, é possível definir os requisitos que o sistema de monitoramento inteligente deve atender. Esses requisitos foram organizados em cinco categorias: processamento de dados, análise inteligente, integração com ferramentas existentes, usabilidade e requisitos normativos.

### 7.1 Requisitos de Processamento e Desempenho

#### 7.1.1. Processamento em tempo quase real

O sistema deve ser capaz de analisar os dados dos sensores com uma latência máxima de 5 minutos.

#### 7.1.2. Suporte a grandes volumes de dados

Cada ponte gera milhares de leituras por hora. O sistema precisa suportar pelo menos **50 GB de dados por dia** sem perda de desempenho.

#### 7.1.3. Capacidade de escalabilidade

A solução deve permitir expandir o monitoramento para mais pontes no futuro sem necessidade de reconstruir toda a infraestrutura.

#### 7.1.4. Armazenamento estruturado e seguro

Os dados precisam ser organizados de forma eficiente, permitindo consultas rápidas, histórico de anomalias e rastreabilidade.

## 8. Requisitos de Inteligência Artificial e Detecção de Anomalias

### 8.1. Identificação automática de padrões anormais

O sistema deve utilizar modelos de IA capazes de reconhecer mudanças

em aceleração, vibração, deformação, inclinação e outros comportamentos estruturais.

#### **8.2. Alertas baseados em tolerâncias estruturais**

As análises devem considerar limites técnicos definidos pelas normas, evitando falsos positivos.

#### **8.3. Classificação do nível de criticidade**

O sistema deve indicar se o problema é leve, moderado ou crítico, facilitando decisões da equipe.

#### **8.4. Geração automática de relatórios técnicos**

Os relatórios devem incluir:

- resumo do que foi detectado
- gráficos e tendências
- justificativa técnica
- recomendações de inspeção ou manutenção

#### **8.5. Treinamento e melhoria contínua**

O modelo de IA deve permitir novos treinamentos com dados reais, ajustando sua precisão com o tempo.

### **9. Requisitos de Integração com Ferramentas Existentes**

A empresa já trabalha com plataformas consolidadas. O sistema deve integrar com:

#### **9.1. Modelos estruturais (SAP2000, TQS, entre outros)**

Para cruzar dados de sensores com cálculos e modelos teóricos.

#### **9.2. Ambientes CAD/BIM (Autodesk, IFC)**

Permitindo visualizar as anomalias diretamente no modelo 3D da ponte.

#### **9.3. Planilhas técnicas**

Para compatibilidade com o fluxo atual da equipe.

#### **9.4. MCP – Model Context Protocol**

Utilizado para organizar prompts, configurar agentes e facilitar a comunicação entre ferramentas.

## **9.5. GitHub Workflows**

Supporte à automação e versionamento do projeto

# **10. Requisitos Normativos, Legais e de Segurança**

## **10.1. Conformidade com NBR 6118**

Para garantir os critérios de segurança estrutural.

## **10.2. Conformidade com NBR 8681**

Para definição e combinação das ações sobre as estruturas.

## **10.3. Adequação ao IFC (ISO 16739)**

Para integração com ambientes BIM.

## **10.4. LGPD – Proteção de dados sensíveis**

O sistema deve garantir que nenhum dado sensível seja exposto ou utilizado indevidamente.

## **10.5. Controle de acesso e níveis de permissão**

Para verificar quem pode visualizar alertas, relatórios e registros históricos.

# **11. Restrições do Projeto**

Além dos requisitos acima, existem limitações que influenciam a solução:

- Orçamento máximo de R\$ 2,5 milhões
- Prazo total de 18 meses
- Equipe com experiência limitada em IA
- Infraestrutura existente deve ser aproveitada ao máximo

Essas restrições guiam a escolha das tecnologias e a forma como a solução será implementada.

# **12. Arquitetura da Solução Proposta**

## **12.1. Visão Geral**

O sistema será composto por um fluxo contínuo:

**Sensores + Coleta + IA + Armazenamento + Análise + Relatórios + Visualização no BIM/Dashboard.**

A ideia é que os engenheiros recebam informações claras e rápidas, sem precisar lidar diretamente com a complexidade dos modelos de IA. A automação cuida da maior parte do trabalho, enquanto a equipe atua na interpretação técnica e na tomada de decisão.

## 13. Coleta e Ingestão de Dados

Os sensores já existentes nas pontes continuarão sendo utilizados (acelerômetros, extensômetros e inclinômetros). A diferença é que agora eles serão conectados a uma plataforma de ingestão em tempo real, responsável por:

- captar as medições continuamente;
- enviar os dados para o servidor central;
- organizar os dados por ponte, sensor e horário;
- armazenar tudo de forma segura.

Essa camada é essencial para reduzir atrasos e garantir que o sistema tenha dados atualizados a todo momento.

## 14. Processamento e Armazenamento

Depois da coleta, os dados passam para a camada de processamento, onde ocorrem:

### 14.1. Limpeza e padronização das informações

(remoção de ruído, picos falsos, medições incompletas etc.)

### 14.2. Armazenamento em banco de dados estruturado

Com histórico completo para análises posteriores.

### 14.3. Filtragem por ponte e por tipo de comportamento estrutural

Ex.: vibração, deformação, deslocamento, temperatura.

Essa etapa organiza tudo de forma que os modelos de IA possam trabalhar com qualidade e precisão.

## 15. Inteligência Artificial e Detecção de Anomalias

Aqui está o “coração” do sistema. A IA será responsável por identificar comportamentos anormais baseados em padrões que normalmente não são perceptíveis apenas com a análise manual.

As principais funções dessa etapa são:

- analisar continuamente o comportamento de cada ponte;
- cruzar dados reais com limites definidos pelas normas técnicas;
- identificar padrões que indiquem início de deterioração;
- classificar a severidade dos problemas;
- gerar relatórios automaticamente.

Essa IA será treinada com dados históricos e, conforme novos dados forem chegando, ela evolui, ficando mais precisa.

## 16. Integração com Ferramentas da Empresa

Uma parte muito importante do projeto é fazer o sistema conversar com o que a equipe já usa no dia a dia.

**A integração inclui:**

- **Modelos CAD/BIM (IFC)**

Para visualização de onde ocorreu a anomalia dentro da estrutura real da ponte.

- **SAP2000 e ferramentas estruturais**

Cruzando dados reais com modelos teóricos.

- **Excel**

Por ser útil em rotinas já estabelecidas pelo setor de engenharia.

- **MCP – Model Context Protocol**

Onde serão configurados prompts, agentes e tarefas automáticas que conectam IA + BIM + Relatórios + Workflows.

Essa camada garante que o novo sistema não substitua tudo que já existe, mas se torne um complemento poderoso.

## 17. Dashboard e Relatórios Automáticos

Finalmente, tudo é organizado de forma simples para o usuário final. Essa camada é a “cara” do sistema.

**Entre suas funções:**

- **Painel de monitoramento das pontes**

Mostrando valores importantes e alertas em tempo real.

- **Gráficos e tendências**

Para identificar variações ao longo do tempo.

- **Mapeamento das anomalias no modelo 3D**

Integrado ao BIM.

- **Relatórios automáticos**

Feitos pela IA, com resumo técnico e recomendações.

Essa camada mantém o engenheiro sempre informado, mesmo sem abrir dezenas de documentos.

## 18. Estratégia de Prompts

A estratégia de prompts do sistema foi organizada em quatro grupos principais, cada um atendendo a uma necessidade específica do projeto. O objetivo é garantir que a IA consiga analisar dados estruturais, gerar relatórios e interagir com ferramentas de engenharia de forma clara e padronizada

### 18.1. Prompts Zero-Shot

São usados para análises rápidas ou respostas diretas

**Exemplos:**

“Identifique se há anomalia nos dados desta ponte e classifique a criticidade.”

“Resuma os principais eventos estruturais registrados nas últimas 24 horas.”

## **18.2. Prompts Few-Shot**

Fornecem pequenos exemplos para padronizar o formato das respostas, principalmente alertas e relatórios curtos.

**Exemplo:**

“Siga o formato dos exemplos abaixo e gere um alerta para os dados recebidos.”

## **18.3. Chain-of-Thought (CoT)**

Utilizado quando é importante que a IA mostre o raciocínio técnico passo a passo, o que ajuda na justificativa das anomalias.

**Exemplo:**

“Explique passo a passo se os dados estão dentro dos limites da NBR 6118 e indique a causa provável da anomalia.”

## **18.4. Prompts para BIM e Integração**

São prompts específicos para relacionar dados estruturais com os modelos CAD/BIM e ferramentas da empresa.

**Exemplos:**

“Localize o sensor X no modelo IFC e destaque a anomalia detectada.”

“Compare o valor observado com o modelo teórico do SAP2000 e informe a diferença percentual.”

## **18.5. Relatórios Automáticos**

São prompts que reúnem tudo em um documento simples para o engenheiro.

**Exemplo:**

“Gere um relatório técnico contendo anomalias, tendências e recomendações para a ponte X.”

## **18.6. Integração com MCP**

Os prompts são organizados no MCP como agentes e tarefas automáticas.

**Exemplo:**

“Agente estrutural: analise os dados, classifique a criticidade e envie alertas ao agente BIM quando necessário.”

## 19. Estrutura do Arquivo .agents

A solução usa três agentes principais, cada um com uma função específica:

### 19.1. Agente de Análise Estrutural

Responsável por interpretar os dados dos sensores e identificar qualquer comportamento fora do padrão.

**Funções principais:**

- analisar vibração, deformação e deslocamento;
- classificar a criticidade;
- justificar a decisão de forma objetiva;
- enviar alertas quando necessário.

**Prompt base:**

“Analise os dados recebidos, identifique padrões anormais e classifique a criticidade com justificativa técnica.”

### 19.2. Agente BIM/CAD

Esse agente relaciona as anomalias com o modelo estrutural da ponte.

**Funções principais:**

- localizar o sensor no modelo BIM (IFC);
- destacar o ponto da anomalia;
- enviar as informações para visualização no dashboard.

**Prompt base:**

“Receba a anomalia identificada e destaque sua posição no modelo IFC, gerando a instrução visual correspondente.”

### 19.3. Estrutura Simplificada do Arquivo (.agents)

Abaixo está um exemplo curto e ilustrativo de como ele ficaria:

```
agents:
  - name: analise_estrutural
    description: Analisa dados dos sensores e identifica anomalias.
    prompt: "Analise os dados e classifique a criticidade com justificativa técnica."

  - name: agente_bim
    description: Localiza a anomalia no modelo IFC e gera instruções de visualização.
    prompt: "Receba a anomalia e destaque sua posição no modelo BIM."

  - name: relatorios
    description: Gera relatórios técnicos de forma padronizada.
    prompt: "Crie relatório com resumo, anomalias e recomendações práticas."

workflow:
  - from: analise_estrutural
    to: agente_bim

  - from: agente_bim
    to: relatorios
```

## 20. Workflows e Automação (GitHub Actions)

### 20.1. Objetivo da Automação

A automação foi planejada para reduzir o trabalho manual dos engenheiros e garantir que o sistema funcione de forma contínua.

Sempre que novos dados chegam ou um horário agendado é atingido, o workflow executa:

- análise de dados;
- detecção de anomalias;
- atualização do modelo BIM;
- envio para o agente de relatórios.

Isso evita atrasos e mantém todos os processos rodando de forma previsível.

### 20.2. Fluxos Automatizados

Foram criados três fluxos principais:

#### 20.2.1. Análise diária dos sensores

Executado automaticamente todos os dias.

**Função:**

- puxar dados novos,
- enviar para o agente de análise estrutural,
- registrar resultados no banco.

#### 20.2.2. Relatório semanal automático

Toda semana, o sistema gera um relatório consolidado.

**Função:**

- compilar todos os alertas,
- organizar tendências,
- gerar relatório PDF,
- disponibilizar para a equipe.

#### 20.2.3. Exemplo de workflow (ilustrativo)

```
name: analise-diaria

on:
  schedule:
    - cron: "0 6 * * *"    # todos os dias às 06h
    workflow_dispatch:      # também pode ser executado manualmente

jobs:
  analisar_sensores:
    runs-on: ubuntu-latest
    steps:
      - name: Obter dados
        run: python scripts/coletar_dados.py

      - name: Rodar análise estrutural
        run: python agentes/analise_estrutural.py

      - name: Registrar resultados
        run: python scripts/registrar_resultados.py
```