

Gestão Estratégica da Manutenção Industrial

Análise de Falhas, Ferramentas da Qualidade e SIGMA EAM/CMMS

Documento Técnico Profundo | Engenharia de Manutenção e Gestão de Ativos

Autor: Abraão Lima | Rede Industrial | 2026

Este documento apresenta uma análise técnica profunda sobre gestão estratégica da manutenção industrial, cobrindo desde os fundamentos conceituais das falhas até as ferramentas da qualidade e a plataforma SIGMA EAM/CMMS. O conteúdo é estruturado para engenheiros e gestores de manutenção que buscam transformar a função manutenção de centro de custo reativo em vetor de resultado financeiro.

Referências Normativas

- ABRAMAN · SMRP
- ABNT NBR 5462
- ISO 14224 · ISO 55001
- SAE JA1011 · IEC 60812



Parte I

Fundamentos da Manutenção



Parte II

10 Causas Técnicas de Falha



Parte III

Ferramentas da Qualidade



Partes IV-V

SIGMA EAM/CMMS



Partes VI-VIII

Recursos Avançados e ROI

Parte I

Fundamentos e Contexto da Manutenção Industrial

Conceitos fundamentais, normas de referência, modelos de análise e indicadores-chave que sustentam a gestão estratégica de ativos industriais.

1.1 Manutenção Estratégica

Reposicionamento como função de negócio

1.2 Conceito de Falha

ABNT NBR 5462 e ISO 14224

1.3 Curva P-F

Intervalo de detecção e intervenção

1.4 OEE e TPM

Seis grandes perdas e eficiência global

1.5 Custos

Relação corretiva/preventiva e custos ocultos



1.1 A Manutenção como Função Estratégica

A manutenção industrial deixou de ser percebida como mero centro de custo e consolidou-se, no contexto contemporâneo, como função estratégica para a competitividade das organizações. Indicadores de disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e custo total de propriedade integram, hoje, o conjunto de métricas pelas quais o desempenho industrial é avaliado por acionistas, reguladores e clientes.

Custo Médio de Manutenção no Brasil

4% a 5% do faturamento bruto (ABRAMAN), contra menos de 3% em plantas de classe mundial — diferença que reflete ausência de práticas estruturadas de manutenção preventiva, preditiva e CMMS.

Modelo Reativo Predominante

Parcela significativa das plantas industriais brasileiras ainda opera sob lógica predominantemente reativa, na qual a quebra de máquinas é tratada como fato isolado, descolado de suas causas estruturais.

Impacto Financeiro

Perdas decorrentes de falhas evitáveis podem alcançar até **19,7% do faturamento anual** em cenários de gestão deficiente — patamar suficiente para comprometer a viabilidade econômica da operação.

Reposicionamento Estratégico

A discussão transcende a engenharia de manutenção e atinge a alta direção, demandando que MTBF, MTTR, disponibilidade e custo por ativo integrem o painel de governança corporativa.

4-5%

Custo Brasil

Do faturamento bruto gasto em manutenção

<3%

Classe Mundial

Patamar de referência internacional

19,7%

Perda Máxima

Do faturamento em gestão deficiente



1.2 Conceito de Falha e Classificação – ABNT NBR 5462 e ISO 14224

A norma ABNT NBR 5462:1994 define falha como o **término da capacidade de um item desempenhar a função requerida**. A ISO 14224:2016 normatiza a coleta e troca de dados de confiabilidade em equipamentos das indústrias de petróleo, gás e petroquímica, sendo referência internacional para taxonomia de falhas.

Quanto à Origem

- **Intrínseca:** inerente ao projeto ou fabricação
- **Extrínseca:** causada por agente externo
- **Uso indevido:** operação fora dos limites prescritos

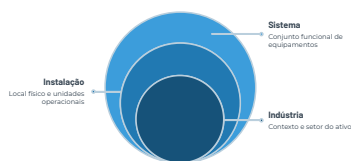
Quanto ao Mecanismo

- **Mecânica:** fadiga, desgaste, fratura
- **Elétrica:** curto-circuito, degradação de isolamento
- **Química:** corrosão, oxidação
- **Térmica:** sobreaquecimento, choque térmico

Quanto à Consequência

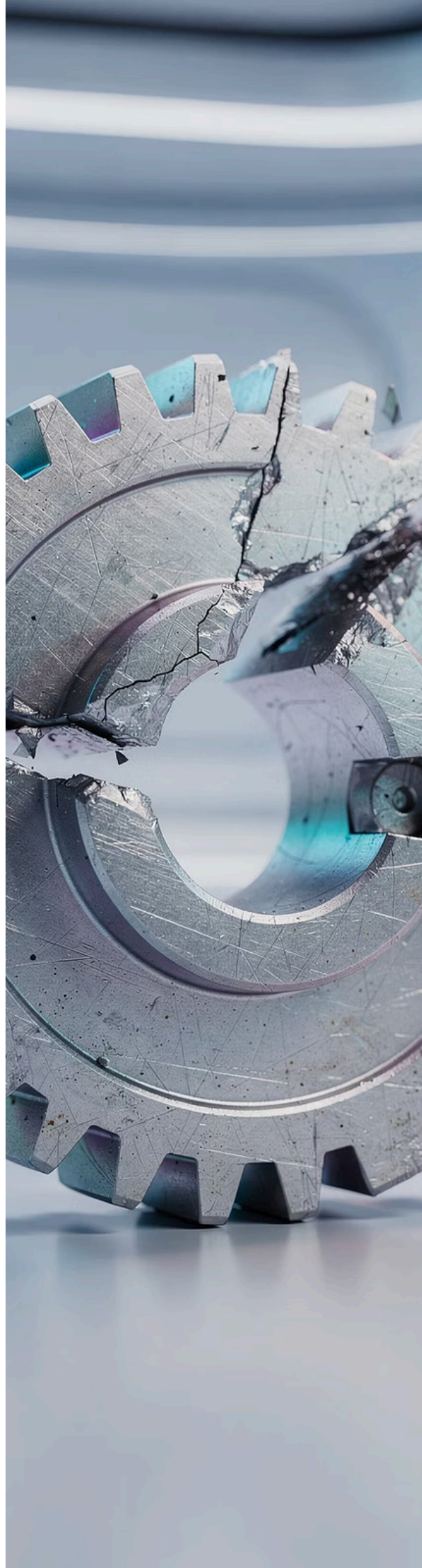
- **Catastrófica:** perda total e imediata da função
- **Degenerativa:** degradação progressiva
- **Intermitente:** falha temporária com recuperação espontânea

Taxonomia ISO 14224 – Hierarquia de 6 Níveis



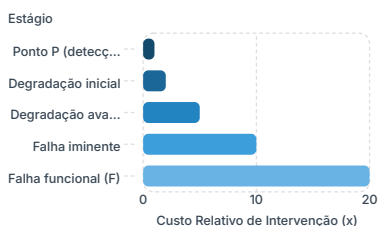
A padronização da taxonomia é pré-requisito para que sistemas CMMS como o SIGMA gerem históricos comparáveis entre plantas, equipes e períodos, habilitando análises de Pareto, FMEA e RCM com base em dados confiáveis.

Direitos reservados
www.centrsigma.com.br



1.3 Curva P-F e o Intervalo de Detecção

A curva P-F, originalmente descrita por Moubray no contexto da Reliability-Centered Maintenance (RCM), representa a evolução do estado de um ativo desde o ponto P (Potential Failure — falha potencial detectável) até o ponto F (Functional Failure — falha funcional). O intervalo P-F constitui a **janela temporal disponível para intervenção planejada**.



O custo de intervenção cresce **exponencialmente** à medida que a falha avança do ponto P ao ponto F — justificando investimento em detecção precoce.

Técnicas de Detecção e Intervalo P-F Típico

Técnica	Intervalo P-F Típico
Análise de vibração	Semanas a meses
Termografia infravermelha	Dias a semanas
Análise de óleo	Semanas
Ultrassom	Dias a semanas
Inspeção visual	Horas a dias

i O SIGMA EAM integra nativamente módulos de análise preditiva (vibração, termografia, viscosidade) e sensores IoT via API, permitindo monitoramento contínuo do intervalo P-F e geração automática de OS preventivas quando o ponto P é detectado.



1.4 Seis Grandes Perdas do TPM e o Indicador OEE

No âmbito do Total Productive Maintenance (TPM), o JIPM consolidou o conceito das **Seis Grandes Perdas**, agrupadas em três categorias. Esse conjunto fundamenta o cálculo do OEE (Overall Equipment Effectiveness), referência mundial para diagnóstico de eficiência industrial.

Perdas por Disponibilidade

- Quebras e falhas de equipamento
- Setups e ajustes

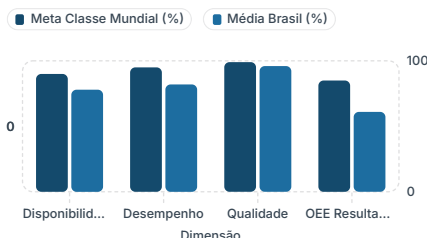
Perdas por Desempenho

- Pequenas paradas e ociosidade
- Queda de velocidade

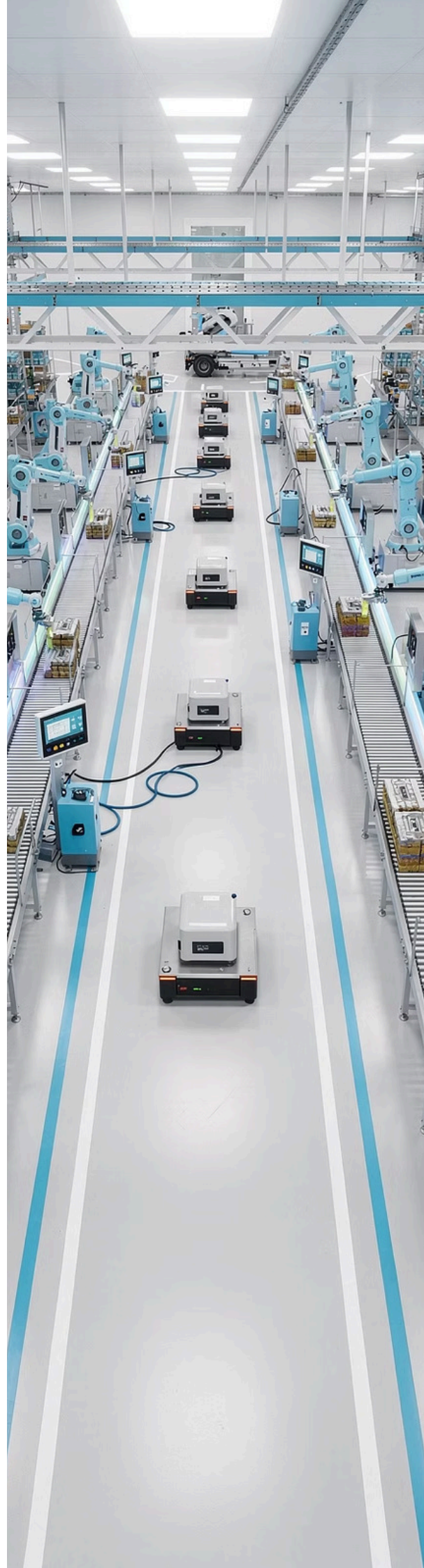
Perdas por Qualidade

- Refugos e retrabalhos no regime estável
- Perdas no startup

⚠ OEE médio brasileiro: **55%–65%**. Potencial de ganho de 20–30 pp com gestão estruturada — equivalente a adicionar capacidade produtiva sem investimento em novos ativos.

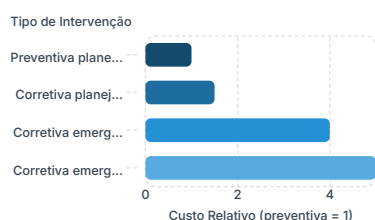


Fórmula OEE: $OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}$. Meta JIPM de classe mundial: **OEE ≥ 85%**.



1.5 Custo da Manutenção: Relação Corretiva/Preventiva e Custos Ocultos

Estudos de benchmarking industrial (SMRP e ABRAMAN) apontam que o custo unitário de uma intervenção corretiva emergencial situa-se, tipicamente, entre **3 e 5 vezes** o custo de uma intervenção preventiva planejada equivalente. Essa diferença incorpora não apenas o trabalho em horário extraordinário e a logística de peças, mas também os custos indiretos de parada de produção, perda de qualidade, retrabalho, multas contratuais e impactos sobre SST.



Mix de Manutenção: Realidade Brasileira vs. Classe Mundial

Tipo	Brasil Típico	Class e Mundial
Corretiva não planejada	50–65%	≤ 20%
Corretiva planejada	—	≤ 10%
Preventiva	25–35%	40–50%
Preditiva	5–10%	20–30%

- Os custos indiretos da manutenção tendem a representar de **2 a 4x** os custos diretos — o "iceberg da manutenção", onde apenas 20% dos custos são visíveis.



Parte II

As Dez Causas Técnicas de Quebra de Máquinas Industriais

Análise sistêmica das causas técnicas mais frequentes de quebra, com quantificação econômica do impacto e mapeamento de soluções no SIGMA EAM/CMMS.

Camada Física

Desgaste · Lubrificação
· Ambiente · Elétrica

Camada Operacional

Erro humano ·
Sobrecarga · Instalação

Camada Organizacional

Preventiva insuficiente · Projeto · Ausência de CMMS

Direitos reservados www.centrsigma.com.br

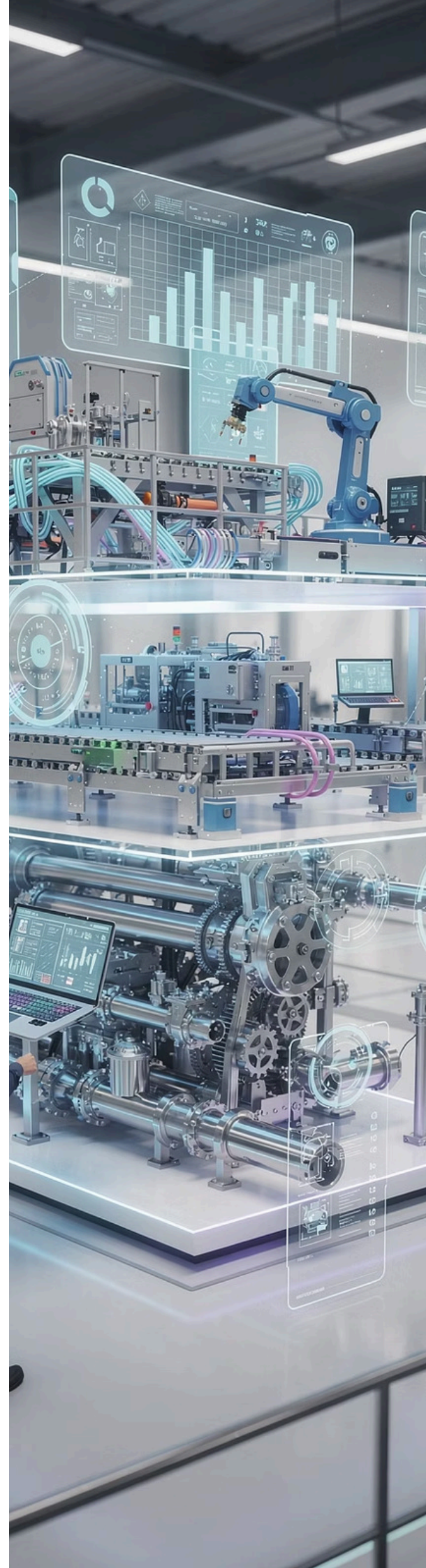


2.1 Visão Sistêmica: Três Camadas de Falha

As dez causas técnicas de quebra não operam de forma isolada. Sua articulação em três camadas sistêmicas evidencia que a quebra ocorre, tipicamente, quando as três camadas falham simultaneamente. A leitura sistêmica conduz à conclusão de que a quebra de máquinas é um **fenômeno emergente**, resultado da interação entre engenharia, operação e gestão.

Camada Sistêmica	Causas Associadas	Natureza da Intervenção
Física	Desgaste natural; Lubrificação; Condições ambientais; Falhas elétricas	Engenharia e preditiva
Operacional	Erro humano; Sobrecarga; Instalação e alinhamento	Treinamento e padronização
Organizacional	Preventiva insuficiente; Falhas de projeto; Ausência de CMMS	Gestão estratégica de ativos

⚠ Implicação prática: intervenções pontuais sobre uma única camada — por exemplo, treinamento operacional sem revisão do plano de manutenção — produzem resultados limitados, justificando a recorrência de falhas mesmo em organizações que investem em manutenção corretiva qualificada.



2.2 Causa 1 – Manutenção Preventiva Insuficiente

A ausência de plano estruturado de manutenção preventiva conduz o ativo à operação até a falha (run-to-failure), eliminando a capacidade de intervenção no intervalo P-F. Microdefeitos — trincas incipientes, folgas progressivas, desbalanceamentos — evoluem sem detecção, culminando em falhas abruptas.

Caso Real – Indústria Metalúrgica

Redutor de laminador operado sem preventiva → parada de **18 horas** por quebra catastrófica vs. 2 horas estimadas para substituição programada de rolamento. Diferença de **9x no impacto operacional**.

Causas Raiz da Preventiva Insuficiente

- Ausência de cadastro estruturado de ativos
- Planos de manutenção inexistentes ou desatualizados
- Falta de sistema de programação e controle (CMMS)
- Pressão por produção que posterga intervenções programadas

1,5-3%

Impacto Econômico

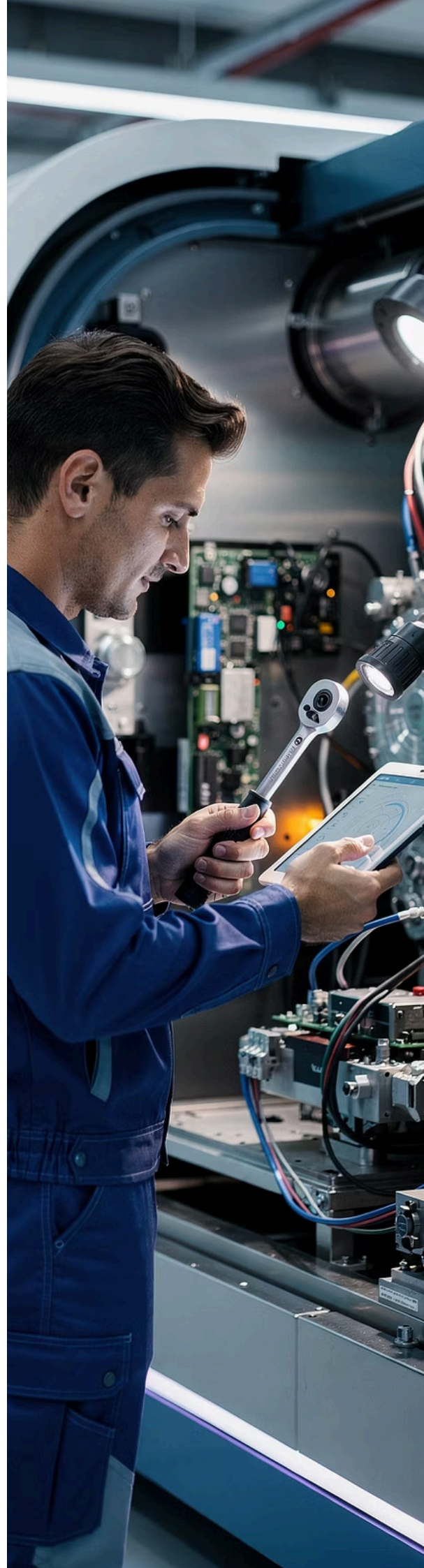
Do faturamento anual estimado como perda

9x

Multiplicador

Impacto operacional da corretiva vs. preventiva

✔ **Solução SIGMA:** Módulo de Gestão da Manutenção Preventiva com programação o por período ou contadores; Piloto Automático que gera OS automaticamente; alertas de vencimento por WhatsApp/e-mail.



2.3 Causa 2 – Desgaste Natural de Componentes Não Monitorado

Todo componente mecânico segue curva característica de degradação, governada por mecanismos de abrasão, fadiga, cavitação e corrosão. Sem monitoramento sistemático, o ativo ultrapassa o ponto ótimo de substituição, resultando em falha prematura ou substituição desnecessariamente antecipada.

Mecanismos de Degradação

- **Abrasão:** desgaste por contato entre superfícies
- **Fadiga:** trincas por ciclos de tensão
- **Cavitação:** erosão por colapso de bolhas em fluidos
- **Corrosão:** degradação química por agentes ambientais
- **Fluência:** deformação plástica sob carga constante a alta temperatura

Caso Real — Indústria de Alimentos:

Desgaste do selo mecânico de bomba centrífuga não detectado precocemente → vazamento, contaminação de produto e descarte de lote. A dimensão sanitária da falha supera a dimensão mecânica original, com impacto em recall e reputação.

Técnicas de Monitoramento de Condição

Técnica	Norma
Análise de vibração	ISO 10816
Termografia a infravermelha	IEC 60068
Análise de óleo	ASTM D7647
Ultrassom passivo	—

- ✓ **Solução SIGMA:** Módulo de Manutenção Preditiva com gráficos de tendência; integração com sensores via API; horímetros WiFi.



2.4 Causa 3 – Erro Humano Operacional ou de Manutenção

O fator humano permanece como uma das causas primárias de falhas em sistemas industriais complexos.

Tipologicamente, distinguem-se erros de execução, erros de decisão e erros de omissão — cada um com mecanismos de prevenção distintos.

Erros de Execução

Operação fora dos limites prescritos — ex.: torque incorreto na montagem

Erros de Decisão

Diagnóstico equivocado em situação de contingência

Erros de Omissão

Não realização de tarefa prevista — ex.: lubrificação esquecida (Reason, 1990)

Fatores Facilitadores

- Ausência de procedimentos operacionais padronizados (POPs)
- Deficiência de treinamento técnico
- Sobrecarga cognitiva em turnos prolongados (>12h)
- Pressão de tempo em manutenção emergencial

Caso Real — Planta

Química: Violação do limite de pressão por operador em condição de fadiga → shutdown automático e parada total da unidade. O gatilho técnico apenas materializou falha sistêmica de gestão de fatores humanos.

0,5-2%

Impacto Econômico

Do faturamento anual estimado como perda

✔ Solução SIGMA:

OS estruturada com check-list TPM; lançamento de horas por executante; biometria facial e por voz para rastreabilidade de responsabilidades.



2.5 Causa 4 – Sobrecarga Operacional

A operação acima da capacidade nominal de projeto induz aumento de tensão mecânica, elevação de temperatura e aceleração da fadiga estrutural. A pressão por aumento de produção, sem o correspondente redimensionamento do ativo, é causa frequente.

📄 **Mecanismo Físico (Lei de Basquin):** A vida útil de componentes mecânicos é inversamente proporcional à tensão aplicada. Operação a 110% da carga nominal pode reduzir a vida útil do componente em **30% a 50%**, dependendo do material e do modo de carregamento.

Caso Real — Agroindústria:

Transportador de grãos operado em regime sustentadamente acima da capacidade → ruptura de corrente e parada de expedição. O custo de reparo é apenas a fração visível do impacto logístico (multas, perda de janela de embarque, reposicionamento de frota).

Indicadores de Alerta de Sobrecarga

Temperatura de operação acima do limite de projeto

Corrente elétrica de motores acima da nominal

Vibração crescente em componentes rotativos

Aumento de consumo de energia específico

0,5-1,5%

Impacto Econômico

Do faturamento anual

✔️ **Solução SIGMA:** Horímetros WiFi para quantificação do regime real de operação; módulo OEE; integração com produção para evidenciar ativos operados acima da capacidade nominal.



2.6 Causa 5 – Falhas de Lubrificação

A lubrificação inadequada figura entre as **principais causas de falha prematura** de componentes rotativos. Manifesta-se em três modalidades: viscosidade incorreta para a aplicação, contaminação por água ou partículas sólidas, e intervalo de troca inadequado.

1. Viscosidade Incorreta

Lubrificante muito fluido não sustenta o filme hidrodinâmico; muito viscoso gera calor por cisalhamento excessivo.

2. Contaminação

Partículas sólidas atuam como abrasivo; água provoca corrosão e emulsificação do lubrificante.

3. Intervalo Inadequado

Lubrificante degradado perde propriedades antidesgaste e anticorrosão antes da troca programada.

❏ **Regra de Arrhenius:**

A temperatura é o principal inimigo dos lubrificantes. Cada **10°C acima** da temperatura de projeto reduz a vida útil do lubrificante em **50%**.

Caso Real — Papel e Celulose:

Rolamento de máquina contínua operado com lubrificante contaminado → travamento e quebra de eixo. A propagação sistêmica paralisou linha integral de produção.

0,3-1%

Impacto Econômico

Do faturamento anual

✔ **Solução SIGMA:**

Módulo de Gestão da Lubrificação com planos por ponto, lubrificante e periodicidade; alertas automáticos de vencimento; rastreabilidade por técnico.



2.7 Causas 6, 7 e 8 – Ambiente, Instalação e Projeto

Causa 6 – Condições Ambientais Inadequadas

Grau de proteção (IP) inadequado às condições reais de operação compromete a confiabilidade. Temperatura, umidade, partículas em suspensão, vapores corrosivos e radiação UV atuam na degradação de materiais e isolamentos.

Caso Real — Indústria Cimenteira: Infiltração de poeira em motores elétricos por selagem inadequada → falha de isolamento e parada não planejada de moinho. Causa raiz: especificação ambiental insuficiente no projeto. Impacto: **0,3% a 1,0%** do faturamento anual.

Causa 7 – Problemas de Instalação e Alinhamento

Desalinhamento angular ou paralelo, base não nivelada e torque inadequado introduzem cargas não previstas no projeto, traduzidas em vibração, fadiga e desgaste assimétrico.

Caso Real — Planta Automotiva: Conjunto motor-bomba com quebras recorrentes de acoplamento atribuídas à manutenção, mas decorrentes de desalinhamento original não corrigido. Exemplo clássico de falha cuja persistência se explica pela não atuação sobre a causa raiz. Impacto: **0,4% a 1,2%** do faturamento anual.

Causa 8 – Falhas de Projeto ou Especificação

Equipamento subdimensionado, materiais inadequados ou seleção incorreta para a aplicação configuram falhas estruturais cuja correção não se dá por manutenção, mas por substituição ou retrofit.

Caso Real — Mineração: Bomba não especificada para fluido abrasivo → desgaste acelerado e demanda recorrente de substituição em ciclo de custo crescente. Origem: projeto, não operação. Impacto: **0,5% a 2,0%** do faturamento anual.



2.8 Causas 9 e 10 – Falhas Elétricas/Eletrônicas e Ausência de CMMS

Causa 9 – Falhas Elétricas e Eletrônicas

Sistemas industriais modernos dependem criticamente de automação, instrumentação e eletrônica de potência. Surto elétrico, falhas em CLPs, sensores defeituosos e degradação de inversores produzem desde paradas abruptas até comportamentos intermitentes de difícil diagnóstico.

Caso Real — Indústria

Farmacêutica: Falha de sensor de temperatura em equipamento de envase → interrupção de processo e descarte de lote. A gestão exige simultaneamente robustez de hardware e disciplina de calibração metrológica.

Impacto econômico: 0,5% a 1,5% do faturamento anual.

✔ **Solução SIGMA:** Controle de calibração; emissão de certificados; curva de erro; integração com instrumentação; rastreabilidade exigida em auditorias regulatórias.

Causa 10 – Ausência de Gestão Estruturada (CMMS)

⊗ Esta é a **causa de maior impacto agregado**, por seu caráter sistêmico. Sem gestão estruturada, inexistem histórico de falhas, indicadores de desempenho, análise de causa raiz e previsibilidade. Decisões tornam-se reativas e a falha ocorre repetidamente sem que a organização desenvolva aprendizado.

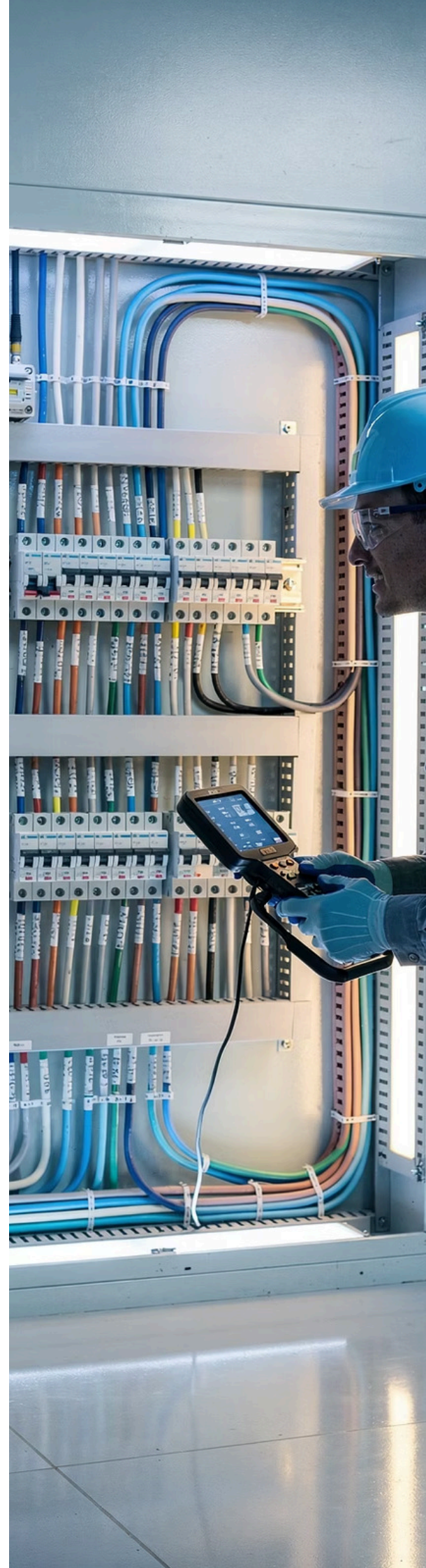
2-5%

Impacto Econômico

Do faturamento anual — maior fonte isolada de perda entre as 10 causas

Caso Real — Grupo Industrial Multi-plantas:

Recorrência da mesma falha em plantas distintas sem registro centralizado que permitisse correlação. A falha deixa de ser técnica e passa a ser gerencial.



2.9 Quantificação Econômica das Perdas – Modelo de Dois Cenários

A aplicação do modelo proposto aos dois cenários de referência permite dimensionar o impacto financeiro de cada causa. Os percentuais refletem benchmarks setoriais consolidados (ABRAMAN/SMRP) e foram calibrados para evitar dupla contagem de efeitos. Os resultados indicam que as perdas situam-se entre **7% e 19,7% do faturamento anual** — magnitude que tipicamente supera o lucro líquido da operação.

Causa de Falha	% Faturamento	Pequeno Porte (R\$ 10 mi)	Grande Porte (R\$ 200 mi)
Preventiva insuficiente	1,5% – 3,0%	R\$ 150k – 300k	R\$ 3M – 6M
Desgaste não monitorado	0,5% – 1,5%	R\$ 50k – 150k	R\$ 1M – 3M
Erro humano	0,5% – 2,0%	R\$ 50k – 200k	R\$ 1M – 4M
Sobrecarga operacional	0,5% – 1,5%	R\$ 50k – 150k	R\$ 1M – 3M
Falhas de lubrificação	0,3% – 1,0%	R\$ 30k – 100k	R\$ 600k – 2M
Condições ambientais	0,3% – 1,0%	R\$ 30k – 100k	R\$ 600k – 2M
Instalação e alinhamento	0,4% – 1,2%	R\$ 40k – 120k	R\$ 800k – 2,4M
Falhas de projeto	0,5% – 2,0%	R\$ 50k – 200k	R\$ 1M – 4M
Falhas elétricas/eletrônicas	0,5% – 1,5%	R\$ 50k – 150k	R\$ 1M – 3M
Ausência de CMMS	2,0% – 5,0%	R\$ 200k – 500k	R\$ 4M – 10M
TOTAL	7,0% – 19,7%	R\$ 700k – 1,97M	R\$ 14M – 39,4M



2.10 Conclusão

Estratégica: Potencial de Redução de Perdas

Em Ambos os Cenários

A perda total situa-se entre **7% e 19,7% do faturamento anual** — patamar que, em indústrias de margem operacional típica entre 8% e 15%, supera ou equipara-se ao lucro líquido da operação.

Maior Fonte Isolada de Perda

Ausência de CMMS responde por até **5% do faturamento** — confirmando o papel sistêmico da camada organizacional sobre as demais.

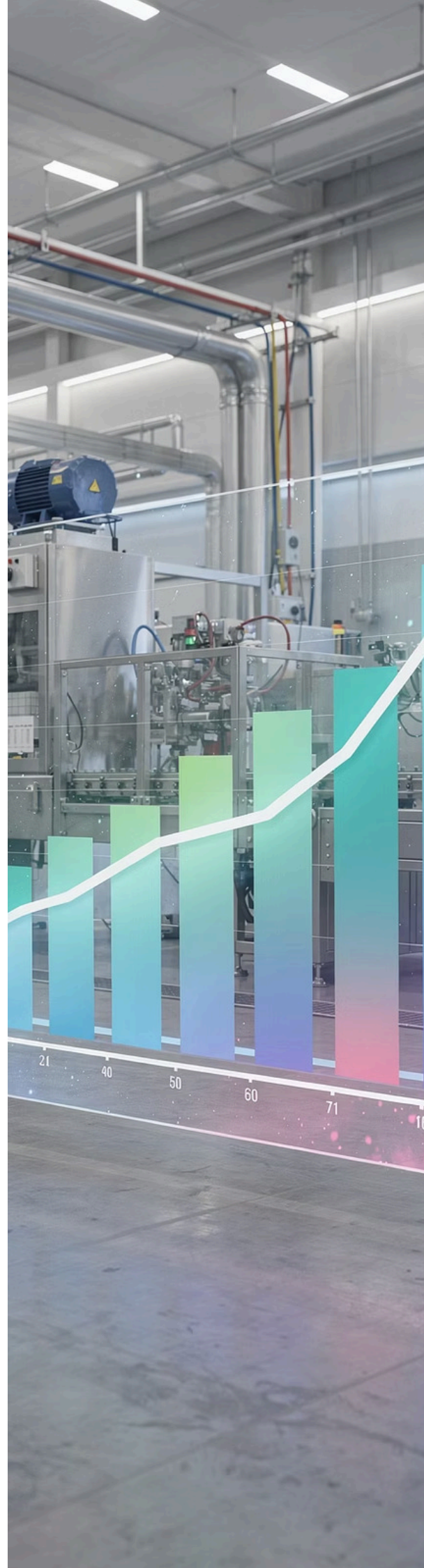
Potencial de Redução

Transição para modelo integrado (preventiva + preditiva + CMMS) pode reduzir essas perdas em **20% a 50%**, com economia anual de R\$ 140k a R\$ 985k (pequeno porte) ou R\$ 2,8M a R\$ 19,7M (grande porte).



- Ausência de CMMS · 2
- Preventiva insuficiente · 10
- Erro humano · 10,15%
- Falhas de projeto · 10,1
- Desgaste não monitorado · 10,1
- Demais causas · 31,47

Distribuição do impacto máximo (% do faturamento) por causa de falha — cenário de pior caso.



Parte III

Ferramentas da Qualidade Aplicadas à Gestão da Manutenção

As 7 ferramentas clássicas da qualidade e metodologias complementares, com casos reais brasileiros, quantificação de ROI e integração nativa ao SIGMA EAM/CMMS.



Pareto

Priorização 80/20



Ishikawa

Análise de causa raiz



Folha de Verificação

Base de dados confiável



Histograma

Distribuição e vida útil



Cartas de Controle

Monitoramento CEP



Fluxograma

Eliminação de desperdícios



Dispersão

Correlações preditivas



3.1 Referencial Normativo das Ferramentas da Qualidade

A aplicação sistemática das ferramentas da qualidade, integrada a um sistema robusto de gestão da manutenção, pode **reduzir em até 40% as paradas não programadas** e diminuir os custos de manutenção corretiva em até 30%.

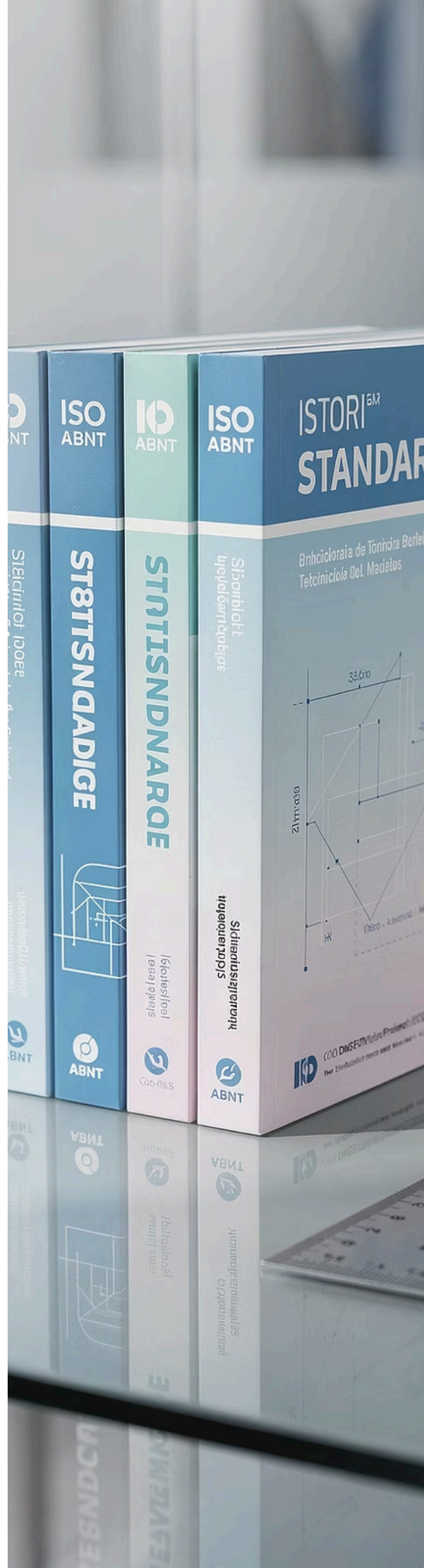
Norma / Documento	Escopo na Manutenção
ABNT NBR 5462:1994	Confiabilidade e manutenibilidade: MTBF, MTTR, disponibilidade
ABNT NBR ISO 14224:2024	Coleta e troca de dados de confiabilidade e manutenção
ISO 9001:2015	Sistema de Gestão da Qualidade: PDCA, melhoria contínua
ISO 55001:2014	Gestão de Ativos: estratégia, planejamento e indicadores
SAE JA1011	Critérios para RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade
IEC 60812	FMEA/FMECA – Análise de Modos de Falha e Efeitos

7 Ferramentas Clássicas

- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)
- Folha de Verificação (Check Sheet)
- Histograma
- Cartas de Controle (CEP)
- Fluxograma de Processo
- Diagrama de Dispersão

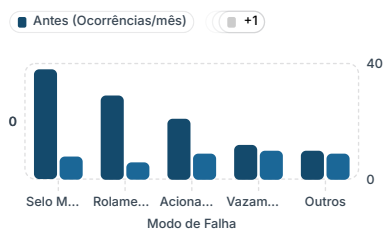
Metodologias Complementares

- PDCA (ciclo de melhoria contínua)
- FMEA/FMECA (análise de modos de falha)
- RCM (manutenção centrada em confiabilidade)
- 5 Porquês (análise de causa raiz)
- 5S (organização do ambiente de trabalho)
- TPM (manutenção produtiva total)



3.2 Diagrama de Pareto – Regra 80/20 na Manutenção

Fundamentado no princípio de Vilfredo Pareto, o diagrama demonstra que aproximadamente **80% dos problemas de manutenção são causados por 20% das falhas**. É ferramenta gráfica combinada (barras + linha cumulativa) que permite priorizar esforços e recursos de forma objetiva, com base em dados históricos do CMMS.



Refinaria Nacional: 3 modos de falha representavam 78% das ocorrências. Após ação concentrada: redução de 62% nas falhas corretivas em 8 meses.

Caso 1 – Refinaria Nacional

CM mensal: R\$ 2,1M → Pareto de 24 meses revelou 3 modos críticos → Resultado: disponibilidade **81% → 93%**; economia R\$ 1,4M/ano.

Caso 2 – Indústria de Bebidas

CM%: 7,8% → Pareto por linha revelou Enchedora 3 e Pasteurizador 1 como vitais → Resultado: CM% **7,8% → 4,2%**; OEE 64% → 79%; economia R\$ 980k/ano.

✓ **ROI do Pareto:**
Investimento R\$ 8k–25k; economia R\$ 350k–1,8M/ano; payback 3–5 meses; ROI médio 800–1.200% no 1º ano.



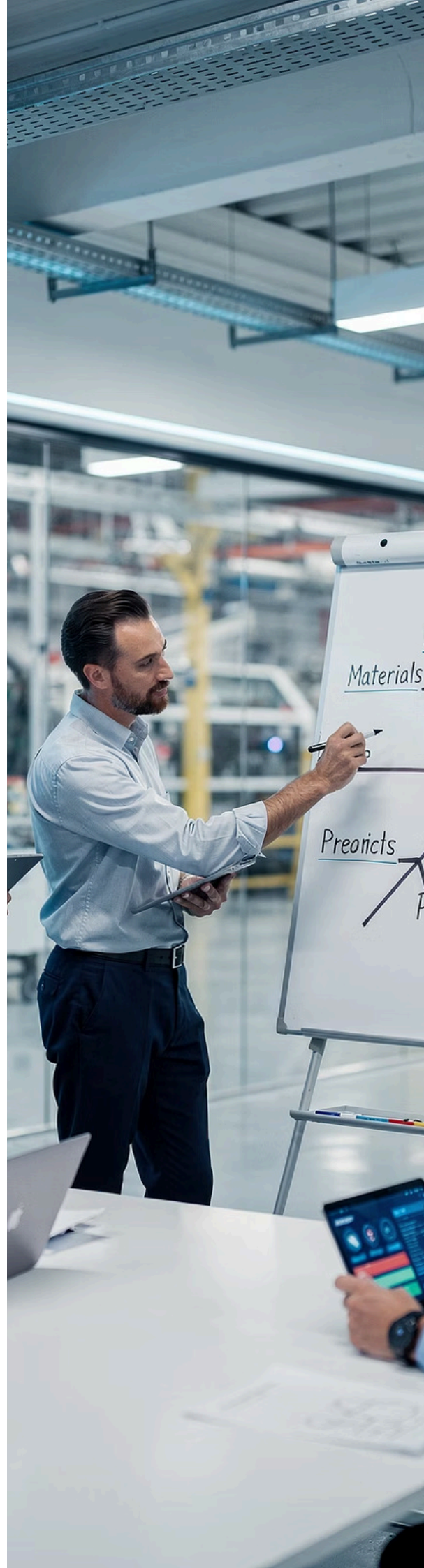
3.3 Diagrama de Ishikawa – Análise de Causa Raiz (RCA)

Criado por Kaoru Ishikawa (1943), o diagrama de causa e efeito mapeia todas as possíveis causas de um problema, organizadas pelos 6M. É a **ferramenta central da Análise de Causa Raiz (RCA)** e alimenta diretamente o FMEA.

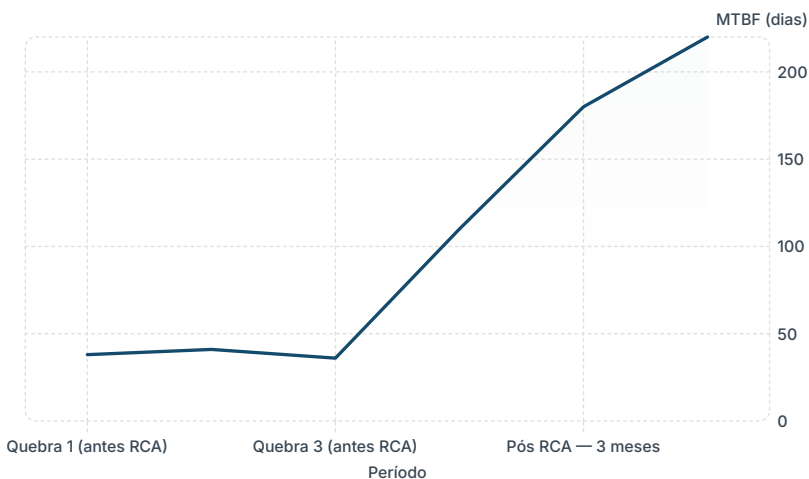
M	Categoria	Exemplos na Manutenção
M1	Mão de Obra	Falta de treinamento, procedimentos não cumpridos, fadiga, erros de execução
M2	Maquinaria	Desgaste prematuro, ajuste incorreto, falta de lubrificação, vibração excessiva
M3	Material	Peça fora de especificação, material inadequado, peça falsa ou reciclada
M4	Método	Procedimentos desatualizados, frequência de PM incorreta, OS inadequada
M5	Medição	Instrumentos descalibrados, leitura incorreta de sensores, indicadores errados
M6	Meio Ambiente	Temperatura, umidade, poeira, vibrações externas, carga contaminada

Caso 1 — ArcelorMittal: 3 quebras do redutor em 4 meses (R\$ 180k/quebra). Ishikawa multidisciplinar identificou 4 causas primárias: lubrificação insuficiente (M4), vibração acima do limite (M2), óleo fora de especificação (M3), temperatura acima de 52°C (M6). Resultado: zero quebras em 14 meses; economia R\$ 720k; MTBF: **38 → 220 dias**.

Caso 2 — Klabin: 2,1 rupturas/mês de correias (R\$ 45k/evento; 3 anos sem solução). Ishikawa identificou desalinhamento de polias (M2) + sobrecarga por falha no dosador (M4). Resultado: **2,1 → 0,2 rupturas/mês**; economia R\$ 1,04M/ano; vida útil das correias aumentou 340%.



3.3 (cont.) Evolução do MTBF – ArcelorMittal após RCA com Ishikawa



Após aplicação do Ishikawa e eliminação das 4 causas raiz (lubrificação, vibração, especificação do óleo e temperatura), o MTBF saltou de ~38 dias para **220 dias** — um incremento de quase 6x sem substituição do equipamento.

6x

Ganho de MTBF

38 → 220 dias após RCA

R\$720k

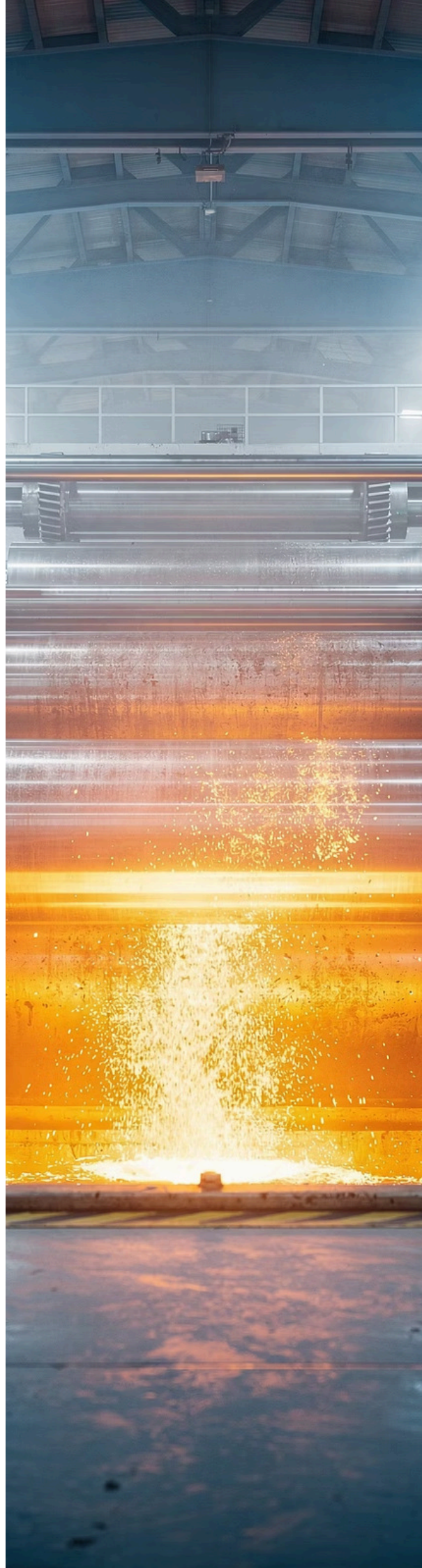
Economia Total

Acumulada em 14 meses

1.500-3.000%

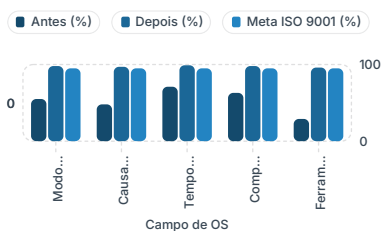
ROI da Ferramenta

Payback de 2 a 4 meses



3.4 Folha de Verificação (Check Sheet) – Base de Dados Confiável

Formulário estruturado para coleta sistemática e padronizada de dados. Substitui anotações informais e garante confiabilidade estatística, habilitando todas as demais ferramentas. Na manutenção, alinha os campos de registro às categorias da **NBR ISO 14224:2024** para rastreabilidade.



Embraer: completude de dados de **60% → 98%** em 60 dias após Check Sheet Digital via tablet integrado ao SIGMA CMMS.

Caso 1 – Embraer

40% das OS sem causa documentada; auditoria ISO 9001 apontou não-conformidade. Resultado: não-conformidade encerrada; MTTR reduziu **35%**.

Caso 2 – Braskem Camaçari

3 falhas não detectadas → R\$ 4,2M de prejuízo no trimestre. Check Sheet preditivo por rota. Resultado: **7 falhas antecipadas** em 6 meses; disponibilidade 87% → 96%

✓ **ROI:** Investimento R\$ 3k-12k; economia R\$ 180k-900k/ano; payback 1-2 meses; ROI 500-2.000%.



3.5 Histograma – Distribuição de Frequências e Análise de Vida Útil

O histograma representa a distribuição de frequências de dados quantitativos em barras verticais. Na manutenção, permite visualizar a variabilidade de métricas críticas, identificar padrões de comportamento (mortalidade infantil, vida útil, desgaste) e alimentar modelos de confiabilidade (Weibull) que baseiam o RCM.

Caso 1 — Vale Carajás:

Substituição de rolamentos em intervalos fixos de 90 dias; 30% ainda com vida útil remanescente.

Histograma do MTBF de 186 rolamentos revelou distribuição bimodal: 30% com mortalidade infantil (problema de instalação), 70% superam 150 dias.

Resultado: redução de **28%** no consumo de rolamentos; economia R\$ 1,2M/ano; falhas prematuras: 30% → 8%.

Caso 2 — Gerdau Aços

Longos: MTTR de motores variando de 2h a 48h; 12% dos reparos ultrapassando 24h por falta de peça.

Histograma de 240 OS identificou 3 peças críticas com lead time longo.

Resultado: MTTR médio

14h → 6,5h; variabilidade dos reparos reduziu 70%; economia R\$ 860k/ano.

Distribuição Bimodal de MTBF

Sinal de duas populações distintas: mortalidade infantil (problema de instalação) e desgaste natural. Indica necessidade de ações distintas para cada população.

Ajuste de Weibull via SIGMA

BI gera histogramas automáticos de MTBF, MTTR e ciclo de vida; IA aplica ajuste automático da distribuição de Weibull, sugerindo o intervalo ótimo de troca.

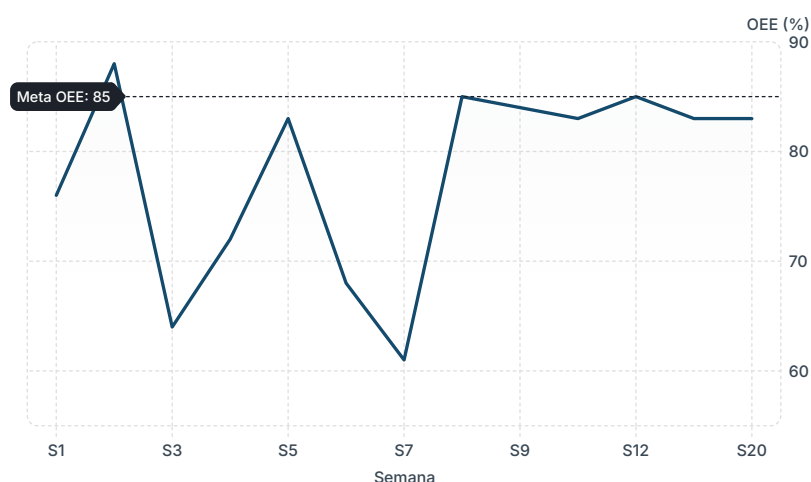
ROI do Histograma

Investimento R\$ 4k–15k; economia R\$ 300k–1,5M/ano; payback 2–3 meses; ROI 600–1.800%.



3.6 Cartas de Controle (CEP) – Monitoramento Estatístico de Processo

Desenvolvidas por Walter Shewhart (1924), monitoram a estabilidade de um processo ao longo do tempo, distinguindo variações por causas comuns de causas especiais. Integradas ao SIGMA EAM, permitem **detecção automática de tendências antes que a falha real ocorra**.



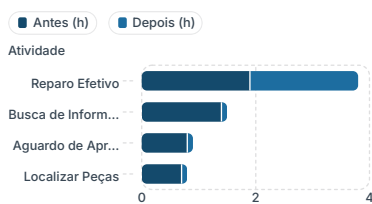
Suzano Papel e Celulose: Carta de Controle P identificou causa especial nas semanas sem PM de fim de semana. Após ação corretiva, OEE estabilizou em **84 ± 2%**; variabilidade reduziu 75%; custo perdido: R\$ 3,2M → R\$ 1,1M/ano.

- Info** **Caso Petrobras P-52:** Carta de Controle \bar{X} -R aplicada ao MTBF mensal detectou tendência descendente **38 dias antes** da falha real em 4 bombas. Resultado: zero falhas de selos no semestre; economia R\$ 1,12M (4 eventos evitados). **ROI: 1.000–5.000%**.



3.7 Fluxograma de Processo – Eliminação de Desperdícios no Fluxo de OS

O fluxograma mapeia graficamente as etapas de um processo usando símbolos padronizados (ISO 5807). Na gestão da manutenção, identifica gargalos, retrabalhos e atividades sem valor no fluxo de OS, reduzindo diretamente o MTTR. É a base para redesenho de processos e implantação do **Lean Maintenance**.



60% do MTTR era composto por atividades sem valor agregado. Redesenho do fluxo reduziu MTTR de 4,8h para 2,1h na Fiat Chrysler Betim.

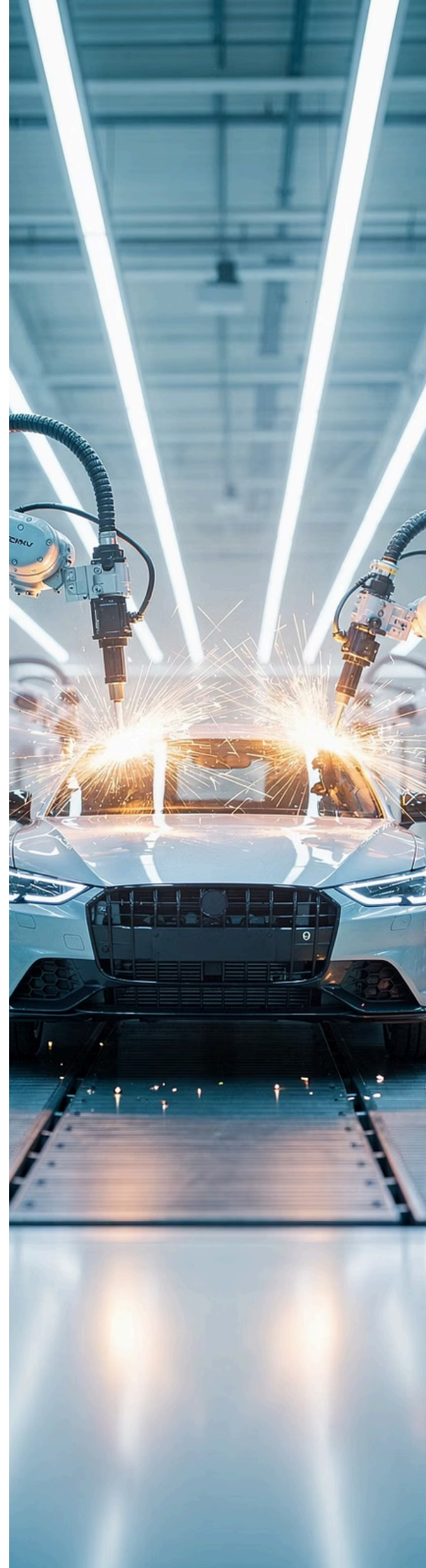
Caso 1 – Fiat Chrysler Betim

Fluxograma AS-IS com 23 etapas revelou 9 de desperdício. Redesenho TO-BE. Resultado: MTTR **4,8h → 2,1h (-56%)**; disponibilidade 91% → 96,3%; economia R\$ 2,4M/ano.

Caso 2 – Engie Brasil / Salto Osório

7 assinaturas redundantes e 4 trâmites físicos identificados. Aprovação digital no SIGMA. Resultado: aprovação **6,2h → 38 min**; disponibilidade das turbinas +1,8 pp; economia R\$ 1,7M/ano.

✔ **ROI:** Investimento R\$ 6k–20k; economia R\$ 400k–2,5M/ano; payback 1–3 meses; ROI 500–2.000%.



3.8 Diagrama de Dispersão – Correlações Causa-Efeito em Manutenção Preditiva

O diagrama de dispersão analisa a correlação entre duas variáveis quantitativas. Na manutenção, permite identificar relações causa-efeito entre parâmetros operacionais (temperatura, carga, horas de uso) e o desempenho dos equipamentos, **fundamentando decisões de manutenção preditiva com dados estatísticos reais.**

Caso 1 — CMPC Celulose:

12 eventos/ano de falha de rolamentos (R\$ 28k/evento). Dispersão entre temperatura e MTBF (240 observações em 18 meses) revelou correlação negativa forte ($r = -0,87$): cada 5°C acima de 65°C reduzia o MTBF em ~18 dias. Alerta configurado no SIGMA para 68°C. Resultado: apenas **1 falha** nos 12 meses seguintes (vs. 12 anteriores); economia R\$ 308k/ano; ROI de 2.350%.

Caso 2 — Usiminas

Ipatinga: Custo dos fornos variando de R\$ 180k a R\$ 560k/mês sem explicação. Dispersão entre horas de operação sem PM e custo corretivo do mês seguinte: correlação positiva ($r = +0,81$); ponto de inflexão: 460 horas. Resultado: variabilidade do custo mensal reduziu 68%; custo médio R\$ 370k → R\$ 215k/mês (-42%); precisão orçamentária: 51% → 94%.

$r = -0,87$

Correlação Temperatura/MTBF

CMPC Celulose — forte correlação negativa identificada

$r = +0,81$

Correlação Horas/Custo

Usiminas — forte correlação positiva identificada

2.350%

ROI Máximo

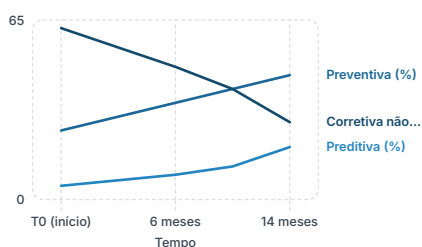
Caso CMPC Celulose em 12 meses



3.9 PDCA – Ciclo de Melhoria Contínua na Manutenção

O ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), base da ISO 9001:2015 e ISO 55001:2014, estrutura o processo de melhoria contínua na manutenção de forma sistemática e mensurável. **o**

SIGMA EAM foi arquitetado sobre o ciclo PDCA: cada OS possui ciclo completo de Plan, Do, Check e Act.



Cargill: Ciclos PDCA trimestrais reduziram corretiva não planejada de 62% para 28% em 14 meses. Disponibilidade: 78% → 91%; CM%: 6,8% → 3,9%; economia R\$ 1,6M/ano.

Heineken Ponta

Grossa: OEE estável em 67% por 3 anos. PDCA com 4 ciclos/ano usando Pareto + Ishikawa + Carta de Controle no SIGMA. Resultado: OEE **67% → 83%** em 22 meses (meta de 80% superada no Ciclo 3); economia R\$ 4,2M/ano.

4x

Ciclos PDCA/ano

Heineken — cada ciclo focado em equipamento crítico

300-6...

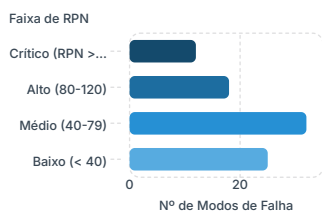
ROI do PDCA

1º ano 300%; 2º ano em diante 600%+



3.10 FMEA – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos

Metodologia sistemática para identificar e priorizar modos de falha potenciais (IEC 60812). O **RPN (Severidade × Ocorrência × Detecção)** prioriza as ações de maior impacto. É a principal ferramenta de alimentação do RCM segundo a ABRAMAN. Ação imediata recomendada para **RPN > 120** (AIAG/VDA FMEA Handbook).



Usina Jalles Machado: 87 modos de falha mapeados; apenas os 12 com RPN crítico receberam plano imediato, eliminando todas as paradas não programadas na safra seguinte.

Caso 1 – Jalles Machado (Sucroenergia)

3 paradas/ano na moenda (R\$ 850k/parada de 4h). FMEA em 5 dias. Resultado: zero paradas na safra seguinte; economia R\$ 2,55M; MTBF **118 → 310 dias**; disponibilidade 96,2%.

Caso 2 – Marcopolo Caxias do Sul

Prensas hidráulicas: 2,3 dias/mês de paradas imprevistas. PFMEA em 8 prensas; 63 modos de falha. Resultado: paradas **2,3 → 0,3 dias/mês (-87%)**; custo de manutenção -38%.

✔ **ROI do FMEA:**
Investimento R\$ 25k–80k; economia R\$ 1M–5M/ano; payback 3–6 meses; ROI 1.000–5.000%.

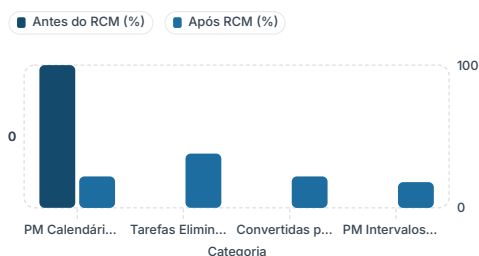


3.11 RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade

O RCM (Reliability Centred Maintenance), regulamentado pela **SAE JA1011**, determina a melhor estratégia de manutenção para cada ativo com base em função, modos de falha e consequências. É o referencial mais avançado de gestão de ativos segundo a ABRAMAN e a ISO 55001.

As 7 Questões do RCM (SAE JA1011)

1. Quais são as funções do ativo?
2. De que forma pode falhar?
3. O que causa cada falha?
4. O que acontece quando falha?
5. Qual a consequência da falha?
6. O que pode ser feito para prevenir?
7. O que fazer se não houver tarefa preventiva adequada?



EDP Brasil — Termelétrica Pecém:

RCM em 3 sistemas críticos (340 modos de falha). Custo: R\$ 28M → R\$ 17,5M/ano (-37,5%).

Disponibilidade: 89,3% → 94,7%.

Economia: R\$ 10,5M/ano; payback 4,3 meses.

✔ **Integração SIGMA:** FMEA digital vinculado ao cadastro; IA calcula automaticamente o parâmetro Ocorrência com base no histórico real; RPN acima do limite gera OS preventivas/pre-ditivas automaticamente pelo Piloto Automático.



3.12 5 Porquês e 5S – Causa Raiz e Organização do Ambiente

5 Porquês – Eliminação de Falhas Recorrentes

Técnica de análise de causa raiz desenvolvida por Taiichi Ohno (Toyota). Consiste em perguntar "Por quê?" repetidamente até identificar a causa raiz sistêmica, não apenas o sintoma imediato.

Caso BRF (Alimentos):

2,4 falhas/mês em seladora de embalagens por 3 anos sem solução definitiva. Aplicação dos 5 Porquês revelou causa raiz: procedimento de limpeza inadequado contaminando o sistema de vedação. Resultado: falhas **2,4 → 0,2/mês** em 18 meses; economia R\$ 480k/ano.

5S – Organização do Ambiente de Manutenção

Metodologia japonesa: **Seiri** (Utilização), **Seiton** (Ordenação), **Seiso** (Limpeza), **Seiketsu** (Padronização), **Shitsuke** (Disciplina). Integração ao SIGMA para rastreabilidade de ferramentas e peças.

Caso Bosch Campinas:

MTTR médio de 4,2h; 2 acidentes/mês na área de manutenção. Resultado: MTTR **4,2h → 3,4h (-19%)**; acidentes 2 → 0/mês em 4 trimestres; redução de 35% no tempo de busca de ferramentas.

i ROI Consolidado das Ferramentas da Qualidade:

Payback médio de 1 a 6 meses; ROI de 300% a 5.000% no primeiro ano, dependendo da ferramenta e do contexto de aplicação. As ferramentas se potencializam mutuamente — o Pareto identifica onde agir, o Ishikawa revela por quê, o FMEA prioriza o risco, o PDCA estrutura a melhoria e as Cartas de Controle monitoram a sustentação dos resultados.



3.13 ROI Consolidado das Ferramentas da Qualidade

A análise consolidada do retorno sobre investimento das ferramentas da qualidade aplicadas à gestão da manutenção industrial demonstra que **todas as ferramentas apresentam payback inferior a 12 meses**, com ROI expressivo já no primeiro ano de implantação.

Ferramenta	Custo Implantação	Economia Anual Estimada	Payback	ROI 12 meses
Diagrama de Pareto	R\$ 8k–25k	R\$ 350k–1,8M/ano	3–5 meses	800–1.200%
Diagrama de Ishikawa	R\$ 5k–18k	R\$ 500k–2M/ano	2–4 meses	1.500–3.000%
Folha de Verificação	R\$ 3k–12k	R\$ 180k–900k/ano	1–2 meses	500–2.000%
Histograma	R\$ 4k–15k	R\$ 300k–1,5M/ano	2–3 meses	600–1.800%
Cartas de Controle	R\$ 10k–35k	R\$ 500k–5M/ano	3–6 meses	1.000–5.000%
Fluxograma de Processo	R\$ 6k–20k	R\$ 400k–2,5M/ano	1–3 meses	500–2.000%
Diagrama de Dispersão	R\$ 5k–18k	R\$ 250k–1,5M/ano	2–4 meses	800–3.000%
PDCA	R\$ 15k–50k	R\$ 800k–6M/ano	4–8 meses	300–600%+
FMEA	R\$ 25k–80k	R\$ 1M–5M/ano	3–6 meses	1.000–5.000%
RCM	R\$ 80k–300k	R\$ 2M–15M/ano	4–12 meses	500–2.000%



3.13 (cont.) Conclusão Estratégica sobre as Ferramentas da Qualidade

Investimento de Maior Retorno Disponível

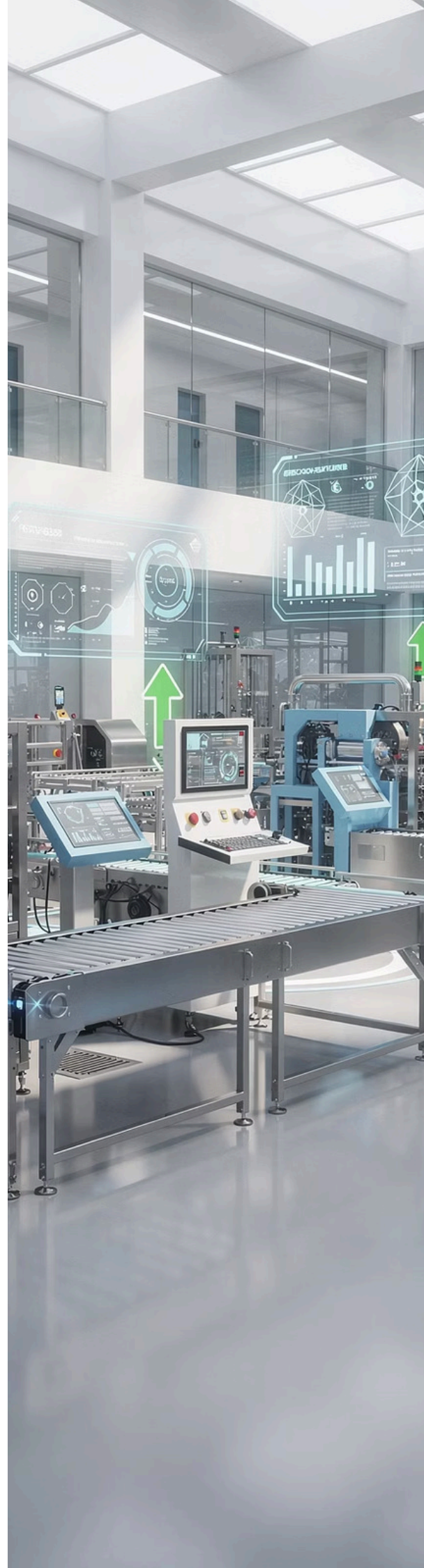
O investimento em ferramentas da qualidade aplicadas à manutenção é, consistentemente, um dos investimentos de maior retorno disponíveis para a indústria — com payback médio inferior a 6 meses e ROI de múltiplos dígitos em praticamente todos os contextos de aplicação.

Efeito Multiplicador das Ferramentas

As ferramentas se potencializam mutuamente em cascata: o Pareto identifica onde agir → o Ishikawa revela por quê → o FMEA prioriza o risco → o PDCA estrutura a melhoria → as Cartas de Controle monitoram a sustentação dos resultados. O ciclo é autorreforçante.

Habilitador Tecnológico: SIGMA CMMS

O SIGMA CMMS integra nativamente todas as ferramentas ao fluxo operacional, eliminando a necessidade de planilhas paralelas e garantindo que os dados coletados em campo alimentem automaticamente as análises gerenciais. A plataforma transforma as ferramentas da qualidade de exercícios pontuais em práticas sistemáticas e contínuas.



Parte IV

SIGMA EAM/CMMS: Plataforma Integrada de Gestão de Ativos

Caracterização, arquitetura modular, posicionamento de mercado e quantificação dos ganhos potenciais com a implantação da plataforma SIGMA.

4.1 Posicionamento

38 anos · 300k
usuários · Brasil e
América Latina

4.2 Arquitetura

7 dimensões
funcionais · 50+
módulos PCM

4.3 Causa → Solução

Vinculação direta às 10
causas de falha

4.4 ROI

Ganho potencial de
até R\$ 19,7M/ano



4.1 Caracterização e Posicionamento do SIGMA no Mercado Brasileiro

Lançado em **1987** por engenheiros e técnicos de manutenção industrial e originalmente aplicado no III Polo Petroquímico em Triunfo (RS), o SIGMA é um dos sistemas CMMS/EAM de maior penetração no mercado brasileiro, com base instalada que ultrapassa **300 mil usuários** no Brasil e na América Latina.

Longevidade e Maturidade

Mais de 38 anos de evolução contínua, com maturidade funcional resultante do contato com milhares de plantas industriais de segmentos heterogêneos.

Arquitetura Tecnológica

Plataforma multiempresa/multiusuária; módulos web (PHP e .NET Core) e mobile (Flutter); suporte a Oracle, SQL Server e Firebird; sem limitação de estações simultâneas.

Modelos de Implantação

SaaS: nuvem, pagamento mensal recorrente, atualizações automáticas.

On-Premise: instalação local, licença vitalícia (CAPEX), cliente responsável pela infraestrutura.

1987

Ano de Fundação

III Polo Petroquímico,
Triunfo (RS)

300k+

Usuários

Brasil e América Latina

50+

Módulos PCM

Cobertura completa do ciclo PDCA



Ecosistema:

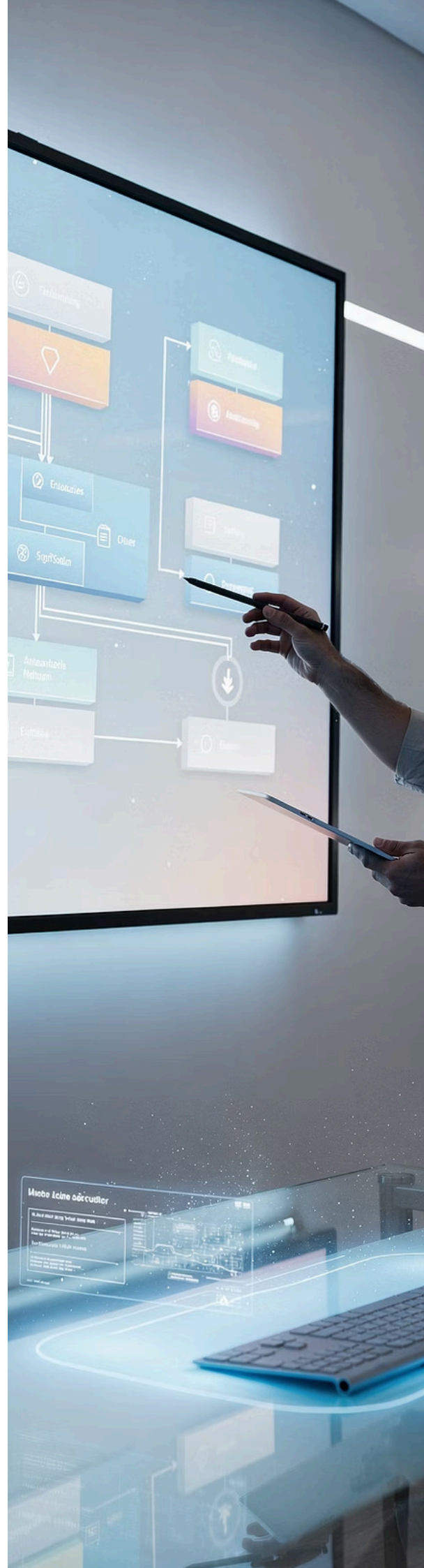
SIGMA CMMS ·
GESTAG (água e gás) ·
Horímetro WiFi ·
GPS Indoor (localização na fábrica)



4.2 Arquitetura Modular: 7 Dimensões Funcionais do SIGMA

A análise das funcionalidades disponíveis no SIGMA evidencia cobertura abrangente do ciclo PDCA aplicado à manutenção. Sua arquitetura modular contempla mais de **50 módulos voltados ao Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)**, agrupáveis em sete dimensões funcionais.

Dimensão Funcional	Módulos e Recursos Representativos
Cadastro e estruturação de ativos	Hierarquia de equipamentos, módulo de TAG, fichas técnicas, formação de inventário, estrutura por planta/setor/equipamento
Gestão de serviços	Solicitação de Serviço (SS) web e mobile, aprovação/reprovação, geração e acompanhamento de OS, lançamento de horas, consulta de backlog, históricos
Manutenção preventiva e preditiva	Cadastro de planos preventivos, programação por período ou contadores (horas, km, ciclos), gráficos de análise preditiva (vibração, termografia, viscosidade), gestão de lubrificação e check-list TPM
Indicadores e inteligência analítica	Mais de 40 indicadores entre relatórios e gráficos, KPIs operacionais e gerenciais, gerador de relatórios e gráficos, análise GUT, módulo OEE
Custos e materiais	Gestão dos custos de manutenção, controle de estoque, movimentação de materiais, solicitações de compra e orçamento
Calibração e conformidade	Controle de calibração, emissão de certificados, curva de erro, relatórios — relevante para indústrias regulamentadas
Mobilidade e Indústria 4.0	SIGMA Mobile 3.0 (Flutter), conversão de solicitações via WhatsApp em OS, integração nativa com sensores e APIs, horímetros WiFi, dashboards em TV, IA transversal



4.3 Mapeamento Causa-Solução: SIGMA frente às 10 Causas de Falha

A vinculação direta entre as funcionalidades do SIGMA e as causas de falha sistematizadas permite avaliar, de forma estruturada, em que medida o sistema atua sobre cada vetor de perda.

Causa de Falha	Funcionalidade SIGMA	Mecanismo de Mitigação
Preventiva insuficiente	Gestão da Manutenção Preventiva; programação por período/contadores	Garante execução sistemática do plano, eliminando esquecimento operacional
Desgaste não monitorado	Manutenção Preditiva; gráficos de tendência; integração com sensores via API	Antecipa o ponto P da curva P-F, permitindo intervenção planejada
Erro humano	OS estruturada com check-list TPM; aprovação de SS; histórico por executante	Padroniza procedimentos, registra responsabilidades e fundamenta treinamento
Sobrecarga operacional	Horímetros WiFi; módulo OEE; lançamento de paradas; integração com produção	Quantifica regime real de operação, evidenciando ativos acima da capacidade
Falhas de lubrificação	Gestão da Lubrificação; planos por ponto, lubrificante e periodicidade	Elimina lubrificação inadequada, contaminação e intervalos incorretos
Condições ambientais	Check-list de inspeção; alertas; indicadores de falhas recorrentes por área	Evidencia padrões de falha correlacionados a condições ambientais
Instalação e alinhamento	Histórico por equipamento; análise de falhas recorrentes	Identifica falhas crônicas atribuíveis à instalação, dirigindo RCA
Falhas de projeto	Indicadores de custo por ativo; MTBF; análise GUT	Fornecer base de dados para decisão de retrofit ou substituição de ativos
Falhas elétricas/eletrônicas	Controle de calibração; certificados; curva de erro	Reduz falhas por descalibração; rastreabilidade para auditorias
Ausência de CMMS	Plataforma integrada; KPIs; dashboards; IA transversal; 40+ indicadores	Substitui decisão reativa pela decisão baseada em dados



4.4 Quantificação dos Ganhos Potenciais com a Implantação do SIGMA

A literatura técnica e os benchmarks de mercado convergem ao indicar que a implantação consistente de um CMMS maduro produz ganhos mensuráveis em quatro dimensões: redução de custos diretos, redução de custos indiretos, ampliação da disponibilidade e aumento da produtividade da mão de obra de manutenção.

Cenário	Perda Anual Atual	Ganho Potencial 20%	Ganho Potencial 50%
Pequeno porte (R\$ 10 mi/ano)	R\$ 700k – 1,97M	R\$ 140k – 394k	R\$ 350k – 985k
Grande porte (R\$ 200 mi/ano)	R\$ 14M – 39,4M	R\$ 2,8M – 7,9M	R\$ 7M – 19,7M

Vetores de Redução de Custo (Proposta SAFRAN)



Impacto Patrimonial

+R\$282k

Ganho Patrimonial

Ativo imobilizado líquido: R\$ 1,40M → R\$ 1,68M

+1,5pp

ROA

Retorno sobre ativos: 4,1% → 5,6%

- ✔ Para uma indústria de grande porte, o ganho potencial chega a **R\$ 19,7 milhões anuais** — patamar que altera materialmente o EBITDA da operação.

Parte V

Novos Recursos do SIGMA CMMS: Inteligência, Automação e Mobilidade

Os 10 novos recursos do SIGMA CMMS, organizados em 3 pilares estratégicos: Inteligência e Automação, Gestão Orientada por Dados e Execução em Campo.

Pilar 1

Inteligência e Automação: IA, PDCA nativo, detecção de anomalias

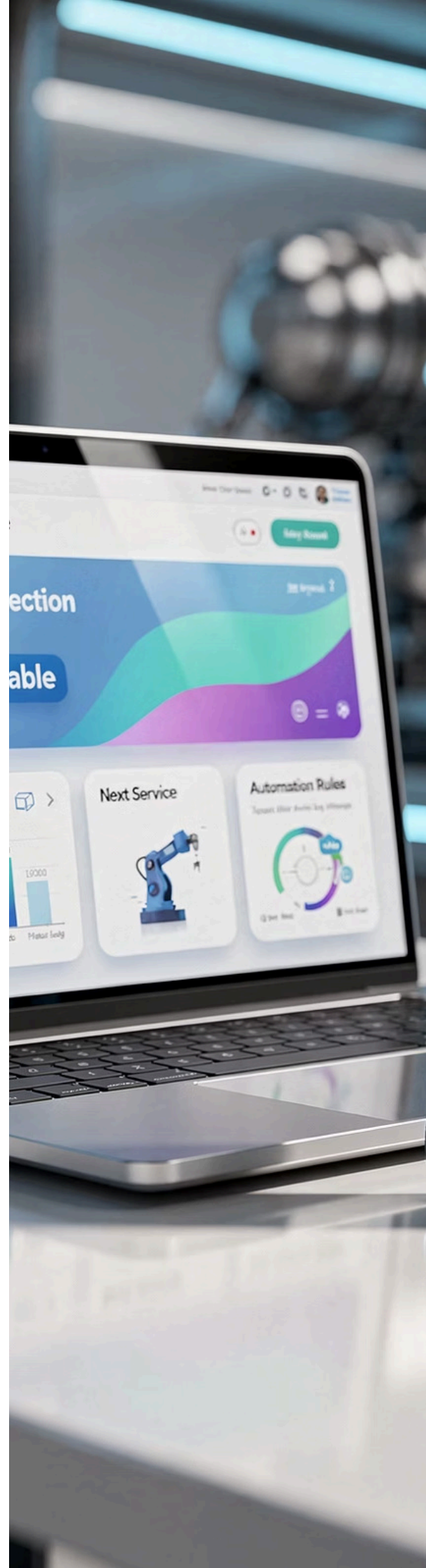
Pilar 2

Gestão Orientada por Dados: BI, KPIs automáticos, Follow-up, Notify

Pilar 3

Execução em Campo: App Flutter, Evidências multimídia, Biometria, SLA

Direitos reservados www.centralsigma.com.br



5.1 Visão Geral: Os 10 Novos Recursos e os 3 Pilares

Os novos recursos do SIGMA CMMS reforçam três pilares de desempenho complementares: as automações e IA só entregam valor consistente quando a operação registra dados com qualidade; e a qualidade do dado tende a aumentar quando o fluxo é simples, guiado e executável no campo.

Pilar	Recursos Associados	Impacto Principal
Inteligência e Automação	IA integrada ao fluxo; PDCA nativo com IA; Detecção automática de anomalias; Piloto Automático	Redução de reatividade; antecipação de problemas; decisões baseadas em dados
Gestão Orientada por Dados	BI integrado em tempo real; KPIs automáticos; Follow-up automático; Notify inteligente	Visibilidade total; alertas proativos; eliminação de planilhas paralelas
Execução em Campo e Governança	App Mobile Flutter (online/offline); Evidências multimídia; Biometria facial e por voz; Gestão de SLA	Rastreabilidade completa; qualidade do dado na fonte; conformidade e auditabilidade

Í **Método de avaliação de impacto:** Estabelecer linha de base (3–6 meses) e comparar com período pós-implantação por família de ativos e criticidade. Dimensões: confiabilidade (MTBF, taxa de falhas), manutenibilidade (MTTR, tempo de espera), planejamento (backlog, % preventiva realizada), custos (custo por ativo, horas extras) e produtividade (wrench time, OS fechadas/dia).



5.2 Recurso 1 – Plataforma Web + APP: Gestão Completa Integrada

O SIGMA CMMS, quando operado em plataforma web e complementado pelo APP (SIGMA Mobile), permite gerir o **ciclo completo da manutenção** com visibilidade, rastreabilidade e colaboração entre operação, PCM, almoxarifado, liderança, engenharia e terceiros.

Interface Web – Gestão e Controle

- Cadastros e estrutura técnica de ativos
- Gestão centralizada de SS e OS com histórico completo e trilha de auditoria
- Planejamento e programação (PCM) com visão de capacidade
- Dashboards e relatórios para gestão diária
- Governança por perfis e permissões

APP Mobile – Execução em Campo

- Técnicos recebem fila do dia, executam e registram
- Aprovação e liberação sem gargalo presencial
- Atendimento corretivo com diagnóstico baseado em histórico
- Operação **online e offline** (sincronização automática ao reconectar)

KPIs Recomendados para Avaliação da Plataforma Integrada

Lead time da OS (abertura → início → conclusão → encerramento)

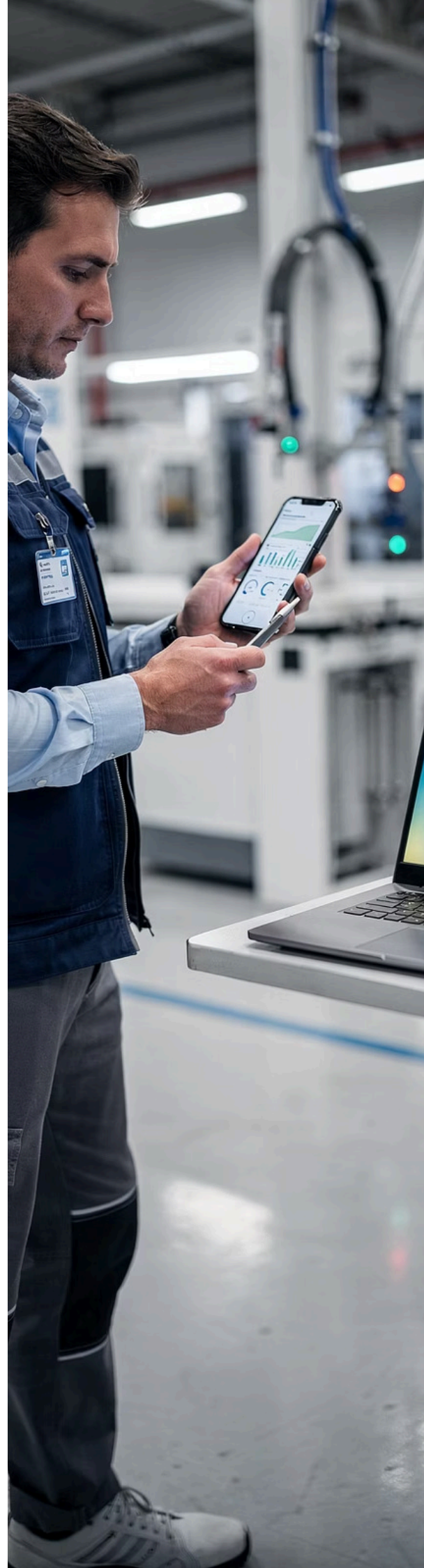
% OS no prazo (SLA)

% OS executadas e apontadas via app (adoção do campo)

% OS com dados completos no fechamento

Taxa de reabertura/retrabalho

Backlog (semanas) e aderência à programação semanal



5.3 Recurso 2 – Inteligência Artificial Integrada ao Fluxo Operacional

A IA integrada ao SIGMA analisa automaticamente dados operacionais — históricos de falhas, OS, tempos (MTTR/MTBF), custos e eventos — para encontrar padrões e desvios, sugerir ações de manutenção e apoiar a análise de causa raiz.

Análise Automática

Correlaciona sintomas, intervenções anteriores e registros técnicos para acelerar diagnóstico e reduzir reincidência de falhas.

Sugestão de Ações

Recomenda intervenções preventivas/corretivas e priorização de OS com base em criticidade e comportamento histórico do ativo.

Apoio ao Técnico em Campo

Sugere hipóteses de causa e passos de diagnóstico com base em intervenções semelhantes, reduzindo tentativas e erro.

Aprendizado Contínuo

Quanto maior a disciplina de registro, mais consistentes as recomendações — ciclo virtuoso de melhoria do dado e da qualidade das decisões.

Vetores de Economia via IA

- Redução de corretivas emergenciais (maior custo total)
- Diminuição de retrabalho por diagnóstico mais rápido e preciso
- Melhoria do planejamento de recursos e materiais
- Redução de horas extras e compras urgentes
- Redução de consumo de sobressalentes por substituição desnecessária

i **KPIs de Impacto da IA:** MTTR por família de ativo; reincidência de falhas (mesmo modo de falha em 30/60/90 dias); % OS com causa/código de falha preenchido corretamente; horas extras e compras emergenciais.



5.4 Recurso 3 – BI Integrado em Tempo Real

O Business Intelligence integrado ao SIGMA EAM disponibiliza dashboards dinâmicos que monitoram continuamente a performance operacional dos ativos, equipes e processos, calculados automaticamente com base em todos os dados registrados na plataforma.

Caso CMPC Celulose:

Indicadores calculados manualmente em planilhas com atualização semanal. Implantação de dashboards SIGMA com Smart TVs no chão de fábrica exibindo OEE, disponibilidade e backlog ao vivo; alertas via WhatsApp quando disponibilidade cai abaixo de 90%. Resultado: tempo de decisão gerencial **72 min → 8 min**; disponibilidade dos ativos críticos 84% → 94%; corretiva não planejada 41% → 19% em 18 meses.

Caso Gerdau Aços

Longos: CM% calculado apenas mensalmente; gestores sem visibilidade do impacto das decisões na rentabilidade. Integração do SIGMA com o sistema financeiro; CM% calculado diariamente no dashboard executivo. Resultado: CM% **6,2% → 3,8%** em 14 meses; precisão orçamentária 58% → 94%; redução de R\$ 4,1M/ano nos custos de manutenção.

8 min

Decisão Gerencial

CMPC: de 72 min para 8 min

R\$4,1M

Redução Anual

Gerdau — custos de manutenção em 14 meses

800-2.500%

ROI do BI

Payback 3-5 meses



5.5 Recurso 4 – Follow-up Automático e Gestão Ativa de Pendências

O Follow-up automático do SIGMA EAM monitora continuamente o status de todas as OS, SS, solicitações de compra e pendências de material, acionando alertas e escalonamentos automáticos quando prazos são ultrapassados ou quando itens críticos ficam parados em etapas do fluxo.

Funcionamento do Motor de Follow-up

- Monitora OS dependentes, PR em aberto, vales em aberto e material não entregue
- Roteia comunicações por múltiplos canais: WhatsApp, e-mail, app SIGMA, browser, Smart TV
- Escala automaticamente: supervisor → gerência → diretoria conforme tempo de atraso configurado
- Gera rastreabilidade completa de quem foi notificado e quando

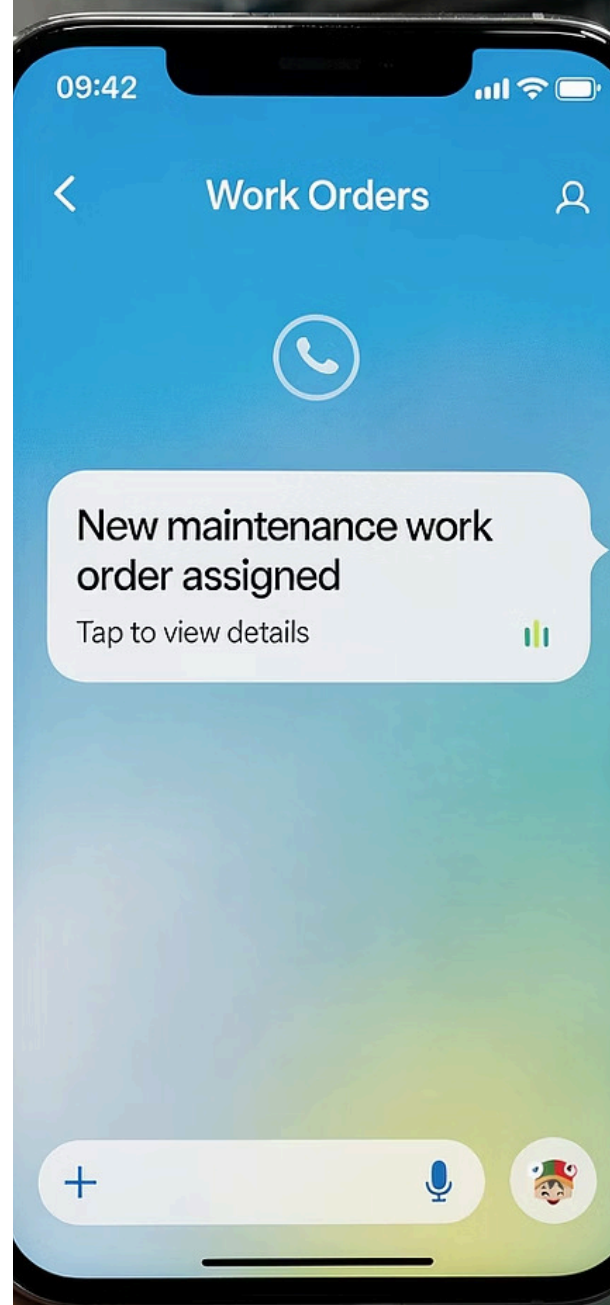
Impacto no Backlog

Redução do backlog de manutenção de **~9 semanas para 1-2 semanas** em 16 meses de uso sistemático do Follow-up automático; redução de 72% nas pendências abertas.

Adoção e Tempo de Resposta por Canal (Brasil)

Canal	Adoção	Resp. Média
WhatsApp	94%	18 min
E-mail	87%	45 min
App móvel	76%	32 min
Browser	68%	55 min
Smart TV	42%	90 min

✔️ WhatsApp é o canal mais eficaz para alertas de manutenção no contexto industrial brasileiro — resposta média de apenas **18 minutos**.



5.6 Recurso 5 – App Mobile Flutter: Operação Online e Offline

O SIGMA Mobile 3.0, desenvolvido em Flutter (Android/iOS), leva a execução e o registro para o campo com **operação plena online e offline** — sincronização automática ao reconectar. Elimina papel, reduz erros de transcrição e garante que o dado nasce no ponto de ocorrência.

Funcionalidades em Campo

- Recebimento da fila de OS do dia
- Execução de check-lists preventivos e preditivos
- Lançamento de horas, materiais e causas
- Captura de fotos e vídeos como evidência
- Leitura de QR Code para identificação de ativos
- Assinatura digital do técnico
- Abertura de SS via WhatsApp → convertida automaticamente em OS

Operação Offline

Crítica para ambientes industriais com cobertura de rede limitada (mineração, offshore, áreas rurais, interior de plantas). Dados armazenados localmente e sincronizados automaticamente ao reconectar, sem perda de informação.

KPIs de Adoção

- % OS executadas e apontadas via app
- % OS com dados completos no fechamento
- Taxa de reabertura/retrabalho
- First-time fix rate

i Piloto Automático no App: Guia o técnico passo a passo durante a execução da OS, sugerindo campos a preencher, próximas ações e alertas contextuais — reduzindo erros de omissão e acelerando a curva de aprendizado de novos técnicos em **30–40% menos tempo**.



5.7 Recurso 6 – Piloto Automático Operacional

O Piloto Automático do SIGMA EAM é um assistente de navegação e operação que guia o usuário contextualmente durante a execução de tarefas, sugere próximas ações, aciona alertas automáticos e **gera OS preventivas sem intervenção humana** quando condições pré-configuradas são atingidas.

Geração Automática de OS

Quando um ativo atinge o contador de horas, km ou ciclos configurado no plano preventivo, o Piloto Automático gera automaticamente a OS correspondente, programa o técnico disponível e notifica via WhatsApp/e-mail — eliminando o esquecimento operacional como causa de preventiva insuficiente.

Alertas Baseados em Condição

Quando sensor IoT ou horímetro WiFi registra leitura fora dos limites configurados (temperatura, vibração, pressão, corrente), o Piloto Automático aciona alerta imediato e pode gerar OS de inspeção ou intervenção preditiva automaticamente.

Guia Contextual ao Técnico

Durante a execução de OS, sugere campos a preencher, próximas etapas do procedimento, peças necessárias (com verificação automática de estoque) e alertas de segurança.

Integração com FMEA

Modos de falha com RPN acima do limite configurado no FMEA digital geram automaticamente OS preventivas ou preditivas pelo Piloto Automático — fechando o ciclo entre análise de risco e execução de manutenção.

30-40%

Menor Tempo

Para novatos atingirem desempenho de técnicos experientes

60-70%

Redução

Erros operacionais nas primeiras semanas de uso



5.8 Recurso 7 – Biometria Facial e por Voz: Governança Digital

O módulo de biometria do SIGMA EAM implementa identificação facial e por voz para autenticação de técnicos na execução de OS, garantindo **rastreabilidade inequívoca de responsabilidades** e conformidade com requisitos regulatórios de indústrias como farmacêutica, alimentos e aeronáutica.

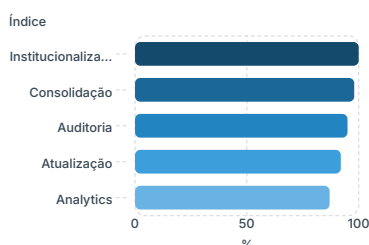
Funcionalidades de Biometria

- Identificação facial para abertura e encerramento de OS
- Reconhecimento de voz para registro de observações em campo (mãos livres)
- Autenticação multifator: biometria + QR Code + NFC
- Trilha de auditoria imutável

Conformidade Regulatória

- ISO 9001:2015 · ISO 13485 (dispositivos médicos)
- RDC 17/2010 (ANVISA — farmacêutica)
- AS9100 (aeronáutica) · LGPD

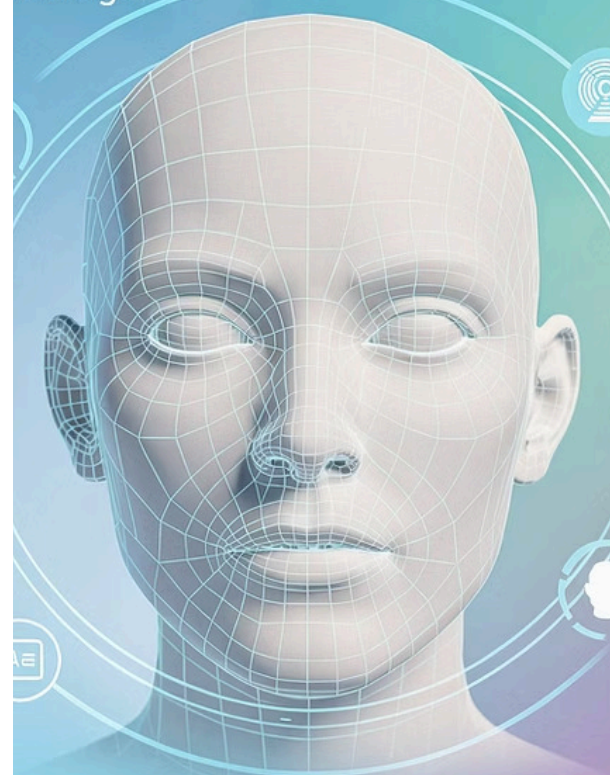
Índices de Governança Digital com Biometria



Maturidade progressiva com o uso sistemático da biometria em governança de manutenção.

al ID Scan

icating...



Authenticating...

Access Granted

5.9 Recurso 8 – Captura de Evidências Multimídia nas OS

O módulo de evidências multimídia do SIGMA EAM permite capturar e vincular fotos, vídeos, áudios e documentos diretamente às OS, criando um repositório de evidências técnicas que suporta diagnóstico, análise de causa raiz, treinamento e conformidade regulatória.

Tipos de Evidência Suportados

- Fotos (antes/durante/depois da intervenção)
- Vídeos (documentação de falhas, procedimentos)
- Áudios (observações do técnico em campo, mãos livres)
- Documentos (manuais, procedimentos, certificados)
- Assinatura digital do técnico e do solicitante

Impacto Operacional

40–60% de redução no tempo de diagnóstico (técnico vê o defeito antes de ir ao campo)

70–80% menos disputas sobre qualidade do serviço de terceiros

85–95% de melhoria na precisão de laudos técnicos

60–75% de redução no tempo de autorização de serviços

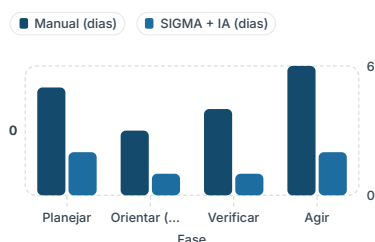
Ciclo Técnico com Evidências



5.10 Recurso 9 – PDCA Nativo com Apoio de IA

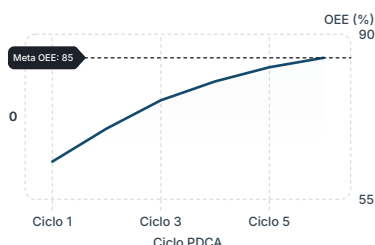
O módulo PDCA nativo do SIGMA EAM estrutura projetos de melhoria contínua com fases, indicadores, responsáveis e prazos, com apoio de IA para análise de resultados e sugestão das próximas oportunidades de maior impacto. **Cada OS possui ciclo completo de Plan, Do, Check e Act.**

Duração das Fases do PDCA: Manual vs. SIGMA + IA



Redução total de **~60%** no tempo de ciclo PDCA com apoio de IA.

Evolução do OEE por Ciclo PDCA com SIGMA EAM



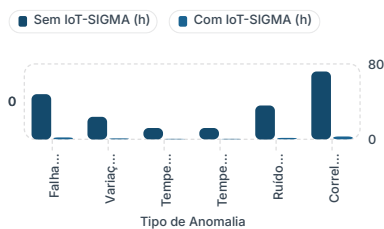
Meta de OEE \geq 85% atingida no Ciclo 6 de forma sustentada.



5.11 Recurso 10 – Detecção Automática de Anomalias e Alertas Inteligentes

O módulo de detecção automática de anomalias do SIGMA EAM monitora continuamente os dados de sensores IoT, horímetros WiFi e registros de OS para **identificar desvios de padrão antes que se tornem falhas funcionais**, gerando alertas inteligentes e recomendações proativas.

Redução do Tempo de Detecção com IoT + SIGMA



Modelos de IA para Predição

LSTM

Long Short-Term Memory — para séries temporais de sensores

Random Forest

Classificação de modos de falha

Gradient Boosting

Predição de MTBF e custo de manutenção

✔ **Precisão das recomendações:**
80–95%
dependendo da qualidade e volume dos dados históricos — reforçando a importância da disciplina de registro como fundamento dos recursos de IA.



Parte VI

SIGMA EAM: 14 Recursos Avançados da Plataforma

Recursos avançados que compõem o ecossistema integrado SIGMA: IoT, eliminação de papel, SLA, otimização de recursos e automação de processos (RPA).

6.1 Ecossistema IoT

Web + App + Sensores integrados

6.2 Zero Papel e SLA

Fluxo digital e cumprimento de acordos

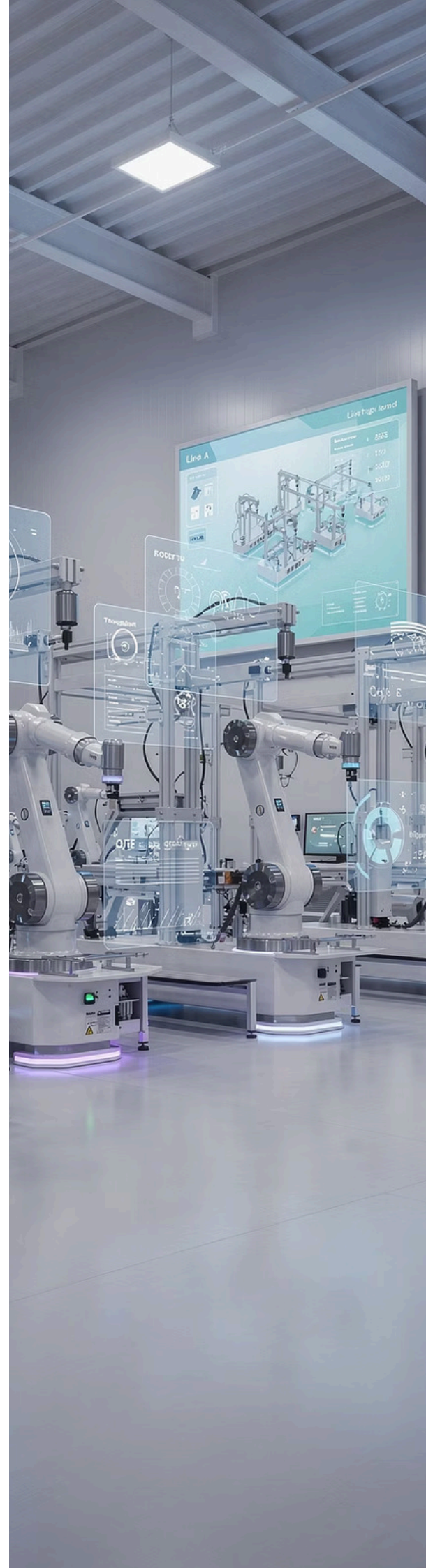
6.3 Otimização

Recursos, backlog e estoques

6.4 RPA

Automação de processos repetitivos

Direitos reservados www.centralsigma.com.br



6.1 Ecossistema Integrado: Web + App + Sensores IoT

O ecossistema IoT do SIGMA EAM integra dados provenientes de múltiplas fontes industriais — sensores de vibração, temperatura, pressão, corrente elétrica, CLPs, SCADA, horímetros WiFi e aplicativos móveis — em uma única plataforma de Business Intelligence, criando uma **visão 360° do estado real de cada ativo**.

Fontes de Dados Integradas

- Sensores IoT (vibração, temperatura, pressão, corrente, umidade)
- CLPs e SCADA (dados de processo em tempo real)
- Horímetros WiFi (horas reais de operação e parada)
- Aplicativos móveis (registros de campo)
- Sistemas ERP (custos, materiais, RH)
- Sistemas MES (dados de produção e qualidade)

Arquitetura de Integração

- **Edge computing:** processamento local de dados de sensores
- **Cloud computing:** armazenamento e análise histórica
- **APIs REST:** integração com sistemas legados
- **Protocolo MQTT:** comunicação IoT de baixa latência

Horímetro WiFi (Rede Industrial):

Dispositivo que monitora o tempo de funcionamento ou parada de máquinas via WiFi, transmitindo dados em tempo real para o SIGMA. Suporta acionamento por sinal elétrico (NA/NF), transmissão offline por armazenamento WiFi e integração com veículos e equipamentos móveis.

Impacto da Integração IoT

Eliminação da lacuna entre chão de fábrica e sistemas gerenciais

Base de dados para análises preditivas impossíveis de obter manualmente

Alertas em tempo real que reduzem resposta a anomalias de horas para minutos



6.2 Eliminação Total de Papéis e Gestão Inteligente de SLA

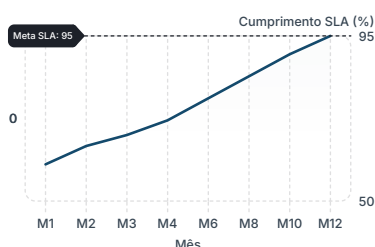
O módulo de gestão de SLA do SIGMA EAM monitora continuamente o cumprimento dos acordos de nível de serviço para cada OS, classificando automaticamente as OS em SLA OK, SLA em Risco, SLA Violado e Excede o Serviço, e acionando alertas e escalonamentos automáticos.

Fluxo Digital de OS (Zero Papel)

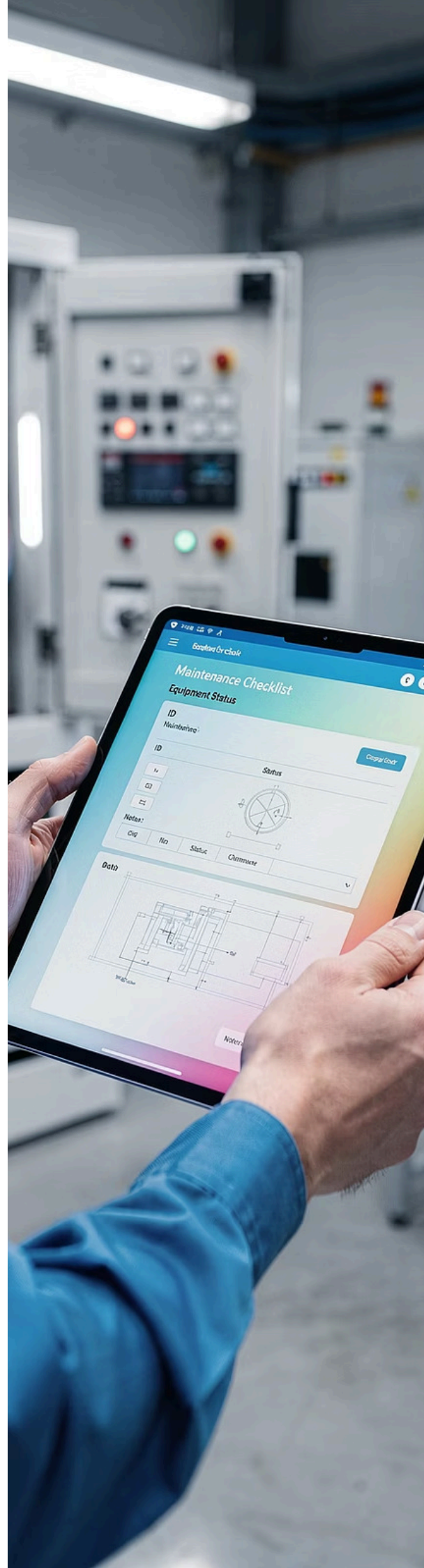


Cada etapa tem responsável, timestamp e rastreabilidade completa — habilitando auditorias ISO e regulatórias sem retrabalho.

Evolução do Cumprimento de SLA



✔ **Benefícios da eliminação do papel:** Redução de 80–90% no tempo de busca de informações históricas; eliminação de OS perdidas; rastreabilidade completa para auditorias.



6.3 Otimização Inteligente de Recursos, Backlog e Estoques

O módulo de otimização inteligente do SIGMA EAM analisa continuamente a distribuição de carga de trabalho entre equipes, identifica gargalos e bottlenecks, e otimiza o estoque de sobressalentes com base no histórico de consumo e nos dados do FMEA.

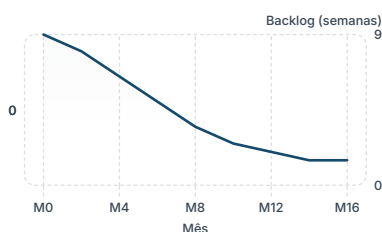
Otimização de Recursos Humanos

- Distribuição de OS entre equipes com base em disponibilidade, competência e criticidade
- Variabilidade de carga: **8,1%** entre equipes (identificada pelo sistema)
- Gargalos: **36,1%** das OS concentradas em 20% dos técnicos (bottleneck)
- Backlog por equipe e por técnico com visualização no dashboard

Otimização de Estoque

- Cálculo automático de estoque mínimo e ponto de pedido (histórico de consumo + lead time + criticidade FMEA)
- Alertas automáticos quando estoque cai abaixo do mínimo
- Análise ABC de sobressalentes para priorização de investimento

Impacto na Gestão de Backlog



Redução do backlog de **~9 semanas para 1-2 semanas** em 16 meses com uso sistemático do Follow-up automático e otimização de recursos.



6.4 RPA – Automação de Processos Repetitivos

O módulo RPA (Robotic Process Automation) do SIGMA EAM automatiza processos repetitivos de manutenção — geração de OS preventivas, envio de relatórios, atualização de cadastros, solicitações de compra e lançamentos contábeis — **liberando a equipe de PCM para atividades de análise e melhoria contínua.**

Bots RPA do SIGMA EAM

Bot UI Automation

Automação de interfaces

Bot PM

Geração automática de OS preventivas

Bot Mastering

Atualização de cadastros e planos

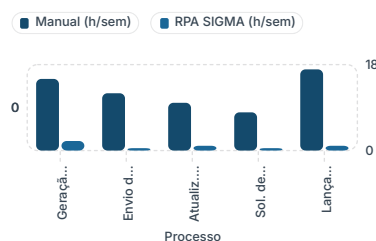
Bot Material

Solicitações de compra automáticas

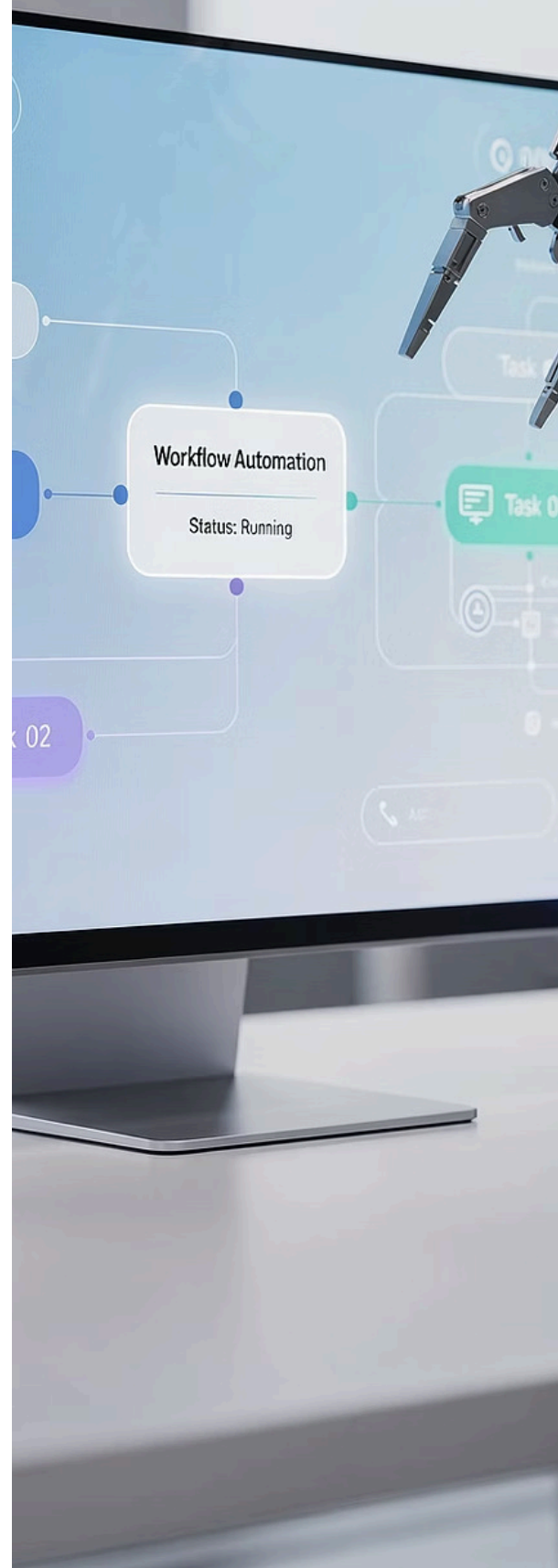
Bot Appreciation

Lançamentos e aprovações automáticas

Redução de Horas Semanais por Processo



ROI acumulado da RPA SIGMA EAM: **R\$ 125k+** em 24 meses; break-even em ~6 meses.



Parte VII

O Caminho para a Quebra Zero e Diretrizes Estratégicas

Os seis pilares do conceito de quebra zero, os quatro estágios evolutivos rumo à maturidade de manutenção e os fatores críticos de sucesso na implantação do CMMS.

7.1 Quebra Zero

Conceito e 6 pilares

7.2 Estágios Evolutivos

4 estágios:
digitalização →
prescritivo

7.3 Fatores Críticos

6 fatores que
determinam o sucesso

7.4 Roadmap

Quick wins vs.
iniciativas de
maturidade

7.5 Governança

Checklist de implantação e dados



7.1 O Conceito de Quebra Zero e os Seis Pilares

O conceito de quebra zero, originário do TPM japonês, parte da premissa de que **toda quebra é evitável** e que a sua ocorrência denuncia falha do sistema de gestão. Esse princípio somente é exequível mediante a articulação simultânea de seis pilares.

1 **Estabilização das Condições Básicas**
Limpeza, lubrificação, aperto e inspeção (LLAI) como rotina diária dos operadores; eliminação de deterioração acelerada por condições básicas inadequadas.

2 **Eliminação do Desgaste Forçado**
Identificação e eliminação das causas de desgaste acima do normal — sobrecarga, contaminação, desalinhamento, lubrificação inadequada.

3 **Padronização das Operações**
POPs para operação e manutenção; check-lists de inspeção; procedimentos de troca rápida; gestão visual do estado dos ativos.

4 **Capacitação Contínua**
Treinamento técnico de operadores e mantenedores; desenvolvimento de competências em análise de falhas; cultura de causa raiz.

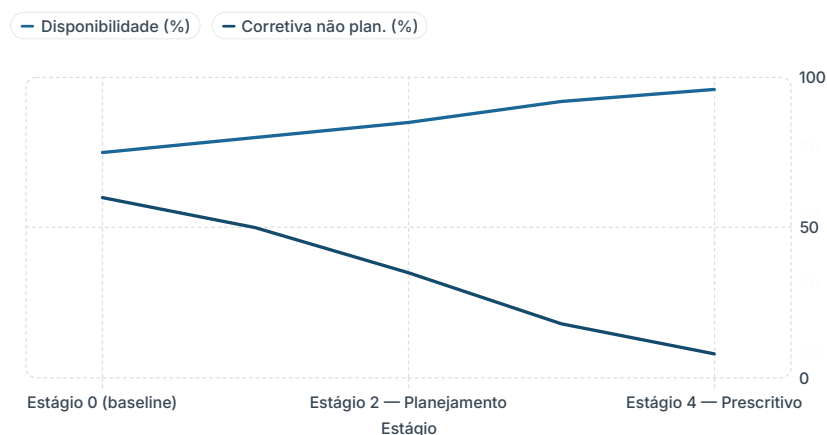
5 **Monitoramento Sistemático de Condição**
Análise de vibração, termografia, análise de óleo, ultrassom; sensores IoT para monitoramento contínuo; horímetros WiFi para controle de horas reais.

6 **Análise Rigorosa de Causa Raiz**
Aplicação sistemática de Ishikawa, 5 Porquês e FMEA; registro e compartilhamento de lições aprendidas; banco de conhecimento de falhas no SIGMA.



7.2 Os Quatro Estágios Evolutivos Rumo à Quebra Zero com SIGMA

A trajetória rumo à quebra zero apoiada no SIGMA pode ser compreendida em quatro estágios evolutivos, cada um construindo sobre o anterior e ampliando a maturidade da gestão de ativos.



Estágio	Foco Principal	Prazo	KPI Alvo
1 — Digitalização Básica	Migração de planilhas para SIGMA; cadastro de ativos; rastreabilidade de OS	0–6 meses	Completo de OS > 90%
2 — Planejamento Sistemático	Planos preventivos; check-lists; deslocamento do reativo para programado	6–18 meses	Corretiva não plan. < 40%
3 — Inteligência Preditiva	Vibração, termografia, óleo; integração com sensores via API; intervalo P-F	18–36 meses	Disponibilidade > 90%
4 — Prescritivo	IA analisa padrões e antecipa decisões ótimas de intervenção	36+ meses	OEE > 85%; MTBF no nível de projeto



7.3 Fatores Críticos de Sucesso na Implantação do CMMS

A adoção de um CMMS, mesmo do mais maduro do mercado, não produz resultados por si só. A literatura especializada e a experiência consolidada em implantações industriais identificam um conjunto de fatores críticos cuja observância distingue **projetos bem-sucedidos de iniciativas frustradas**.

1. Patrocínio Executivo Claro

A implantação do CMMS deve ser tratada como projeto estratégico, com sponsor de alto nível, metas explícitas em EBITDA e disponibilidade, e revisões periódicas em fórum de diretoria.

2. Cadastro de Ativos Consistente

A qualidade do sistema é determinada pela qualidade do cadastro inicial; estruturas hierárquicas mal construídas comprometem definitivamente a análise por ativo e a apuração de custos.

3. Definição de KPIs Antes da Operação

MTBF, MTTR, aderência ao plano, backlog e custo por ativo devem estar definidos, com metas e responsáveis, antes da entrada em produção do sistema.

4. Capacitação Multinível

Operadores, técnicos, planejadores e gestores demandam trilhas de treinamento distintas; o investimento em capacitação interna é insubstituível.

5. Integração com ERP e Sistemas Correlatos

O ganho potencial somente é integralmente capturado quando o CMMS dialoga com o sistema de gestão empresarial, com módulos de produção e com a base de RH.

6. Cultura de Causa Raiz

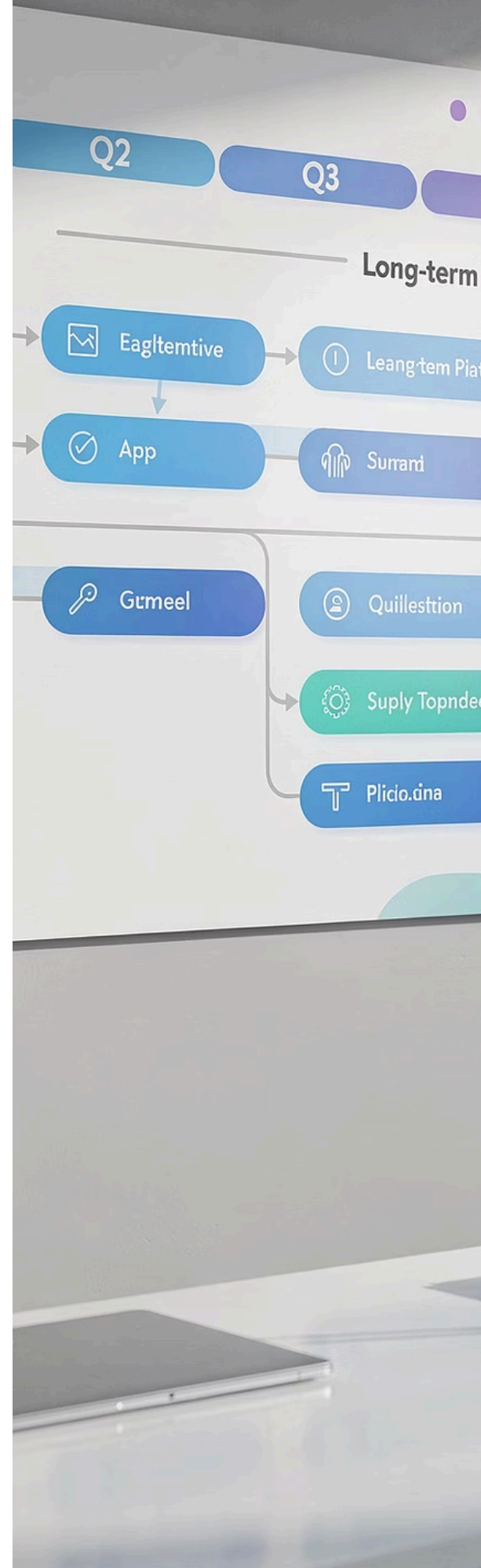
O sistema gera dados; a organização gera aprendizado. Sem rituais de análise sistemática (semanal, mensal, anual) das falhas registradas, a base de dados torna-se cemitério informacional, e a quebra zero permanece inalcançável.



7.4 Roadmap de Adoção: Quick Wins vs. Iniciativas de Maturidade

O roadmap de adoção do SIGMA CMMS diferencia iniciativas de retorno rápido (quick wins, implementáveis em semanas) de iniciativas que exigem maior maturidade organizacional e técnica.

Iniciativa	Prazo	Pré-requisito	Impacto Esperado
Cadastro básico de ativos e abertura de OS	1-4 sem.	Nenhum	Base de rastreabilidade; eliminação de papel
Check Sheet digital e completude de dados	2-4 sem.	Cadastro de ativos	Dados para Pareto e FMEA; conformidade ISO
Planos preventivos e Piloto Automático	4-8 sem.	Cadastro + histórico mínimo	Redução de esquecimento; aderência ao plano
BI em tempo real e dashboards	4-8 sem.	OS sendo registradas	Visibilidade gerencial; decisões baseadas em dados
Análise de Pareto e Ishikawa via SIGMA	6-12 sem.	3-6 meses de histórico	Identificação das causas vitais; RCA estruturada
Módulo de lubrificação	4-8 sem.	Cadastro de ativos	Eliminação de falhas por lubrificação inadequada
App mobile e operação offline	4-8 sem.	Dispositivos disponíveis	Qualidade do dado na fonte; rastreabilidade de campo
Integração IoT e sensores	3-6 meses	Infraestrutura de rede	Monitoramento contínuo; detecção antecipada de falhas
FMEA digital e RCM	3-8 meses	Histórico de falhas robusto	Priorização de risco; otimização do plano PM
IA preditiva e prescritiva	12-24 meses	Volume de dados históricos	Antecipação de falhas; decisões ótimas de intervenção



7.5 Checklist de Implantação e Governança de Dados

O checklist consolida os pré-requisitos para sustentar os benefícios do SIGMA CMMS no longo prazo — especialmente nos recursos mais avançados, onde a disciplina de processo e a confiabilidade do registro são determinantes.

Governança de Cadastros

- Hierarquia de ativos definida (planta → setor → equipamento → subunidade)
- TAGs únicos e padronizados
- Fichas técnicas completas (fabricante, modelo, ano, capacidade nominal)
- Criticidade definida por ativo (A/B/C)
- Centros de custo configurados

Governança de OS

- Campos obrigatórios de fechamento definidos (causa, ação, tempo, materiais)
- Códigos de falha/causa/ação padronizados conforme NBR ISO 14224
- % OS com dados completos monitorado semanalmente
- Reabertura de OS com causa documentada

Governança de KPIs

- MTBF, MTTR, disponibilidade e CM% calculados automaticamente
- Metas definidas por ativo crítico
- Revisão mensal de KPIs em reunião de gestão
- Comparativo antes/depois de cada iniciativa de melhoria

Governança de Dados para IA

- Mínimo de 6 meses de histórico de OS com dados completos
- Sensores IoT calibrados e com dados contínuos
- Modelos de IA validados com dados reais antes de uso em produção
- Revisão periódica da acurácia das recomendações da IA



Parte VIII

Análise Econômica, Impacto no EBITDA e Diretrizes Finais

Análise do impacto da manutenção no EBITDA e no fluxo de CAPEX, cenários de retorno e diretrizes estratégicas para a transição do modelo reativo para a gestão integrada de ativos.

Direitos reservados www.centraisigma.com.br



8.1 Impacto da Manutenção no EBITDA e no Fluxo de CAPEX

A análise econômica das perdas por falhas industriais e dos ganhos potenciais com gestão estruturada revela que a manutenção é, simultaneamente, o **maior risco e a maior oportunidade de melhoria do EBITDA** disponível para a maioria das organizações industriais.

Impacto Direto no EBITDA

Redução de 20% a 50% nas

Direitos reservados www.centralsigma.com.br

