

Título do Projeto: Desenvolvimento de Gêmeo Digital para Caldeira CFB de 350 MW

Cliente: Energia Seival (Nome Fantasia)

Autor: Wilson R. Melo – RM357053

Aviso de Confidencialidade

Este documento é parte de um projeto desenvolvido sob acordo de confidencialidade e exclusividade firmado entre as partes. O uso para apresentação acadêmica já está previsto no próprio contrato, respeitando todas as cláusulas de confidencialidade. Por razões de confidencialidade, o cliente será referenciado como **Energia Seival** ao longo deste documento, preservando a anonimidade conforme estabelecido no acordo firmado. Todas as informações apresentadas são confidenciais e qualquer uso não autorizado ou divulgação indevida está sujeito às penalidades previstas no contrato.

1. Problema do Cliente

A Energia Seival enfrenta dificuldades em **otimizar a operação e manutenção de uma caldeira CFB de 350 MW** devido à complexidade dos processos e variáveis envolvidas. O problema está relacionado ao **controle preciso de eficiência, confiabilidade e segurança da caldeira**, além de minimizar custos operacionais e paradas não planejadas. Atualmente, há uma lacuna no monitoramento em tempo real e na previsão dos comportamentos da caldeira, o que leva a **decisões baseadas em dados históricos limitados** e sem insights preditivos robustos.

2. Contexto do Cliente e da Caldeira CFB

A caldeira CFB (Circulating Fluidized Bed) de 350 MW é um componente crítico da planta de geração de energia da Energia Seival. Esse tipo de caldeira é amplamente utilizado por sua capacidade de queimar uma ampla variedade de combustíveis com alta eficiência e baixas emissões. No entanto, a operação dessas caldeiras envolve a gestão de várias variáveis simultâneas, como temperatura, fluxo de ar, pressão e qualidade do combustível, o que torna o controle e a otimização extremamente desafiadores.

Os operadores enfrentam constantes desafios para manter a caldeira funcionando de forma eficiente e segura, uma vez que pequenas variações em qualquer um desses parâmetros podem impactar negativamente a eficiência e a segurança. Além disso, as condições de operação podem mudar rapidamente devido a fatores como variações no combustível ou condições externas, exigindo ajustes rápidos e precisos que nem sempre são fáceis de implementar.

3. Necessidade de uma Solução Inovadora

Diante desses desafios, a Energia Seival necessita de uma solução inovadora que permita melhorar o controle operacional e aumentar a previsibilidade do desempenho da caldeira. A solução deve permitir não apenas reagir a eventos à medida que eles ocorrem, mas também antecipar problemas e otimizar os parâmetros operacionais antes que eles comprometam a performance.

4. Solução Proposta: Gêmeo Digital

A criação de um **gêmeo digital** da caldeira permitirá simular diferentes condições operacionais e cenários, oferecendo à Energia Seival a possibilidade de:

- **Analisar e prever comportamentos** em condições variadas;
- **Reduzir custos de manutenção** por meio de análises preditivas;
- **Evitar paradas não planejadas**, aumentando a confiabilidade e segurança da operação;
- **Identificar falhas e oportunidades de melhoria** na operação em tempo real.

Com essa solução, a Energia Seival espera ter **um ambiente seguro para testes e otimizações**, onde seja possível ajustar parâmetros e validar estratégias de operação, sem risco para a operação real.

5. Benefícios Esperados

A implementação do gêmeo digital trará uma série de benefícios à Energia Seival, incluindo:

- **Melhoria na Eficiência Operacional:** Com a capacidade de simular e prever cenários, os operadores poderão ajustar os parâmetros da caldeira para otimizar o consumo de combustível e maximizar a eficiência.
- **Redução de Custos de Manutenção:** A análise preditiva permitirá identificar potenciais falhas antes que elas ocorram, reduzindo o custo de manutenções corretivas e aumentando a vida útil dos componentes.
- **Aumento da Confiabilidade e Segurança:** A previsão de problemas operacionais e a possibilidade de testar soluções em um ambiente simulado garantirão maior segurança e confiabilidade na operação da caldeira.
- **Ambiente de Treinamento:** O gêmeo digital também servirá como uma ferramenta de treinamento para novos operadores, que poderão aprender a lidar com diferentes situações sem risco para a planta real.

6. Comparativo com Sistema Pronto (IZANA)

O sistema IZANA é uma solução proprietária da Sumitomo Foster Wheeler (SFW) e é oferecido pela SFW Digital Services. A comparação a seguir foi feita com base na proposta técnica fornecida pela SFW para a Energia Seival.

Para avaliar as vantagens do desenvolvimento do gêmeo digital em relação a uma solução pronta oferecida pelo mercado, foi realizada uma comparação entre o gêmeo digital e o **Sistema Pronto (IZANA)**. Abaixo estão os principais pontos de comparação:

- **Funcionalidades:** Ambos os sistemas oferecem funcionalidades essenciais, como diagnóstico de hot loop, gerenciamento de leito, detecção de vazamentos, e gerenciamento de combustão. No entanto, o gêmeo digital apresenta vantagens como **foco em desgaste do revestimento e tubos, modelo estatístico baseado em dados históricos e customização específica para a caldeira CFB**.
- **Flexibilidade e Customização:** O gêmeo digital permite um desenvolvimento altamente customizado, adaptando-se às necessidades específicas da planta da

Energia Seival, enquanto o sistema IZANA possui **flexibilidade de desenvolvimento limitada**.

- **Transferência de Conhecimento:** O **Sistema Pronto (IZANA)** oferece uma solução pronta com treinamento padronizado e documentação abrangente, facilitando uma transferência de conhecimento inicial rápida, mas limitada. Em contrapartida, o desenvolvimento do gêmeo digital promove um **processo de aprendizagem interna profundo**, permitindo que a equipe adquira conhecimento detalhado do funcionamento do sistema.
- **Relação Homem-Máquina:** O sistema IZANA possui uma interface desenvolvida e potencialmente mais amigável inicialmente, enquanto o gêmeo digital oferece uma **interface homem-máquina altamente personalizada**, desenvolvida com base no feedback dos operadores da planta, o que facilita a adaptação e melhora a aceitação do sistema.
- **Autonomia e Dependência:** O gêmeo digital proporciona **maior autonomia e controle** sobre o sistema, reduzindo a dependência de fornecedores externos, ao passo que o sistema IZANA depende de suporte e atualizações do fornecedor.
- **Adaptabilidade e Evolução:** O gêmeo digital possui uma maior capacidade de evoluir junto com as necessidades específicas da planta e incorporar novos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo. Em contraste, o sistema IZANA segue um cronograma de atualizações baseado em demandas gerais do mercado.

7. Metodologia Utilizada para Desenvolvimento do Projeto

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do projeto seguiu as diretrizes acadêmicas estabelecidas pela instituição, utilizando a ferramenta [Board Innovation AI](#) para a criação e validação dos cenários iniciais. Abaixo estão os passos realizados:

7.1 Criação de Cenários Futuros

Utilizando a ferramenta Board Innovation AI, foram criados diversos cenários futuros para compreender as possíveis variáveis e desafios enfrentados pela Energia Seival. Esses cenários ajudaram a mapear contextos críticos de operação da caldeira CFB.

- **Cenário 1: Controle Sustentável (2030):** O gêmeo digital prioriza práticas sustentáveis, minimizando as emissões de carbono e o impacto ambiental, com um módulo de controle verde que fornece dados em tempo real sobre emissões e consumo de energia.
- **Cenário 2: Operação Autônoma (2030):** O gêmeo digital evoluiu para operar de maneira autônoma, minimizando a necessidade de intervenção humana com o uso de IA e sensores avançados.

7.2 Criação da Persona

A partir dos cenários criados, desenvolvemos personas representativas dos principais stakeholders, utilizando arquétipos que capturam as características dos envolvidos na operação da usina. Essas personas foram criadas com base nas preocupações e expectativas dos usuários quanto à adoção de tecnologias avançadas, automação e gestão de riscos.

- **Maria, a Diretora Experiente:** Maria é uma diretora com mais de 20 anos de experiência na indústria termelétrica. Ela valoriza a eficiência, mas está preocupada com a dependência excessiva de automação e IA na operação da caldeira. Para Maria, o equilíbrio entre automação e supervisão humana é fundamental para garantir a eficiência operacional e a segurança. Ela tem um foco específico na mitigação dos riscos de falhas em algoritmos de IA e busca sempre garantir que haja intervenção humana pronta para lidar com questões críticas.
- **Carlos, o Conselheiro Entusiasta de Tecnologia:** Carlos é um membro do conselho com uma forte formação em ciência de dados e tecnologia. Ele está entusiasmado com os avanços em IA e aprendizado de máquina, mas reconhece os riscos da dependência excessiva de automação. Carlos defende o investimento em treinamento contínuo da equipe para garantir que estejam preparados para intervir em falhas dos sistemas de IA, e acredita em uma abordagem proativa para lidar com potenciais riscos de segurança e interrupções operacionais.
- **João, o Diretor Equilibrado:** João valoriza a inovação tecnológica, mas também é cauteloso com os riscos associados à automação. Ele reconhece os benefícios da automação, mas enfatiza a necessidade de supervisão humana para garantir a segurança e eficácia das operações. Além disso, ele está atento às vulnerabilidades introduzidas pela integração de sistemas digitais e busca mitigar riscos de ataques cibernéticos, defendendo um modelo operacional que combine tecnologia avançada com expertise humana.
- **Ana, a Estrategista Financeira:** Ana é uma estrategista financeira com uma visão voltada para o equilíbrio entre inovação tecnológica e responsabilidade financeira. Ela entende que a adoção de tecnologia avançada é crucial, mas está atenta aos impactos financeiros e operacionais. Ana valoriza o retorno sobre investimento e procura maneiras de otimizar processos e reduzir custos sem comprometer a eficiência e a confiabilidade da usina.

7.3 Desenvolvimento do Questionário de Pesquisa

Cenários e personas foram alimentados em um modelo de IA da OpenAI para a formulação de 10 perguntas que abordssem as principais preocupações dos stakeholders de forma objetiva e não direcionada. As perguntas foram elaboradas para explorar temas como segurança cibernética, retorno sobre investimento, maturidade tecnológica e adaptação cultural. Aqui estão algumas das perguntas formuladas:

- Como você avalia o potencial de otimização operacional através da implementação de tecnologias avançadas na usina? (Escala de 1 a 5)
- Qual sua percepção sobre a capacidade atual da equipe em lidar com sistemas automatizados de alta complexidade? (Escala de 1 a 5)

7.4 Aplicação da Pesquisa em Stakeholders Reais

O questionário foi aplicado aos stakeholders reais da Energia Seival, incluindo operadores, engenheiros de manutenção e gestores, para entender os desafios operacionais e validar as hipóteses levantadas.

7.5 Análise dos Resultados da Pesquisa

A análise dos dados coletados revelou alguns pontos críticos e oportunidades de melhoria:

- **Potencial de Otimização Operacional:** A maioria dos stakeholders reconheceu o alto potencial de otimização operacional com a implementação de tecnologias avançadas, indicando abertura e entusiasmo para inovações que possam melhorar a eficiência e produtividade da usina.
- **Capacidade da Equipe:** Houve um reconhecimento de que a equipe atual não está plenamente preparada para lidar com sistemas automatizados de alta complexidade, destacando a necessidade de programas de capacitação e treinamento.
- **Segurança Cibernética e Maturidade da Tecnologia:** A preocupação com a segurança cibernética e a maturidade das tecnologias de IA foi moderada, sugerindo a necessidade de fortalecer defesas digitais e demonstrar a eficácia das tecnologias em contextos industriais.
- **Retorno Financeiro e Adaptação Cultural:** Os stakeholders demonstraram confiança no retorno financeiro a longo prazo, mas apontaram desafios em relação à adaptabilidade da cultura organizacional, indicando resistência potencial às mudanças tecnológicas.
- **Prevenção de Falhas:** Uma das maiores preocupações foi a capacidade atual dos sistemas em prever e prevenir falhas operacionais críticas, reforçando a importância do gêmeo digital como uma solução para mitigar esse problema.

7.6 Devolutiva e Discussão dos Resultados

Foi realizada uma devolutiva aos stakeholders, onde discutimos os resultados da pesquisa e os caminhos escolhidos para o desenvolvimento do gêmeo digital. Essa etapa garantiu que todas as partes estivessem alinhadas quanto às expectativas e às funcionalidades da solução.

8. Projeto Básico, Metodologia de Desenvolvimento e Cronograma de Implantação

8.1 Projeto Básico

O projeto de desenvolvimento do Gêmeo Digital para a caldeira CFB de 350 MW foi estruturado para abordar as principais necessidades de eficiência, otimização e manutenção da operação. Utilizando técnicas avançadas de modelagem, automação e integração com sistemas de monitoramento em tempo real, o objetivo é criar um ambiente que simule as condições da planta e permita ajustes contínuos para maximizar o desempenho e prevenir falhas.

8.2 Metodologia de Desenvolvimento

A metodologia adotada segue os princípios da pesquisa e inovação tecnológica, combinando métodos ágeis e fases iterativas de desenvolvimento. A criação do gêmeo digital inclui:

1. **Fase de Planejamento:** Definição dos requisitos e análise dos processos críticos da caldeira CFB, com o envolvimento de especialistas e stakeholders da Energia Seival.
2. **Fase de Desenvolvimento Iterativo:** Implementação de protótipos do gêmeo digital, testes em condições simuladas e ajustes de acordo com os resultados obtidos. Esta fase também envolve a validação contínua dos modelos desenvolvidos com dados reais coletados da planta.
3. **Integração e Validação Final:** Integração dos sistemas de monitoramento em tempo real e IA ao gêmeo digital, garantindo a compatibilidade e eficácia das funcionalidades propostas. A validação é realizada em conjunto com os operadores da usina para garantir a usabilidade e os benefícios esperados.

8.3 Cronograma de Implantação

O cronograma de implantação foi dividido em sete fases principais, conforme ilustrado no diagrama de Gantt fornecido:

1. **Fase 1: Sensibilização para o Projeto** (outubro a dezembro): Apresentação do conceito de gêmeo digital aos stakeholders e preparação do ambiente operacional.
2. **Fase 2: Configuração e Preparação** (novembro a janeiro): Configuração do ambiente tecnológico e integração dos sistemas de monitoramento e coleta de dados.
3. **Fase 3: Planejamento Detalhado do Projeto** (novembro a fevereiro): Definição detalhada dos requisitos técnicos e preparação dos processos para o desenvolvimento.
4. **Fase 4: Desenvolvimento Iterativo (Sprints)** (novembro a agosto): Desenvolvimento contínuo do gêmeo digital, com sprints para implementar e testar as funcionalidades.
5. **Fase 5: Validação e Ajustes Finais** (julho a outubro): Validação do gêmeo digital com a equipe operacional, coleta de feedback e ajustes finais.
6. **Fase 6: Implementação e Monitoramento** (outubro a dezembro): Implementação oficial do gêmeo digital na planta e monitoramento inicial para ajustar a operação.
7. **Fase 7: Encerramento do Projeto** (dezembro a janeiro): Encerramento do projeto com a entrega da documentação final e treinamento da equipe.

Essa metodologia garante que o desenvolvimento do gêmeo digital seja realizado de forma estruturada e colaborativa, envolvendo todos os stakeholders da Energia Seival para maximizar o valor agregado da solução proposta.