



Diagnóstico da Saúde de Transformadores de Alta Potência via Ruídos de Magnetostricção com apoio de Drones Terrestres

Esta apresentação abordará o projeto de diagnóstico da saúde de transformadores de alta potência com o apoio de drone terrestre. Exploraremos como os ruídos de magnetostricção revelam a saúde dessas máquinas críticas e como o uso de drones aumenta o nível de segurança.



por Carlos Delfino

Quem é Carlos Delfino

- Profissional atuante a 35 anos no campo de TI;
- Desenvolvedor de softwares no backend e firmware;
- Atuou como técnico de manutenção em TI por 10 anos;
- Atuou como desenvolvedor por outros 10 anos;
- Estudou e atuou no campo de firmware por 15 anos;
- Formado como Técnico em Eletrônica por tempo de experiência;
- Formado tecnólogo em Projeto e Implementação de Redes de Computadores;
- Colaborador no Mestrado do Prof. Aminadabe - Diagnóstico de Falhas em Redes WDM/SDH
- Colaborador no Mestrado do Prof. Inácio Dutra - Diagnóstico com Agentes Móveis - Aglets
- Cursando Engenharia de Software (Bacharel)



Transformador Explode em Fortaleza no Bairro do PICI



YouTube



Transformador Explode no Ca...

#cursogratico #eletronica Para
doações para ajudar na compra d...

00:38



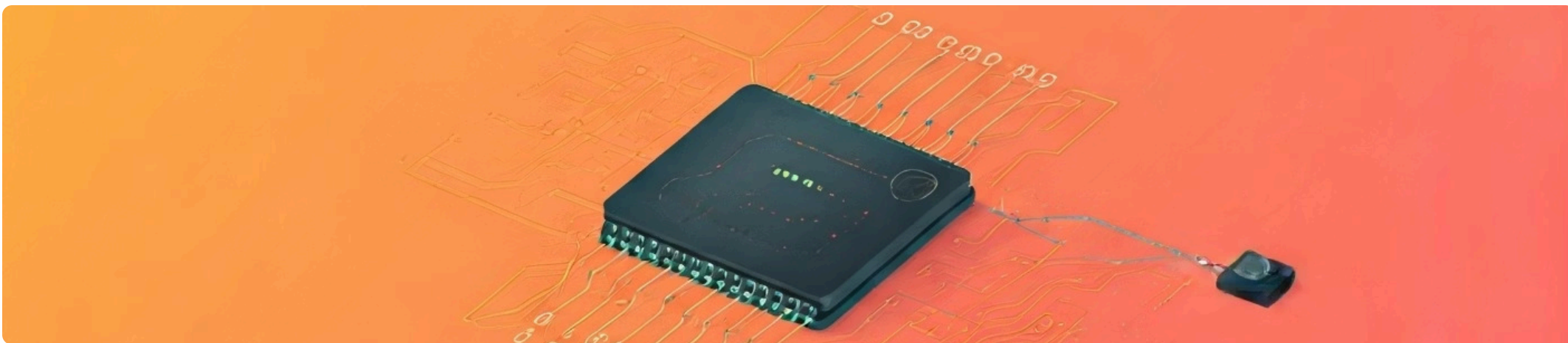
g1 G1



Explosão em subestação de e...

Confira mais notícias em
g1.globo.com/ce

EXPLOÇÃO EM SUBESTAÇÃO DE ENERGIA NO
blema técnico causou falha em transformador; equipamento é da U



Como surgiu o Projeto "Magneto"

- O projeto surgiu com a necessidade de desenvolver uma solução em IoT para conclusão da primeira etapa do Embarcotech;
- Sugerida pelo Mstr. Eng. Davi Paiva, durante uma conversa sobre o Embarcotech, e consolidada pelo Eng. Francisco Santana;
- Como já atuei como assistente em dois mestrados sobre Diagnóstico, vi que seria totalmente coerente com minha experiência;
- O assunto acabou despertando meu anseio por aprendizado e conhecimento, influenciando na minha dedicação.
- Desde então tenho me dedicado a pesquisar sobre DSP (Digital Signal Processing) para análise de sinais utilizando filtros, cepstrais e redes neurais.



A Vital Importância dos Transformadores de Alta Potência e Seus Desafios



Distribuição de Energia

Transformadores são essenciais para a distribuição eficiente de eletricidade.



Desafios Operacionais

Falhas podem causar interrupções e grandes perdas financeiras. Além de causarem poluição sonora



Manutenção Preditiva

O diagnóstico precoce evita avarias e otimiza a manutenção. Trazendo economia e conforme em áreas urbanas, conforto.

Transformadores de alta potência são o coração das redes elétricas. Sua falha impacta diretamente o fornecimento e a economia. A manutenção preditiva é crucial para garantir a continuidade e segurança.

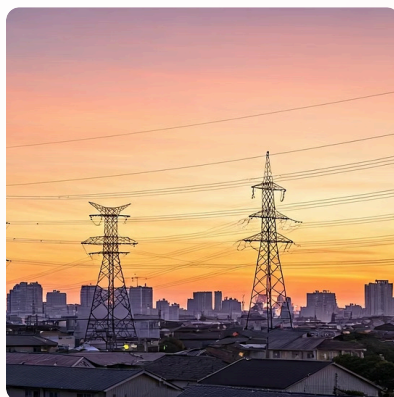
O Impacto Econômico e a Importância dos Transformadores na América Latina

O mercado de transformadores na América Latina é robusto e vital, com uma infraestrutura elétrica vasta e em constante expansão que depende diretamente desses equipamentos essenciais.



Mercado Bilionário

Valor estimado entre US\$ 2,9 e US\$ 5 bilhões (2024/2026), com crescimento sustentável projetado para a próxima década.



Cobertura Abrangente

Mais de 223 milhões de clientes conectados à rede, incluindo residências e indústrias, com eletrificação residencial quase universal.



Perdas Significativas

As perdas elétricas na distribuição, que incluem falhas em transformadores, chegam a cerca de 7,4% da energia injetada no Brasil, gerando bilhões em custos.

A confiabilidade e a eficiência dos transformadores são cruciais para a estabilidade econômica e o fornecimento contínuo de energia na região.

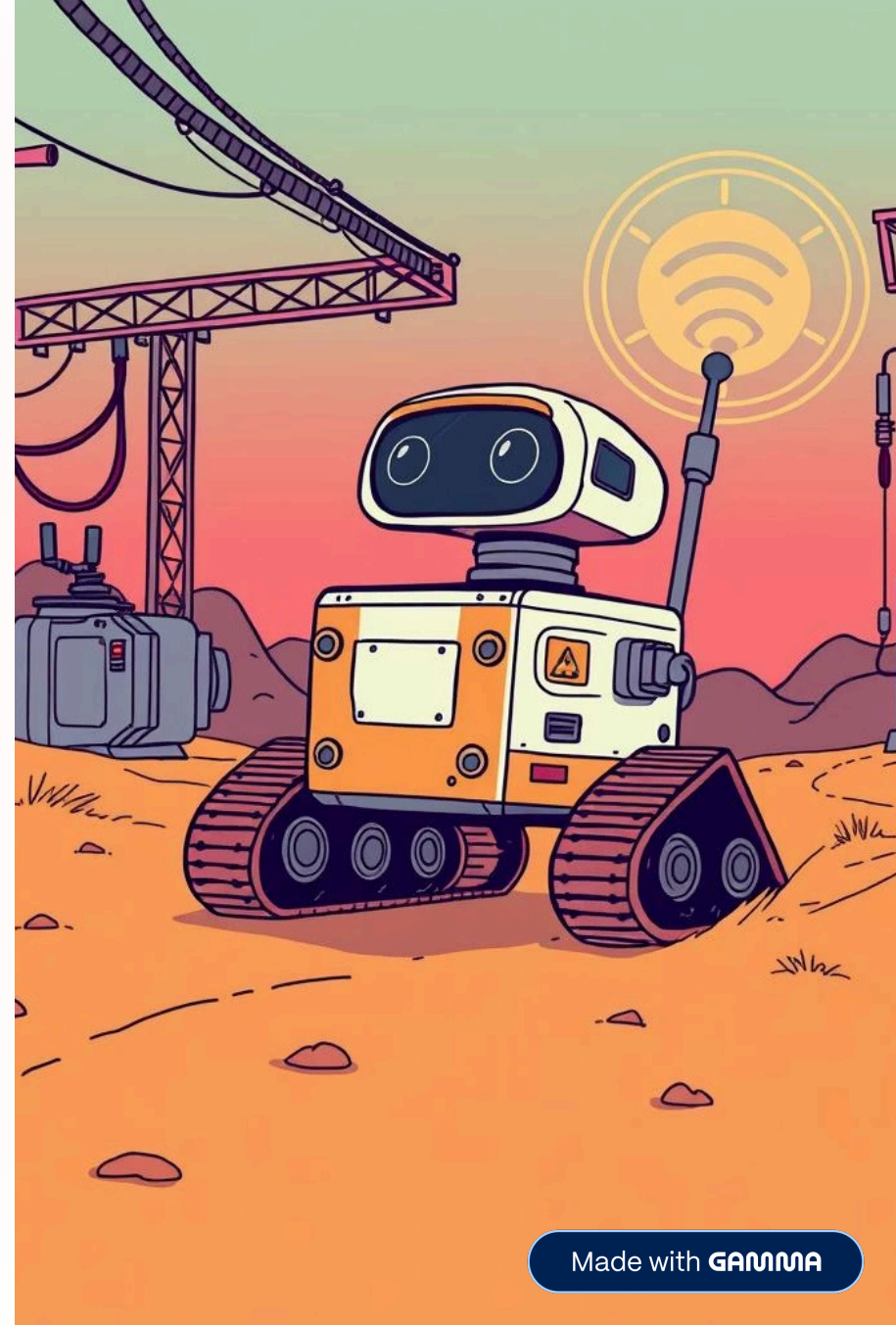
Riscos Tecnológicos

Como todo projeto inovador que utiliza tecnologia de ponta, este está sujeito a riscos inerentes ao desconhecimento dos desafios que serão encontrados. A pesquisa é fundamental para identificar custos, possíveis falhas no projeto e implementar as correções necessárias.

Até o momento, não identificamos problemas significativos com as tecnologias escolhidas. No entanto, demanda-se a realização de mais testes para validar a robustez do sistema.

O rover representa o maior risco do projeto, pois torná-lo autônomo em um ambiente potencialmente hostil, com possíveis interferências eletromagnéticas, constitui um desafio técnico considerável.

A captura de amostras para treinamento do modelo também é um grande desafio, exigindo rigor metodológico e quantidade suficiente de dados para garantir a precisão do sistema.



Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Os custos iniciais para o primeiro ano do projeto "Magneto" são centrados na aquisição e desenvolvimento de hardware essencial. Esta fase é crucial para a prototipagem e validação da nossa solução.

Plataforma Robótica (Rover)

Um protótipo robusto com mobilidade avançada, sensores LIDAR e IMUs.

Custo Estimado: US\$ 15.000 (R\$ 75.000)

Sistema Embarcado

Desenvolvimento e prototipagem de hardware customizado, incluindo DSP/MCU e firmware.

Custo Estimado: US\$ 25.000 (R\$ 125.000)

Custo Total Projetado em Equipamentos: R\$ 200.000

Estes valores são estimativas atualizadas, considerando a importação e o desenvolvimento de componentes especializados necessários para a fase de pesquisa e validação.

Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Salários e Encargos – Equipe Técnica

Os salários apresentados a seguir são baseados em médias de mercado no Brasil para profissionais de tecnologia e engenharia para o período de 2025–2026, incluindo todos os encargos e benefícios.

Engenheiros (CLT ou PJ incentivado)

Salário médio de R\$ 9.000 a R\$ 14.000 mensais para áreas de sistemas embarcados/IA.

Custo Unitário: R\$ 12.000/mês + 60% encargos = R\$ 19.200/mês

Custo Total (3 Engenheiros): $3 \times \text{R\$ } 19.200 \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 691.200$

Estagiários / Assistentes Técnicos

Estagiários em engenharia/tecnologia recebem entre R\$ 1.500 a R\$ 2.500/mês.

Custo Unitário: R\$ 2.500/mês (com encargos e benefícios)

Custo Total (2 Assistentes): $2 \times \text{R\$ } 2.500 \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 60.000$

Custo Total Projetado em Salários e Encargos: R\$ 751.200

Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Suporte Administrativo e Gestão

Para o primeiro ano do projeto "Magneto", foram orçadas as despesas essenciais de suporte administrativo e gerencial, que incluem liderança, contabilidade e assessoria jurídica.

Gerente de Startup (PJ/CLT)

Responsável pela coordenação geral e estratégia do projeto.

Custo Estimado: R\$ 10.000/mês
+ 60% encargos = R\$ 16.000/mês

Administração, Contabilidade e Jurídico

Serviços terceirizados essenciais para a conformidade legal e financeira.

Custo Estimado: R\$ 4.000/mês

Custo Total Projetado (Administrativo/Gerencial): R\$ 240.000

Estes valores são baseados em médias de mercado e garantem a estrutura necessária para a operação eficiente do projeto.



Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Infraestrutura e Operação

Para o primeiro ano do projeto "Magneto", foram orçadas as despesas essenciais de infraestrutura e operação, visando garantir um ambiente de trabalho produtivo e o suporte tecnológico necessário.

Espaço de Trabalho / Coworking

Aluguel de espaço de trabalho flexível, incluindo internet e serviços básicos para a equipe.

Custo Estimado: R\$ 3.000/mês

Custo Total Anual: R\$ 36.000

Servidores, Nuvem e Ferramentas

Assinaturas de plataformas de CI/CD, repositórios de código, servidores de teste e serviços de nuvem (AWS, Azure, GCP).

Custo Total Anual: R\$ 20.000

Impressora 3D e Materiais

Aquisição de impressora 3D profissional e suprimentos para prototipagem rápida de componentes.

Custo Estimado: R\$ 15.000

(impressora) + R\$ 5.000 (materiais)

Custo Total Anual: R\$ 20.000

Custo Total Projetado (Infraestrutura e Operação): R\$ 76.000

Estes valores garantem a base operacional para o desenvolvimento do projeto, otimizando recursos e promovendo um ambiente propício à inovação.

Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Serviços Terceirizados e Licenças Técnicas

Esta seção detalha os custos essenciais para garantir o suporte técnico especializado e as licenças de software necessárias para o desenvolvimento e operação do projeto "Magneto" no primeiro ano.

Software de CAD/CAE e Licenças de Desenvolvimento

Inclui pacotes de desenvolvimento embarcado, compiladores e ferramentas de simulação para otimizar o design e testes.

Custo Estimado: R\$ 10.000/ano

Consultoria Técnica e Auditorias

Suporte pontual em áreas críticas como segurança cibernética, validação de firmware e compliance regulatório.

Custo Estimado: R\$ 40.000/ano

Custo Total Projetado (Serviços e Licenças): R\$ 50.000

Esses investimentos garantem que o projeto "Magneto" tenha acesso às melhores ferramentas e expertise externa para superar desafios técnicos e manter os mais altos padrões de qualidade e segurança.

Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Reserva de Contingência e Imprevistos

Como projetos tecnológicos costumam ter atrasos e custos extras, é prudente reservar uma porcentagem do orçamento total para imprevistos. Esta reserva garante flexibilidade e segurança para o desenvolvimento.

Fundo de Contingência

Recomendamos 10% do orçamento total para ajustes de hardware/software, testes adicionais, retrabalhos ou certificações não previstas. Isso cobre riscos e garante a conclusão do projeto.

Base de Cálculo: 10% do total acumulado de equipamentos, salários, gestão, infraestrutura e serviços (R\$ 1.317.200).

Custo Total Projetado (Reserva de Contingência): R\$ 131.720

Esta reserva é crucial para mitigar riscos, absorver custos inesperados e assegurar a estabilidade financeira e operacional do projeto "Magнето" durante seu primeiro ano.

Resumo Final dos Custos – Ano 1

Uma visão consolidada dos investimentos previstos para o primeiro ano do Projeto Magneto, refletindo uma alocação estratégica de recursos.

Categoria	Valor (R\$)
Equipamentos / Protótipos	200.000
Salários de Engenheiros	691.200
Estagiários / Assistentes	60.000
Administração & Gestão	240.000
Espaço / Infraestrutura	36.000
Servidores & Nuvem	20.000
Impressão 3D e Materiais	20.000
Licenças Técnicas	10.000
Consultorias Especializadas	40.000
Subtotal	1.317.200
Contingência (10%)	131.720

Total Geral Projetado – 1º ano: ≈ R\$ 1.448.920

Este orçamento detalhado garante a infraestrutura, a equipe especializada e a flexibilidade financeira necessárias para o desenvolvimento e validação bem-sucedidos do projeto.

Projeção de Custos de Projeto e Operação – 1º Ano

Considerações Adicionais Importantes

Além dos custos diretos, existem despesas significativas que, se não consideradas, podem impactar a viabilidade financeira do projeto "Magneto".

Tributação e Encargos Trabalhistas

Custos legais de tributos, folha de pagamento, FGTS, INSS e regimes tributários (Simples, Lucro Presumido/Real) podem adicionar **10-15%** aos custos de pessoal.

Certificações de Produtos

Certificações de segurança e EMC para produtos embarcados e robôs autônomos variam de **R\$ 30.000 a R\$ 150.000**, conforme o mercado alvo.

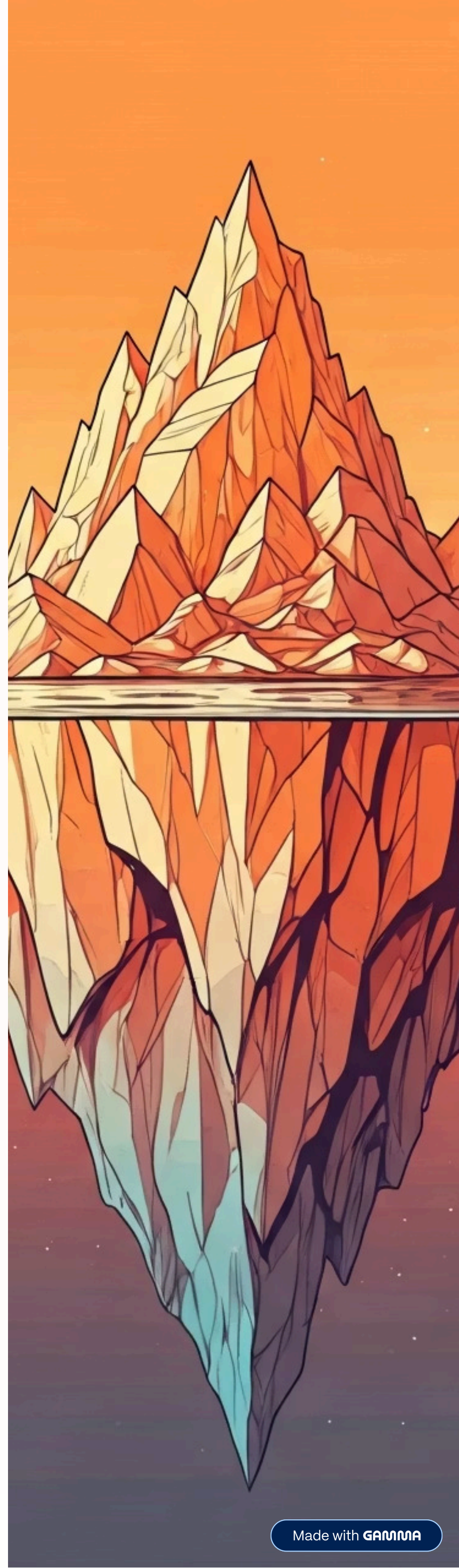
Marketing e Prospecção

Investimento prudente em marketing digital, aquisição de clientes e testes de campo é estimado entre **R\$ 30.000 e R\$ 80.000** para o primeiro ano.

Impostos de Importação e Câmbio

A flutuação cambial e os tributos sobre componentes eletrônicos e plataformas importadas podem elevar o custo total do projeto.

Estes custos adicionais são cruciais para a sustentabilidade e planejamento completo do projeto.



Concorrentes e Tecnologias de Manutenção Preditiva

O mercado de manutenção preditiva para transformadores é dinâmico, com grandes players oferecendo soluções abrangentes, desde hardware de monitoramento até plataformas avançadas de análise de dados. Este é um panorama dos principais atuantes:

Siemens Energy

Destaca-se com o **Sensformer®**, transformadores digitalizados que integram sensores e análise de dados para manutenção proativa e extensão da vida útil.

Hitachi Energy

Oferece o **Ecosystema TXpert™**, uma plataforma aberta e escalável para digitalização de transformadores, focada em inteligência e decisões baseadas em dados.

Schneider Electric

Com o **EcoStruxure Asset Advisor**, emprega sensores IoT e análises de software para visibilidade contínua, mitigando riscos e otimizando a manutenção.

Treetech

Empresa brasileira especializada em monitoramento de transformadores com uma vasta gama de sensores inteligentes, como Relés Reguladores de Tensão e Monitores de Gás.

GE (Grid Solutions)

Conhecida por equipamentos de diagnóstico como o **Kelman DGA 900** e o **Hydran M2-X**, essenciais para detecção de falhas via análise de gases dissolvidos no óleo isolante.

Qualitrol

Fornecer sistemas de monitoramento online contínuo de descargas parciais (**QPDM, 609 PDM**) e monitores portáteis para diagnósticos offline.

Doble

Oferece sensores indutivos e o **doblePRIME PD-Guard** para monitoramento contínuo de descargas parciais em diversos equipamentos elétricos.

Empresas e Soluções com Drones para Termografia

Drones transformam a inspeção termográfica em subestações e linhas de transmissão, oferecendo eficiência e segurança em áreas de difícil acesso. Conheça as principais inovações no setor:

Pix Force

Utiliza IA e visão computacional para inspeções termográficas com drones, processando dados em tempo real via plataforma Pix Grid.

IFell

Fornecer serviços de termografia com drone para inspeções precisas, focando na segurança e qualidade de projetos elétricos.

BW Lopes

Realiza inspeções termográficas com drones e sensores avançados para detectar fissuras, corrosão e variações de temperatura.

Jundlight

Propõe termografia com drones para monitorar equipamentos e detectar problemas estruturais em usinas e indústrias.

Mapas Drone

Oferece inspeção térmica com drone para detecção rápida de falhas, garantindo segurança e eficiência operacional.

ISA Energia Brasil

Desenvolveu uma solução inédita para inspeção automatizada em subestações usando drones com câmeras térmicas de alta precisão.

Eletrobras Innovation Grid

Busca soluções tecnológicas para inspeção remota e autônoma em subestações de alta tensão por meio de drones inovadores.

Empresas e Soluções com Rovers/Robôs para Termografia

Complementando a inspeção aérea com drones, a tecnologia de rovers e robôs terrestres equipados com câmeras térmicas está ganhando espaço para inspeções detalhadas em subestações e equipamentos elétricos.

Camerarock

Oferece robôs com câmeras de imagem térmica infravermelha para inspeção de subestações, facilitando a identificação visual de anomalias de temperatura.

FLIR

Equipa robôs inteligentes de inspeção com tecnologia termográfica para realizar inspeções diurnas e noturnas em equipamentos vitais.

State Grid

Lançou um robô capaz de inspecionar subestações de energia elétrica, operando em terreno irregular com navegação autônoma e tirando fotografias visuais e termográficas.

Eletrobras Innovation Grid

Também busca soluções de robôs terrestres para inspeção de equipamentos de alta tensão em subestações.

Lactec

Desenvolve robôs para inspeção de subestações, capazes de operar em terreno irregular e desviar de obstáculos, executando rotas pré-agendadas ou sob demanda.

Empresas com Soluções Relacionadas (Vibração e Ruído)

Embora a aplicação comercial de técnicas focadas exclusivamente em magnetostricção ainda esteja em desenvolvimento no Brasil, diversas empresas oferecem monitoramento de vibração e ruído, fenômenos intrinsecamente ligados e que podem indiretamente inferir sobre a magnetostricção:

Treetech

Especializada em monitoramento de transformadores, oferece sensores que podem detectar vibrações e ruídos anormais, indicativos de problemas relacionados à magnetostricção.

HVEX

Fornecer sistemas de monitoramento de transformadores que coletam dados em tempo real, incluindo parâmetros que podem ser correlacionados com vibrações e ruídos.

Eurovolt

Com soluções técnicas completas de monitoramento de ativos para o setor elétrico, pode integrar análises de vibração e ruído em seus serviços.

Fase Manutenção Preditiva

Especializada em análise de vibração e termografia, seus serviços de monitoramento de vibração em máquinas rotativas podem ser adaptados para transformadores.

Acoem Brasil

Desenvolve, fabrica e mantém sensores e soluções integradas para monitoramento de ruído e vibração, essenciais para uma análise preditiva detalhada.

MTA Engenharia de Vibrações

Realiza serviços na área acústica, incluindo monitoramento de ruído e caracterização acústica de máquinas, relevantes para o diagnóstico de transformadores.

Dewesoft Brasil

Oferece soluções avançadas para medição e análise de acústica e vibrações, contribuindo para o diagnóstico preciso de fenômenos como a magnetostricção.

Equipamentos Chave para Manutenção Preditiva

Para um diagnóstico preciso da saúde dos transformadores, utiliza-se uma variedade de equipamentos especializados, cada um focado em parâmetros críticos específicos. Essas ferramentas permitem a detecção precoce de anomalias, garantindo a confiabilidade e a extensão da vida útil dos ativos.

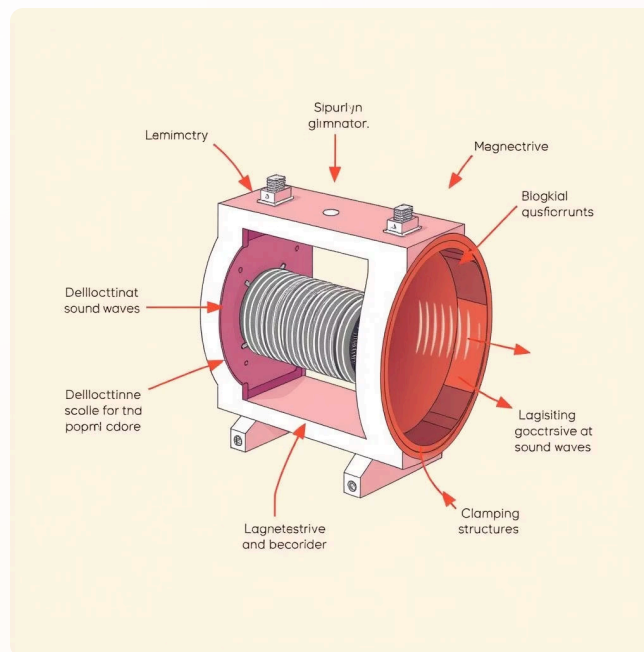
	Sensores de Gás Dissolvido (DGA) Monitoram gases como hidrogênio e metano, essenciais para identificar falhas internas incipientes. Ex: Kelman DGA 900, GMP (Treotech).
	Sensores de Descargas Parciais (DP) Detectam pequenas descargas elétricas que indicam degradação do isolamento. Ex: QPDM (Qualitrol), doblePRIME PD-Guard (Doble).
	Sensores de Temperatura Monitoram a temperatura do óleo e dos enrolamentos, cruciais para a operação segura e eficiente. Ex: Fibra óptica (FJINNO, LumaSense), TM (Treotech).
	Sensores de Umidade no Óleo Avaliam a presença de água no óleo isolante, que pode comprometer a integridade do isolamento. Ex: MO (Treotech), Hydran M2-X (GE).
	Sensores de Buchas Focam na condição das buchas capacitivas, pontos críticos de falha que podem levar a interrupções. Ex: BM (Treotech).
	Plataformas de Monitoramento Sistemas que coletam, processam e analisam dados dos sensores, oferecendo insights e alertas. Ex: TXpert™ Hub (Hitachi Energy), EcoStruxure Asset Advisor (Schneider Electric).

Entendendo a Magnetostricção: O Fenômeno Físico por Trás do Ruído

O Que é?

Magnetostricção é a alteração dimensional de materiais ferromagnéticos.

- Causada por campos magnéticos.
- Gera vibrações e ruídos.



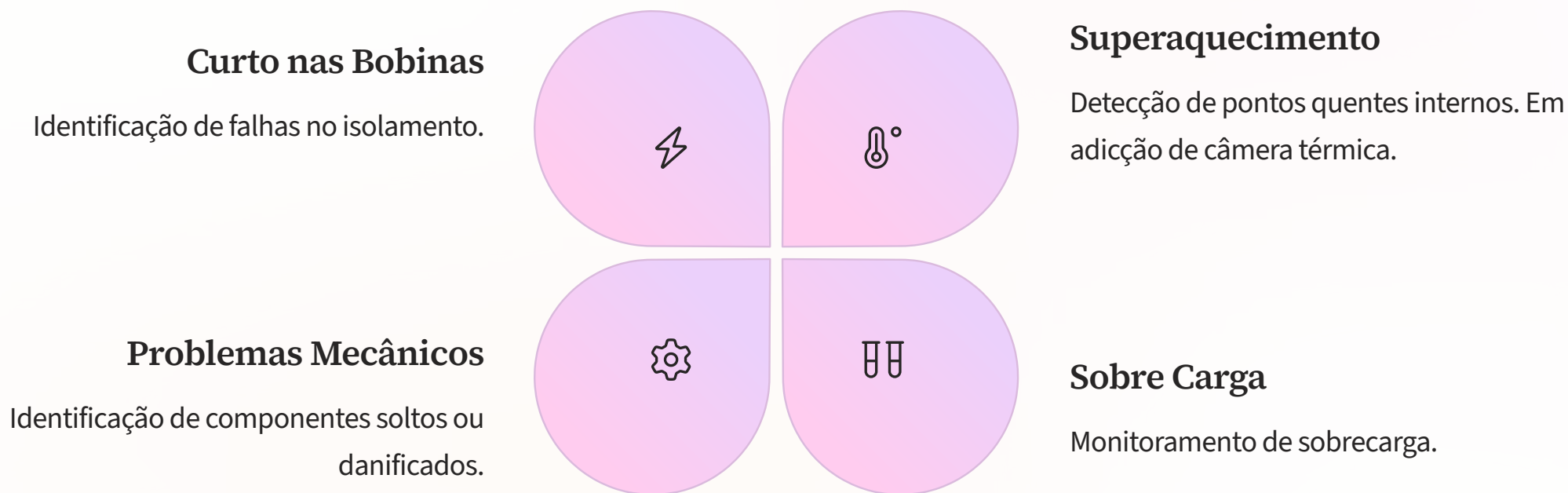
No Transformador

O núcleo do transformador vibra com a magnetostricção.

- Sons específicos indicam anomalias como:
 - Falhas estruturais
 - Falhas nas bobinas
 - Sobrecarga
- Ajuda a detectar desgastes internos.

A magnetostricção é um fenômeno que ocorre no núcleo dos transformadores. Essa vibração gera ruídos que, quando analisados, revelam informações valiosas sobre o estado interno do equipamento.

O Ruído Como Indicador Preciso: Aplicações no Diagnóstico Preditivo



Os ruídos de magnetostricção são indicadores precisos de diversas falhas. Permitem o diagnóstico precoce de descargas parciais, superaquecimento e problemas mecânicos. Isso otimiza a manutenção e prolonga a vida útil dos transformadores.



Metodologias de Aquisição e Análise dos Ruídos de Magnetostricção



Sensores Acústicos e Acelerômetros

Microfones especiais captam os ruídos.



Drone Terrestres

Agilizam as coletas, trazem precisão e autonomia, além da segurança aos operadores. Também permitem a adição de outros métodos de diagnósticos



Digitalização de Dados

Sinais acústicos são convertidos em dados digitais.



Análise Espectral

Frequências e amplitudes são analisadas para padrões de frequências.



Inteligência Artificial

Algoritmos com apoio de redes neurais convolucionais identificam desvios e problemas, classificando o sinal.



STM32N6570-DK

É um microcontrolador capaz de controlar o rover e analisar sinais para tomada de decisão em campo. No entanto, não substitui um computador de borda para análises em maior escala.

Lançado no segundo semestre de 2024, é um kit para prototipação e prova de conceito para uso de microcontroladores com redes neurais. Possui um microcontrolador STM32N6570 equipado com uma unidade de processamento neural (NPU) que permite executar redes neurais em sistemas embarcados. Oferece 4,5 MB de memória contínua e opera entre 600 MHz e 800 MHz de clock.

Valor no mercado internacional: **U\$ 237,00**

Uma unidade é capaz de processar dados coletados em uma subestação típica de uma indústria, pequena cidade ou bairro populoso de uma capital.

Steval Proteus 1

É uma ferramenta de precisão para uso industrial para coleta de vibrações e temperatura, baseado em SoC (System on Chip) wireless multiprotocolo na faixa dos 2.4GHz.

Alimentado por bateria. Comunica-se tanto com Bluetooth® Low Energy SIG specification v5.2, quanto com ZigBee 3.0.

Ideal para prototipação e provas de conceito onde se utiliza Aprendizado de Máquina e Redes Neurais para análise de vibrações;

Valor de Mercado **U\$ 50.00**

Uma unidade por Transformador

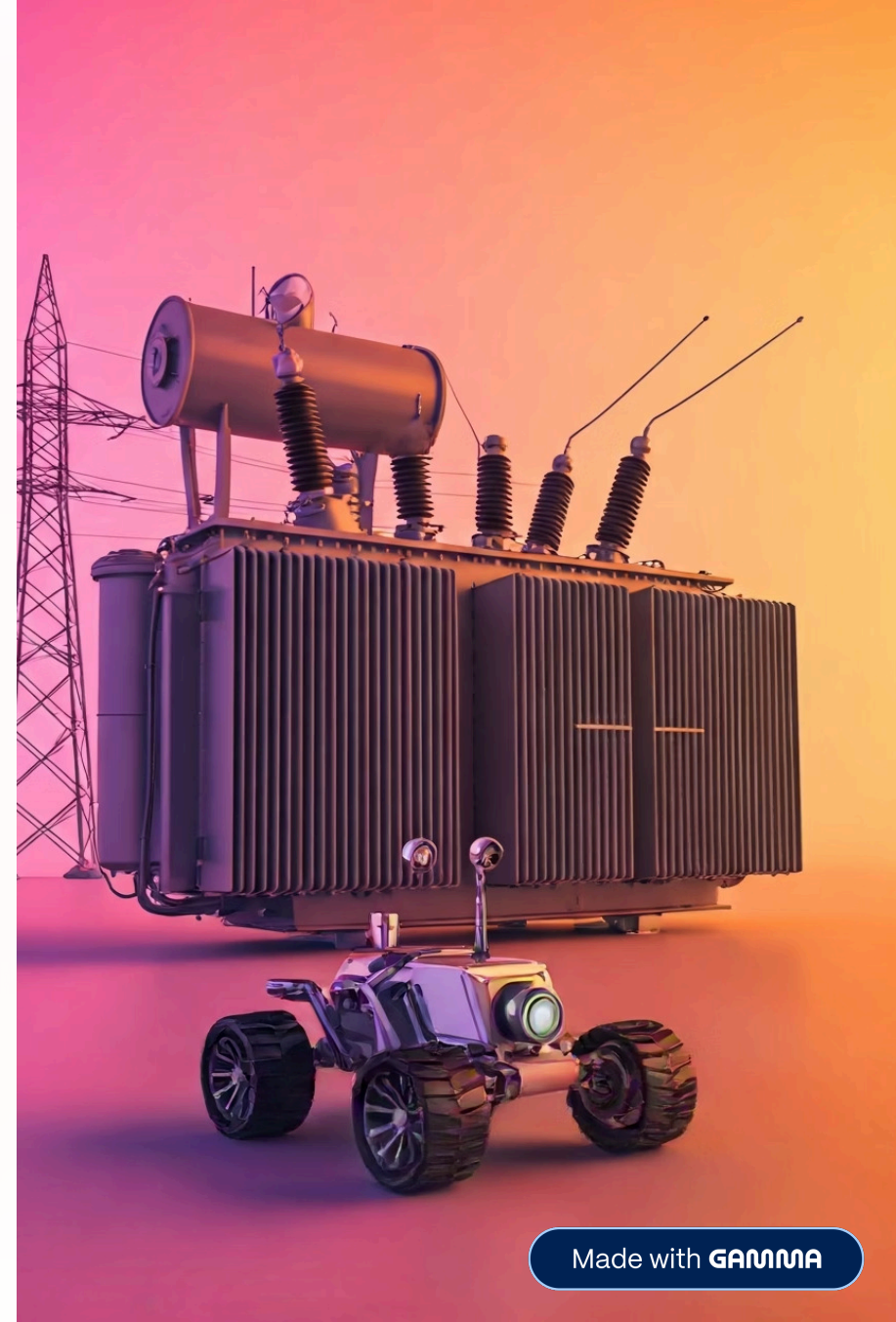


Sistema Acustico

A aplicação de sistemas acústicos com acopladores parabólicos, embarcados em rovers terrestres para a coleta de ruídos de magnetostrição em transformadores, representa uma proposta de alto potencial. No entanto, sua natureza ainda é experimental.

Para garantir a eficácia e a confiabilidade desta metodologia, são necessários testes rigorosos em campo. A validação do sistema exige comparações extensivas dos dados coletados por esta nova abordagem com metodologias de diagnóstico já estabelecidas, a fim de comprovar sua precisão e aplicabilidade em ambientes industriais reais.

O custo do acoplador é menor, porém ainda não identificado com precisão, mas também exige a necessidade do Microcontrolador principal que fará a pré análise dos sinais.



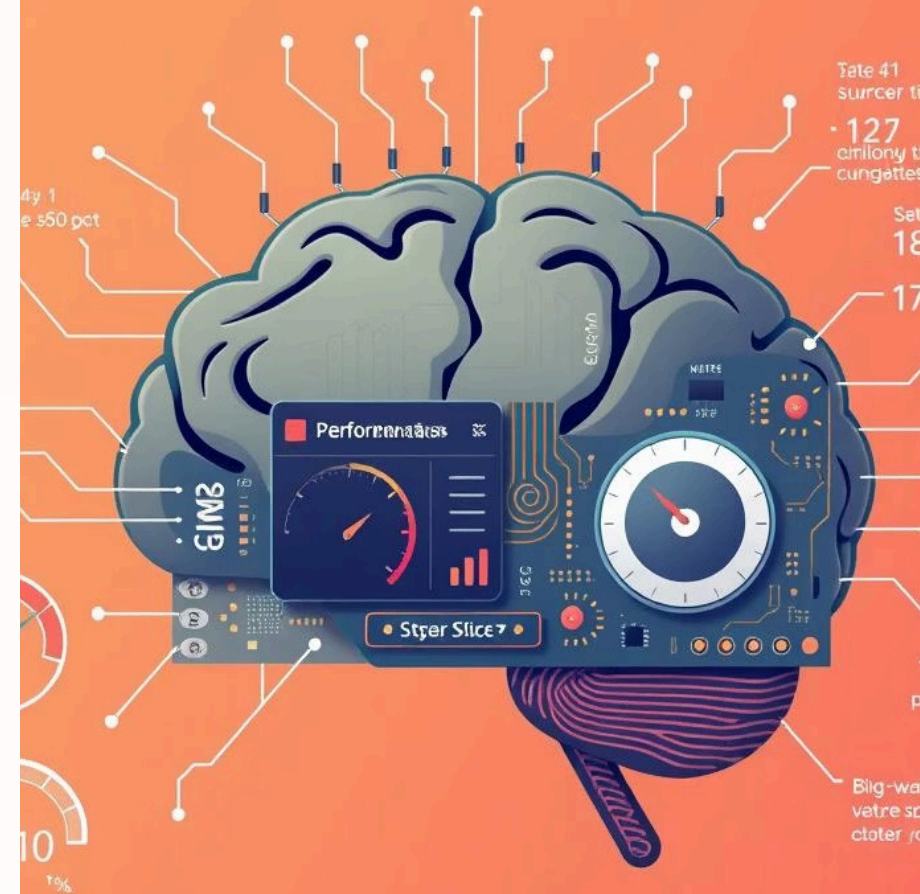
Tempo de Resposta das análises

O Tempo de resposta das análise no sistema embarcado ainda não foi mensurado com precisão;

Uma simulação feita em um computador Core i7 com 16GB de RAM e uma GPU RTX4060 o tempo girou em torno de alguns segundos por amostras de até 2 minutos. Já em um notebook Core i7 com 16GB de RAM não demonstrou grande diferença de desempenho.

Tais tempos não inclui o tempo de treinamento da rede neural, que não ultrapassa 5 minutos para 50 amostras, nos mesmos equipamentos.

Cada transformador leva em torno de 5 minutos entre captura e análise.



Embedded system analysis of 1,000 aircraft types and their operational characteristics, configuration.

Métodos de Decomposição e Análise

- Realizamos testes com FFT, Cepstrais, ESPRIT, MUSIC e PRONY para decompor o sinal e transpor do domínio do tempo para o domínio da frequência.
- O método Cepstral superou a FFT em velocidade, demonstrando o melhor desempenho até o momento. No entanto, ainda precisamos validar se seu desempenho é aceitável em um microcontrolador STM32N6. Atualmente, é a melhor opção disponível.
- MUSIC (Multiple Signal Classification) oferece alta resolução e separa sinal de ruído, mas sobrecarregou significativamente a máquina e apresentou desempenho lento.
- ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) é computacionalmente mais rápido que MUSIC, porém ainda não obtivemos sucesso em sua implementação.
- PRONY (Método de Gaspard de Prony) é indicado para sinais transientes, como ao ligar o transformador ou durante imposição instantânea de altas cargas. Ainda não foi testado.

Método de Classificação

- Estamos usando uma rede convolucional (CNN - Convolutional Neural Network);
- Antamos pensando em usar Transformes também porém pode exigir maior poder computacional;
- Transformes pode vir a ser útil em visão computacional no futuro;



Banco de Amostras

Um banco de amostras bem selecionado é de extrema importância, porém propomos um método que viabiliza o aperfeiçoamento constante do modelo treinado. Esta proposta define o seguinte procedimento:

A cada novo transformador instalado se cadastra sua assinatura inicial que será a base de referência para seu período de vida e seriam classificados como "Equipamento Novo". Transformadores já instalados e recém revisados por métodos antigos também podem compor este banco de amostras. Estes seriam classificados como em "Equipamento em Bom Estado"

Com o início dos testes, pode se criar uma classificação para identificar os modelos que estão em "Em funcionamento", ou se já identificada uma falha, A classe seria qual for a falha.

Tal base poderá ser entendida para uso em outros clientes, poupando assim o período de treinamento inicial. Considerando os 184 municípios do estado do Ceará e 33 Regiões, contabilizando uma média de 1 transformador por município. teremos então 184 amostras iniciais classificadas como "Bom Estado"

Vantagens e Benefícios: Economia, Segurança e Confiabilidade Operacional

1

Redução de Custos

Economia com manutenção corretiva e paradas não programadas.

2

Segurança Aprimorada

Prevenção de falhas catastróficas e riscos à equipe.

3

Vida Útil Estendida

Aumento da longevidade dos equipamentos através de manutenção preventiva.

4

Redução de a Acidentes de trabalho

A redução dos riscos de acidente, caindo quase a 0% dos acidentes, contemplando requisitos da NR10 e outras NRs relacionadas

A aplicação dessa tecnologia traz benefícios significativos. Reduz custos de manutenção, aumenta a segurança operacional e prolonga a vida útil dos transformadores. A confiabilidade do sistema elétrico é drasticamente aprimorada.

SWOT ANALYSS



Análise SWOT

Forças

Equipe com expertise em software, infraestrutura de rede e sistemas embarcados. Experiência em correlações de falhas.

Posse do kit inicial para desenvolvimento com capacidade para redes neurais.

Fraquezas

Necessidade de **Engenheiro Elétrico** ou **Mecatrônico**

Custo de equipamentos é um desafio.

Em fase de pesquisa

Oportunidades

Expansão para novos mercados e aplicações.

Otimização contínua de algoritmos e hardware.

Ameaças

Concorrência com soluções já consolidadas.

Rápida evolução tecnológica exige adaptação constante.

Onde estamos no projeto

Fase Atual

Estamos em fase de levantamento de informações, ajustando nossa proposta e documentando referências.

Temos simulador em desenvolvimento para comprovar a viabilidade dos algoritmos

Posse do KIT inicial para teste do algoritmo em um Microcontrolador especializado

Simulador na Primeira Versão

Desenvolvemos um simulador que valida o uso dos ruídos de magnetostrição para diagnóstico e manutenção preditiva, um marco, pois constata que podemos sim usar tais ruídos para classificação com redes neurais.



Estamos Nos Preparando Para a Aquisição de Dados Reais

Iniciamos a fase de aquisição de dados reais em transformadores de alta potência, coletando informações cruciais para treinar e aprimorar nossos algoritmos de IA.

Conclusão: O Futuro da Manutenção Inteligente e Seus Próximos Passos

Integração em Redes

Conectividade com sistemas de gerenciamento de energia.

Previsão Avançada

Modelos preditivos mais sofisticados.

Manutenção Preditiva Autônoma

Drones Terrestres autônomos; Decisões automatizadas baseadas em dados.

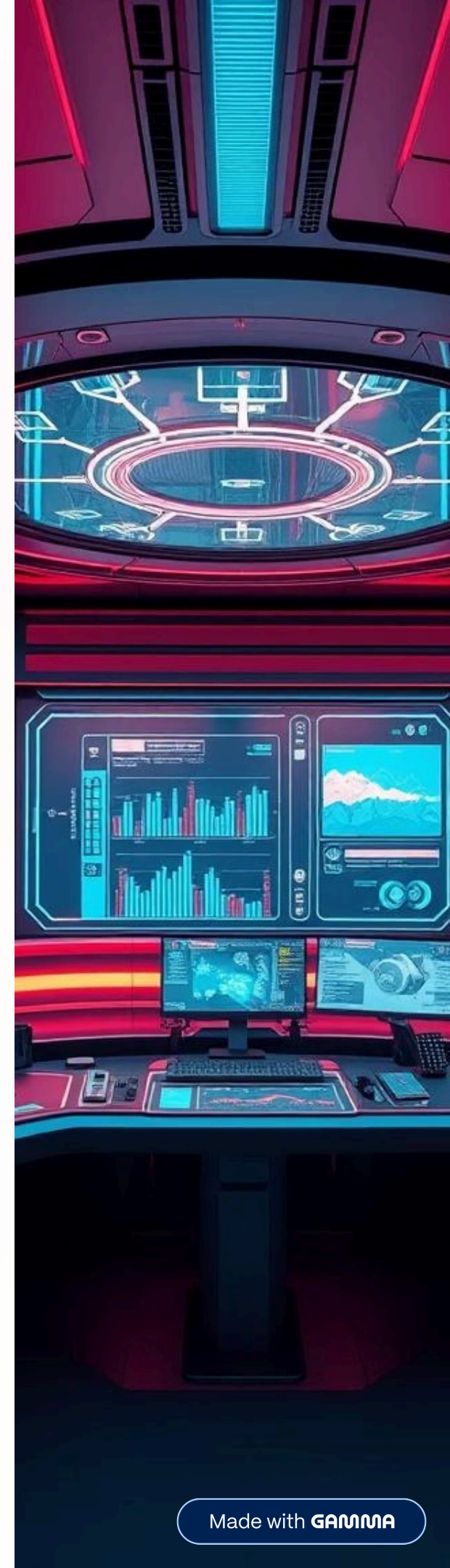
Vibrometria a LASER

A vibrometria a LASER permite captar as vibrações do transformador sem haver influência dos ruídos ambientes

Análise em conjunto com Imagens Térmicas

Sensores Cognitivos para IoT

Sensores Cognitivos fazem uso de IA para ajustar seu método de coleta de dados, indo além do simples sensoriamento. Cognitive information centric sensor network (ICSN)



Lista Atualizada de Referências

1. **Torralba, A., Isola, P., Freeman, W.T.**
Foundations of Computer Vision.
MIT Press, 2024. ISBN: 9780262378666.
Série: *Adaptive Computation and Machine Learning series.*
Disponível em:
<https://mitpress.mit.edu/9780262048972/foundations-of-computer-vision/>
2. **Granados-Lieberman, D.; Huerta-Rosales, J.R.; Gonzalez-Cordoba, J.L.; Amezquita-Sanchez, J.P.; Valtierra-Rodriguez, M.; Camarena-Martinez, D.**
Time-Frequency Analysis and Neural Networks for Detecting Short-Circuited Turns in Transformers in Both Transient and Steady-State Regimes Using Vibration Signals.
Applied Sciences, 2023, **13**, 12218.
DOI: 10.3390/app132212218
3. **Bagheri, M.; Zollanvari, A.; Nezhivenko, S.**
Transformer Fault Condition Prognosis Using Vibration Signals Over Cloud Environment.
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação,
Nazarbayev University, Astana, Cazaquistão.
(Referência preliminar — aguarda complementação com dados editoriais)
1. **Wong, M.**
Neural Networks with Python.
Independently published, s.d.
(Referência provisória — aguarda confirmação de ano e editora)
2. **Rothberg, S., Allen, M.S., Castellini, P., Di Maio, D., Dirckx, J.J.J., Ewins, D.J., Halkon, B.J., et al.**
An International Review of Laser Doppler Vibrometry: Making Light Work of Vibration Measurement.
Optics and Lasers in Engineering, Volume 99, 2017, pp. 11–22.
DOI: [10.1016/j.optlaseng.2016.10.023](https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.10.023).
Publicado sob licença **CC BY-NC-ND 4.0**.
Repositório: <https://hdl.handle.net/2134/23115>
3. **Vibrômetro laser Doppler – Wikipédia, a enciclopédia livre.**
Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Vibrômetro_laser_Doppler.
Acesso em: junho de 2025.