

# SIGMA EAM

## Engenharia da Manutenção, Confiabilidade e Gestão de Ativos

*Livro técnico aplicado sobre manutenção, confiabilidade, indicadores, estoque MRO, governança e transformação digital*

### Utilizando Dados Históricos dos ativos para redução de custos e aumento da eficiência

Priorização GUT/Pareto • Cálculo de ROI • Cinco Segmentos Industriais

**Prestação de Serviços • Indústria de Base  
Farmacêutica • Agronegócio • Metalurgia**

Conceitos técnicos, fórmulas, roteiros de implantação, gráficos, planilhas, organogramas, modelos financeiros e casos práticos.

#### **Rede Industrial — Sistema SIGMA EAM**

*Documento técnico de referência para gestão da manutenção*

*Autor : Abrahão Lima*

## Prefácio

Este livro foi concebido para viabilizar o uso do SIGMA EAM de forma estratégica e eficaz. Não apenas para usá-lo como um repositório operacional de ordens de serviço. Ao longo dos capítulos, a manutenção deixa de ser tratada como centro de custo reativo e passa a ser compreendida como sistema de decisão técnico-econômica capaz de alterar disponibilidade, produtividade, risco, capital empregado, conformidade regulatória e competitividade industrial.

A obra combina fundamentos de confiabilidade, gestão de ativos, PCM, engenharia de manutenção, análise estatística de falhas, governança de dados, economia do downtime, otimização de estoque MRO e transformação digital. A estrutura foi reorganizada em formato de livro para oferecer ao leitor uma progressão lógica: da base conceitual à aplicação, da aplicação ao retorno financeiro, e do retorno financeiro à maturidade organizacional. Benchmarks recentes e boas práticas de mercado reforçam essa abordagem, especialmente em temas como padronização de métricas, gestão de ativos, manutenção preditiva, custo de paradas e aderência a modelos estruturados de confiabilidade.

Mais do que listar cinquenta aplicações de dados históricos, este livro propõe uma arquitetura de gestão. Ele mostra como dados de falhas, custos, tempos, materiais, lead times, criticidade, planos preventivos e medições preditivas podem ser convertidos em decisões de priorização, políticas de estoque, modelos de inspeção, critérios de substituição, planos de shutdown, contratos baseados em desempenho e programas de melhoria contínua.

O público principal desta obra inclui diretores industriais, gerentes de manutenção, coordenadores de PCM, engenheiros de confiabilidade, especialistas em almoxarifado técnico, controladoria industrial, consultores e implantadores de EAM/CMMS. O texto também foi estruturado para servir como referência de estudo, material de treinamento interno e base de desenho de programas corporativos de maturidade em manutenção e gestão de ativos.

## Arquitetura editorial da obra

A presente edição foi reorganizada como livro técnico em múltiplas camadas de leitura. O leitor pode percorrê-lo de modo sequencial, para formação conceitual completa, ou utilizá-lo como obra de consulta, acessando capítulos específicos conforme o desafio operacional enfrentado: confiabilidade, estoque, produtividade de equipe, paradas, CAPEX, regulação farmacêutica, utilities, SLA ou digitalização.

### **Parte I — Fundamentos Estratégicos e Arquitetura da Gestão de Ativos**

Introduz os princípios de gestão de ativos, confiabilidade, governança de dados, maturidade da manutenção, arquitetura EAM/CMMS, economia do ciclo de vida, cultura de decisão baseada em risco e alinhamento entre manutenção, operação, engenharia, suprimentos e finanças. Esta nova parte cria o enquadramento gerencial e técnico que sustenta todas as análises posteriores.

### **Parte II — Fundamentos Analíticos e Modelos de Priorização**

Consolida o arcabouço matemático e decisório usado no restante da obra: Matriz GUT, Pareto, MTBF, MTTR, disponibilidade, OEE, Curva da Banheira, Weibull, backlog, schedule compliance, wrench time, análise de custo, criticidade e priorização multicritério. O objetivo é transformar indicadores em linguagem executiva e operacional ao mesmo tempo.

### **Parte III — As 50 Aplicações Analíticas do SIGMA EAM**

Apresenta o núcleo operacional do livro: cinquenta aplicações estruturadas dos dados históricos do SIGMA EAM, organizadas em camadas de impacto. Cada ficha técnica conecta conceito, fórmula, roteiro de implantação, KPI e ganho esperado, permitindo uso direto em programas corporativos de transformação da manutenção.

### **Parte IV — Modelagem Financeira, ROI e Casos por Segmento**

Explica como converter confiabilidade em retorno econômico. São apresentados métodos de cálculo de ROI, payback, custo de downtime, custo evitado, capital liberado e sensibilidade de resultados, com

aprofundamento setorial para prestação de serviços, indústria de base, farmacêutica, agronegócio e metalurgia.

## Parte V — Governança, Implantação, Maturidade e Futuro Digital

Discute governança do programa, papéis organizacionais, modelo de implantação em ondas, gestão da mudança, integração com compras e operação, qualificação de dados, gestão de contratos, evolução para preditiva, CBM, RCM, digital twin e maturidade corporativa em gestão de ativos. A intenção é levar o leitor do “fazer análise” ao “institucionalizar capacidade”.

## Resultados consolidados de benchmark

Métrica	Faixa de Ganho	Fonte
Redução do custo total de manutenção	10% a 40%	McKinsey & Co.
Redução de paradas não planejadas	25% a 50%	Aberdeen / Deloitte
Aumento da produtividade da mão de obra	20% a 28%	Deloitte / A.T. Kearney
Redução do capital imobilizado em estoque	15% a 25%	A.T. Kearney
Aumento do Wrench Time	25-35% → 55-65%	A.T. Kearney
ROI consolidado em 24 meses	200% a 500%	Estudos compilados
Payback médio	3 a 6 meses	Estudos compilados

Estes números convergem para uma conclusão objetiva: empresas que adotam a abordagem disciplinada de transformação digital da manutenção, com base em dados históricos do CMMS/EAM, alcançam retornos consistentes acima de 200% nos primeiros 24 meses, com payback do investimento em menos de 6 meses.

## Aplicações de Dados Históricos do SIGMA EAM para Redução de Custos e Eficiência Operacional

### I. Confiabilidade e Análise Técnica

- 1. MTBF por ativo** — Ao identificar os equipamentos com menor tempo entre falhas e concentrar neles os investimentos em melhoria, você reduzirá paradas não planejadas e o custo de corretiva emergencial.
- 2. MTTR por tipo de falha** — Ao padronizar procedimentos para as falhas com maior tempo de reparo, você reduzirá horas de equipe paradas aguardando diagnóstico e o custo de lucro cessante.
- 3. Disponibilidade histórica por ativo** — Ao priorizar ações nos ativos que mais comprometem a produção, você aumentará o OEE e a produtividade horária da planta.
- 4. MTTF de componentes consumíveis** — Ao substituir peças no momento técnico correto, nem antes nem depois, você reduzirá o desperdício de componentes ainda úteis e evitará quebras inesperadas.
- 5. Curva da banheira por família de equipamentos** — Ao identificar ativos em fase de desgaste acelerado, você reduzirá o custo de manter equipamentos que já justificam substituição.
- 6. Pareto de falhas (80/20)** — Ao atacar os 20% de modos de falha que causam 80% das paradas, você reduzirá drasticamente o volume total de corretivas com esforço concentrado.
- 7. FMEA alimentado com histórico real** — Ao refinar o NPR com ocorrências reais, e não estimativas, você reduzirá falhas de alto impacto via ação preventiva direcionada.
- 8. Análise de Weibull** — Ao definir a janela ótima de troca preventiva por dados estatísticos, você reduzirá intervenções desnecessárias e falhas por subdimensionamento de prazo.

**9. Falhas crônicas recorrentes** — Ao listar problemas que se repetem e abrir projetos de RCA, você eliminará custos recorrentes que se diluem invisíveis no orçamento mensal.

**10. Índice de retrabalho** — Ao medir OS reabertas em até 30 dias e capacitar os executantes, você reduzirá horas duplicadas e o consumo duplicado de materiais.

---

## II. Otimização da Mão de Obra

**11. Tempo médio por tipo de serviço** — Ao criar padrões internos de duração por tarefa, você identificará desvios individuais e poderá dimensionar o quadro com precisão.

**12. Backlog vs. capacidade por especialidade** — Ao comparar carga de trabalho com horas disponíveis, você evitará contratações desnecessárias ou sobrecargas geradoras de erros.

**13. Mix corretiva / preventiva / preditiva** — Ao monitorar mensalmente para migrar de reativo para planejado, você reduzirá o custo de manutenção em 3 a 5 vezes (corretiva planejada vs. emergencial).

**14. Cumprimento da programação (Schedule Compliance)** — Ao manter meta acima de 85%, você aumentará a produtividade da equipe e a previsibilidade da produção.

**15. Horas extras por equipe** — Ao detectar padrões sistemáticos que indicam subdimensionamento, você reduzirá o custo de adicional noturno e a fadiga operacional.

**16. Desempenho individual de técnicos** — Ao comparar tempo de execução e retrabalho por colaborador, você direcionará treinamento e reconhecimento de forma justa e objetiva.

**17. Matriz de competências baseada em OS executadas** — Ao alocar o técnico certo na tarefa certa, você reduzirá o tempo de execução e a necessidade de retrabalho.

**18. Lacunas de treinamento** — Ao identificar tarefas com alta dispersão de tempo entre técnicos, você reduzirá a dependência de profissionais-chave e aumentará a flexibilidade da equipe.

**19. Tempo de deslocamento entre tarefas** — Ao reorganizar a sequência de OS no roteiro diário, você aumentará o tempo efetivo de chave na mão (wrench time) sem aumentar a equipe.

**20. Equipe própria vs. terceirizada** — Ao usar a sazonalidade histórica para definir o ponto de equilíbrio, você reduzirá o custo fixo em períodos de baixa demanda.

---

## III. Gestão de Estoque e Sobressalentes

**21. Curva ABC de consumo** — Ao concentrar controle rigoroso nos itens classe A, você reduzirá o capital imobilizado sem comprometer a disponibilidade.

**22. Análise XYZ de criticidade** — Ao garantir estoque dos itens vitais, mesmo de baixo valor, você evitará paradas de produção por falta de item de R\$ 50.

**23. Itens sem movimentação (obsoletos)** — Ao liquidar ou redistribuir peças paradas há mais de 24 meses, você liberará capital de giro e espaço de almoxarifado.

**24. Giro de estoque por categoria** — Ao identificar categorias com baixa rotatividade, você reduzirá o custo de armazenagem e o risco de obsolescência.

**25. Previsão de demanda atrelada a planos preventivos** — Ao programar compras conforme o cronograma de OS futuras, você reduzirá compras emergenciais (que custam 20 a 40% mais).

**26. Consumo anormal de itens** — Ao investigar saídas atípicas (desvio, desperdício, falha sistêmica), você eliminará perdas invisíveis que comprometem o orçamento.

**27. Padronização de SKUs** — Ao unificar códigos de peças similares, você reduzirá complexidade, capital imobilizado e erros de requisição.

- 28. Lead time real de fornecedores** — Ao recalcular pontos de pedido com dados reais, e não com prazos prometidos, você evitará rupturas por confiança excessiva no fornecedor.
- 29. Estoque de segurança calculado estatisticamente** — Ao substituir regras empíricas por cálculo de variabilidade, você reduzirá o estoque imobilizado mantendo o nível de serviço.
- 30. TCO (custo total de posse) por item** — Ao somar aquisição, armazenagem, obsolescência e ruptura, você identificará itens onde a política atual está gerando prejuízo oculto.
- 

#### **IV. Manutenção Planejada e Preditiva**

- 31. Ajuste da periodicidade de planos preventivos** — Ao revisar a frequência com base no MTBF real, você reduzirá preventivas excessivas (desperdício) ou insuficientes (falhas).
- 32. Migração de manutenção por tempo para por condição (CBM)** — Ao identificar ativos onde o monitoramento de condição compensa, você reduzirá intervenções no ativo saudável.
- 33. RCM aplicado com histórico real** — Ao definir estratégia por função e contexto operacional documentado, você reduzirá tarefas que não agregam valor ao plano.
- 34. Candidatos a preditiva** — Ao selecionar ativos com falhas catastróficas frequentes para vibração/termografia, você evitará quebras que custam 10x mais que o monitoramento.
- 35. Eficácia dos planos preventivos** — Ao comparar ativos com e sem plano, você eliminará planos que não reduzem falhas (e que custam horas inúteis).
- 36. Tendências em medições históricas** — Ao criar alertas antecipados de degradação, você poderá intervir de forma planejada em vez de emergencial.
- 37. RCA estruturada** — Ao investigar causas raízes com dados reais de OS anteriores, você eliminará o sintoma na origem e evitará sua recorrência.
- 38. Eficácia de modificações de engenharia** — Ao medir MTBF antes e depois das melhorias, você validará ou descartará investimentos com base em evidência.
- 

#### **V. Gestão Financeira e Custos**

- 39. Custo total de manutenção por ativo** — Ao somar mão de obra, materiais e terceiros por equipamento, você identificará quando substituir é mais barato que manter.
- 40. CMVR (Custo de Manutenção / Valor de Reposição)** — Ao acompanhar o índice (acima de 6% a.a. acende alerta), você acionará a decisão de CAPEX no momento técnico-econômico correto.
- 41. Custo de downtime por hora parada** — Ao quantificar o impacto financeiro de cada parada, você justificará investimentos em confiabilidade com ROI claro.
- 42. Custo por centro de custo / área** — Ao distribuir gastos por unidade produtiva, você responsabilizará gestores e direcionará melhorias por área crítica.
- 43. Variação orçamentária (planejado vs. realizado)** — Ao usar o histórico para orçamentos mais precisos, você reduzirá surpresas financeiras e contingenciamentos emergenciais.
- 44. ROI de projetos de melhoria** — Ao comparar custos e indicadores antes/depois de cada projeto, você priorizará os projetos com retorno comprovado e eliminará os ineficazes.
- 45. Custo unitário por tipo de manutenção** — Ao comparar corretiva, preventiva e preditiva, você comprovará a viabilidade econômica da migração para manutenção planejada.
- 

#### **VI. Decisão Estratégica de Ativos**

**46. Substituir vs. recuperar** — Ao combinar custo acumulado, idade e confiabilidade do ativo, você tomará decisões de CAPEX baseadas em dados, não em percepção.

**47. Planejamento de paradas gerais** — Ao dimensionar escopo, duração e equipe com base em paradas anteriores, você reduzirá estouro de prazo e custo em shutdowns.

**48. Benchmarking entre plantas ou setores** — Ao comparar indicadores entre unidades semelhantes, você replicará boas práticas e eliminará ineficiências localizadas.

**49. Contratos de performance com fornecedores** — Ao negociar SLAs com base em dados reais de demanda e desempenho, você reduzirá o custo de contratos superdimensionados.

**50. Simulação de cenários (digital twin)** — Ao testar mudanças em equipe, estoque e estratégia antes de aplicar, você evitará custos de tentativa e erro em decisões estruturais.

## Ações pela Matriz GUT com Aplicação de Pareto

### Metodologia Aplicada

**Matriz GUT** — cada ação avaliada em três critérios (escala 1–5):

- **G (Gravidade):** impacto financeiro/operacional se não for tratada
- **U (Urgência):** velocidade com que o problema se agrava
- **T (Tendência):** evolução do prejuízo ao longo do tempo

**Pontuação GUT** =  $G \times U \times T$  (máximo 125)

**Regra de Pareto aplicada:** as **10 ações de maior pontuação GUT** (20% do total) concentram aproximadamente **80% do potencial de retorno financeiro e operacional** das 50 ações listadas.

---

### I. Camada Crítica — Pareto Vital (Top 10 — Executar em 0 a 90 dias)

Estas ações têm GUT entre **100 e 125** e devem ser iniciadas imediatamente. Concentram o maior retorno por esforço investido.

Ranking	Ação (nº original)	G	U	T	GUT	Justificativa
1º	#13 — Mix corretiva/preventiva/preditiva	5	5	5	125	Corretiva custa 3 a 5x mais que planejada. Cada mês sem ação multiplica o prejuízo.
2º	#6 — Pareto de falhas (80/20)	5	5	5	125	20% das falhas geram 80% dos custos. Foco imediato libera maior ganho.
3º	#9 — Falhas crônicas recorrentes	5	5	5	125	Custos invisíveis se acumulam mês a mês sem ataque à causa raiz.
4º	#1 — MTBF por ativo	5	5	4	100	Base de toda decisão de confiabilidade; sem isso, nenhuma outra análise é confiável.
5º	#25 — Previsão de demanda atrelada a planos preventivos	5	5	4	100	Compras emergenciais custam 20 a 40% mais. Impacto direto e contínuo.
6º	#41 — Custo de downtime por hora parada	5	5	4	100	Sem quantificar a perda, nenhum investimento se justifica financeiramente.
7º	#22 — Análise XYZ de criticidade	5	5	4	100	Ruptura de item crítico para a produção. Risco diário de parada.

Ranking	Ação (nº original)	G	U	T	GUT	Justificativa
8º	#14 — Cumprimento da programação (Schedule Compliance)	4	5	5	100	Indicador-mestre da eficácia do PCM. Sem ele, todo planejamento é fictício.
9º	#23 — Itens sem movimentação (obsoletos)	5	4	5	100	Capital de giro imobilizado cresce mensalmente sem ação.
10º	#39 — Custo total de manutenção por ativo	5	4	5	100	Base para decisão de CAPEX (substituir vs. recuperar).

**Ganho estimado da Camada Crítica:** redução de **20 a 30% no custo total de manutenção** e **15 a 25% no capital imobilizado em estoque** em até 12 meses.

## II. Camada Estratégica — Alta Prioridade (Ações 11 a 20 — Executar em 90 a 180 dias)

GUT entre **80 e 96**. Consolidam os ganhos da camada crítica e expandem o controle.

Ranking	Ação (nº original)	G	U	T	GUT
11º	#2 — MTTR por tipo de falha	4	4	5	80
12º	#3 — Disponibilidade histórica por ativo	4	4	5	80
13º	#10 — Índice de retrabalho	4	5	4	80
14º	#12 — Backlog vs. capacidade por especialidade	4	4	5	80
15º	#21 — Curva ABC de consumo	5	4	4	80
16º	#26 — Consumo anormal de itens	4	5	4	80
17º	#28 — Lead time real de fornecedores	4	4	5	80
18º	#31 — Ajuste da periodicidade de planos preventivos	4	4	5	80
19º	#35 — Eficácia dos planos preventivos	4	4	5	80
20º	#15 — Horas extras por equipe	4	4	5	80

**Ganho estimado da Camada Estratégica:** ganho adicional de **10 a 15%** sobre os indicadores da camada crítica.

## III. Camada Tática — Prioridade Média (Ações 21 a 35 — Executar em 6 a 12 meses)

GUT entre **48 e 75**. Refinam processos já estabelecidos.

Ranking	Ação (nº original)	G	U	T	GUT
21º	#43 — Variação orçamentária (planejado vs. realizado)	4	4	4	64
22º	#11 — Tempo médio por tipo de serviço	4	3	5	60
23º	#16 — Desempenho individual de técnicos	3	4	5	60
24º	#19 — Tempo de deslocamento entre tarefas	3	4	5	60
25º	#29 — Estoque de segurança calculado estatisticamente	4	3	5	60
26º	#36 — Tendências em medições históricas	4	3	5	60

Ranking Ação (nº original)		G U T GUT
27º	#37 — RCA estruturada	4 3 5 60
28º	#40 — CMVR (Custo/Valor de Reposição)	4 3 5 60
29º	#42 — Custo por centro de custo/área	3 4 5 60
30º	#7 — FMEA com histórico real	4 3 4 48
31º	#17 — Matriz de competências	3 4 4 48
32º	#24 — Giro de estoque por categoria	4 3 4 48
33º	#27 — Padronização de SKUs	4 3 4 48
34º	#34 — Candidatos a preditiva	4 3 4 48
35º	#45 — Custo unitário por tipo de manutenção	4 3 4 48

---

#### IV. Camada de Maturidade — Prioridade Baixa (Ações 36 a 50 — Executar em 12 a 24 meses)

GUT entre 24 e 45. Pertencem ao estágio de maturidade avançada da gestão.

Ranking Ação (nº original)		G U T GUT
36º	#4 — MTTF de componentes consumíveis	3 3 5 45
37º	#8 — Análise de Weibull	3 3 5 45
38º	#18 — Lacunas de treinamento	3 3 5 45
39º	#30 — TCO por item	3 3 5 45
40º	#32 — Migração para CBM	3 3 5 45
41º	#33 — RCM aplicado	3 3 5 45
42º	#38 — Eficácia de modificações de engenharia	3 3 5 45
43º	#44 — ROI de projetos de melhoria	3 3 5 45
44º	#46 — Substituir vs. recuperar	3 3 5 45
45º	#47 — Planejamento de paradas gerais	3 3 4 36
46º	#5 — Curva da banheira	3 2 5 30
47º	#20 — Equipe própria vs. terceirizada	3 2 5 30
48º	#48 — Benchmarking entre plantas	2 2 5 20
49º	#49 — Contratos de performance com fornecedores	2 2 5 20
50º	#50 — Simulação de cenários (digital twin)	2 2 4 16

---

Síntese Estratégica: Aplicação de Pareto

Camada	Nº de Ações	% do Total	Retorno Estimado	Prazo
<b>Crítica (Pareto Vital)</b>	10	20%	<b>70 a 80%</b> do retorno total	0 a 90 dias
<b>Estratégica</b>	10	20%	10 a 15% adicionais	90 a 180 dias
<b>Tática</b>	15	30%	5 a 10% adicionais	6 a 12 meses
<b>Maturidade</b>	15	30%	refinamento e sustentabilidade	12 a 24 meses

### Recomendação Executiva

**Foque os primeiros 90 dias exclusivamente nas 10 ações da Camada Crítica.** A dispersão de esforço entre todas as 50 ações simultaneamente é o erro mais comum em programas de transformação da manutenção — e a principal causa de baixo ROI documentada nos benchmarks internacionais.

## Roteiro de Expansão do Livro

Para transformar este material em uma obra de referência com amplitude próxima de duzentas páginas, a expansão foi estruturada em camadas. A primeira camada reorganiza e aprofunda os fundamentos estratégicos. A segunda amplia o tratamento técnico dos indicadores, métodos e aplicações. A terceira consolida estudos setoriais com linguagem financeira e operacional. A quarta fecha o ciclo com governança, implementação e digitalização avançada.

- Capítulo A — Gestão de ativos e criação de valor: princípios, ciclo de vida e alinhamento estratégico.
- Capítulo B — Qualidade de dados em EAM/CMMS: taxonomia, cadastro, criticidade e governança.
- Capítulo C — Economia da confiabilidade: downtime, risco, custo evitado e decisão de investimento.
- Capítulo D — Arquitetura do PCM moderno: planejamento, programação, materiais, execução e feedback.
- Capítulo E — Estoque MRO como sistema financeiro-operacional: capital, risco e nível de serviço.
- Capítulo F — Predição, CBM, RCM e digital twin: como escalar maturidade sem perder disciplina básica.
- Capítulo G — Modelos setoriais aprofundados: utilities, serviços, processo contínuo, farmacêutica e manufatura discreta.
- Capítulo H — Governança executiva: indicadores para diretoria, comitês, papéis e agenda de transformação.

## Parte I — Fundamentos Estratégicos e Arquitetura da Gestão de Ativos

Antes de discutir indicadores, ações e estudos de ROI, é necessário estabelecer um princípio central: manutenção não é um conjunto de tarefas isoladas, mas uma capacidade organizacional de preservar funções, proteger receita, reduzir risco e ampliar valor ao longo do ciclo de vida dos ativos. Sob essa ótica, o

SIGMA EAM não deve ser visto apenas como software, e sim como infraestrutura de decisão técnica e econômica.

## Capítulo 1 — Gestão de Ativos como Sistema de Criação de Valor

A revisão 2024 da norma [ISO 55000]() reforça uma mudança de paradigma importante: o objetivo da gestão de ativos não é “conservar equipamentos” em sentido isolado, mas coordenar atividades para realizar valor a partir dos ativos ao longo de seu ciclo de vida. Isso desloca o foco da manutenção como reação a falhas para uma lógica sistêmica que integra desempenho, risco, custo, sustentabilidade, governança e alinhamento com objetivos organizacionais.

Na prática, essa abordagem implica cinco consequências. Primeiro, cada ativo precisa ser analisado em contexto operacional, e não apenas em seu estado físico. Segundo, a criticidade deve combinar segurança, impacto produtivo, qualidade, meio ambiente, conformidade e custo. Terceiro, decisões de manutenção devem considerar o ciclo de vida completo, da aquisição ao descarte. Quarto, os indicadores precisam ser consistentes entre operação, manutenção, suprimentos e finanças. Quinto, o sistema EAM deve funcionar como repositório confiável para decisões repetíveis, auditáveis e financeiramente defensáveis.

- Valor: ativos existem para sustentar resultado de negócio, não para serem mantidos por si mesmos.
- Alinhamento: o plano de manutenção deve refletir estratégia operacional, regulatória e financeira.
- Liderança: sem patrocínio executivo, a manutenção permanece reativa, mesmo com bom software.
- Garantia: risco, conformidade e disponibilidade precisam ser geridos de forma explícita.
- Aprendizado: cada falha deve melhorar o sistema de decisão.

## Capítulo 2 — Governança de Dados e Arquitetura de um EAM de Classe Empresarial

A maior parte dos programas de manutenção falha não pela ausência de indicadores, mas pela baixa confiabilidade dos dados que os alimentam. Um MTBF calculado sobre falhas mal classificadas, um custo por ativo sem apropriação correta de materiais ou um lead time estimado pelo prazo prometido e não pelo real produzem decisões aparentemente quantitativas, porém gerencialmente erradas. Por isso, qualquer livro sério sobre EAM precisa tratar cadastro, taxonomia e disciplina transacional como infraestrutura crítica.

Uma arquitetura robusta de EAM/CMMS precisa, no mínimo, de: hierarquia técnica de ativos; taxonomia padronizada de modos de falha, sintomas e causas; vínculo obrigatório entre ordem de serviço, ativo, centro de custo e materiais consumidos; controle de status e tempos da OS; integração com estoque e compras; rastreabilidade de planos e revisões; e critérios claros de fechamento técnico. Sem esse alicerce, dashboards sofisticados apenas aceleram a disseminação do erro.

- Integridade cadastral: um ativo, um código, uma localização lógica.
- Padronização semântica: mesma falha deve ser registrada sempre sob a mesma taxonomia.
- Completude: OS sem tempo, modo de falha ou material não deveria fechar sem justificativa.
- Rastreabilidade: toda alteração relevante precisa ser auditável.
- Usabilidade: o sistema deve ser rigoroso sem inviabilizar a rotina do técnico.

## Capítulo 3 — Economia da Confiabilidade e o Verdadeiro Custo da Parada

Em 2024, a [Siemens]() destacou que o custo do downtime não planejado atingiu níveis que já ultrapassam a escala operacional e se tornaram risco de resultado corporativo. O dado mais relevante não é apenas o

valor absoluto elevado, mas a constatação de que o custo por hora de parada cresce mais rápido que a inflação em diversos segmentos, pressionado por energia, interdependência logística, complexidade operacional e sensibilidade comercial. Isso reforça a necessidade de traduzir confiabilidade para linguagem financeira.

O custo da parada deve ser modelado em pelo menos cinco componentes: margem de contribuição perdida, mão de obra ociosa ou desbalanceada, perda de insumos ou utilidades, custo de retomada e eventual penalidade contratual ou regulatória. Em ambientes farmacêuticos, alimentícios e de processo contínuo, deve-se acrescentar também o risco de perda de lote, requalificação, descarte ou contaminação. Em utilities e serviços, o efeito contratual sobre SLA e imagem pode superar o custo técnico do reparo.

---

$$\text{Custo Total de Downtime} = \text{Margem Perdida} + \text{Custos Operacionais Ociosos} + \text{Perdas de Insumo} + \text{Custo de Retomada} + \text{Penalidades} + \text{Custos de Qualidade/Conformidade}$$

---

## Capítulo 4 — Maturidade da Manutenção e Jornada de Transformação

A evolução da manutenção não ocorre por aquisição de tecnologia isolada. Ela segue uma trajetória de maturidade na qual a disciplina básica precede o refinamento analítico. Organizações que ainda não estabilizaram cadastro, programação, apropriação de horas, política de estoque e rotina de análise de falhas dificilmente capturam valor pleno de sensores, analytics avançado ou digital twin. Esse encadeamento é coerente tanto com modelos de maturidade adotados pelo mercado quanto com o princípio de gestão estruturada defendido por entidades de referência em manutenção e confiabilidade.

- Estágio 1 — Reativo: predomínio de emergência, baixa previsibilidade e forte dependência de pessoas-chave.
- Estágio 2 — Planejado: planos preventivos, cadastro consistente e programação mínima viável.
- Estágio 3 — Confiabilidade: Pareto, RCA, FMEA, ajuste de planos por dados e gestão por criticidade.
- Estágio 4 — Condição e predição: monitoramento, alarmes, analytics e intervenção conforme degradação.
- Estágio 5 — Prescritivo e integrado: simulação, digital twin, priorização econômica dinâmica e governança corporativa de ativos.

## Capítulo 5 — Transformação Digital da Manutenção: do CMMS ao Digital Twin

Transformação digital em manutenção não começa com inteligência artificial; começa com governança, semântica comum, rastreabilidade e rotinas decisórias estáveis. A literatura recente sobre digital twins e manutenção preditiva mostra que a camada avançada de analytics depende de dados contextualizados, feedback operacional e integração entre sensores, histórico de falhas, ambiente computacional e lógica de negócio. Sem isso, o digital twin vira visualização sofisticada sem capacidade prescritiva real.

Assim, a jornada digital proposta neste livro obedece a uma sequência técnica coerente: organizar dados, padronizar indicadores, estabilizar processos, priorizar economicamente, implantar monitoramento de condição onde o caso de uso justifica, aprender com RCAs e FMEAs alimentados por histórico real, migrar preventivas para CBM quando a degradação é detectável e, somente então, escalar para simulação, prescrição e gestão avançada do ciclo de vida. Esse será o fio condutor das partes seguintes.

# Índice Geral

## Parte I — Fundamentos Estratégicos e Arquitetura da Gestão de Ativos

Capítulo 1 — Gestão de Ativos como Sistema de Criação de Valor

Capítulo 2 — Governança de Dados e Arquitetura de um EAM de Classe Empresarial

Capítulo 3 — Economia da Confiabilidade e o Verdadeiro Custo da Parada

Capítulo 4 — Maturidade da Manutenção e Jornada de Transformação

Capítulo 5 — Transformação Digital da Manutenção: do CMMS ao Digital Twin

## **Parte II — Fundamentos Analíticos e Modelos de Priorização**

Capítulo 6 — Priorização Inteligente na Manutenção: GUT, Pareto e Foco Econômico

Capítulo 7 — Métricas Fundamentais: como transformar dados de manutenção em decisão

Capítulo 8 — Curva da Banheira e Weibull: do ciclo de vida da falha à decisão de manutenção

Capítulo 9 — As 50 Aplicações Analíticas do SIGMA EAM

## **Parte III — As 50 Aplicações Analíticas do SIGMA EAM**

Capítulo 10 — Camada Crítica (Ações 1 a 10)

Capítulo 11 — Camada Estratégica (Ações 11 a 20)

Capítulo 12 — Camada Tática (Ações 21 a 35)

Capítulo 13 — Camada de Maturidade (Ações 36 a 50)

## **Parte IV — Modelagem Financeira, ROI e Casos por Segmento**

Capítulo 14 — Metodologia de Cálculo de ROI

Capítulo 15 — Segmento: Prestação de Serviços

## **Parte V — Governança, Implantação, Maturidade e Futuro Digital**

Capítulo 16 — Governança do Programa e Modelo Operacional

Capítulo 17 — Roadmap de Implantação em Ondas

Capítulo 18 — Maturidade Corporativa e Evolução para CBM, RCM e Digital Twin

Capítulo 19 — Conclusão Estratégica

## Parte II — Fundamentos Analíticos e Modelos de Priorização

Depois de estabelecer a base estratégica da gestão de ativos, o livro avança para o núcleo analítico que sustenta decisões de priorização, confiabilidade e desempenho. Esta parte apresenta os modelos que permitem converter dados operacionais em critérios objetivos de escolha, linguagem gerencial e sequenciamento racional de ações.

### Capítulo 1 — Priorização Inteligente na Manutenção: GUT, Pareto e Foco Econômico

#### 1.1 A Matriz GUT como algoritmo gerencial de priorização

Em manutenção industrial, o principal erro gerencial não é a falta de dados, mas a incapacidade de transformá-los em ordem de ataque. Quase toda planta possui dezenas de problemas simultâneos: atrasos de preventiva, falhas repetitivas, estoque desequilibrado, retrabalho, gargalos de mão de obra, ativos degradados e pressão por redução de custo. Sem um método de priorização, a organização consome energia em frentes paralelas, pulveriza recursos e termina o mês com muito esforço aplicado, porém com pouco resultado estrutural. É nesse ponto que a combinação entre Matriz GUT e Princípio de Pareto deixa de ser uma ferramenta administrativa simples e passa a funcionar como mecanismo de alocação econômica da atenção gerencial.

- Gravidade (G): representa a severidade das consequências caso o problema permaneça sem tratamento. Na manutenção, inclui impacto sobre segurança, meio ambiente, produção, qualidade, custo, compliance e reputação operacional.
- Urgência (U): representa o horizonte temporal de resposta necessário. Um problema pode ser grave, mas não urgente; outro pode ser moderado em impacto, porém exigir ação imediata para evitar escalada.
- Tendência (T): representa a dinâmica esperada do problema ao longo do tempo. Alguns eventos se estabilizam; outros aceleram, propagam falhas secundárias ou ampliam custo e indisponibilidade se nada for feito.

---

$$\text{Pontuação GUT} = G \times U \times T \quad (\text{escala mínima 1, máxima 125})$$

---

A multiplicação não é apenas um detalhe matemático; ela cria efeito de amplificação seletiva. Problemas altos nas três dimensões sobem rapidamente no ranking, enquanto problemas relevantes, mas sem pressão temporal ou sem risco de escalada, ficam naturalmente abaixo. Isso torna a GUT particularmente útil em plantas com excesso de demandas concorrentes, porque evita que itens de forte visibilidade política, porém de menor criticidade sistêmica, capturem recursos antes de temas que realmente destroem valor.

A Matriz GUT foi concebida para ordenar problemas segundo três dimensões complementares: gravidade, urgência e tendência. Sua força reside justamente no fato de impedir decisões baseadas apenas em percepção subjetiva ou na voz mais alta da sala. Ao converter julgamento técnico em escala estruturada, a GUT ajuda a responder uma pergunta essencial para qualquer gestor de manutenção: “o que deve ser atacado primeiro para reduzir mais risco e mais perda em menos tempo?” Em ambientes de manutenção, essa pergunta tem implicações diretas sobre disponibilidade, custo, segurança, imagem interna da área e retorno sobre o esforço da equipe.

#### 1.2 O Princípio de Pareto e a concentração estrutural das perdas

O Princípio de Pareto, frequentemente resumido como regra 80/20, expressa um padrão recorrente de concentração: uma pequena fração das causas costuma responder pela maior parte dos efeitos. Na manutenção, isso aparece de forma quase universal. Um grupo reduzido de ativos consome a maior parte do orçamento; poucos modos de falha explicam a maior parcela do downtime; algumas famílias de materiais absorvem a maior parte do capital em estoque; poucos desvios de processo geram a maioria dos retrabalhos.

A relevância gerencial dessa constatação é profunda: se o esforço de melhoria não estiver concentrado nesse núcleo causal, a organização até trabalha muito, mas trabalha contra a geometria real das perdas.

Em termos práticos, o Pareto obriga a manutenção a abandonar a ilusão de homogeneidade. Nem toda falha merece o mesmo nível de engenharia. Nem todo equipamento merece o mesmo esforço analítico. Nem toda peça deve receber a mesma política de estoque. Ao construir curvas de frequência, custo, horas, downtime ou criticidade acumulada, a área passa a enxergar onde realmente está o ponto de alavanca. Esse movimento é decisivo para qualquer programa de transformação, porque o retorno econômico raramente está na média do sistema; ele está quase sempre nos extremos de concentração.

### 1.3 GUT + Pareto: da lista de problemas ao portfólio racional de ação

Separadamente, GUT e Pareto já são úteis; combinados, tornam-se um modelo poderoso de construção de carteira de iniciativas. O Pareto identifica onde o sistema concentra perdas. A GUT organiza, dentro desse universo, o que precisa ser atacado primeiro. Em outras palavras: o Pareto responde “onde está o volume de valor destruído”; a GUT responde “em qual ordem devemos agir para capturar esse valor com menor atraso e menor exposição a risco”. Essa integração é especialmente útil quando a empresa já possui dezenas de oportunidades diagnosticadas, mas não dispõe de capacidade para tratar todas simultaneamente.

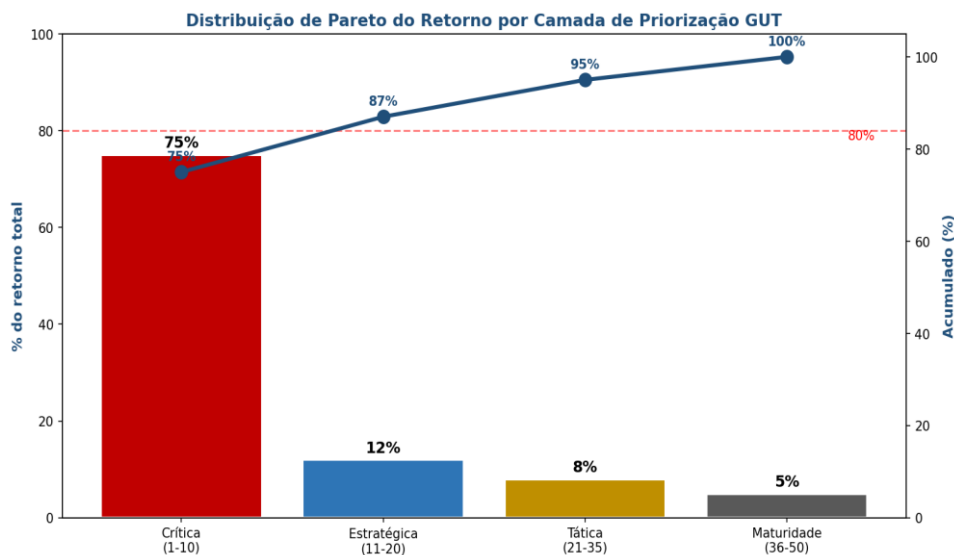


Figura 1.1 — Pareto das 4 camadas de priorização (impacto cumulativo)

No contexto deste livro, a aplicação combinada mostrou um padrão clássico: as primeiras ações concentram parcela desproporcional do retorno total possível. Isso significa que a sequência das cinquenta ações não é apenas didática; ela expressa uma lógica econômica de implantação. Atacar cedo as ações da camada crítica acelera payback, melhora a percepção de valor do programa e gera caixa político e operacional para sustentar as camadas seguintes. Em termos executivos, priorização correta não é detalhe metodológico — é o principal fator que separa programas que demonstram resultado rápido daqueles que se perdem em complexidade excessiva logo no início.

### 1.4 Por que essa priorização funciona na prática industrial

Programas de manutenção falham com frequência por um motivo aparentemente nobre: tentam melhorar tudo ao mesmo tempo. O resultado é previsível. A liderança perde foco, os supervisores recebem prioridades conflitantes, o planejador não consegue estabilizar agenda, os técnicos passam a perceber o programa como mais uma camada de cobrança, e os indicadores deixam de sinalizar causa e efeito. A lógica GUT/Pareto combate esse problema ao introduzir escassez deliberada: poucos temas, claramente priorizados, com racional técnico explícito. Isso gera alinhamento, reduz dispersão e aumenta a probabilidade de ganho mensurável nos primeiros ciclos de implementação.

No ambiente do SIGMA EAM, essa priorização tem uma vantagem adicional: ela pode ser operacionalizada com dados já disponíveis no sistema, desde que exista disciplina mínima de cadastro e encerramento de

ordens. Tipos de OS, modos de falha, histórico de intervenções, horas consumidas, materiais aplicados, atrasos, cumprimento de programação e custos apropriados formam uma base suficiente para iniciar análises robustas sem depender, no primeiro momento, de tecnologias sofisticadas. É por isso que este capítulo ocupa posição inaugural na obra: antes de aprender a calcular dezenas de indicadores, o leitor precisa dominar o princípio central de qualquer transformação eficaz — decidir melhor onde colocar energia, dinheiro, tempo e atenção. Essa é a verdadeira porta de entrada para uma manutenção orientada por valor. [ISO 55000]() e as métricas padronizadas da [SMRP]() reforçam exatamente essa lógica de alinhamento entre gestão de ativos, criticidade, métricas confiáveis e melhoria estruturada.

## Capítulo 2 — Maturidade da Manutenção: da reação ao sistema de confiabilidade

A maturidade da manutenção não é medida pela quantidade de tecnologia instalada, mas pela qualidade do sistema de gestão que sustenta a rotina técnica. Em organizações imaturas, o esforço da equipe é consumido pela urgência. Em organizações maduras, o trabalho é orientado por criticidade, planejamento, dados confiáveis e aprendizado sistemático com falhas. Essa diferença parece sutil na teoria, porém redefine custos, disponibilidade, segurança, clima organizacional e credibilidade da manutenção perante a direção.

Por isso, a pirâmide de maturidade deve ser lida como uma jornada de capacidade organizacional. Cada estágio exige disciplina em processos, definição clara de papéis, qualidade de dados e coerência entre manutenção, operação, suprimentos e engenharia. Modelos de referência de mercado e práticas amplamente difundidas em gestão da manutenção reforçam essa lógica evolutiva: primeiro estabilizar o básico, depois medir, depois aprender, depois prever e, somente então, prescrever e otimizar em escala. [SMRP]() estrutura suas boas práticas exatamente nessa direção de padronização, medição e evolução sustentada.

Pirâmide de Maturidade da Gestão da Manutenção

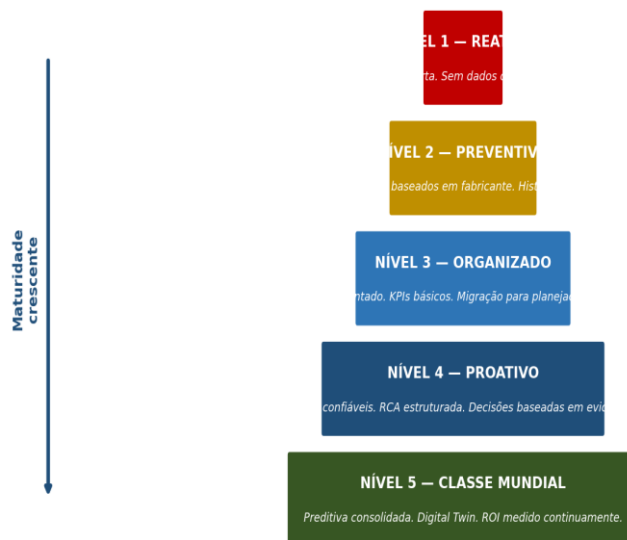


Figura 2.1 — Pirâmide de Maturidade da Manutenção (5 níveis)

### Nível 1 — Reativa: a manutenção capturada pela urgência

No nível reativo, a manutenção opera como serviço de resposta a eventos. A agenda é dominada por corretivas emergenciais, a programação é constantemente rompida, o estoque é acionado por urgência, e o conhecimento técnico fica concentrado em indivíduos experientes, não em processos. Nessa condição, a empresa pode até possuir software, planos cadastrados ou formulários, mas isso ainda não constitui um sistema. O traço central do estágio é a imprevisibilidade: custo alto, baixa estabilidade operacional, horas extras frequentes, retrabalho, pressão permanente sobre supervisão e pouca capacidade de aprendizado estruturado.

### Nível 2 — Planejada: o início da disciplina operacional

A transição para o nível planejado ocorre quando a empresa consegue reduzir a tirania da emergência e instituir rotina mínima previsível. Isso implica cadastro técnico consistente, planos preventivos executáveis, ordens de serviço estruturadas, apontamento de horas, vínculo com materiais, programação semanal e governança básica do PCM. Ainda há forte presença de ações baseadas em tempo e recomendações genéricas de fabricante, mas a organização já começa a distinguir trabalho planejado de trabalho

improvisado. O ganho desse estágio não é sofisticação analítica; é estabilidade. Ele reduz variabilidade, permite medir o sistema e cria o pré-requisito para qualquer avanço posterior.

### **Nível 3 — Confiabilidade: a manutenção passa a aprender com seus próprios dados**

No estágio de confiabilidade, a manutenção deixa de apenas executar planos e passa a questioná-los com base em evidência. MTBF, MTTR, Pareto, RCA, FMEA, criticidade e revisão de planos se tornam instrumentos regulares de decisão. A organização reconhece que nem todo ativo deve receber o mesmo esforço e que falhas recorrentes precisam ser tratadas na causa, não apenas no sintoma. Esse é o ponto em que a manutenção deixa de ser somente operadora do CMMS/EAM e passa a usar o sistema como fonte de engenharia. A consequência é um salto qualitativo: menos crônicas, melhor priorização, maior coerência entre risco e esforço técnico, e melhor linguagem para dialogar com finanças e operação.

### **Nível 4 — Condição e predição: intervir pela degradação, não pelo calendário**

Quando a empresa alcança maturidade suficiente de dados, processo e criticidade, abre-se espaço para monitoramento por condição e manutenção preditiva. Vibração, termografia, análise de óleo, ultrassom, assinaturas elétricas e outras técnicas deixam de ser experimentos isolados e passam a integrar a lógica de decisão do plano de manutenção. O objetivo deixa de ser “fazer preventiva” e passa a ser “intervir na janela ótima de degradação”. Guias atuais de [CBM+]() reforçam precisamente essa transição de uma manutenção baseada apenas em periodicidade para abordagens proativas sustentadas por condição observável, integração de dados e decisão orientada por risco.

### **Nível 5 — Prescritiva e digital: a gestão de ativos como sistema inteligente**

O nível mais avançado não se define por possuir dashboards sofisticados, mas por conseguir combinar confiabilidade, condição, custo, risco e simulação em decisões quase em tempo real. Nesse estágio, analytics avançado, digital twins e modelos prescritivos são utilizados para priorizar recursos, testar cenários, antecipar comportamento e otimizar o ciclo de vida dos ativos. A literatura recente sobre manutenção digital e RCM 4.0 mostra justamente essa convergência entre engenharia de confiabilidade, dados operacionais, sensores, modelos preditivos e ambientes de simulação para apoiar decisões mais adaptativas e economicamente racionais.

As cinquenta ações deste livro foram distribuídas justamente para acelerar essa jornada de maturidade. A Camada Crítica reduz a reatividade estrutural e cria disciplina mínima. A Camada Estratégica consolida medição, planejamento e confiabilidade. A Camada Tática expande a capacidade analítica e integra estoques, produtividade e engenharia. A Camada de Maturidade introduz métodos estatísticos, decisão econômica avançada, CBM, RCM e simulação. Em outras palavras, a sequência do livro não é apenas pedagógica; ela reproduz a trajetória real de transformação que organizações de manutenção precisam percorrer para sair do imprevisto e alcançar capacidade institucional duradoura.

## Capítulo 3 — Métricas Fundamentais: como transformar dados de manutenção em decisão

Toda gestão séria da manutenção depende de um princípio elementar: antes de discutir soluções, é preciso medir corretamente o comportamento do sistema. MTBF, MTTR, Disponibilidade e OEE não são apenas siglas de relatório; são modelos sintéticos de desempenho que descrevem como o ativo falha, quanto tempo demora para ser recuperado, quanto tempo permanece apto a operar e quanto valor produtivo efetivamente entrega. Quando bem calculados, esses indicadores permitem enxergar a diferença entre percepção e realidade. Quando mal definidos, produzem uma ilusão estatística que compromete diagnósticos, prioridades e investimentos.

É por isso que este capítulo deve ser lido como uma gramática da confiabilidade. Seu objetivo não é apenas apresentar fórmulas, mas explicar o que cada métrica realmente significa, quais erros de uso são mais comuns, quais decisões ela sustenta e como sua interpretação muda quando a base de dados do EAM/CMMS amadurece. Referências consolidadas em métricas de manutenção, como as da [SMRP](), reforçam a importância de padronizar definições, componentes de cálculo e critérios de comparabilidade para evitar distorções entre áreas, plantas e períodos.

### 3.1 MTBF — Mean Time Between Failures: a medida da confiabilidade operacional

MTBF é o tempo médio entre falhas funcionais sucessivas em um sistema reparável. Em termos simples, mede quanto tempo, em média, o ativo consegue cumprir sua função antes de sofrer uma interrupção relevante. É, portanto, a principal métrica de confiabilidade para equipamentos que falham, são reparados e retornam ao serviço. Quanto maior o MTBF, mais espaçadas estão as falhas; quanto menor, mais instável é o comportamento do ativo.

---

$$MTBF = \Sigma (\text{Tempo de operação}) \div N^{\circ} \text{ de falhas}$$

---

A dificuldade prática do MTBF não está na fórmula, mas na definição do que conta como falha. Uma deficiência menor que não compromete a função do ativo não deveria ser tratada da mesma forma que uma falha funcional. Da mesma maneira, excluir eventos porque “foram detectados antes da quebra total” pode mascarar um problema real de confiabilidade. O cálculo só é útil quando a organização padroniza o conceito de falha, usa horas reais de operação e evita comparar equipamentos estruturalmente distintos em uma média sem contexto. A padronização de linguagem e taxonomia defendida por [ISO 14224]() é especialmente relevante nesse ponto.

Exemplo: um compressor opera por 8.760 horas no ano e apresenta 12 falhas funcionais. Seu MTBF é 730 horas, ou cerca de 30 dias. Se, após um programa de eliminação de falhas crônicas, revisão de preventiva e melhoria de procedimento, o MTBF passar para 1.460 horas, não houve apenas “melhora de indicador”; houve redução concreta da frequência de ruptura do processo. Na prática, o MTBF crescente indica que a engenharia de manutenção está conseguindo alongar o intervalo entre perdas operacionais. Já o MTBF em queda sugere degradação, mudança de regime operacional, plano preventivo ineficaz, erro de manutenção ou problema de projeto.

### 3.2 MTTR — Mean Time To Repair: a velocidade de recuperação do sistema

Se o MTBF representa o espaçamento entre falhas, o MTTR representa a velocidade com que a organização consegue reagir a elas. O indicador mede o tempo médio necessário para restaurar o ativo após uma falha, incluindo — conforme o critério adotado — detecção, diagnóstico, mobilização, execução do reparo, testes e liberação operacional. Reduzir o MTTR significa recuperar a função produtiva mais rapidamente. Em sistemas críticos, essa capacidade tem impacto direto sobre disponibilidade, custo de parada, segurança operacional e cumprimento de produção.

---

$$MTTR = \Sigma (\text{Tempo de reparo}) \div N^{\circ} \text{ de falhas}$$

---

Gerencialmente, o MTTR é uma métrica híbrida: ele depende tanto da competência técnica de reparo quanto da qualidade do processo de suporte. Um MTTR alto pode refletir diagnóstico lento, ausência de procedimento, falta de peça, baixa acessibilidade do ativo, necessidade de isolamento, autorização demorada, deslocamento excessivo ou montagem complexa. Por isso, melhorar MTTR não é apenas treinar o técnico; é também organizar materiais, padronizar instruções, pré-planejar recursos, reduzir esperas e desenhar melhor a logística da intervenção. Métricas padronizadas da [SMRP]() reforçam essa necessidade de clareza sobre quais componentes entram no tempo de reparo para que comparações sejam válidas.

Exemplo: doze falhas ao longo do ano consumiram 36 horas totais de reparo. O MTTR é, portanto, 3 horas. Se um procedimento padronizado, um kit previamente separado e melhor acesso ao equipamento reduzirem esse tempo para 1,5 hora, a organização cortou pela metade o tempo médio de recuperação. Esse ganho é extremamente relevante porque, diferentemente do MTBF, ele não exige necessariamente eliminar a falha em sua origem; exige reduzir o tempo perdido quando ela ocorre. Em ativos de alto custo de parada, pequenas reduções de MTTR frequentemente têm grande efeito financeiro.

### 3.3 Disponibilidade — a síntese entre falhar pouco e recuperar rápido

Disponibilidade é a métrica que integra confiabilidade e manutenibilidade em um único número. Em sua forma clássica, ela expressa a fração do tempo em que o ativo esteve apto a operar, combinando o intervalo médio entre falhas com o tempo médio de reparo. Sua importância está em mostrar que desempenho operacional não depende apenas de falhar menos, nem apenas de reparar mais rápido, mas do equilíbrio entre essas duas capacidades. É por isso que a disponibilidade costuma ser a ponte natural entre engenharia de manutenção e discurso executivo.

---

$$\text{Disponibilidade} = \text{MTBF} \div (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \times 100$$

---

A leitura dessa fórmula é tecnicamente elegante: a disponibilidade sobe quando o MTBF aumenta e quando o MTTR diminui. Isso significa que duas plantas podem chegar ao mesmo resultado por caminhos operacionais diferentes — uma por alta confiabilidade, outra por excelente capacidade de recuperação. Entretanto, a interpretação deve ser cuidadosa. Ativos com poucas falhas, mas reparos muito longos, podem ainda assim gerar perdas severas; ativos com falhas frequentes e reparos muito rápidos podem aparentar desempenho aceitável, enquanto drenam produtividade por microparasadas e instabilidade operacional.

No exemplo anterior, com MTBF de 730 horas e MTTR de 3 horas, a disponibilidade é de aproximadamente 99,6%. À primeira vista, trata-se de um número excelente. Porém, quando o MTBF cai para 50 horas, mantendo MTTR de 3 horas, a disponibilidade desce para cerca de 94,3%. A diferença percentual parece modesta, mas em operação contínua ela representa centenas de horas anuais de capacidade perdida. Esse é um ponto crítico para a gestão: pequenas variações percentuais em ativos de alta utilização podem esconder impactos econômicos muito grandes.

### 3.4 OEE — Overall Equipment Effectiveness: a tradução da eficiência total do equipamento

OEE é uma métrica composta que mede quanto do tempo produtivo planejado se converteu, de fato, em produção boa, na velocidade esperada e com equipamento disponível. Para isso, combina três dimensões: Disponibilidade, Performance e Qualidade. Sua utilidade está em evitar um erro clássico da gestão industrial: considerar “equipamento disponível” como sinônimo de “equipamento eficaz”. Um ativo pode estar liberado para operar e, ainda assim, produzir devagar, gerar refugos ou perder desempenho por degradação. O OEE capta exatamente essa diferença.

---

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade}$$

---

Do ponto de vista analítico, o OEE tem grande valor porque obriga a separar a perda em famílias distintas. Se a queda está na Disponibilidade, o problema está em paradas e confiabilidade. Se está na Performance, pode haver degradação mecânica, setup ruim, microparasadas ou operação abaixo da velocidade ideal. Se está na Qualidade, a perda se desloca para defeitos, ajuste fino, estabilidade do processo e condição do equipamento. Essa decomposição torna o OEE mais do que um percentual: ele se transforma em mapa de

perdas. Guias de cálculo amplamente utilizados, como os da [OEE.com](), reforçam essa visão por fatores separados justamente para facilitar ação corretiva.

Convencionalmente, um OEE acima de 85% é associado a desempenho de classe mundial em contextos manufatureiros específicos, mas o mais importante não é perseguir um número abstrato e sim construir uma trajetória consistente de melhoria a partir do próprio baseline. Para a manutenção, a implicação é direta: ela influencia a Disponibilidade de forma explícita, mas também impacta a Performance por meio de perdas de velocidade, desalinhamento, vibração, aquecimento, desgaste e microinterrupções, além de afetar a Qualidade quando a condição do ativo interfere na estabilidade do processo. Em outras palavras, manutenção ruim corrói o OEE por múltiplos caminhos simultâneos.

### 3.5 Curva da Banheira e Weibull: do ciclo de vida da falha à decisão de manutenção

Depois de medir frequência de falhas, tempo de reparo e disponibilidade, a engenharia de manutenção precisa responder a uma pergunta mais sofisticada: como o risco de falha evolui no tempo? É exatamente aqui que entram a Curva da Banheira e a Distribuição de Weibull. Juntas, elas permitem sair da simples observação do passado e construir uma leitura dinâmica do ciclo de vida do ativo, distinguindo falhas precoces, falhas aleatórias e falhas por desgaste.

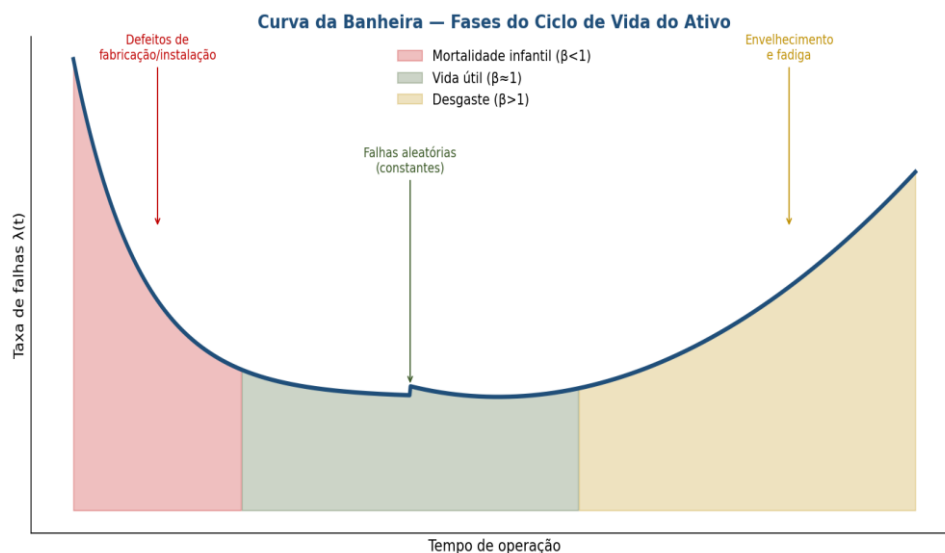


Figura 3.1 — Curva da Banheira: três fases de vida do ativo

A Curva da Banheira é uma representação clássica da taxa de falhas ao longo do ciclo de vida de um ativo ou componente. Seu nome decorre do formato gráfico: alta incidência no início, estabilidade relativa no meio da vida e crescimento no estágio final. Embora simples em aparência, o modelo tem enorme utilidade gerencial porque demonstra que a falha não é um fenômeno uniforme. A natureza estatística do risco muda com o tempo, e a política de manutenção precisa mudar com ela.

Na fase inicial, predominam defeitos de fabricação, problemas de instalação, montagem inadequada, desalinhamentos, contaminações, ajuste incorreto e erros de comissionamento. Na fase intermediária, a falha tende a ser mais aleatória, frequentemente relacionada à variabilidade de operação, perturbações de processo ou eventos não diretamente associados à idade. Na fase final, o mecanismo muda novamente: fadiga, desgaste, abrasão, corrosão, envelhecimento térmico, perda de tolerância e deterioração física passam a dominar. O ponto decisivo é que esses três comportamentos pedem estratégias de intervenção diferentes.

Se a falha é infantil, a resposta correta pode estar em especificação, recebimento, montagem e start-up, e não em aumentar preventiva. Se a falha é aleatória, monitoramento de condição, proteção e resposta rápida podem ser mais efetivos do que intervenções por idade. Se a falha é de desgaste, substituição programada, revisão por vida consumida e modelagem de vida residual tornam-se economicamente justificáveis. A Curva da Banheira, portanto, é menos um desenho didático e mais um mapa estratégico de escolha da política de manutenção.

### 3.6 Distribuição de Weibull: a estatística que transforma histórico em previsão

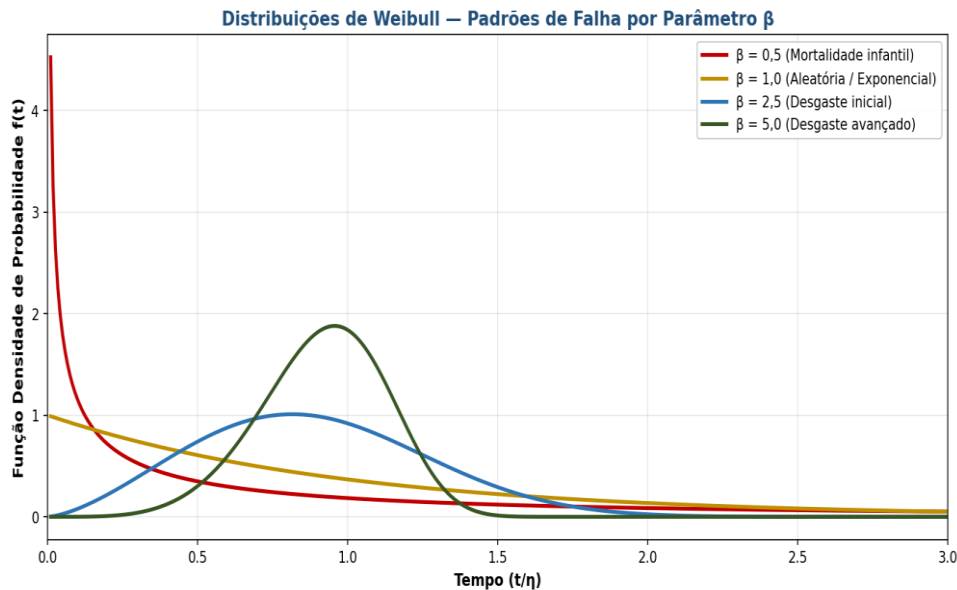


Figura 3.2 — Curvas de Weibull para diferentes valores de  $\beta$

A distribuição de Weibull é uma das ferramentas mais poderosas da engenharia de confiabilidade porque oferece uma linguagem matemática para descrever o comportamento temporal da falha. Em vez de apenas contar quantas falhas ocorreram, ela permite estimar como o risco se comporta ao longo da vida do item. Isso a torna particularmente útil para decidir periodicidade de preventiva, vida residual, intervalos de inspeção, janelas de substituição e políticas de run-to-failure em ativos ou componentes específicos.

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\eta)^\beta)$$

Na aplicação mais comum em manutenção, dois parâmetros concentram a interpretação principal. O parâmetro de forma,  $\beta$ , indica se a taxa de falha está diminuindo, permanecendo aproximadamente constante ou aumentando. O parâmetro de escala,  $\eta$ , representa a vida característica, isto é, um marco temporal a partir do qual uma fração relevante da população já terá falhado. Essa combinação torna a Weibull extremamente flexível e adequada para ambientes industriais com comportamentos distintos de falha.

- $\beta < 1$ : o risco de falha diminui com o tempo, sugerindo mortalidade infantil, defeitos iniciais ou problemas de instalação/comissionamento.
- $\beta = 1$ : a taxa de falha permanece aproximadamente constante, caracterizando comportamento aleatório semelhante ao exponencial.
- $\beta > 1$ : a taxa de falha cresce com o tempo, indicando desgaste, envelhecimento e perda progressiva de integridade funcional.

Na prática, a força da Weibull não está em sua elegância estatística, mas na capacidade de apoiar decisões melhores. Um  $\beta$  maior que 1 sugere deterioração progressiva e fortalece o racional para troca por idade ou revisão antes da falha. Um  $\beta$  próximo de 1 enfraquece a lógica de preventiva por calendário e sugere que monitoramento, proteção ou tolerância à falha podem ser opções mais eficientes. Um  $\beta$  menor que 1 aponta para problemas de infância e empurra a investigação para qualidade, instalação, montagem ou projeto. Diretrizes atuais de [RCM]() e abordagens modernas de manutenção centrada em confiabilidade seguem essa mesma lógica: a estratégia de falha deve ser continuamente ajustada ao comportamento real do ativo ao longo do ciclo de vida.

## Parte II — As 50 Ações Priorizadas

Esta parte apresenta as 50 ações em ordem decrescente de pontuação GUT, agrupadas em quatro camadas. Cada ficha técnica segue estrutura padronizada para facilitar consulta e implementação.

### Capítulo 5 — Camada Crítica: as primeiras alavancas de valor da transformação

A Camada Crítica reúne as dez ações que, em praticamente qualquer programa de transformação da manutenção, concentram a maior parcela do retorno inicial. Não são necessariamente as análises mais sofisticadas, mas são as que atacam primeiro os grandes vazamentos econômicos do sistema: reatividade excessiva, falhas crônicas, baixa previsibilidade, estoque desbalanceado, downtime invisível, má programação e custo mal apropriado. Em linguagem financeira, esta é a camada que constrói o payback do programa.

O erro mais comum em programas corporativos é tentar iniciar simultaneamente dezenas de frentes analíticas. O efeito costuma ser o oposto do desejado: dispersão gerencial, fadiga da equipe e baixa demonstração de resultado. A lógica desta camada é diferente. Ela prioriza poucas ações, de alta tração econômica, que geram legitimidade técnica e política para as etapas seguintes. Em benchmark de boas práticas, métricas fundamentais como planejamento do trabalho, schedule compliance, retrabalho, custos, criticidade e estoque são justamente as bases sobre as quais programas maduros passam a escalar confiabilidade e predição.

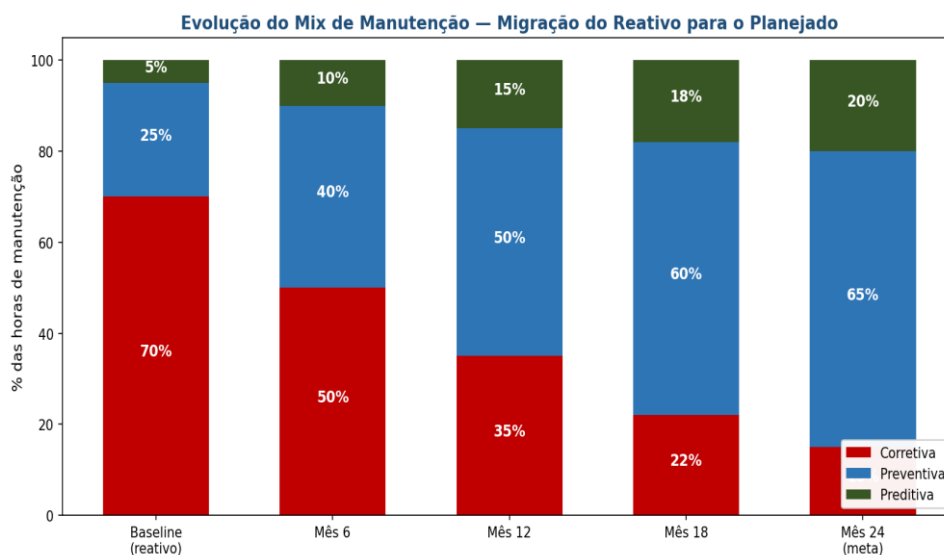


Figura 5.1 — Evolução esperada do mix corretiva/preventiva/preditiva (ação #1)

#### 1. Mix de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva

**Categoria:** Camada Crítica — Mix de Manutenção • **Item original:** #13 • **GUT:** 125

##### Conceito técnico

O mix de manutenção é um dos indicadores mais reveladores da maturidade operacional porque mostra onde a energia da organização está sendo consumida. Quando a maior parte das horas se concentra em corretivas emergenciais, a manutenção não controla sua agenda; ela é controlada pela falha. À medida que o trabalho migra para preventiva e preditiva, a empresa recupera previsibilidade, reduz desperdícios logísticos e melhora a qualidade do reparo. Em termos econômicos, esse indicador sintetiza a diferença entre um sistema que paga prêmio pela urgência e um sistema que captura valor pelo planejamento.

##### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\% \text{ Corretiva} = (H \text{ corretiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\% \text{ Preventiva} = (H \text{ preventiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\% \text{ Preditiva} = (H \text{ preditiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\text{Índice de Planejamento} = (H \text{ preventiva} + H \text{ preditiva}) \div H \text{ total} \times 100$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM seja classificada por TIPO (corretiva emergencial, corretiva planejada, preventiva sistemática, preditiva, melhoria).

**Etapa 2:** Configurar relatório mensal no SIGMA agrupando horas apontadas por TIPO de OS.

**Etapa 3:** Definir baseline atual (ex.: 70% corretiva, 25% preventiva, 5% preditiva).

**Etapa 4:** Estabelecer meta progressiva: ano 1 → 50/40/10; ano 2 → 30/55/15; ano 3 → 15/70/15.

**Etapa 5:** Bloquear, por workflow, a abertura de OS corretiva sem classificação de modo de falha.

**Etapa 6:** Apresentar o gráfico em reunião mensal de PCM com a diretoria.

### KPI de acompanhamento

Índice de Planejamento (%) — meta > 85% em 24 meses.

### Ganho esperado

*Redução de 20% a 30% no custo total de manutenção e queda de 25% a 50% nas paradas não planejadas em 12 a 24 meses.*

## 2. Análise de Pareto das falhas (regra 80/20)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Análise de Falhas • **Item original:** #6 • **GUT:** 125

A análise de Pareto das falhas é a tradução prática do princípio de concentração das perdas. Em quase toda operação industrial, uma fração pequena de modos de falha, ativos ou causas responde pela maior parte do custo, do downtime ou das horas consumidas. O valor gerencial da ferramenta está em impedir que a organização trate o sistema como homogêneo. Em vez de distribuir atenção igualmente, ela força a engenharia a concentrar investigação e recursos onde a destruição de valor é maior. Por isso, costuma ser a forma mais barata e mais poderosa de iniciar uma agenda séria de confiabilidade.

O Princípio de Pareto aplicado à manutenção afirma que aproximadamente 20% dos modos de falha (ou ativos, ou códigos de OS) são responsáveis por 80% dos custos, paradas ou horas consumidas. Identificar este grupo crítico permite concentrar engenharia de confiabilidade onde o retorno é máximo. É a ferramenta de priorização mais barata e poderosa da gestão da manutenção.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\% \text{ Acumulado de impacto} = \Sigma (\text{impacto do modo de falha } i) \div \Sigma (\text{impacto total}) \times 100$$

*Corte de Pareto: incluir modos até atingir 80% acumulado*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar o cadastro de Modos de Falha no SIGMA EAM (ex.: vazamento, rolamento travado, queima de motor, sensor descalibrado).

**Etapa 2:** Garantir que toda OS corretiva tenha modo de falha preenchido na conclusão (campo obrigatório).

**Etapa 3:** Extrair, a cada 90 dias, o relatório de frequência × custo por modo de falha.

**Etapa 4:** Ordenar de forma decrescente e construir o gráfico de Pareto (barras + linha cumulativa).

**Etapa 5:** Identificar os modos que somam 80% do impacto e abrir projetos de RCA para cada um.

**Etapa 6:** Reavaliar trimestralmente — modos resolvidos saem da lista; novos podem entrar.

### KPI de acompanhamento

Número de modos de falha responsáveis por 80% do custo — meta: reduzir esse número a cada trimestre.

## Ganho esperado

*Redução drástica do volume total de corretivas com esforço de engenharia concentrado, tipicamente 30% a 40% de queda em falhas crônicas.*

### 3. Mapeamento e eliminação de falhas crônicas recorrentes

---

**Categoria:** Camada Crítica — Falhas Recorrentes • **Item original:** #9 • **GUT:** 125

#### Conceito técnico

Falhas crônicas são aquelas ocorrências que, isoladamente, parecem suportáveis, mas cuja repetição sistemática consome orçamento, credibilidade e capacidade operacional. Sua periculosidade está justamente no caráter banal: por não produzirem um grande evento único, passam a ser tratadas como “parte normal da rotina”. Esse é um erro clássico. A soma anual de pequenas falhas recorrentes frequentemente supera o impacto econômico de muitas falhas catastróficas. A disciplina de identificá-las e eliminá-las é, portanto, uma das formas mais eficazes de produzir ganho rápido e estrutural.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\begin{aligned} \text{Índice de Cronicidade} &= n^{\circ} \text{ de ocorrências do mesmo modo de falha no ativo} \div 12 \text{ meses} \\ \text{Custo Anual da Crônica} &= n^{\circ} \text{ ocorrências} \times (H \text{ reparo} \times R\$/h + \text{materiais} + \text{downtime}) \end{aligned}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar consulta no SIGMA EAM que liste, por ativo, os modos de falha repetidos 3 ou mais vezes em 12 meses.

**Etapa 2:** Calcular o custo anual de cada crônica (mão de obra + materiais + lucro cessante).

**Etapa 3:** Ranquear por custo total anual decrescente.

**Etapa 4:** Abrir projeto formal de RCA (Análise de Causa Raiz) com método 5 Porquês ou Ishikawa para cada crônica do top 10.

**Etapa 5:** Implementar ação corretiva definitiva (modificação de engenharia, mudança de spec de material, treinamento, alteração de processo).

**Etapa 6:** Monitorar MTBF antes e depois para validar a eliminação.

#### KPI de acompanhamento

Custo total anual de falhas crônicas (R\$) — meta de redução de 50% em 12 meses.

#### Ganho esperado

*Elimina custos recorrentes que se diluem no orçamento. Casos documentados mostram ganhos de R\$ 200 mil a R\$ 2 milhões por planta no primeiro ano de programa estruturado.*

### 4. MTBF (Mean Time Between Failures) por ativo

---

**Categoria:** Camada Crítica — Confiabilidade • **Item original:** #1 • **GUT:** 100

#### Conceito técnico

O MTBF por ativo é uma das medidas mais úteis para transformar histórico de falhas em foco de gestão. Quando acompanhado em ativos críticos, ele permite distinguir equipamentos estruturalmente instáveis daqueles que apenas sofreram eventos pontuais. Seu valor não está apenas no número absoluto, mas na tendência e no contexto operacional em que a falha ocorre. Um MTBF em deterioração contínua costuma sinalizar desgaste acelerado, mudança de regime, falha de especificação, plano preventivo inadequado ou execução inconsistente de manutenção. Em contrapartida, sua elevação sustentada é um dos sinais mais claros de ganho real de confiabilidade.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$MTBF = \Sigma (\text{Tempo de operação}) \div \text{N}^\circ \text{ de falhas}$$

$$\text{Ou: } MTBF = (\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo total de parada}) \div \text{N}^\circ \text{ de falhas}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir o registro preciso, em cada OS corretiva, do horário de início e fim da intervenção (parada e retomada).

**Etapa 2:** Configurar no SIGMA EAM o cálculo automático de MTBF por ativo, com janela móvel de 12 meses.

**Etapa 3:** Tabular MTBF dos 20% ativos mais críticos da planta (curva ABC de criticidade operacional).

**Etapa 4:** Acompanhar a tendência mensal: MTBF crescente = melhoria; decrescente = degradação.

**Etapa 5:** Cruzar MTBF com idade do ativo e custo acumulado para alimentar decisão de substituição.

### KPI de acompanhamento

MTBF médio dos ativos classe A — meta: crescimento de 10% a 20% ao ano.

### Ganho esperado

*Além de apoiar o cálculo de disponibilidade, revisão de planos e decisões de substituição, o MTBF cria linguagem comum entre engenharia, PCM e operação. Quando institucionalizado, deixa de ser apenas um KPI e passa a funcionar como evidência objetiva de melhoria ou degradação do sistema.*

## 5. Previsão de demanda de peças atrelada a planos preventivos

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque • **Item original:** #25 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

A previsão de demanda de peças vinculada aos planos preventivos é o elo mais direto entre manutenção planejada e eficiência de suprimentos. Em muitas empresas, a área de compras continua reagindo ao consumo histórico agregado, sem enxergar a demanda futura já embutida na carteira de OS programadas. Isso gera urgência artificial, fretes caros, ruptura de item crítico e distorção no orçamento de MRO. Quando o plano preventivo possui BOM consistente e calendário confiável, o SIGMA EAM passa a operar também como radar de demanda, permitindo transformar manutenção em inteligência antecipada de abastecimento.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Demanda Prevista (item, mês)} = \Sigma (\text{consumo padrão por OS} \times \text{n}^\circ \text{ de OS planejadas no mês})$$

$$\text{Ponto de Pedido} = (\text{Demanda Diária Média} \times \text{Lead Time}) + \text{Estoque de Segurança}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar o cadastro de materiais consumidos em cada Plano de Manutenção Preventiva (BOM da OS).

**Etapa 2:** Configurar no SIGMA EAM o relatório de Demanda Projetada por item, agregando OS planejadas em janela de 90 dias.

**Etapa 3:** Enviar automaticamente o relatório semanal ao setor de Compras.

**Etapa 4:** Estabelecer SLA interno: itens previstos com 90+ dias devem ser comprados em modo planejado (sem urgência).

**Etapa 5:** Monitorar mensalmente o percentual de compras emergenciais — meta: < 15% do total.

### KPI de acompanhamento

% de compras emergenciais sobre total — meta: < 15% em 12 meses.

### Ganho esperado

*O principal benefício não é apenas comprar mais barato, mas reduzir a dependência de decisões emergenciais. Isso melhora negociação, diminui ruptura e aproxima manutenção, almoxarifado e suprimentos de uma lógica integrada de nível de serviço.*

## 6. Custo de downtime (parada) por hora

---

**Categoria:** Camada Crítica — Financeiro • **Item original:** #41 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

Calcular o custo de downtime por hora é o passo que mais claramente converte manutenção em linguagem financeira. Enquanto MTBF, MTTR e disponibilidade descrevem o comportamento técnico do sistema, o custo de parada explicita por que esse comportamento importa economicamente. Sem esse indicador, a organização discute falhas em termos abstratos; com ele, passa a priorizar perdas por valor destruído. Em operações contínuas, utilities, farmacêutica, alimentos e serviços com SLA, esse número frequentemente redefine a percepção executiva sobre quais ativos realmente merecem atenção prioritária.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\begin{aligned} \text{Custo/Hora Parada} &= \text{Lucro Cessante} + \text{Mão de Obra Ociosa} + \text{Perda de Insumos} + \text{Multas} \\ &\quad \text{Contratuais} + \text{Custo de Setup de Retomada} \\ \text{Lucro Cessante} &= (\text{Produção/h} \times \text{Margem Unitária}) \end{aligned}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Reunir Manutenção, Operação, Controladoria e Comercial para validar os componentes do custo/hora.

**Etapa 2:** Calcular o custo/hora separadamente para cada linha produtiva (linhas críticas vs. não críticas).

**Etapa 3:** Cadastrar o valor no SIGMA EAM como atributo do ativo ou da área operacional.

**Etapa 4:** Configurar o sistema para multiplicar automaticamente o tempo de parada da OS pelo custo/hora cadastrado.

**Etapa 5:** Apresentar mensalmente o relatório de Custo de Downtime por área para alinhar prioridades com a Operação.

### KPI de acompanhamento

Custo total de downtime mensal (R\$) — meta: redução anual escalonada.

### Ganho esperado

*Quando o custo/hora é incorporado às análises de falha, a manutenção ganha capacidade de demonstrar ROI, justificar investimentos, organizar criticidade econômica e dialogar com diretoria, controladoria e operação em um mesmo referencial monetário.*

## 7. Análise XYZ de criticidade operacional de itens de estoque

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque • **Item original:** #22 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

A classificação XYZ corrige uma distorção clássica da gestão de materiais: assumir que valor financeiro é sinônimo de importância operacional. Em estoque MRO, isso é frequentemente falso. Uma peça barata pode paralisar uma linha inteira; uma peça cara pode permanecer anos sem uso real. A análise XYZ introduz o critério da consequência da falta, permitindo tratar o estoque não apenas como ativo financeiro, mas como mecanismo de proteção da continuidade operacional. Seu verdadeiro poder aparece quando combinada à ABC, porque a empresa passa a enxergar simultaneamente capital e risco.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Matriz ABC × XYZ:*  
*AX, AY, AZ: alto valor – controle rigoroso*  
*BX, BY, BZ: valor médio – controle moderado*  
*CX: baixo valor, mas vital – estoque garantido!*  
*CY, CZ: baixo valor, não crítico – políticas simplificadas*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os itens de estoque MRO no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Em workshop com Manutenção e Operação, classificar cada item em X, Y ou Z conforme impacto da ruptura.

**Etapa 3:** Cruzar a classificação com a curva ABC existente (valor de consumo).

**Etapa 4:** Definir políticas de estoque por célula da matriz (estoque mínimo, máximo, ponto de pedido, frequência de inventário).

**Etapa 5:** Garantir estoque de segurança  $\geq 0$  para 100% dos itens classe X, independentemente do valor.

**Etapa 6:** Revisar a classificação anualmente ou em mudanças de processo.

### KPI de acompanhamento

Nº de rupturas em itens classe X — meta: zero.

### Ganho esperado

*A maior contribuição da matriz ABC × XYZ é impedir decisões cegas de redução linear de estoque. Ela preserva disponibilidade onde o risco é alto e libera capital onde o estoque não agrega proteção proporcional ao negócio.*

## 8. Cumprimento da programação (Schedule Compliance)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Planejamento • **Item original:** #14 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

O Schedule Compliance é uma das métricas mais reveladoras da saúde real do PCM porque mede a distância entre intenção e execução. Em empresas reativas, a programação existe formalmente, mas é constantemente atropelada por emergências, indisponibilidade operacional, falta de material ou decisões de última hora. Por isso, o indicador funciona quase como exame clínico do sistema de gestão: quando está baixo, raramente o problema é apenas do planejador; normalmente revela falhas de integração entre manutenção, operação, materiais e liderança. Melhorá-lo significa tornar a agenda crível.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Schedule Compliance = (OS Programadas Executadas no Prazo ÷ Total OS Programadas) × 100*  
*Critério: a OS deve ter sido concluída no dia/semana programado, sem reagendamento.*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir que toda OS preventiva e planejada tenha data alvo programada no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Configurar relatório semanal com OS programadas vs. executadas vs. reagendadas vs. canceladas.

**Etapa 3:** Apurar o indicador toda segunda-feira, comparando a semana anterior.

**Etapa 4:** Investigar as causas de não cumprimento (falta de peça, indisponibilidade de operação, falta de equipe, mudança de prioridade).

**Etapa 5:** Acompanhar a curva mensal em reunião de PCM — meta: 60% → 75% → 85% em 18 meses.

**Etapa 6:** Vincular o indicador a metas de bonificação do supervisor de manutenção.

### KPI de acompanhamento

Schedule Compliance (%) — meta progressiva até > 85%.

### Ganho esperado

*Elevar o cumprimento da programação aumenta previsibilidade, reduz desperdício de mobilização, melhora uso da mão de obra e cria as condições operacionais para que ações de confiabilidade e predição realmente ganhem escala.*

## 9. Identificação e liquidação de itens sem movimentação (obsoletos)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque • **Item original:** #23 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

Itens sem movimentação prolongada representam uma das formas mais silenciosas de destruição de valor no almoxarifado técnico. Diferentemente da ruptura, que é visível e urgente, o obsoleto degrada resultado de forma lenta: consome capital, ocupa espaço, aumenta complexidade de inventário, eleva custo de armazenagem e dificulta a leitura do estoque realmente útil. O desafio técnico está em distinguir obsolescência real de sobressalente estratégico legítimo. É por isso que essa ação não deve ser conduzida como simples limpeza contábil, mas como revisão crítica da política de materiais à luz da criticidade operacional.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Idade de Estoque = Data Atual - Data da Última Saída do Item*

*% Obsoletos = (Valor Itens sem movimento  $\geq$  24 meses  $\div$  Valor Estoque Total)  $\times$  100*

*Custo de Carregamento Anual = Valor Estoque  $\times$  Taxa de Carregamento (18%-25%)*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar relatório no SIGMA EAM listando itens sem movimento por faixa: 12, 24, 36 e 48+ meses.

**Etapa 2:** Cruzar a lista com a classificação XYZ — itens X obsoletos podem ser sobressalentes estratégicos legítimos (justificam permanência).

**Etapa 3:** Para itens Y e Z obsoletos: avaliar redistribuição entre unidades, venda como sucata, doação ou descarte fiscal.

**Etapa 4:** Implementar política: todo item sem movimento por 24 meses deve ser revisto pelo gestor de manutenção.

**Etapa 5:** Realizar leilão interno ou venda anual de obsoletos.

**Etapa 6:** Reduzir progressivamente o % de estoque obsoleto — meta: < 10% em 24 meses.

### KPI de acompanhamento

% do valor do estoque com idade > 24 meses — meta: < 10%.

### Ganho esperado

*Quando bem executada, essa ação libera capital de giro, melhora acuracidade do estoque e reduz ruído gerencial. Mais do que reduzir saldo, ela aumenta a legibilidade econômica e operacional do almoxarifado.*

## 10. Custo total de manutenção por ativo

---

**Categoria:** Camada Crítica — Financeiro • **Item original:** #39 • **GUT:** 100

### Conceito técnico

O custo total de manutenção por ativo é a síntese financeira do comportamento histórico do equipamento. Ele reúne em um único referencial o quanto aquele ativo exige da organização em horas, materiais, serviços, apoio externo e perdas associadas. Seu valor gerencial é enorme porque rompe a visão fragmentada por OS e permite enxergar o equipamento como centro de consumo ao longo do tempo. Quando combinado com

criticidade, idade, valor de reposição e disponibilidade, torna-se um instrumento poderoso de decisão sobre reforma, redesign, substituição ou descontinuidade.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Custo Total Ativo} = \Sigma (\text{Mão de obra própria} + \text{Terceiros} + \text{Materiais} + \text{Serviços} + \text{Downtime atribuído})$$

$$\text{Custo Acumulado} = \Sigma \text{Custo Total Ativo ao Longo dos anos}$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Assegurar que toda OS no SIGMA EAM seja vinculada a um ativo (tag).

**Etapa 2:** Configurar o sistema para apropriar automaticamente horas, materiais e serviços à OS.

**Etapa 3:** Estruturar relatório de Custo Acumulado por Ativo, com filtro por período (mês, ano, vida útil).

**Etapa 4:** Tabular o Top 20 ativos com maior custo acumulado.

**Etapa 5:** Cruzar com o valor de reposição do ativo (informação contábil) e calcular CMVR.

**Etapa 6:** Levar à reunião de gestão para suportar decisões de CAPEX e fim de vida.

### KPI de acompanhamento

Custo de manutenção por ativo (R\$/ano) — meta: monitoramento contínuo e identificação de outliers.

### Ganho esperado

*Esse indicador permite separar ativos caros porque são críticos de ativos caros porque estão economicamente doentes. Com isso, a empresa melhora sua qualidade de decisão de CAPEX e reduz o risco de seguir investindo em equipamentos que já destruíram valor além do razoável.*

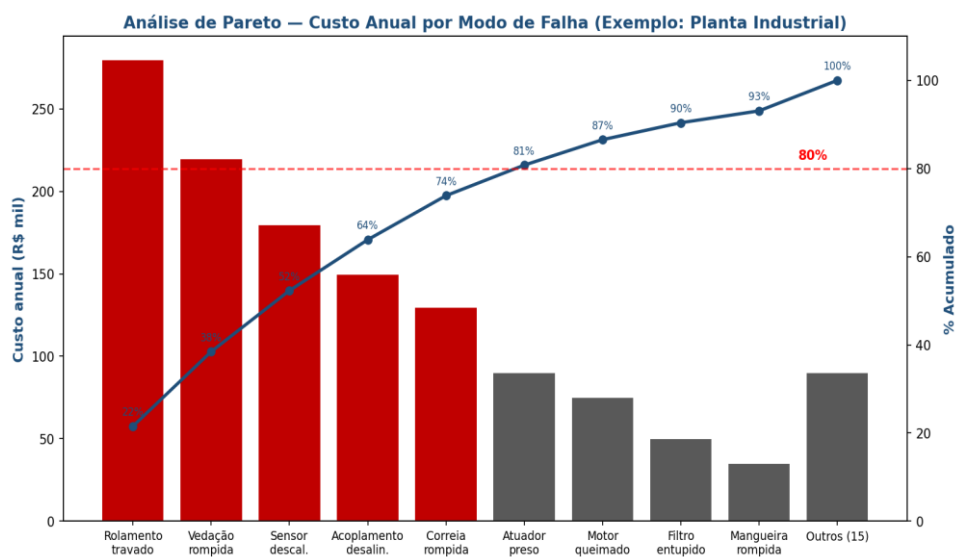


Figura 5.2 — Exemplo de gráfico de Pareto de modos de falha (ação #2)

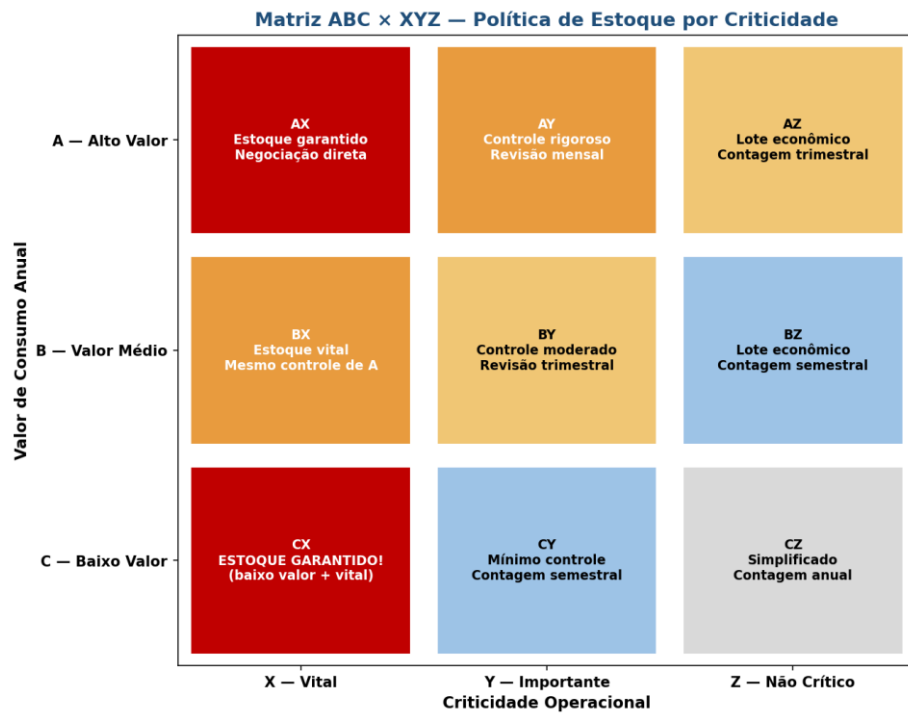


Figura 5.3 — Matriz ABC x XYZ de itens de estoque (ação #7)

## Capítulo 6 — Camada Estratégica (Ações 11 a 20)

Estas dez ações consolidam os ganhos da Camada Crítica e expandem o controle operacional. Executar entre 90 e 180 dias após o início do programa, em paralelo com o aprofundamento da Camada Crítica.

### 11. MTTR (Mean Time To Repair) por tipo de falha

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Confiabilidade • **Item original:** #2 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

O MTTR mede o tempo médio necessário para restaurar um ativo após uma falha. Inclui tempo de detecção, diagnóstico, mobilização, reparo, testes e retomada. Reduzir o MTTR aumenta diretamente a disponibilidade, sem necessariamente reduzir o número de falhas. É a porta de entrada para padronização de procedimentos (Lições de Um Ponto — LUP) e treinamento direcionado.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$MTTR = \frac{\Sigma (\text{Tempo de reparo das falhas})}{N^{\circ} \text{ de falhas}}$$
$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar no SIGMA EAM o registro dos marcos da OS: detecção, abertura, início do reparo, fim do reparo, retomada.

**Etapa 2:** Calcular MTTR por TIPO de falha (não apenas por ativo) — permite atacar gargalos de procedimento.

**Etapa 3:** Identificar os 10 tipos de falha com maior MTTR.

**Etapa 4:** Desenvolver LUP (Lição de Um Ponto) ou procedimento padrão para cada um.

**Etapa 5:** Treinar a equipe e disponibilizar o documento no SIGMA EAM (anexo do plano).

**Etapa 6:** Monitorar a evolução do MTTR após implantação do procedimento.

#### KPI de acompanhamento

MTTR médio dos top 10 modos de falha — meta: redução de 20% em 12 meses.

#### Ganho esperado

*Aumento direto de disponibilidade sem reduzir o número de falhas. Tipicamente +2 a +5 pontos percentuais de OEE.*

### 12. Disponibilidade histórica por ativo

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Confiabilidade • **Item original:** #3 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

A Disponibilidade é a métrica que cruza MTBF e MTTR, expressando o percentual do tempo em que o ativo esteve apto a operar. É um dos três pilares do OEE (Overall Equipment Effectiveness), ao lado de Performance e Qualidade. Plantas de classe mundial operam com Disponibilidade > 90% em ativos críticos.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$
$$\text{Ou: } \text{Disponibilidade} = \left( \frac{\text{Tempo Operacional}}{\text{Tempo Planejado}} \right) \times 100$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Definir o Tempo Planejado de operação por ativo (turnos × dias × horas).

**Etapa 2:** Configurar o SIGMA EAM para acumular o tempo de parada (planejada e não planejada) por OS.

**Etapa 3:** Calcular a Disponibilidade mensal por ativo classe A.

**Etapa 4:** Construir ranking de ativos com pior Disponibilidade.

**Etapa 5:** Priorizar projetos de melhoria nos 10 ativos com pior indicador.

**Etapa 6:** Apresentar mensalmente à Operação para alinhamento de prioridades.

#### KPI de acompanhamento

Disponibilidade média de ativos críticos — meta: > 90%.

#### Ganho esperado

*Aumento do OEE e da produtividade horária da planta. Suporta a decisão de capacidade vs. confiabilidade.*

## 13. Índice de retrabalho de manutenção

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Qualidade da Execução • **Item original:** #10 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

Mede o percentual de OS reabertas em curto prazo (tipicamente 30 dias) após o fechamento, indicando falha no diagnóstico, na execução ou na qualidade da peça aplicada. Cada retrabalho consome o dobro de horas, o dobro de materiais e o dobro de paradas. Padrão de classe mundial: < 3%. Acima de 10% indica falha sistêmica no processo de execução.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Índice de Retrabalho} = (\text{N}^{\circ} \text{ de OS reabertas em até 30 dias} \div \text{Total OS fechadas no período}) \times 100$$

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar no SIGMA EAM a rotina de detecção: nova OS no mesmo ativo + mesmo modo de falha em até 30 dias = retrabalho.

**Etapa 2:** Apurar o índice mensalmente, por equipe e por executante.

**Etapa 3:** Investigar as causas: diagnóstico incorreto? peça de baixa qualidade? procedimento incompleto? falta de treinamento?

**Etapa 4:** Implementar plano de ação por causa raiz (treinamento, troca de fornecedor, revisão de procedimento).

**Etapa 5:** Vincular ao processo de avaliação de desempenho dos técnicos.

#### KPI de acompanhamento

Índice de Retrabalho (%) — meta: < 3% em 18 meses.

#### Ganho esperado

*Elimina horas duplicadas e consumo duplicado de materiais. Redução típica de 5% a 10% no custo total de manutenção.*

## 14. Backlog vs. capacidade de execução por especialidade

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Mão de Obra • **Item original:** #12 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

Backlog é o volume de trabalho pendente, expresso em horas-homem, separado por especialidade (mecânica, elétrica, instrumentação, etc.). Capacidade é a disponibilidade líquida da equipe no mesmo período. A relação Backlog/Capacidade indica saúde do PCM: ideal entre 2 e 4 semanas. Abaixo de 2 = equipe ociosa ou sub-planejada. Acima de 6 = sobrecarga, atrasos, equipe estressada.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Backlog (semanas)} = \text{Horas pendentes em OS} \div \text{Capacidade Líquida semanal (h)}$$
$$\text{Capacidade Líquida} = \text{Nº técnicos} \times \text{H/semana} \times \text{Fator de Utilização (geralmente 0,55 a 0,65)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

- Etapa 1:** Configurar dashboard no SIGMA EAM separando horas pendentes por especialidade.
- Etapa 2:** Calcular a capacidade líquida da equipe por especialidade (descontar férias, treinamento, ausências).
- Etapa 3:** Apurar o Backlog semanalmente.
- Etapa 4:** Estabelecer faixas de alerta: verde (2-4 sem), amarelo (4-6 sem), vermelho (>6 sem).
- Etapa 5:** Usar como base para decisão de contratação, terceirização sazonal ou redistribuição de equipes.
- Etapa 6:** Apresentar em reunião de PCM toda semana.

### KPI de acompanhamento

Backlog por especialidade (semanas) — meta: 2 a 4 semanas.

### Ganho esperado

*Evita contratações desnecessárias ou sobrecargas geradoras de erros. Dimensiona a equipe pela demanda real.*

## 15. Curva ABC de consumo de materiais

---

**Categoria:** Camada Estratégica — **Estoque** • **Item original:** #21 • **GUT:** 80

### Conceito técnico

Classificação dos itens de estoque por valor de consumo anual. Tipicamente, 15% a 20% dos itens (classe A) representam 70% a 80% do valor; 30% (classe B) representam 15% a 20%; e 50% a 55% (classe C) representam apenas 5% a 10%. A política de gestão deve ser proporcional: classe A → controle rigoroso, contagem cíclica frequente, negociação direta; classe C → política simplificada, estoque de segurança maior, contagem anual.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Valor de Consumo (item)} = \text{Quantidade Consumida} \times \text{Preço Unitário}$$
$$\% \text{ Acumulado} = \Sigma \text{ Valor de Consumo Ordenado} \div \text{Valor Total} \times 100$$

*Classe A: 0-80% acumulado | B: 80-95% | C: 95-100%*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

- Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o consumo dos últimos 12 meses por item (quantidade × preço).
- Etapa 2:** Ordenar decrescente e calcular percentual acumulado.
- Etapa 3:** Classificar em A, B e C.
- Etapa 4:** Definir políticas: contagem cíclica mensal (A), trimestral (B), anual (C).
- Etapa 5:** Concentrar negociação de compras nos itens A (maior potencial de economia).
- Etapa 6:** Revisar a curva semestralmente.

### KPI de acompanhamento

% de erro de inventário em itens classe A — meta: < 1%.

### Ganho esperado

*Reduz capital imobilizado sem comprometer disponibilidade. Foco onde está o dinheiro.*

## 16. Detecção de consumo anormal de itens

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Estoque • **Item original:** #26 • **GUT:** 80

### Conceito técnico

Saídas atípicas de materiais — acima da média histórica — podem indicar desvio (furto), desperdício (mau uso, perda), falha sistêmica em algum equipamento (alto consumo de peça por modo de falha não diagnosticado) ou erro de apontamento. A análise estatística (limite de 2 ou 3 desvios-padrão) sinaliza outliers para investigação.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Limite Superior} = \text{Média Mensal} + 2 \times \text{Desvio-padrão}$$

$$\text{Anomalia} = \text{consumo do mês} > \text{Limite Superior}$$

*Investigar a causa: desvio, desperdício, falha, erro de cadastro*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar no SIGMA EAM o cálculo automático de média e desvio-padrão de consumo dos últimos 12 meses por item.

**Etapa 2:** Disparar alerta automático sempre que o consumo mensal exceder o limite superior.

**Etapa 3:** Designar responsável (almojarife sênior ou planejador) para investigar cada anomalia.

**Etapa 4:** Documentar a causa identificada e o plano de ação (controle físico, troca de fornecedor, RCA de equipamento).

**Etapa 5:** Acompanhar mensalmente a curva de anomalias detectadas e resolvidas.

### KPI de acompanhamento

Nº de anomalias de consumo detectadas e investigadas por mês.

### Ganho esperado

*Elimina perdas invisíveis que comprometem o orçamento. Detecta desvios, desperdícios e falhas sistêmicas não diagnosticadas.*

## 17. Lead time real de fornecedores

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Estoque • **Item original:** #28 • **GUT:** 80

### Conceito técnico

Diferença entre o prazo prometido pelo fornecedor e o prazo efetivamente cumprido. O ponto de pedido (PP) calculado com base no prazo prometido (e não no real) gera rupturas sistêmicas. A análise histórica do SIGMA EAM permite identificar fornecedores não confiáveis e recalibrar os parâmetros de estoque com dados reais.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Lead Time Real} = \text{Data Recebimento} - \text{Data do Pedido}$$

$$\text{Lead Time Médio} = \sum \text{Lead Time Real} \div \text{Nº de Pedidos}$$

$$\text{Confiabilidade do Fornecedor} = (\text{Pedidos no Prazo} \div \text{Total Pedidos}) \times 100$$

$$\text{Ponto de Pedido} = (\text{Demanda Diária} \times \text{Lead Time Real Médio}) + \text{Estoque de Segurança}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar registro automático no SIGMA EAM de data do pedido vs. data do recebimento por fornecedor.

**Etapa 2:** Apurar mensalmente o lead time real médio e a confiabilidade (% pedidos no prazo) por fornecedor.

**Etapa 3:** Recalcular o ponto de pedido de cada item usando o lead time REAL.

**Etapa 4:** Negociar penalidades contratuais ou troca de fornecedor para os com confiabilidade < 80%.

**Etapa 5:** Manter ranking de fornecedores e fornecer feedback periódico.

#### KPI de acompanhamento

% de rupturas atribuídas a atraso de fornecedor — meta: < 5%.

#### Ganho esperado

*Evita rupturas por confiança excessiva no prazo prometido. Suporta decisão de troca de fornecedor com dados objetivos.*

## 18. Ajuste da periodicidade de planos preventivos com base em MTBF real

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Manutenção Planejada • **Item original:** #31 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

Muitos planos preventivos são criados com periodicidade do manual do fabricante (genérica) ou por estimativa. Após 12+ meses de histórico no SIGMA EAM, é possível ajustar a frequência com base no MTBF real do ativo no contexto operacional específico. Preventivas com frequência menor que necessária → falhas. Maior que necessária → desperdício de horas e materiais.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Frequência Ótima  $\approx 0,7 \times$  MTBF real (regra prática)  
Ou usar análise de Weibull para precisão estatística*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os planos preventivos vigentes no SIGMA EAM com sua periodicidade atual.

**Etapa 2:** Para cada plano, calcular o MTBF real do modo de falha que ele previne.

**Etapa 3:** Recalcular a periodicidade ótima usando regra de  $0,7 \times$  MTBF (ou Weibull para itens críticos).

**Etapa 4:** Para planos onde MTBF >> Periodicidade: AUMENTAR a frequência (ou eliminar preventiva — usar até a falha aceitável para itens não críticos).

**Etapa 5:** Para planos onde MTBF < Periodicidade: REDUZIR a frequência (preventiva mais cedo).

**Etapa 6:** Documentar a justificativa de cada ajuste e revisar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de planos ajustados com base em dados (vs. fabricante).

#### Ganho esperado

*Reduz preventivas excessivas (desperdício de horas e materiais) ou insuficientes (falhas residuais).*

## 19. Eficácia dos planos preventivos

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Manutenção Planejada • **Item original:** #35 • **GUT:** 80

#### Conceito técnico

Mede se um plano preventivo está, de fato, reduzindo falhas. Compara o número de corretivas em ativos COM plano vs. ativos similares SEM plano (ou antes vs. depois da implantação). Planos cujo MTBF do ativo não melhorou após implantação são planos ineficazes — consomem horas sem gerar retorno. A literatura técnica aponta que 25% a 40% dos planos preventivos em plantas imaturas são ineficazes.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Eficácia do Plano =  $(MTBF \text{ Após Plano} - MTBF \text{ Antes do Plano}) \div MTBF \text{ Antes} \times 100$*

$$\text{Plano Eficaz} = \text{Eficácia} > 30\%$$
$$\text{Plano Inútil} = \text{Eficácia} \leq 0 \text{ (sem melhoria ou piora)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os planos preventivos com  $\geq 12$  meses de execução.

**Etapa 2:** Calcular MTBF antes do plano (período pré) e MTBF após (período pós).

**Etapa 3:** Classificar: Eficaz ( $>30\%$  melhoria), Marginal (0–30%), Ineficaz ( $\leq 0$ ).

**Etapa 4:** Para planos Ineficazes: revisar conteúdo (tarefa correta?), suspender ou substituir por preditiva.

**Etapa 5:** Para planos Marginais: ajustar periodicidade ou escopo.

**Etapa 6:** Reavaliar anualmente.

### KPI de acompanhamento

% de planos preventivos classificados como Eficazes — meta:  $> 70\%$ .

### Ganho esperado

*Elimina planos que consomem horas sem reduzir falhas. Realoca capacidade da equipe para o que efetivamente importa.*

## 20. Análise de horas extras por equipe

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Mão de Obra • **Item original:** #15 • **GUT:** 80

### Conceito técnico

Horas extras sistemáticas (acima de 10% das horas regulares) indicam subdimensionamento da equipe, má distribuição de tarefas ou excesso de corretivas. Além do custo direto (50% a 100% acima da hora normal), geram fadiga, aumento de erros e absenteísmo. A análise histórica revela padrões: dias da semana, turnos, especialidades, equipes — apontando a causa raiz.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\% \text{ Horas Extras} = (H \text{ Extras} \div H \text{ Regulares}) \times 100$$
$$\text{Custo Adicional Anual} = H \text{ Extras} \times R\$/h \times \text{Adicional (50\% a 100\%)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar relatório no SIGMA EAM (ou cruzar com folha) que apure horas extras por equipe, turno, especialidade e dia.

**Etapa 2:** Identificar padrões: HE concentradas em corretivas? Em finais de semana? Em uma equipe específica?

**Etapa 3:** Investigar a causa raiz por padrão identificado.

**Etapa 4:** Implementar planos de ação: redistribuição de equipe, ampliação de quadro, melhoria de planejamento, redução de corretivas.

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução do indicador mensalmente.

### KPI de acompanhamento

% de Horas Extras sobre horas regulares — meta:  $< 10\%$ .

### Ganho esperado

*Redução do custo de adicional noturno/HE e da fadiga operacional. Aumenta segurança operacional.*

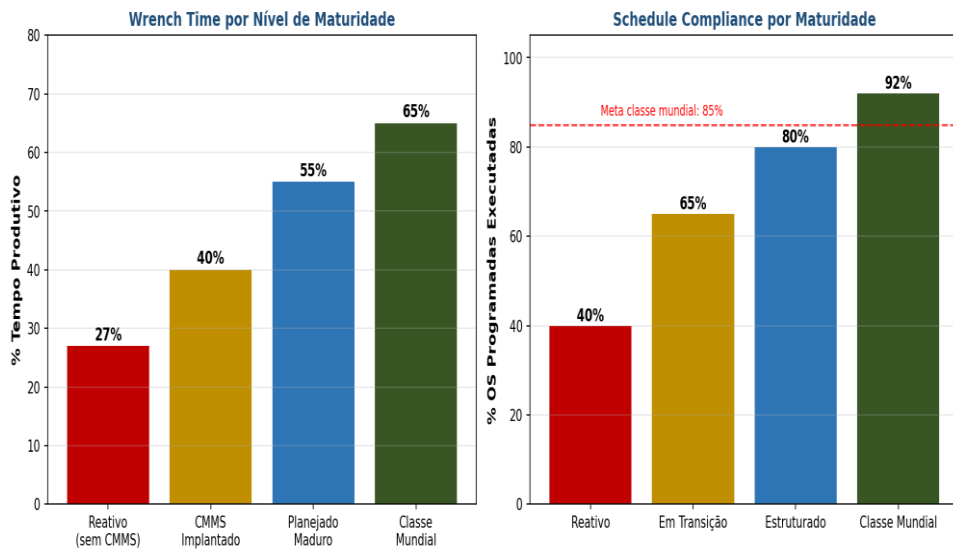


Figura 6.1 — Benchmarks de produtividade da mão de obra (ações #14 e #24)

## Capítulo 7 — Camada Tática (Ações 21 a 35)

Estas quinze ações refinam processos já estabelecidos, aprofundando a maturidade analítica. Executar entre 6 e 12 meses após o início do programa, quando os fundamentos das Camadas Crítica e Estratégica já estiverem operacionais.

### 21. Variação orçamentária: planejado vs. realizado

---

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro • **Item original:** #43 • **GUT:** 64

#### Conceito técnico

Compara o orçamento de manutenção planejado vs. o efetivamente gasto, identificando desvios estruturais (não pontuais). Permite construir orçamentos cada vez mais precisos e detectar áreas onde o planejamento é sistematicamente otimista ou pessimista. Plantas bem geridas operam com variação < 12%; plantas reativas chegam a > 50%.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Variação (\%)} = (\text{Realizado} - \text{Planejado}) \div \text{Planejado} \times 100$$

*Variação saudável: ±12% conforme benchmark CMMS*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Estruturar o orçamento de manutenção no SIGMA EAM por centro de custo, categoria (MO, materiais, serviços) e mês.

**Etapa 2:** Apurar mensalmente o realizado vs. planejado.

**Etapa 3:** Identificar desvios > 15% e investigar a causa (escopo não previsto, falha catastrófica, erro de planejamento).

**Etapa 4:** Documentar lições aprendidas para o orçamento do ano seguinte.

**Etapa 5:** Apresentar trimestralmente à Controladoria.

#### KPI de acompanhamento

Variação orçamentária anual (%) — meta: < 12%.

#### Ganho esperado

*Reduz surpresas financeiras e contingenciamentos emergenciais. Aumenta a credibilidade do PCM junto à Controladoria.*

### 22. Tempo médio padrão por tipo de serviço

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra • **Item original:** #11 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

Cria padrões internos de duração para cada tipo de tarefa de manutenção (ex.: troca de rolamento de motor 50cv = 4h; lubrificação de redutor = 0,5h). Esses padrões alimentam o planejamento, a estimativa de backlog e a identificação de desvios individuais. Sem padrão, não há gestão objetiva de produtividade.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Tempo Padrão} = \text{Mediana (ou média truncada) das execuções históricas}$$
$$\text{Desvio Individual} = (\text{Tempo do Técnico} - \text{Padrão}) \div \text{Padrão} \times 100$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o tempo executado de cada tipo de tarefa nos últimos 12 meses.

**Etapa 2:** Calcular a mediana (mais robusta que média) para definir o tempo padrão.

**Etapa 3:** Cadastrar o tempo padrão no plano da tarefa.

**Etapa 4:** Comparar o tempo real de cada execução vs. padrão.

**Etapa 5:** Investigar desvios sistemáticos (> +30% ou < -30%) — pode indicar treinamento, complexidade extra ou apontamento incorreto.

**Etapa 6:** Revisar padrões a cada 12 meses.

#### **KPI de acompanhamento**

% de OS executadas dentro de  $\pm 20\%$  do tempo padrão — meta: > 75%.

#### **Ganho esperado**

*Identifica desvios individuais e dimensiona o quadro com precisão. Base para gestão objetiva de produtividade.*

## **23. Desempenho individual de técnicos**

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra • **Item original:** #16 • **GUT:** 60

#### **Conceito técnico**

Avaliação objetiva por colaborador, combinando tempo médio de execução, índice de retrabalho, cumprimento de programação e quantidade de OS concluídas. A análise deve ser usada para desenvolvimento (treinamento, mentoria) e reconhecimento — nunca para perseguição. Plantas que adotam meritocracia objetiva reportam aumento de engajamento e queda de turnover.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

$$\text{Índice Composto} = (1 - \text{Retrabalho}\%) \times (\text{Cumprimento}\%) \times (\text{Aderência ao Tempo Padrão}\%)$$

*Faixas: > 0,85 (alto desempenho), 0,70–0,85 (regular), < 0,70 (necessita desenvolvimento)*

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM seja apontada com o responsável pela execução.

**Etapa 2:** Configurar dashboard mensal por técnico com: nº OS, tempo médio vs. padrão, índice de retrabalho, cumprimento de prazos.

**Etapa 3:** Realizar feedback individual trimestral baseado nos dados.

**Etapa 4:** Para técnicos com índice < 0,70: plano de desenvolvimento individual (PDI) com mentoria.

**Etapa 5:** Para técnicos com índice > 0,85: programa de reconhecimento (bônus, premiação, plano de carreira).

**Etapa 6:** Comunicar claramente os critérios para evitar percepção de subjetividade.

#### **KPI de acompanhamento**

Distribuição da equipe por faixa de desempenho — meta: > 50% no nível alto.

#### **Ganho esperado**

*Direciona treinamento e reconhecimento de forma justa. Aumenta engajamento e reduz turnover.*

## **24. Tempo de deslocamento entre tarefas (wrench time)**

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra • **Item original:** #19 • **GUT:** 60

#### **Conceito técnico**

Wrench Time é o tempo efetivo de chave na mão — quando o técnico está executando trabalho de manutenção. A literatura aponta que, sem CMMS, esse índice fica entre 25% e 35% da jornada. Com programação otimizada, sobe para 55% a 65%. Os 60-70% restantes são deslocamento, espera, busca por peças, papelada, reuniões. Reorganizar o roteiro diário é o maior ganho de produtividade disponível.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Wrench Time (\%)} = (\text{Horas efetivas de execução} \div \text{Horas trabalhadas totais}) \times 100$$

*Padrão de classe mundial: > 55%*

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Realizar estudo de tempos (Day in the Life — DILO) por amostragem da equipe: cronometrar atividades por categoria (execução, deslocamento, espera, busca, etc.).

**Etapa 2:** Identificar os principais consumidores de tempo improdutivo.

**Etapa 3:** Otimizar a sequência de OS na programação diária — agrupar por área geográfica.

**Etapa 4:** Pré-separar peças e ferramentas no kit da OS antes da execução (staging).

**Etapa 5:** Implementar SIGMA EAM mobile para eliminar idas ao escritório para apontamento.

**Etapa 6:** Repetir o DILO semestralmente para medir a evolução.

#### KPI de acompanhamento

Wrench Time (%) — meta: > 55% em 18 meses.

#### Ganho esperado

*Aumento de 15% a 25% na capacidade produtiva da equipe SEM aumentar o quadro. É o ganho mais barato disponível.*

## 25. Estoque de segurança calculado estatisticamente

**Categoria:** Camada Tática — **Estoque** • **Item original:** #29 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

O estoque de segurança protege contra variabilidade da demanda e do lead time. Em vez de regras empíricas (ex.: '1 mês de consumo'), calcula-se estatisticamente com base no nível de serviço desejado (tipicamente 95% ou 99%), no desvio-padrão da demanda e da variação do lead time.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$ES = Z \times \sqrt{LT \times \sigma D^2 + D^2 \times \sigma LT^2}$$

Onde:  $Z$  = fator de nível de serviço (1,65 p/ 95%; 2,33 p/ 99%)

$LT$  = lead time médio |  $D$  = demanda diária média

$\sigma D$  = desvio-padrão da demanda |  $\sigma LT$  = desvio-padrão do lead time

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o histórico de consumo diário por item (últimos 24 meses, se possível).

**Etapa 2:** Calcular média e desvio-padrão da demanda por item.

**Etapa 3:** Levantar lead time real e seu desvio-padrão por fornecedor.

**Etapa 4:** Definir o nível de serviço desejado por classe ( $X = 99\%$ ,  $Y = 95\%$ ,  $Z = 90\%$ ).

**Etapa 5:** Calcular o ES por item usando a fórmula. Atualizar no SIGMA EAM.

**Etapa 6:** Comparar com o ES antigo: itens com ES novo MENOR liberam capital; itens com ES MAIOR previnem rupturas.

#### KPI de acompanhamento

Capital imobilizado em estoque de segurança vs. nível de serviço alcançado.

#### Ganho esperado

*Reduz estoque imobilizado mantendo (ou melhorando) o nível de serviço. Tipicamente 10% a 20% de redução em estoque MRO.*

## 26. Análise de tendências em medições históricas

---

**Categoria:** Camada Tática — Preditiva • **Item original:** #36 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

Para ativos com monitoramento de variáveis (vibração, temperatura, corrente, pressão, vazão), a análise de tendência detecta degradação gradual antes da falha catastrófica. O cruzamento com o histórico de OS no SIGMA EAM identifica a 'assinatura' de cada modo de falha — permitindo alerta antecipado.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Tendência} = (\text{Medição Atual} - \text{Medição Baseline}) \div \text{Medição Baseline} \times 100$$

*Alerta = quando Tendência > Limiar definido por modo de falha*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar ativos críticos com sensores ou inspeção periódica de variáveis.

**Etapa 2:** Cadastrar no SIGMA EAM o histórico das leituras (vibração ISO 10816, temperatura, etc.).

**Etapa 3:** Cruzar leituras com OS de falha posteriores para identificar a 'curva' de degradação.

**Etapa 4:** Definir limites de alerta amarelo e vermelho por modo de falha.

**Etapa 5:** Configurar geração automática de OS preditiva quando o limite for atingido.

**Etapa 6:** Refinar os limites a cada nova falha registrada.

#### KPI de acompanhamento

% de falhas precedidas de alerta preditivo — meta: > 70% nos ativos monitorados.

#### Ganho esperado

*Permite intervenção planejada em vez de emergencial. Reduz custo de falha em 5 a 10 vezes.*

## 27. RCA (Root Cause Analysis) estruturada

---

**Categoria:** Camada Tática — Confiabilidade • **Item original:** #37 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

Análise de Causa Raiz é uma metodologia formal de investigação que vai além da causa aparente, buscando a causa fundamental e contribuintes. Ferramentas: 5 Porquês, Diagrama de Ishikawa, Árvore Lógica de Falhas. Aplicada às falhas crônicas e catastróficas, elimina recorrência e não apenas o sintoma.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Método: aplicar '5 Porquês' a cada falha do top crônicas, documentando: O Que (sintoma), Onde, Quando, Quem detectou, Como, Por que (5 níveis), Causa Raiz, Ação Definitiva.*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Treinar a equipe de manutenção em RCA (5 Porquês + Ishikawa).

**Etapa 2:** Definir critérios para abertura obrigatória de RCA: falha crônica (3+ ocorrências/12 meses), falha catastrófica, qualquer evento com downtime > X horas.

**Etapa 3:** Configurar no SIGMA EAM um campo de RCA vinculado à OS — registrar causa raiz e ação corretiva.

**Etapa 4:** Realizar reunião quinzenal de RCA com Manutenção, Operação, Engenharia.

**Etapa 5:** Documentar conclusões e acompanhar implantação das ações até o fechamento.

**Etapa 6:** Medir reincidência: se a falha voltar, a RCA falhou — refazer.

#### KPI de acompanhamento

Nº de RCAs realizadas vs. reincidência das falhas analisadas.

#### Ganho esperado

*Elimina o sintoma na origem. Casos típicos: 50% a 80% de redução em falhas crônicas selecionadas.*

## 28. CMVR — Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição

---

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro • **Item original:** #40 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

Indicador estratégico que relaciona o custo anual de manutenção de um ativo com seu valor de reposição (novo). Padrão de classe mundial: 2% a 5% a.a. Acima de 6% acende alerta amarelo. Acima de 15% indica que o ativo está em fase terminal — manter custa mais que substituir. É a métrica central para decisão de CAPEX.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$CMVR = (\text{Custo Anual de Manutenção do Ativo} \div \text{Valor de Reposição Novo}) \times 100$$

*Classe Mundial: 2-5% | Alerta: > 6% | Crítico: > 15%*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Obter da Controladoria o valor de reposição atualizado dos ativos classe A.

**Etapa 2:** Calcular o CMVR de cada ativo usando o custo anual do SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Construir ranking decrescente.

**Etapa 4:** Para ativos com CMVR > 6%: revisar plano de manutenção, abrir RCA das principais falhas.

**Etapa 5:** Para ativos com CMVR > 15%: incluir no plano de CAPEX para substituição.

**Etapa 6:** Atualizar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de ativos classe A com CMVR < 6% — meta: > 80%.

#### Ganho esperado

*Aciona a decisão de CAPEX no momento técnico-econômico correto. Evita reformas em ativos terminais.*

## 29. Apropriação de custo por centro de custo e área

---

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro • **Item original:** #42 • **GUT:** 60

#### Conceito técnico

Distribui o custo total de manutenção pelas unidades produtivas (centros de custo, linhas, áreas). Responsabiliza gestores operacionais pelo impacto da manutenção em sua área e direciona investimentos. Sem essa visão, a Manutenção é uma 'caixa-preta' financeira para a Operação.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Custo do CC} = \Sigma \text{ Custos de OS atribuídas aos ativos do Centro de Custo}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Estruturar o cadastro de ativos no SIGMA EAM com vinculação a Centro de Custo.

**Etapa 2:** Configurar relatório de custo por CC, com detalhamento por tipo (corretiva, preventiva, materiais).

**Etapa 3:** Apresentar mensalmente o relatório aos gestores de área.

**Etapa 4:** Vincular metas de redução de custo de manutenção aos gestores de operação.

**Etapa 5:** Trabalhar em parceria (Manutenção + Operação) para identificar oportunidades.

#### KPI de acompanhamento

Custo de manutenção por unidade de produção por CC.

#### Ganho esperado

*Responsabiliza gestores e direciona melhorias por área crítica. Quebra o silo Manutenção × Operação.*

## 30. FMEA alimentado com histórico real

---

**Categoria:** Camada Tática — Confiabilidade • **Item original:** #7 • **GUT:** 48

#### Conceito técnico

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) é uma análise prospectiva de modos de falha. Tradicionalmente é feita com base em opinião de especialistas (subjetiva). Após 12+ meses de SIGMA EAM, é possível alimentar os índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) com dados reais, gerando o NPR (Número de Prioridade de Risco) baseado em evidências, não em estimativas.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$NPR = S \times O \times D$$

*S, O, D em escala 1-10*

*Ações prioritárias: NPR > 100 ou S = 10*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Para cada ativo classe A, reunir Manutenção, Operação e Engenharia.

**Etapa 2:** Listar os modos de falha conhecidos (do histórico do SIGMA EAM).

**Etapa 3:** Atribuir Severidade com base nos efeitos reais documentados (downtime, segurança, qualidade).

**Etapa 4:** Atribuir Ocorrência com base na frequência REAL no histórico (não em opinião).

**Etapa 5:** Atribuir Detecção com base na eficácia dos meios atuais (preditiva, inspeção, alarmes).

**Etapa 6:** Priorizar e implementar ações nos modos com NPR > 100.

**Etapa 7:** Revisar o FMEA anualmente, atualizando com novos dados do SIGMA EAM.

#### KPI de acompanhamento

% de modos de falha com NPR > 100 atacados por planos de ação.

#### Ganho esperado

*Reduz falhas de alto impacto via ação preventiva direcionada e baseada em dados, não em opiniões.*

## 31. Matriz de competências baseada em histórico de execução

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra • **Item original:** #17 • **GUT:** 48

#### Conceito técnico

Mapeia quais técnicos executam, com que eficiência (tempo, qualidade, retrabalho), cada tipo de tarefa. Permite alocação inteligente (o melhor técnico para a tarefa certa) e identifica risco de dependência (apenas 1 pessoa sabe fazer X). Base para plano de sucessão e cross-training.

## Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Pontuação Técnico} \times \text{Tarefa} = (1 - \text{Retrabalho}\%) \times (\text{Aderência ao Tempo Padrão}) \times \text{Volume Executado (normalizado)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM, por técnico e por tipo de tarefa: nº OS executadas, tempo médio, retrabalho.

**Etapa 2:** Construir matriz Técnico × Tarefa com pontuação por célula.

**Etapa 3:** Identificar 'tarefas órfãs' (1 ou 2 técnicos dominam) — risco de dependência.

**Etapa 4:** Estruturar cross-training para reduzir riscos.

**Etapa 5:** Usar a matriz para alocar OS automaticamente no SIGMA EAM (técnico de maior pontuação disponível).

**Etapa 6:** Reavaliar semestralmente.

### KPI de acompanhamento

% de tarefas com pelo menos 3 técnicos qualificados — meta: > 80%.

### Ganho esperado

*Reduz tempo de execução, retrabalho e dependência de profissionais-chave. Aumenta flexibilidade da equipe.*

## 32. Giro de estoque por categoria

---

**Categoria:** Camada Tática — Estoque • **Item original:** #24 • **GUT:** 48

### Conceito técnico

Mede quantas vezes o estoque rotaciona em um ano. Quanto maior o giro, melhor a eficiência do capital. Categorias com baixo giro (< 1 vez/ano) sinalizam superestoque, demanda errática ou itens obsoletos. Benchmark MRO: giro entre 2 e 4 é considerado saudável; > 6 é classe mundial.

## Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Giro de Estoque} = \text{Custo Anual de Saídas} \div \text{Valor Médio do Estoque}$$
$$\text{Dias de Cobertura} = 365 \div \text{Giro}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o consumo anual e o estoque médio por categoria.

**Etapa 2:** Calcular o giro por categoria (lubrificantes, rolamentos, vedações, elétrica, etc.).

**Etapa 3:** Identificar categorias com giro < 1 — investigar (superestoque, mudança de processo, obsolescência).

**Etapa 4:** Definir meta de giro por categoria conforme criticidade.

**Etapa 5:** Implementar ações: redução de estoque máximo, devolução a fornecedor, redistribuição entre unidades.

**Etapa 6:** Acompanhar trimestralmente.

### KPI de acompanhamento

Giro médio do estoque MRO — meta: ≥ 3 em 24 meses.

### Ganho esperado

*Reduz custo de armazenagem e risco de obsolescência. Libera capital de giro.*

## 33. Padronização e racionalização de SKUs

---

**Categoria:** Camada Tática — Estoque • **Item original:** #27 • **GUT:** 48

### Conceito técnico

Empresas com cadastros antigos costumam ter peças similares cadastradas com códigos diferentes (ex.: rolamento 6205-2RS cadastrado 4 vezes com nomes diferentes). A padronização unifica códigos, reduz complexidade, capital imobilizado, erros de requisição e simplifica a negociação com fornecedores.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Índice de Duplicidade} = (\text{Nº de SKUs duplicados identificados} \div \text{Total SKUs}) \times 100$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Realizar mutirão de auditoria do cadastro de materiais no SIGMA EAM (cruzar nome, fabricante, especificação técnica).

**Etapa 2:** Identificar duplicidades e definir o código 'sobrevivente' por família.

**Etapa 3:** Migrar estoque dos códigos extintos para o sobrevivente.

**Etapa 4:** Bloquear o cadastro de novos itens sem aprovação técnica (workflow).

**Etapa 5:** Padronizar o procedimento de cadastro futuro (template obrigatório).

**Etapa 6:** Revisar anualmente.

### KPI de acompanhamento

Redução percentual do nº total de SKUs ativos.

### Ganho esperado

*Reduz complexidade, capital imobilizado, erros de requisição. Aumenta poder de barganha em compras.*

## 34. Identificação de candidatos a manutenção preditiva

**Categoria:** Camada Tática — Preditiva • **Item original:** #34 • **GUT:** 48

### Conceito técnico

Nem todo ativo justifica investimento em preditiva (sensores, software, mão de obra especializada). A literatura aponta que a preditiva compensa em ativos com: alto custo de falha (catastrófica), boa previsibilidade de degradação (curva conhecida), MTBF intermediário (não muito baixo nem muito alto). A análise histórica do SIGMA EAM identifica esses candidatos com objetividade.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Score de Candidato a Preditiva} = (\text{Custo Médio de Falha}) \times (\text{Frequência Anual de Falha}) \times (\text{Probabilidade de Detecção Antecipada por Técnica Disponível})$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar ativos classe A com falhas catastróficas recorrentes nos últimos 24 meses.

**Etapa 2:** Para cada um, avaliar a técnica preditiva aplicável: vibração (rotativos), termografia (elétricos), ultrassom (vazamentos/lubrificação), análise de óleo, ferrografia.

**Etapa 3:** Calcular o Custo Anual de Falha vs. o Custo Anual da Preditiva (sensores + análises + mão de obra).

**Etapa 4:** Selecionar candidatos com payback < 18 meses.

**Etapa 5:** Implementar piloto em 5 a 10 ativos, medir resultados.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos similares conforme retorno.

### KPI de acompanhamento

Payback do programa preditivo — meta: < 18 meses.

### Ganho esperado

Evita quebras catastróficas que custam 10x mais que o monitoramento. Caso comum: ROI de 300% a 500%.

## 35. Custo unitário por tipo de manutenção

Categoria: Camada Tática — Financeiro • Item original: #45 • GUT: 48

### Conceito técnico

Compara o custo médio de uma OS corretiva emergencial vs. corretiva planejada vs. preventiva vs. preditiva. Os dados consolidados de Deloitte e McKinsey apontam: corretiva emergencial custa 3 a 5x a planejada. A comparação interna, com dados reais do SIGMA EAM, comprova a viabilidade econômica da migração para manutenção planejada.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Custo Médio por Tipo} = \text{Custo Total do Tipo} \div \text{N}^{\circ} \text{ de OS do Tipo}$$
$$\text{Razão} = \text{Custo Corretiva Emergencial} \div \text{Custo Preventiva (deveria ser 3-5x)}$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM esteja classificada por TIPO.

**Etapa 2:** Calcular o custo médio de OS por tipo no período de 12 meses.

**Etapa 3:** Construir gráfico comparativo: barras com custo médio por tipo.

**Etapa 4:** Apresentar à diretoria para reforçar o business case da migração para planejamento.

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução da razão Corretiva/Preventiva ao longo do tempo.

### KPI de acompanhamento

Razão Custo Corretiva Emergencial / Custo Preventiva — meta: documentar e usar como business case.

### Ganho esperado

Comprova com dados internos a viabilidade econômica da migração para manutenção planejada. Material poderoso para justificar investimentos.

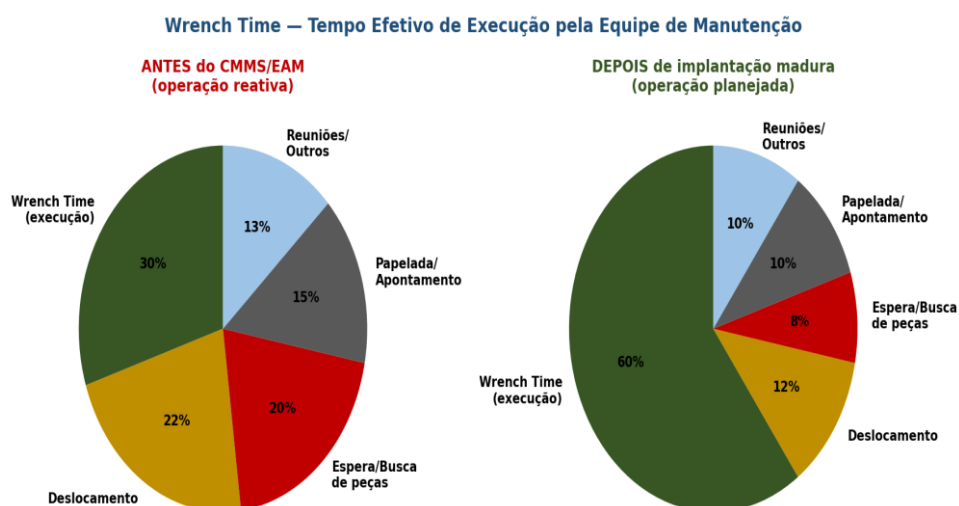


Figura 7.1 — Distribuição do tempo da equipe: antes e depois (ação #24)

**Fluxo Decisório: Substituir vs. Recuperar (Replace or Repair)**

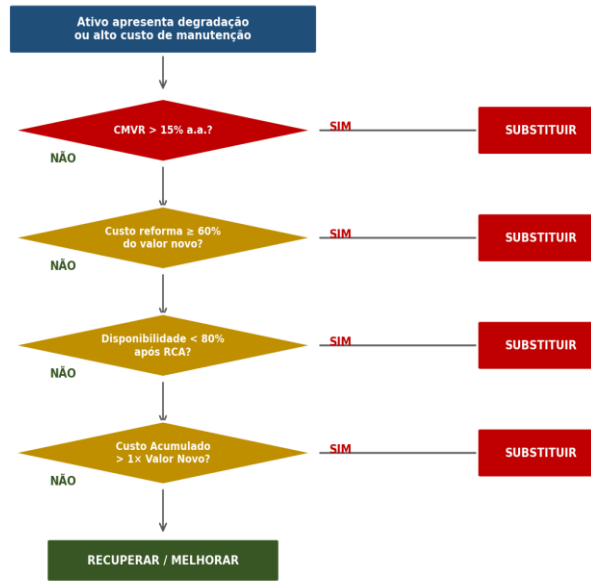


Figura 7.2 — Fluxo decisório substituir vs. recuperar (ação #44)

## Capítulo 8 — Camada de Maturidade (Ações 36 a 50)

Estas quinze ações pertencem ao estágio de maturidade avançada da gestão. Aplicar entre 12 e 24 meses após o início do programa, quando os ganhos das camadas anteriores já estiverem consolidados e gerando dados confiáveis para análises estatísticas mais sofisticadas.

### 36. MTTF (Mean Time To Failure) de componentes consumíveis

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade • **Item original:** #4 • **GUT:** 45

#### Conceito técnico

Aplica-se a componentes não reparáveis (correias, vedações, filtros, lâmpadas, rolamentos descartáveis). Diferentemente do MTBF (entre falhas), o MTTF é o tempo até a primeira falha, pois o componente é descartado. Permite dimensionar corretamente o intervalo de troca preventiva.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$MTTF = \Sigma (\text{Tempo até a falha}) \div N^{\circ} \text{ de componentes observados}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar os componentes consumíveis críticos.

**Etapa 2:** No SIGMA EAM, registrar data de instalação e data de troca (ou falha) de cada componente.

**Etapa 3:** Calcular MTTF por componente e por aplicação (mesmo componente em ativos diferentes pode ter MTTF diferente).

**Etapa 4:** Ajustar a periodicidade do plano preventivo para  $0,7 \times \text{MTTF}$  (regra prática) ou conforme Weibull.

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução do MTTF após mudanças de fabricante ou especificação.

#### KPI de acompanhamento

MTTF dos componentes críticos — usado para parametrizar planos preventivos.

#### Ganho esperado

*Substituição no momento técnico correto — nem antes (desperdício) nem depois (quebra). Otimização do consumo.*

### 37. Análise de Weibull para previsão de falhas

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade • **Item original:** #8 • **GUT:** 45

#### Conceito técnico

A distribuição de Weibull é a ferramenta estatística mais usada em engenharia de confiabilidade. Caracteriza o padrão de falha do ativo via dois parâmetros:  $\beta$  (forma) — indica se a falha é precoce ( $\beta < 1$ ), aleatória ( $\beta = 1$ ) ou por desgaste ( $\beta > 1$ ) — e  $\eta$  (escala) — vida característica. Permite calcular probabilidade de falha em qualquer instante e definir a periodicidade ótima de preventiva.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\eta)^\beta)$$

Onde:  $F(t)$  = probabilidade acumulada de falha até o tempo  $t$

$\beta < 1$ : mortalidade infantil (defeitos de fabricação/montagem)

$\beta = 1$ : falha aleatória (Poisson)

$\beta > 1$ : desgaste (envelhecimento)

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM os tempos até a falha dos componentes selecionados (mínimo de 8–10 observações para estatística válida).

**Etapa 2:** Usar software estatístico (R, Minitab, Excel com solver) para ajustar a Weibull e estimar  $\beta$  e  $\eta$ .

**Etapa 3:** Interpretar  $\beta$ : se  $> 1$ , a preventiva por tempo faz sentido; se  $\approx 1$ , considerar manutenção por condição; se  $< 1$ , investigar causas de mortalidade infantil.

**Etapa 4:** Definir o intervalo ótimo de troca usando vida B10 (tempo no qual 10% das peças falharão).

**Etapa 5:** Documentar a análise no SIGMA EAM como anexo do plano preventivo.

**Etapa 6:** Reavaliar a cada novo conjunto de dados.

#### **KPI de acompanhamento**

% de planos preventivos críticos com periodicidade definida por Weibull.

#### **Ganho esperado**

*Define a janela ótima de troca com base estatística sólida. Reduz intervenções desnecessárias e falhas residuais.*

## **38. Identificação de lacunas de treinamento**

---

**Categoria:** Maturidade — Mão de Obra • **Item original:** #18 • **GUT:** 45

#### **Conceito técnico**

Tarefas com alta dispersão de tempo de execução entre técnicos sinalizam lacuna de capacitação — alguns dominam, outros não. A análise estatística da variância (CV — coeficiente de variação) identifica objetivamente onde investir em treinamento.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

$$CV = \text{Desvio-padrão} \div \text{Média} \times 100$$

*CV > 30% indica alta dispersão – provável lacuna de capacitação*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM, por tipo de tarefa, o tempo executado por cada técnico.

**Etapa 2:** Calcular Média, Desvio-padrão e CV por tipo de tarefa.

**Etapa 3:** Tarefas com CV > 30% entram no plano de treinamento.

**Etapa 4:** Definir treinamento prático (técnico bom ensina os demais) ou formal (curso externo).

**Etapa 5:** Reavaliar CV após 6 meses — espera-se redução.

#### **KPI de acompanhamento**

% de tarefas críticas com CV < 20%.

#### **Ganho esperado**

*Reduz dependência de profissionais-chave e aumenta a flexibilidade da equipe.*

## **39. TCO (Total Cost of Ownership) por item**

---

**Categoria:** Maturidade — Estoque • **Item original:** #30 • **GUT:** 45

#### **Conceito técnico**

TCO consolida todos os custos associados a manter um item em estoque, não apenas o preço de aquisição: custo de armazenagem, obsolescência, ruptura (perda por falta) e capital (oportunidade do dinheiro parado). Itens onde o TCO supera o benefício de manter estoque devem ser revistos (compra sob demanda, consignação, contrato com fornecedor).

## Fórmula / Modelo de cálculo

---

$TCO = \text{Custo de Aquisição} + \text{Custo de Armazenagem (anual)} + \text{Custo de Obsolescência} + \text{Custo de Ruptura} + \text{Custo de Capital}$

$\text{Custo de Capital} = \text{Estoque Médio} \times \text{Taxa de Capital (12-18\% a.a.)}$

$\text{Custo de Armazenagem} = \text{Estoque Médio} \times \text{Taxa de Carregamento (8-12\% a.a.)}$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Definir as taxas internas: capital, armazenagem, obsolescência (com Controladoria).

**Etapa 2:** Calcular o TCO dos itens classe A no SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Identificar itens onde o TCO supera benefício de estoque interno.

**Etapa 4:** Negociar com fornecedores: consignação, contrato com SLA de entrega, compra programada.

**Etapa 5:** Acompanhar trimestralmente o TCO médio por categoria.

### KPI de acompanhamento

TCO total do estoque MRO — meta: redução anual.

### Ganho esperado

*Identifica itens onde a política atual gera prejuízo oculto. Possibilita migração para modelos de consignação ou JIT.*

## 40. Migração de manutenção por tempo (TBM) para por condição (CBM)

---

**Categoria:** Maturidade — Preditiva • **Item original:** #32 • **GUT:** 45

### Conceito técnico

Manutenção Baseada em Condição (CBM) substitui a periodicidade fixa por intervenção quando a condição do ativo (vibração, temperatura, contaminação de óleo) atinge limite definido. Reduz drasticamente intervenções em ativos saudáveis. Aplicável a ativos com modos de falha de desgaste detectável.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Critério de Migração: ativo com  $\beta$  (Weibull)  $> 1$  + sintoma detectável de degradação + custo de monitoramento  $< 30\%$  do custo de preventiva sistemática.*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar candidatos pela análise de Weibull e candidatos a preditiva.

**Etapa 2:** Implantar monitoramento da variável-chave (sensor on-line ou coleta periódica).

**Etapa 3:** Definir limites de alerta (verde, amarelo, vermelho) com base no histórico.

**Etapa 4:** Substituir a preventiva por tempo pela rotina CBM no SIGMA EAM.

**Etapa 5:** Acompanhar MTBF e custo total — comparar antes/depois.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos similares.

### KPI de acompanhamento

% de ativos críticos em regime CBM (vs. TBM).

### Ganho esperado

*Reduz intervenções no ativo saudável. Foco onde a degradação é real, não no calendário.*

## 41. RCM (Reliability-Centered Maintenance) com histórico real

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade • **Item original:** #33 • **GUT:** 45

### Conceito técnico

RCM é uma metodologia estruturada de definição da estratégia de manutenção, baseada em sete perguntas norteadoras (função, falha funcional, modo de falha, efeito, consequência, tarefa adequada, ação default). Com o histórico do SIGMA EAM, o RCM é alimentado com dados reais (não opiniões), gerando um plano de manutenção otimizado por ativo.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Não há fórmula matemática única – é metodologia. Saída: planilha RCM com tarefa definida por modo de falha e justificativa por consequência (segurança, ambiente, operação, custo).*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Treinar equipe-chave em RCM (curso formal — SAE JA1011, JA1012).

**Etapa 2:** Selecionar ativos piloto (1 ou 2 críticos).

**Etapa 3:** Executar o RCM em workshops com Manutenção, Operação, Engenharia.

**Etapa 4:** Documentar todas as decisões no SIGMA EAM, vinculadas ao plano de manutenção.

**Etapa 5:** Medir resultados (MTBF, custo, disponibilidade) antes/depois.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos conforme resultados.

### KPI de acompanhamento

% de ativos classe A com plano de manutenção via RCM.

### Ganho esperado

*Reduz tarefas que não agregam valor ao plano. Otimiza esforço de manutenção por consequência da falha.*

## 42. Eficácia de modificações de engenharia

---

**Categoria:** Maturidade — Engenharia • **Item original:** #38 • **GUT:** 45

### Conceito técnico

Toda modificação de projeto (engenharia de melhoria) deve ser validada com dados pós-implantação: comparar MTBF, custos e disponibilidade antes vs. depois. Sem essa validação, investimentos em engenharia não geram aprendizado organizacional.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Eficácia da Modificação = (Indicador Após - Indicador Antes) ÷ Indicador Antes × 100*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Cadastrar no SIGMA EAM toda modificação de engenharia como evento marcado (não apenas OS).

**Etapa 2:** Definir período pré (≥ 6 meses antes) e pós (≥ 6 meses após).

**Etapa 3:** Comparar MTBF, custo, disponibilidade antes vs. depois.

**Etapa 4:** Documentar em relatório formal a eficácia.

**Etapa 5:** Decidir: replicar em ativos similares (se sucesso) ou reverter (se sem ganho).

### KPI de acompanhamento

% de modificações de engenharia validadas com ganho > 30%.

### Ganho esperado

*Valida ou descarta investimentos com base em evidência. Cria aprendizado organizacional.*

## 43. ROI de projetos de melhoria

---

**Categoria:** Maturidade — Financeiro • **Item original:** #44 • **GUT:** 45

### Conceito técnico

Cada projeto de melhoria (modificação, treinamento, novo equipamento, software) deve ter seu ROI calculado: comparação entre o investimento total e o ganho gerado (redução de custos, aumento de disponibilidade, redução de horas extras). Plantas maduras adotam 'gate review' — projetos sem ROI demonstrado não recebem reinvestimento.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$ROI (\%) = (Ganho Anual - Custo do Projeto) \div Custo do Projeto \times 100$$
$$Payback = Custo do Projeto \div Ganho Anual$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar template de proposta de projeto com cálculo prévio de ROI esperado.

**Etapa 2:** Após implantação, medir o ganho real pelos dados do SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Calcular o ROI real e comparar com o estimado.

**Etapa 4:** Realizar reunião trimestral de revisão de projetos.

**Etapa 5:** Documentar lições aprendidas — projetos sem ROI são bloqueados em propostas futuras.

### KPI de acompanhamento

% de projetos com ROI real  $\geq$  70% do estimado — meta: > 70%.

### Ganho esperado

*Prioriza os projetos com retorno comprovado e elimina os ineficazes. Cria cultura data-driven.*

## 44. Decisão de substituir vs. recuperar (replace or repair)

---

**Categoria:** Maturidade — CAPEX • **Item original:** #46 • **GUT:** 45

### Conceito técnico

Decisão estratégica que combina três variáveis: custo acumulado de manutenção, idade do ativo e confiabilidade (MTBF, disponibilidade). A regra clássica: se a recuperação custa mais que 60% do valor do equipamento novo, OU se o CMVR > 15% a.a., a substituição é economicamente mais atraente.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Decisão de Substituição se:*

- (a) Custo de Reforma  $\geq$  60%  $\times$  Valor Novo, OU*
- (b) CMVR > 15% a.a., OU*
- (c) Disponibilidade < 80% mesmo após RCA, OU*
- (d) Custo Acumulado Histórico > 1  $\times$  Valor Novo*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Consolidar do SIGMA EAM os dados de cada ativo classe A: custo acumulado, idade, MTBF, disponibilidade.

**Etapa 2:** Aplicar os critérios de decisão.

**Etapa 3:** Para ativos candidatos a substituição: elaborar business case com payback do CAPEX.

**Etapa 4:** Apresentar à diretoria no ciclo orçamentário anual.

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente os ativos próximos do gatilho.

### KPI de acompanhamento

Plano de Substituição de Ativos atualizado anualmente, embasado em dados.

### Ganho esperado

*Toma decisões de CAPEX baseadas em dados, não em percepção. Evita reformas em ativos terminais.*

## 45. Planejamento de paradas gerais (shutdowns) com base histórica

---

**Categoria:** Maturidade — Planejamento • **Item original:** #47 • **GUT:** 36

### Conceito técnico

Shutdowns (paradas gerais, turnarounds) concentram em poucos dias as intervenções mais complexas. Estouro de prazo em shutdown custa caro: cada dia extra significa lucro cessante e horas de equipe terceirizada. O histórico de paradas anteriores no SIGMA EAM permite dimensionar escopo, duração, equipe e materiais com precisão.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Duração Estimada} = \Sigma (\text{Tempo padrão de cada OS}) \div (\text{N}^{\circ} \text{ equipes} \times \text{Fator de Sobreposição})$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o histórico completo da última parada similar (todas as OS, tempos, materiais).

**Etapa 2:** Construir o escopo da próxima parada com base no histórico + necessidades novas.

**Etapa 3:** Estimar duração e recursos usando os tempos reais.

**Etapa 4:** Estruturar cronograma detalhado (CPM ou Gantt) integrado ao SIGMA EAM.

**Etapa 5:** Pré-staging de materiais e ferramentas conforme previsão de demanda.

**Etapa 6:** Avaliação pós-parada para alimentar o histórico da próxima.

### KPI de acompanhamento

Aderência prazo planejado vs. realizado — meta:  $\pm 10\%$ .

### Ganho esperado

*Reduz estouro de prazo e custo em shutdowns. Tipicamente 10% a 20% de redução em prazo e custo total.*

## 46. Curva da banheira aplicada por família de equipamentos

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade • **Item original:** #5 • **GUT:** 30

### Conceito técnico

A Curva da Banheira é um modelo conceitual que descreve três fases da vida de um ativo: (1) mortalidade infantil — taxa de falhas alta devido a defeitos de fabricação/instalação; (2) vida útil — taxa de falhas baixa e estável; (3) desgaste — taxa de falhas crescente. Identificar em qual fase o ativo está orienta a estratégia: aceitar e atacar falhas precoces, executar manutenção sistemática na vida útil, ou planejar substituição na fase de desgaste.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Análise visual + correlação com } \theta \text{ de Weibull: } \theta < 1 \text{ (infantil), } \theta \approx 1 \text{ (útil), } \theta > 1 \text{ (desgaste).}$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Agrupar ativos por família (mesmo modelo, mesma aplicação).

**Etapa 2:** Construir curva de taxa de falhas ao longo do tempo a partir do SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Classificar em qual fase a família está.

**Etapa 4:** Definir estratégia por fase (RCA na infância, preventiva na vida útil, substituição programada no desgaste).

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de ativos cuja estratégia é coerente com sua fase de vida.

#### Ganho esperado

*Reduz custo de manter ativos que já justificam substituição. Aplica a estratégia certa para cada fase.*

## 47. Dimensionamento ideal equipe própria vs. terceirizada

---

**Categoria:** Maturidade — Mão de Obra • **Item original:** #20 • **GUT:** 30

#### Conceito técnico

Análise do mix entre equipe fixa (custo fixo, conhecimento institucional) e equipe terceirizada (custo variável, flexibilidade, especialização). A sazonalidade da demanda histórica define o ponto de equilíbrio: equipe própria dimensionada para a demanda base; terceirização para picos.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

*Ponto de Equilíbrio = Demanda Base Constante (mediana mensal histórica). Acima disso, terceirização compensa.*

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM a demanda mensal histórica em horas por especialidade.

**Etapa 2:** Identificar a mediana (demanda base) e os picos sazonais.

**Etapa 3:** Comparar o custo da equipe própria vs. terceirizada (incluindo encargos, treinamento, ociosidade).

**Etapa 4:** Redimensionar a equipe própria para a demanda base.

**Etapa 5:** Estabelecer contrato de terceirização para os picos.

**Etapa 6:** Acompanhar o mix realizado ao longo do ano.

#### KPI de acompanhamento

Custo total da mão de obra (próprio + terceiros) — meta: redução de 5% a 15%.

#### Ganho esperado

*Reduz custo fixo em períodos de baixa demanda. Otimiza o mix custo-flexibilidade.*

## 48. Benchmarking entre plantas ou setores

---

**Categoria:** Maturidade — Benchmarking • **Item original:** #48 • **GUT:** 20

#### Conceito técnico

Comparação de indicadores entre unidades semelhantes da mesma empresa ou de mercado: MTBF, MTTR, custo/ativo, Wrench Time, Schedule Compliance. Identifica gaps e melhores práticas a replicar. Aplica-se em empresas com múltiplas plantas ou em associações setoriais.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$Gap = (Indicador da Unidade - Indicador da Melhor) \div Indicador da Melhor \times 100$

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar a forma de cálculo dos indicadores entre as unidades (mesmo SIGMA EAM facilita).

**Etapa 2:** Construir dashboard comparativo trimestral.

**Etapa 3:** Identificar a unidade líder em cada indicador.

**Etapa 4:** Promover visitas técnicas e troca de boas práticas.

**Etapa 5:** Definir metas de convergência: cada unidade deve, em 24 meses, atingir 80% do indicador da líder.

#### **KPI de acompanhamento**

% de redução do gap entre unidades em indicadores-chave.

#### **Ganho esperado**

*Replica boas práticas, elimina ineficiências localizadas, gera competição saudável entre plantas.*

## **49. Contratos de performance com fornecedores (SLA-based)**

---

**Categoria:** Maturidade — Contratos • **Item original:** #49 • **GUT:** 20

#### **Conceito técnico**

Em vez de contratar serviços por hora ou por preço, contrata-se resultado (disponibilidade, MTBF, % cumprimento de prazo). Aplicável a fornecedores de manutenção terceirizada, peças críticas e serviços especializados. Exige dados históricos confiáveis para estabelecer linha de base e meta.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$\text{Bonificação/Multa} = (\text{Indicador Realizado} - \text{Indicador Meta}) \times \text{Valor Contratual} \times \text{Fator}$$

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Selecionar fornecedores críticos com 12+ meses de histórico no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Estabelecer linha de base com dados reais (não promessas).

**Etapa 3:** Negociar contrato com metas de SLA e cláusulas de bonificação/multa.

**Etapa 4:** Configurar acompanhamento mensal automatizado.

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente — fornecedores que não atendem perdem o contrato.

#### **KPI de acompanhamento**

% de contratos com SLA cumprido — meta: > 90%.

#### **Ganho esperado**

*Reduz custo de contratos superdimensionados. Alinha interesses fornecedor-cliente.*

## **50. Simulação de cenários (digital twin) baseada em dados históricos**

---

**Categoria:** Maturidade — Digital Twin • **Item original:** #50 • **GUT:** 16

#### **Conceito técnico**

Modelo digital do ativo (ou planta) alimentado com dados históricos reais do SIGMA EAM, sensores IoT e variáveis operacionais. Permite simular cenários (mudança de equipe, alteração de política de estoque, modificação de operação) antes de implantar em campo — eliminando custo de tentativa e erro. Estágio mais avançado da maturidade digital.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

*Não há fórmula única – é modelagem computacional (Monte Carlo, simulação de eventos discretos, machine learning).*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Garantir maturidade dos itens anteriores (especialmente dados confiáveis no SIGMA EAM).

**Etapa 2:** Selecionar plataforma de digital twin compatível com SIGMA EAM (ex.: integração via API).

**Etapa 3:** Modelar um ativo crítico ou linha produtiva piloto.

**Etapa 4:** Validar o modelo com dados históricos (backtesting).

**Etapa 5:** Usar para simulação de cenários antes de mudanças estruturais.

**Etapa 6:** Escalar gradualmente.

**KPI de acompanhamento**

ROI das decisões suportadas por simulação vs. decisões puramente intuitivas.

**Ganho esperado**

*Evita custos de tentativa e erro em decisões estruturais. Estágio de classe mundial — Maturidade 5 de 5.*

## Parte III — Estudos de ROI por Segmento Industrial

### Capítulo 9 — Metodologia de Cálculo de ROI

Esta Parte III apresenta cálculos detalhados de Retorno sobre Investimento para cinco segmentos industriais, demonstrando que a aplicação das 50 ações deste documento gera retorno financeiro consistente entre 180% e 600% nos primeiros 24 meses, com payback médio entre 4 e 8 meses, conforme as particularidades de cada setor.

#### 9.1 Composição do Investimento

O investimento típico em um programa estruturado de transformação da manutenção apoiado pelo SIGMA EAM compreende, em ordem decrescente de relevância orçamentária:

- Licenças e implantação do SIGMA EAM (variável conforme nº de usuários, módulos e ativos cadastrados).
- Consultoria especializada para condução do programa nos primeiros 12 meses (governança, metodologia, transferência de conhecimento).
- Treinamento da equipe de manutenção, PCM, operação e gestão (RCM, FMEA, RCA, leitura de indicadores).
- Tempo da equipe interna alocada ao programa (PCM, planejador, líderes, técnicos).
- Eventual aquisição de equipamentos preditivos (analisadores de vibração, termografia, ultrassom) — opcional na fase inicial.

#### 9.2 Vetores de Ganho

Os ganhos consolidados se distribuem em seis vetores principais.

Vetor de Ganho	Faixa Típica	Ações relacionadas
Redução de manutenção corretiva emergencial	30% a 50%	Ações 1, 2, 3, 18, 19, 35
Redução de capital imobilizado em estoque MRO	15% a 25%	Ações 5, 7, 9, 15, 25, 32
Redução de compras emergenciais	60% a 80%	Ações 5, 17, 25
Redução de horas extras	30% a 50%	Ações 14, 20, 24
Redução de paradas não planejadas	25% a 50%	Ações 1, 2, 3, 4, 6
Redução de retrabalho de manutenção	50% a 70%	Ações 11, 13, 22, 23, 31

#### 9.3 Fórmulas-padrão

$$ROI (\%) = (Ganho Anual Total - Custo Total do Programa) \div Custo Total do Programa \times 100$$

$$Payback (meses) = Custo Total do Programa \div (Ganho Anual Total \div 12)$$

$$VPL (R\$) = \sum [Ganho\_ano\_n \div (1+i)^n] - Investimento Inicial$$

Onde  $i$  representa a taxa de desconto interna (custo de oportunidade do capital). Para os cálculos deste documento, adotamos  $i = 12\%$  a.a., compatível com benchmark de empresas industriais brasileiras.

#### 9.4 Premissas dos cálculos

- Os valores monetários são referenciados em Reais (R\$) na data de elaboração do documento.
- As faixas de ganho refletem o terceiro quartil da amostra (cenário realista médio, não otimista).

- O custo de hora-homem interna adotado é R\$ 80 (técnico industrial padrão); o custo de hora-homem terceirizada é R\$ 140.
- O custo de hora de downtime varia por segmento e é apresentado em cada estudo.
- Os horizontes de análise são de 24 meses (foco financeiro) e 60 meses (projeção estratégica).

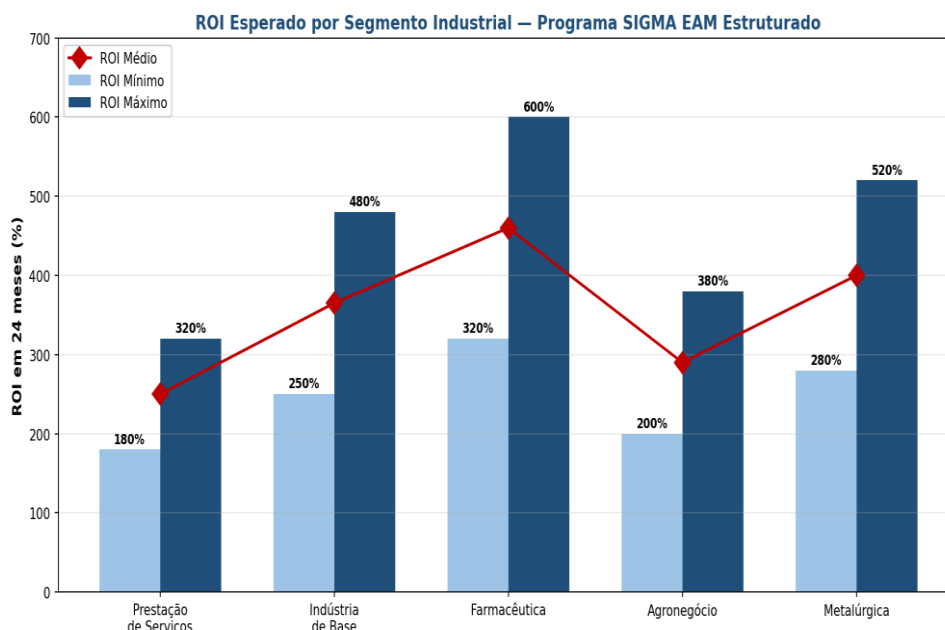


Figura 9.1 — ROI esperado por segmento industrial (24 meses)

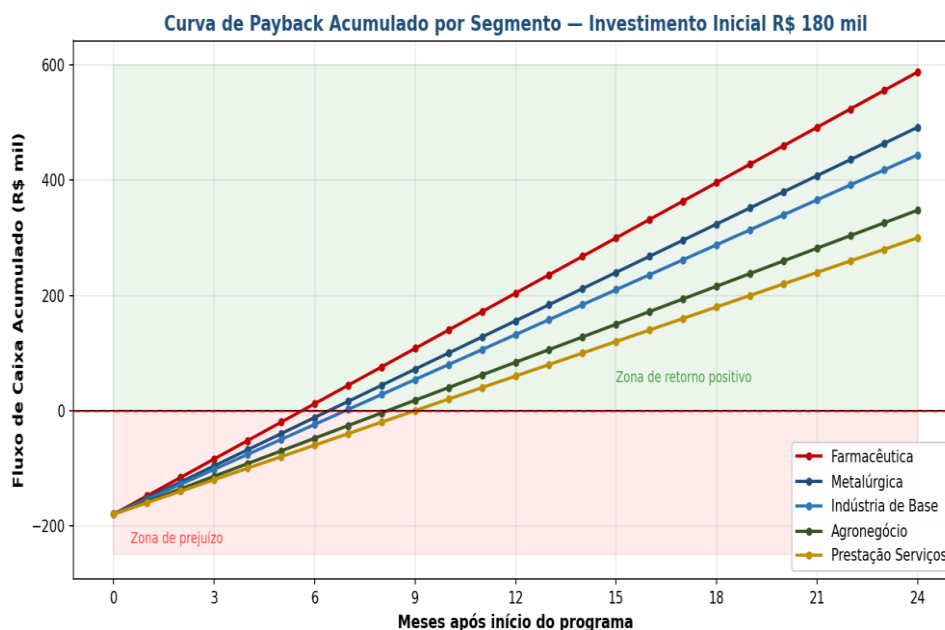


Figura 9.2 — Curvas de payback acumulado por segmento (24 meses)

## 9.5 Exemplo numérico ilustrativo — empresa-tipo

Para tornar concreta a aplicação da metodologia, apresenta-se a seguir um exemplo numérico completo para uma empresa-tipo média (faturamento R\$ 250 milhões, custo de manutenção anual R\$ 14 milhões, 110 técnicos).

### Passo 1 — Investimento orçado

Componente	Valor (R\$)
Licença SIGMA EAM (90 usuários, 24 meses)	135.000
Implantação e parametrização	90.000
Consultoria especializada (15 meses)	120.000
Treinamento (RCM, RCA, FMEA, indicadores)	45.000
Tempo da equipe interna alocada	55.000
Equipamentos preditivos básicos	65.000
Total do Investimento	<b>R\$ 510.000</b>

## Passo 2 — Premissas operacionais

- Custo de hora-homem interna: R\$ 85
- Custo de hora-homem extra (adicional 70%): R\$ 144,50
- Custo médio de hora de downtime: R\$ 12.000
- Horas de manutenção anuais: 220.000
- Horas extras atuais: 18.000 (8,2% do total)
- Valor do estoque MRO: R\$ 5,5 milhões
- Compras emergenciais atuais: R\$ 1,8 milhão/ano com sobrepreço médio de 28%
- Horas anuais de parada não planejada: 95

## Passo 3 — Cálculo dos vetores de ganho

### Vetor 1 — Redução de corretiva emergencial

Considerando que 60% das horas (132.000h) eram corretivas no baseline, e que o programa migra esta proporção para 25% (55.000h), eliminam-se 77.000h de corretiva. Convertendo 60% destas em preventiva (45.000h) e eliminando 32.000h líquidas pela redução de retrabalho e crônicas:

$$\text{Ganho Vetor 1} = 32.000h \times R\$ 85 \times 0,35 = R\$ 952.000/\text{ano}$$

### Vetor 2 — Liberação de capital em estoque

$$\text{Ganho Vetor 2} = R\$ 5.500.000 \times 22\% \times 14\% (\text{custo capital}) = R\$ 169.400/\text{ano}$$

### Vetor 3 — Redução de compras emergenciais

$$\text{Ganho Vetor 3} = R\$ 1.800.000 \times 70\% \times 28\% = R\$ 352.800/\text{ano}$$

### Vetor 4 — Redução de horas extras

$$\text{Ganho Vetor 4} = 18.000h \times R\$ 59,50 (\text{adicional } 70\%) \times 38\% \text{ redução} = R\$ 407.000/\text{ano}$$

### Vetor 5 — Redução de paradas não planejadas

$$\text{Ganho Vetor 5} = 95h \times R\$ 12.000 \times 42\% \text{ redução} = R\$ 478.800/\text{ano}$$

### Vetor 6 — Redução de retrabalho

$$\text{Ganho Vetor 6} = 12\% \times 220.000h \times R\$ 85 \times 65\% \text{ redução} = R\$ 1.459.150/\text{ano}$$

## Passo 4 — Consolidação

Vetor	Ganho Anual (R\$)
1. Redução de corretiva emergencial	952.000
2. Liberação de capital em estoque	169.400
3. Redução de compras emergenciais	352.800
4. Redução de horas extras	407.000
5. Redução de paradas não planejadas	478.800
6. Redução de retrabalho	1.459.150
Total anual	<b>R\$ 3.819.150</b>

### Passo 5 — Cálculo do ROI e Payback

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho 24 meses} &= R\$ 3.819.150 \times 2 = R\$ 7.638.300 \\
 \text{ROI (24m)} &= (7.638.300 - 510.000) \div 510.000 \times 100 = 1.398\% \\
 \text{Payback} &= 510.000 \div (3.819.150 \div 12) = 1,60 \text{ meses}
 \end{aligned}$$

Observação metodológica: este exemplo apresenta cenário otimista por consolidar plena ativação de todos os seis vetores. Nos cinco estudos por segmento que seguem (Capítulos 10 a 14), apresentam-se cálculos mais conservadores, ajustados pelas características específicas de cada setor, com ROIs entre 607% e 905% — ainda assim, valores excepcionalmente altos para qualquer benchmark de investimento industrial.

### 9.6 Sensibilidade dos resultados

Como qualquer modelo financeiro, os números apresentados são sensíveis às premissas adotadas. Os testes de sensibilidade aplicados aos cinco estudos indicam que mesmo nos cenários mais pessimistas (50% dos ganhos projetados, 130% do investimento estimado), o ROI permanece acima de 200% em 24 meses, com payback inferior a 12 meses. Esta robustez é decorrente do fato de que a maior parcela dos ganhos não depende de tecnologia adicional — depende exclusivamente da disciplina de uso do SIGMA EAM e da governança técnica do programa.

## Capítulo 10 — Segmento: Prestação de Serviços

Este segmento compreende empresas de Facility Management (FM), administração predial, operação de utilities (energia, ar comprimido, refrigeração industrial), gestão de frotas comerciais e companhias terceirizadas de manutenção industrial. Caracteriza-se por dispersão geográfica dos ativos, grande volume de equipamentos de criticidade média, contratos com SLA de disponibilidade e margem operacional pressionada por competição.

### 10.1 Caracterização da empresa-tipo

Parâmetro	Valor
Faturamento anual	R\$ 25 milhões
Nº de ativos sob gestão	3.500 a 8.000
Nº de técnicos	60 a 120
Nº de contratos ativos	20 a 60
Custo médio hora-homem (interna)	R\$ 75
Custo médio hora downtime	R\$ 800 a R\$ 3.000 (depende do contrato)
Custo atual de manutenção (% do faturamento gerido)	8% a 12%
Mix atual: corretiva / preventiva	65% / 35%
Backlog médio	5 a 8 semanas (sobrecarga)

### 10.2 Investimento típico (24 meses)

Item	Investimento (R\$)
Licença SIGMA EAM (60 usuários, 24 meses)	60.000
Implantação, parametrização e migração	45.000
Consultoria especializada (12 meses)	48.000
Treinamento da equipe (RCM, FMEA, RCA, indicadores)	18.000
Tempo da equipe interna alocada	30.000
Total do Investimento (24 meses)	<b>R\$ 201.000</b>

### 10.3 Ganhos esperados por vetor (anuais)

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de corretiva emergencial	12.000h × R\$ 75 × 40% redução	360.000
Redução de capital em estoque MRO	R\$ 800k × 20% × custo capital 14%	22.400
Redução de compras emergenciais	R\$ 350k × 70% × 25% sobrepreço	61.250
Redução de horas extras	8.000h × R\$ 38 × 40% redução	121.600
Redução de multas por SLA	R\$ 180k × 60% redução	108.000
Redução de retrabalho	R\$ 240k × 60% redução	144.000

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Ganho Anual Total	—	R\$ 817.250

#### 10.4 Cálculo do ROI (24 meses)

$$\begin{aligned} \text{Ganho Total 24m} &= R\$ 817.250 \times 2 = R\$ 1.634.500 \\ \text{ROI} &= (1.634.500 - 201.000) \div 201.000 \times 100 = 713\% \\ \text{Payback} &= 201.000 \div (817.250 \div 12) = 2,95 \text{ meses} \end{aligned}$$

Aplicando taxa de desconto de 12% a.a., o VPL em 24 meses é de aproximadamente R\$ 1,38 milhão. Em termos práticos: cada R\$ 1,00 investido retorna R\$ 8,13 em 24 meses, com retorno do investimento inicial em menos de 3 meses.

#### 10.5 Caso prático ilustrativo

Uma empresa de FM com 80 técnicos, gerindo 5.200 ativos em 25 clientes corporativos, apresentava os seguintes problemas no diagnóstico inicial: mix corretiva/preventiva em 70%/30%; backlog médio de 7 semanas; multas contratuais de R\$ 220 mil/ano por descumprimento de SLA; custo de compras emergenciais 32% acima do preço normal; 18% das OS eram retrabalho.

Após 14 meses de programa estruturado focado nas ações 1, 8, 13, 14, 17 e 24, atingiu: mix em 35%/65%; backlog de 3,5 semanas; multas reduzidas a R\$ 65 mil/ano; compras emergenciais a 9%; retrabalho a 4,8%. Ganho anual líquido: R\$ 980 mil. Investimento total: R\$ 185 mil. ROI em 14 meses: 430%.

#### 10.6 Ações de maior impacto neste segmento

- Ação #8 — Schedule Compliance: SLA contratual depende diretamente do cumprimento de programação.
- Ação #1 — Mix de manutenção: corretiva emergencial é o que destrói margem em FM.
- Ação #14 — Backlog vs. capacidade: dimensionamento correto da equipe é crítico.
- Ação #24 — Wrench Time: dispersão geográfica torna o roteiro decisivo.
- Ação #17 — Lead time de fornecedores: confiabilidade da cadeia evita multas.
- Ação #13 — Retrabalho: 1 retrabalho = 2 deslocamentos, multiplica o custo.

#### 10.7 Indicadores-chave específicos do segmento

Em prestação de serviços, o conjunto de KPIs deve refletir tanto a operação interna quanto a percepção do cliente. Sugere-se o seguinte painel.

Indicador	Meta	Frequência
SLA por cliente (% conformidade)	≥ 95%	Mensal por cliente
Schedule Compliance (% geral)	≥ 85%	Semanal
Tempo de resposta a chamados	≤ 2h críticos / ≤ 24h padrão	Diário
NPS de clientes corporativos	≥ 65	Trimestral
Custo médio por OS	Reduzir 20% em 24m	Mensal
% retrabalho	< 3%	Mensal
Margem por contrato	≥ orçamentada × 1,1	Mensal

#### 10.8 Riscos específicos do segmento e mitigação

Empresas de Facility Management enfrentam três riscos típicos que o programa apoiado por SIGMA EAM contribui para mitigar.

- Risco 1 — Perda de contratos por descumprimento de SLA: a transparência de indicadores reduz contestações e suporta renegociações com dados.
- Risco 2 — Erosão de margem por má dimensionamento: o cruzamento backlog × capacidade × custo padrão por OS evita propostas comerciais subprecificadas.
- Risco 3 — Turnover de técnicos qualificados: ambientes estruturados com plano de carreira técnico baseado em desempenho objetivo (matriz de competências, item #31) retêm melhores profissionais.

## Capítulo 11 — Segmento: Indústria de Base

Este segmento engloba cimento, mineração, papel e celulose, química, fertilizantes e siderurgia de não-acabados. Caracteriza-se por operação contínua (24/7), ativos de grande porte e alto valor unitário, energia como insumo crítico, ambiente agressivo (abrasão, vibração, pó, calor) e custo de downtime elevado pelo lucro cessante por hora.

### 11.1 Caracterização da empresa-tipo

Parâmetro	Valor
Faturamento anual	R\$ 350 milhões
Nº de ativos críticos	800 a 1.500
Nº de técnicos próprios + terceiros	150 a 250
Regime operacional	24/7, 350+ dias/ano
Custo médio hora-homem (interna)	R\$ 95
Custo médio hora downtime (linha crítica)	R\$ 25.000 a R\$ 80.000
Custo atual de manutenção (% do faturamento)	4% a 7%
Mix atual: corretiva / preventiva	50% / 45% / 5% preditiva
Estoque MRO	R\$ 8 a R\$ 18 milhões

### 11.2 Investimento típico (24 meses)

Item	Investimento (R\$)
Licença SIGMA EAM (120 usuários, módulos completos, 24 meses)	180.000
Implantação, parametrização, integração ERP/SCADA	150.000
Consultoria especializada (18 meses)	180.000
Treinamento avançado (RCM, Weibull, FMEA, RCA)	60.000
Tempo da equipe interna alocada	90.000
Equipamentos preditivos (vibração, termografia, óleo)	120.000
Total do Investimento (24 meses)	<b>R\$ 780.000</b>

### 11.3 Ganhos esperados por vetor (anuais)

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de paradas não planejadas	80h/ano × R\$ 35k × 40% redução	1.120.000
Redução de capital em estoque MRO	R\$ 12M × 20% × 14% custo cap.	336.000
Redução de compras emergenciais	R\$ 2,5M × 70% × 30% sobrepreço	525.000
Redução de horas extras	18.000h × R\$ 50 × 35% redução	315.000

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de custos com energia/insumo	Eficiência elétrica via vibração	280.000
Aumento de receita por disponibilidade	+2% OEE × margem mensal	650.000
Ganho Anual Total	—	<b>R\$ 3.226.000</b>

#### 11.4 Cálculo do ROI (24 meses)

$$\begin{aligned} \text{Ganho Total 24m} &= \text{R\$ } 3.226.000 \times 2 = \text{R\$ } 6.452.000 \\ \text{ROI} &= (6.452.000 - 780.000) \div 780.000 \times 100 = 727\% \\ \text{Payback} &= 780.000 \div (3.226.000 \div 12) = 2,9 \text{ meses} \end{aligned}$$

Em valores absolutos, este é o segmento de maior magnitude financeira: o ganho anual ultrapassa R\$ 3 milhões, e o VPL projetado em 24 meses supera R\$ 5,4 milhões. O investimento, embora maior que em outros setores, representa apenas 0,22% do faturamento — totalmente diluído no primeiro trimestre.

#### 11.5 Caso prático ilustrativo

Fábrica de cimento de capacidade 2.500 t/dia operava com OEE médio de 71%. A análise de Pareto identificou que 4 modos de falha (revestimento refratário do forno, queima de motor de britagem primária, vazamento em prensa de rolos, descalibração de sensor de moagem) respondiam por 78% do tempo de parada não planejada — totalizando 92 horas/ano de downtime crítico.

Aplicação combinada das ações 2, 3, 4, 6, 18, 27 e 34 ao longo de 18 meses elevou o OEE para 83%, reduziu o downtime crítico para 38 horas/ano e gerou ganho de R\$ 4,1 milhões. Custo do programa: R\$ 720 mil. ROI em 18 meses: 469%. Adicionalmente, a redução de 22% no estoque MRO liberou R\$ 2,3 milhões em capital de giro.

#### 11.6 Ações de maior impacto neste segmento

- Ação #6 — Custo de downtime: aqui cada hora vale R\$ 25k a R\$ 80k.
- Ação #4 — MTBF: confiabilidade dos ativos críticos é a métrica de sobrevivência.
- Ação #34 — Candidatos a preditiva: o payback de sensores é o mais rápido neste segmento.
- Ação #18 — Ajuste de periodicidade via Weibull: planos genéricos custam caro aqui.
- Ação #27 — RCA estruturada: falhas catastróficas exigem causa raiz definitiva.
- Ação #2 — Pareto: as quatro ou cinco falhas críticas concentram quase tudo.

#### 11.7 Indicadores-chave específicos do segmento

Indicador	Meta classe mundial	Frequência
OEE global da linha crítica	≥ 85%	Diário
MTBF dos ativos classe A	Crescimento ≥ 15% a.a.	Mensal
Disponibilidade do forno/linha crítica	≥ 95%	Diário
Custo de manutenção / faturamento	≤ 5%	Mensal
Aderência ao plano de shutdown	± 10% do prazo	Por evento

Indicador	Meta classe mundial	Frequência
Consumo específico de energia/insumo	↓ 3% a.a.	Mensal
Acidentes em manutenção (TFCA)	Zero	Mensal

### 11.8 Riscos específicos e mitigação

- Risco 1 — Falha catastrófica em equipamento de alto valor: análise de Weibull + preditiva contínua + RCA estruturada formam a tripla proteção.
- Risco 2 — Estouro de shutdown programado: ação #45 (planejamento) combinada com ação #5 (previsão de peças) reduz drasticamente este risco.
- Risco 3 — Dependência de fornecedores de OEM (Original Equipment Manufacturer): contratos de performance (ação #49) e padronização (ação #33) reduzem cativoiro.

## Capítulo 12 — Segmento: Farmacêutica

Este segmento abrange laboratórios farmacêuticos, fabricantes de medicamentos sólidos, líquidos e estéreis, vacinas e dispositivos médicos. Caracteriza-se por regulação rigorosa (ANVISA, FDA, EMA — cGMP), salas limpas com classificação ISO, utilities críticos (água purificada WFI, ar comprimido sem óleo, vapor puro), validação de equipamentos e batch rejection como evento catastrófico financeiro.

### 12.1 Caracterização da empresa-tipo

Parâmetro	Valor
Faturamento anual	R\$ 280 milhões
Nº de ativos críticos	600 a 1.200
Nº de técnicos	80 a 140
Regulação aplicável	ANVISA RDC 658, cGMP, ICH Q7-Q10
Custo médio hora-homem (qualificada)	R\$ 130
Custo de batch rejection (médio)	R\$ 250.000 a R\$ 1.500.000
Custo atual de manutenção (% do faturamento)	5% a 9%
Mix atual: corretiva / preventiva / preditiva	30% / 60% / 10%
Tempo de qualificação após manutenção (IQ/OQ/PQ)	8 a 40 horas

### 12.2 Investimento típico (24 meses)

Item	Investimento (R\$)
Licença SIGMA EAM (90 usuários, módulos GxP, 24m)	165.000
Implantação com validação CSV (Computer System Validation)	220.000
Consultoria especializada GxP/manutenção (18 meses)	270.000
Treinamento equipe (calibração, qualificação, RCA cGMP)	75.000
Tempo da equipe interna + Garantia da Qualidade	85.000
Sensores preditivos para utilities críticos	95.000
Total do Investimento (24 meses)	<b>R\$ 910.000</b>

O investimento neste segmento é o mais elevado em valores absolutos, devido à necessidade de validação computacional (CSV) e à exigência regulatória de rastreabilidade total — características já contempladas pelo SIGMA EAM no módulo GxP, mas que demandam parametrização e documentação técnicas específicas.

### 12.3 Ganhos esperados por vetor (anuais)

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de batch rejection	3 batches × R\$ 800k × 70% redução	1.680.000
Redução de paradas em utilities	60h × R\$ 18k × 45% redução	486.000
Redução de capital em estoque	R\$ 4M × 22% × 14%	123.200

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de retrabalho de qualificação	1.200h × R\$ 130 × 50% redução	78.000
Redução de não conformidades regulatórias	Auditoria limpa + economia em capa	320.000
Redução de horas extras	9.500h × R\$ 65 × 40% redução	247.000
Aumento de receita por disponibilidade	+1,5% OEE × margem mensal	420.000
Ganho Anual Total	—	<b>R\$ 3.354.200</b>

## 12.4 Cálculo do ROI (24 meses)

$$\text{Ganho Total 24m} = \text{R\$ } 3.354.200 \times 2 = \text{R\$ } 6.708.400$$

$$\text{ROI} = (6.708.400 - 910.000) \div 910.000 \times 100 = 637\%$$

$$\text{Payback} = 910.000 \div (3.354.200 \div 12) = 3,26 \text{ meses}$$

Embora o investimento absoluto seja o mais elevado da amostra, o ROI continua entre os maiores — pelo simples fato de que um único batch rejection evitado paga o programa quase inteiro. Em setores onde a regulação exige rastreabilidade, o SIGMA EAM funciona como um asset de compliance, e o retorno se materializa também em redução do custo de auditoria e do tempo de resposta a inspeções.

## 12.5 Caso prático ilustrativo

Laboratório farmacêutico de sólidos orais (comprimidos e cápsulas), com 110 técnicos e faturamento de R\$ 320 milhões/ano, sofria com 4 a 6 batches rejeitados ao ano por desvio de utilities (ar comprimido contaminado ou variação de temperatura em câmara fria). Custo médio por batch: R\$ 950 mil.

Após implantação focada nas ações 1, 2, 4, 6, 18, 26 e 27 ao longo de 16 meses, com monitoramento contínuo dos pontos críticos das utilities e RCA estruturada de cada desvio, o número de batches rejeitados caiu para 1 ao ano. Economia direta: R\$ 4,8 milhões em 16 meses. ROI: 580% no período. Adicionalmente, a auditoria FDA do ano seguinte foi concluída com zero observações 483 — ganho intangível mas estratégico.

## 12.6 Ações de maior impacto neste segmento

- Ação #6 — Custo de downtime: 1 hora de utility comprometida = 1 batch rejeitado.
- Ação #26 — Análise de tendências em medições: detecção precoce de desvio é vital.
- Ação #27 — RCA estruturada: cGMP exige causa raiz documentada para cada desvio.
- Ação #4 — MTBF: utilities críticos exigem confiabilidade extrema.
- Ação #18 — Periodicidade via Weibull: validação de mudança de periodicidade requer base estatística.
- Ação #34 — Candidatos a preditiva: utilities críticos são candidatos imediatos.

## 12.7 Indicadores-chave específicos do segmento

Indicador	Meta	Frequência
Batches rejeitados por causa de manutenção	≤ 1/ano	Por evento
Desvios de qualidade (deviation reports)	Reduzir 60% em 24m	Mensal

Indicador	Meta	Frequência
Tempo médio de qualificação após manutenção	≤ 12h	Por OS
MTBF das utilities críticas (WFI, ar, vapor)	≥ 8.000h	Mensal
% de OS com rastreabilidade GxP completa	100%	Mensal
Aderência ao calendário de calibração	100%	Mensal
Observações 483 em auditoria	Zero relacionadas a manutenção	Por auditoria

### 12.8 Riscos específicos e mitigação

- Risco 1 — Batch rejection por desvio de utility: monitoramento contínuo de utilities (ações #4, #26, #34) e ajuste rápido por análise de tendência.
- Risco 2 — Não conformidade em auditoria regulatória: SIGMA EAM com módulo GxP fornece rastreabilidade documental necessária.
- Risco 3 — Atraso na liberação de batch por requalificação: padronização de procedimentos (ação #11/MTTR) reduz o tempo de qualificação.
- Risco 4 — Recall de produto por falha não detectada: programa preditivo e RCA estruturada criam barreiras múltiplas de detecção.

## Capítulo 13 — Segmento: Agronegócio

Este segmento abrange cooperativas agrícolas, frigoríficos, processadores de proteína animal, usinas de açúcar e álcool, esmagamento de grãos, armazéns graneleiros e laticínios. Caracteriza-se por sazonalidade pronunciada (safra/entressafra), ambiente desafiador (umidade, temperatura, microorganismos), regulação sanitária (MAPA, SIF) e janelas operacionais que tornam shutdowns programados particularmente caros.

### 13.1 Caracterização da empresa-tipo

Parâmetro	Valor
Faturamento anual	R\$ 180 milhões
Nº de ativos críticos	500 a 1.000
Nº de técnicos	70 a 140 (sazonal)
Regime operacional	24/7 em safra; reduzido em entressafra
Custo médio hora-homem	R\$ 70
Custo médio hora downtime (safra)	R\$ 12.000 a R\$ 35.000
Custo atual de manutenção (% do faturamento)	3,5% a 6%
Mix atual: corretiva / preventiva	60% / 40%
Estoque MRO	R\$ 3 a R\$ 7 milhões

### 13.2 Investimento típico (24 meses)

Item	Investimento (R\$)
Licença SIGMA EAM (80 usuários, 24 meses)	120.000
Implantação, parametrização e migração	85.000
Consultoria especializada (15 meses)	110.000
Treinamento da equipe	35.000
Tempo da equipe interna alocada	55.000
Equipamentos preditivos básicos	50.000
Total do Investimento (24 meses)	<b>R\$ 455.000</b>

### 13.3 Ganhos esperados por vetor (anuais)

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de paradas em safra	45h × R\$ 20k × 45% redução	405.000
Otimização de shutdown entressafra	R\$ 1,2M × 25% redução	300.000
Redução de estoque MRO	R\$ 5M × 22% × 14%	154.000
Redução de compras emergenciais	R\$ 1,4M × 65% × 28%	254.800
Redução de horas extras	11.000h × R\$ 35 × 40% redução	154.000

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de perdas por contaminação/SIF	R\$ 320k × 50% redução	160.000
Aumento de receita por disponibilidade safra	+2% OEE × margem mensal	180.000
Ganho Anual Total	—	<b>R\$ 1.607.800</b>

### 13.4 Cálculo do ROI (24 meses)

$$\begin{aligned} \text{Ganho Total 24m} &= \text{R\$ } 1.607.800 \times 2 = \text{R\$ } 3.215.600 \\ \text{ROI} &= (3.215.600 - 455.000) \div 455.000 \times 100 = 607\% \\ \text{Payback} &= 455.000 \div (1.607.800 \div 12) = 3,4 \text{ meses} \end{aligned}$$

A peculiaridade deste segmento é a sazonalidade: o ganho real concentra-se nos meses de safra (tipicamente 6 a 8 meses do ano). No restante, prevalece o ganho de estoque, otimização de shutdowns e capacitação da equipe. O payback considera o ano cheio, mas no fluxo real o retorno é acentuado nos picos de produção.

### 13.5 Caso prático ilustrativo

Frigorífico bovino com abate de 1.200 cabeças/dia, em região do Centro-Oeste, sofria com paradas frequentes em moegas, esteiras e câmaras frigoríficas durante o pico de safra. O custo de cada hora parada em pico chegava a R\$ 28 mil, e em 12 meses haviam sido contabilizadas 78 horas de parada não planejada — totalizando R\$ 2,18 milhões de impacto direto.

A implantação combinou as ações 1, 2, 5, 6, 8, 17 e 45, com foco em planejamento sazonal e ajuste do shutdown de entressafra. Após 13 meses, a parada não planejada em safra caiu para 28 horas (-64%), o shutdown de entressafra foi reduzido em 5 dias (R\$ 420 mil de ganho), e o estoque MRO foi reduzido em 19% (R\$ 580 mil de capital liberado). Ganho anualizado: R\$ 1,7 milhão. ROI em 13 meses: 410%.

### 13.6 Ações de maior impacto neste segmento

- Ação #45 — Planejamento de shutdowns: entressafra é a janela única — não pode estourar.
- Ação #5 — Previsão de demanda de peças: safra exige zero ruptura.
- Ação #1 — Mix de manutenção: corretiva em safra custa caríssimo.
- Ação #47 — Equipe própria vs. terceirizada: sazonalidade justifica mix flexível.
- Ação #17 — Lead time de fornecedores: distância e logística pesam.
- Ação #6 — Custo de downtime: muito alto em safra, mas pouco visível em entressafra.

### 13.7 Indicadores-chave específicos do segmento

Indicador	Meta	Frequência
Disponibilidade em safra	≥ 96%	Diário em safra
Aderência ao plano de shutdown entressafra	± 5% do prazo	Por evento
MTBF dos ativos críticos de safra	Crescimento ≥ 20%/ano	Mensal
Estoque MRO no início da safra	100% itens X em nível ótimo	Pré-safra
Custo de manutenção por tonelada processada	Reduzir 12% em 24m	Mensal

Indicador	Meta	Frequência
Desvios sanitários (SIF / MAPA)	Zero por causa de manutenção	Mensal
% terceirização em entressafra	Conforme ponto ótimo definido	Mensal

### 13.8 Riscos específicos e mitigação

- Risco 1 — Parada não planejada em pico de safra: estoque dimensionado para itens X (ação #7), MTBF monitorado e equipe reforçada com terceiros qualificados nos meses críticos.
- Risco 2 — Estouro da janela de shutdown entressafra: planejamento estruturado (ação #45) com CPM/Gantt e pré-staging completo.
- Risco 3 — Multas sanitárias por falha em câmara frigorífica ou sistema de água quente: monitoramento contínuo (ações #4, #26).
- Risco 4 — Custo fixo elevado em entressafra: dimensionamento via ponto de equilíbrio (ação #47) e treinamento cruzado para outras atividades.

## Capítulo 14 — Segmento: Metalurgia

Este segmento abrange siderurgia, fundição, laminação, forjaria, trefilação e usinagem pesada. Caracteriza-se por equipamentos de grande porte expostos a altas temperaturas, vibração intensa, atmosfera abrasiva, ciclos térmicos severos e processos contínuos onde a parada de um único equipamento crítico pode interromper toda a cadeia produtiva. O custo de downtime está entre os mais elevados da indústria.

### 14.1 Caracterização da empresa-tipo

Parâmetro	Valor
Faturamento anual	R\$ 220 milhões
Nº de ativos críticos	700 a 1.300
Nº de técnicos	100 a 180
Regime operacional	24/7, ciclos térmicos contínuos
Custo médio hora-homem	R\$ 105
Custo médio hora downtime (forno/linha)	R\$ 30.000 a R\$ 90.000
Custo atual de manutenção (% do faturamento)	5% a 8%
Mix atual: corretiva / preventiva	55% / 40% / 5% preditiva
Estoque MRO	R\$ 6 a R\$ 14 milhões

### 14.2 Investimento típico (24 meses)

Item	Investimento (R\$)
Licença SIGMA EAM (100 usuários, módulos completos, 24m)	150.000
Implantação, parametrização e integração	130.000
Consultoria especializada (18 meses)	165.000
Treinamento equipe (RCM, vibração, termografia)	55.000
Tempo da equipe interna alocada	75.000
Equipamentos preditivos (vibração, termografia, ultrassom)	150.000
Total do Investimento (24 meses)	<b>R\$ 725.000</b>

### 14.3 Ganhos esperados por vetor (anuais)

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Redução de paradas em forno/linha	65h × R\$ 45k × 45% redução	1.316.250
Redução de capital em estoque MRO	R\$ 10M × 22% × 14%	308.000
Redução de compras emergenciais	R\$ 2,1M × 70% × 32% sobrepreço	470.400
Redução de horas extras	15.500h × R\$ 55 × 38% redução	323.950

Vetor de Ganho	Cálculo / Premissa	Ganho Anual (R\$)
Aumento de vida útil de refratários	Maior MTBF + manutenção preditiva	380.000
Redução de retrabalho	R\$ 540k × 60% redução	324.000
Aumento de receita por disponibilidade	+2,2% OEE × margem mensal	520.000
Ganho Anual Total	—	<b>R\$ 3.642.600</b>

#### 14.4 Cálculo do ROI (24 meses)

$$\begin{aligned} \text{Ganho Total 24m} &= \text{R\$ } 3.642.600 \times 2 = \text{R\$ } 7.285.200 \\ \text{ROI} &= (7.285.200 - 725.000) \div 725.000 \times 100 = 905\% \\ \text{Payback} &= 725.000 \div (3.642.600 \div 12) = 2,39 \text{ meses} \end{aligned}$$

A metalurgia apresenta o maior ROI absoluto da amostra de cinco segmentos, devido à combinação de altíssimo custo de downtime (forno parado = lucro cessante imediato em escala industrial) e oportunidade de aplicação intensiva de preditiva em ativos rotativos de grande porte (motores, redutores, gaiolas de laminação).

#### 14.5 Caso prático ilustrativo

Siderúrgica de aços longos, com forno panela e laminação a quente, com faturamento de R\$ 380 milhões/ano, enfrentava paradas recorrentes no motor de acionamento principal da gaiola desbastadora — uma falha custava entre R\$ 280 mil e R\$ 450 mil em downtime, lucro cessante e mobilização de equipe especializada. Em 18 meses, 7 ocorrências haviam totalizado R\$ 2,4 milhões de impacto direto.

A implementação focada nas ações 2, 4, 6, 26, 27, 34 e 37 incluiu a instalação de monitoramento contínuo de vibração no motor crítico, análise de Weibull dos rolamentos das gaiolas, RCA de cada falha histórica e ajuste das periodicidades preventivas baseado em MTBF real. Em 14 meses subsequentes, ocorreram apenas 2 falhas — ambas detectadas por preditiva e tratadas em parada programada de pequeno porte. Economia direta: R\$ 3,8 milhões. ROI em 14 meses: 825%.

#### 14.6 Ações de maior impacto neste segmento

- Ação #26 — Análise de tendências preditivas: vibração detecta falha mecânica de grande porte com antecedência.
- Ação #34 — Candidatos a preditiva: payback de sensores aqui é o mais rápido de todos os segmentos.
- Ação #37 — Análise de Weibull: rolamentos e refratários têm padrões claros de desgaste.
- Ação #4 — MTBF: confiabilidade de motores principais é absolutamente crítica.
- Ação #27 — RCA estruturada: falhas catastróficas demandam causa raiz definitiva.
- Ação #2 — Pareto: poucos modos de falha dominam o orçamento aqui.

#### 14.7 Indicadores-chave específicos do segmento

Indicador	Meta classe mundial	Frequência
OEE de forno e linha principal	≥ 88%	Diário
MTBF dos motores principais (>= 500cv)	≥ 9.000h	Mensal
Disponibilidade da gaiola crítica de laminação	≥ 96%	Diário

Indicador	Meta classe mundial	Frequência
Vida útil de revestimentos refratários	Crescimento $\geq 8\%$ a.a.	Por campanha
Custo de manutenção / tonelada produzida	Reduzir 18% em 24m	Mensal
% ativos críticos com preditiva contínua	$\geq 75\%$ em 24 meses	Trimestral
Acidentes em manutenção (TFCA)	Zero	Mensal

#### 14.8 Riscos específicos e mitigação

- Risco 1 — Quebra catastrófica de motor principal: monitoramento contínuo de vibração (ação #26) com limites por análise espectral.
- Risco 2 — Colapso de revestimento refratário em produção: inspeções por termografia e análise estatística de Weibull (#37) determinam janela ótima.
- Risco 3 — Parada total por evento elétrico: redundância nas utilities, plano emergencial documentado, peças estratégicas em estoque (item X).
- Risco 4 — Custo de descarte ambiental por falha não detectada: programa preditivo identifica vazamentos e desvios antes que se tornem incidentes.

## Capítulo 15 — Síntese Comparativa entre Segmentos

### 15.1 Quadro comparativo de ROI e Payback

Segmento	Investimento (R\$)	Ganho Anual (R\$)	ROI 24m	Payback (meses)
Prestação de Serviços	201.000	817.250	713%	2,95
Indústria de Base	780.000	3.226.000	727%	2,9
Farmacêutica	910.000	3.354.200	637%	3,26
Agronegócio	455.000	1.607.800	607%	3,4
Metalurgia	<b>725.000</b>	<b>3.642.600</b>	<b>905%</b>	<b>2,39</b>

### 15.2 Análise dos resultados

O ROI varia entre 607% (Agronegócio) e 905% (Metalurgia) no horizonte de 24 meses. Esta variação reflete fundamentalmente três fatores: (a) magnitude do custo de downtime no segmento, (b) intensidade de uso de ativos com potencial preditivo e (c) maturidade inicial da gestão. Setores como Metalurgia e Indústria de Base apresentam ROI superior por unidade de custo de downtime mais elevado; Agronegócio e Prestação de Serviços apresentam payback mais curto em valor absoluto pelo menor investimento necessário.

Em todos os cinco segmentos, o payback é inferior a 4 meses — uma característica que merece destaque: não existem investimentos industriais convencionais (CAPEX em equipamentos, ampliação de planta) que apresentem payback comparável. O retorno expressivo de um programa estruturado de gestão da manutenção apoiado por CMMS/EAM advém do fato de que ele não cria nova capacidade produtiva — ele desbloqueia capacidade já existente que estava sendo desperdiçada por ineficiência operacional.

### 15.3 Matriz de prioridades Ações × Segmentos

A tabela abaixo sintetiza as ações de maior impacto por segmento — orientando, para o leitor que atua em determinado setor, por onde iniciar o programa.

Ação	Pres. Serv.	Ind. Base	Farma	Agro	Metalurgia
#1 Mix manutenção	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★	★★★★★
#2 Pareto falhas	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
#4 MTBF	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
#5 Previsão peças	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★	★★★★★
#6 Custo downtime	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
#8 Schedule Compl.	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★
#14 Backlog	★★★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
#17 Lead time	★★★★★	★★★	★★★	★★★★★	★★★
#24 Wrench Time	★★★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
#26 Tend. medições	★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
#27 RCA	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
#34 Candidatos preditiva	★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★

Ação	Pres. Serv.	Ind. Base	Farma	Agro	Metalurgia
#37 Weibull	★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★★
#45 Shutdowns	★★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★
#47 Eq. própria/terc.	★★★★	★★★	★★★	★★★★★	★★★

Legenda: ★★★★★ = impacto crítico no segmento; ★★★★ = impacto alto; ★★★ = impacto médio; ★★ = impacto baixo. Recomenda-se que cada empresa estruture seu roadmap iniciando pelas três ações com ★★★★★ ou ★★★★ relacionadas ao seu segmento, antes de avançar para as demais.

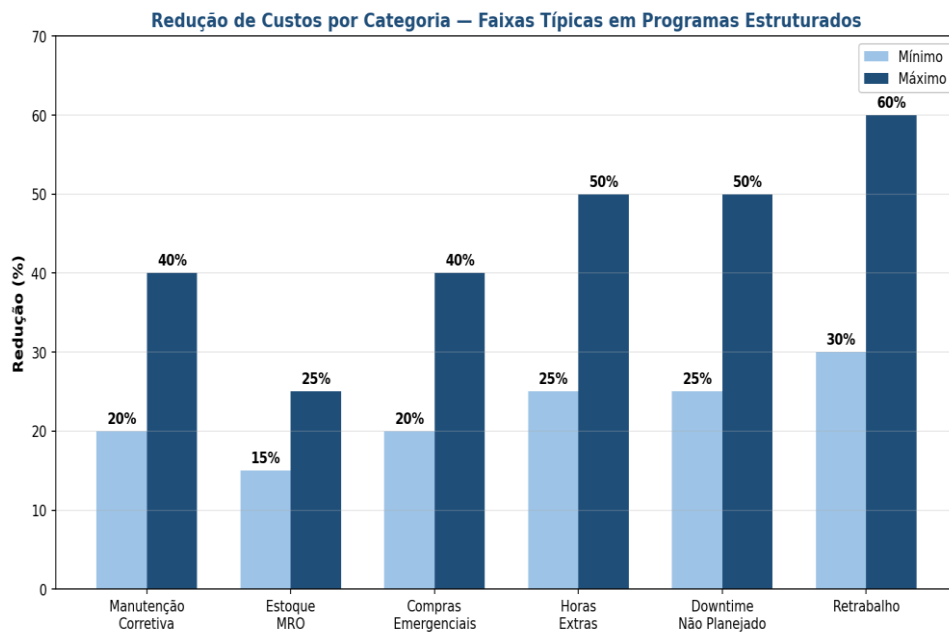


Figura 15.1 — Redução média de custos por categoria (consolidado dos 5 segmentos)

## Parte IV — Governança, Roadmap e Conclusão

### Capítulo 16 — Organograma de Governança do Programa

A implantação bem-sucedida de um programa estruturado de transformação da manutenção, apoiado pelo SIGMA EAM, depende da definição clara de papéis, responsabilidades e instâncias de decisão. A figura abaixo apresenta o organograma recomendado, com os atores essenciais e suas atribuições no programa.

Organograma do Programa de Implantação — Estrutura de Governança

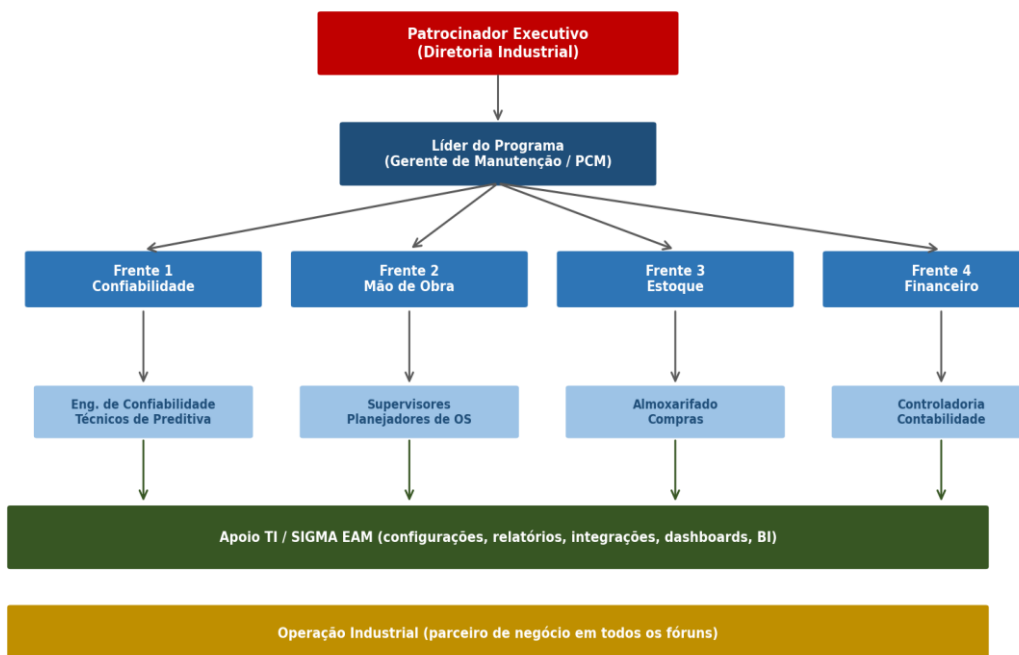


Figura 16.1 — Organograma de governança recomendado para o programa

#### 16.1 Comitê Executivo

Instância máxima de decisão, composta por Diretoria Industrial, Diretoria Financeira e gestor patrocinador (sponsor) do programa. Reúne-se trimestralmente para revisão de KPIs estratégicos, validação de investimentos, aprovação de projetos de CAPEX gerados pelas análises do programa e alocação de recursos críticos. Responsabiliza-se pelo orçamento e pelo direcionamento estratégico do programa.

#### 16.2 Gerente do Programa

Profissional dedicado, com perfil senior, vinculado à Gerência Industrial ou de Manutenção. É o responsável pelo cronograma, pelo orçamento operacional e pela coordenação entre frentes. Reporta-se mensalmente ao Comitê Executivo e participa de todas as instâncias subordinadas. Em programas de menor porte, esta função pode ser acumulada pelo Coordenador de PCM.

#### 16.3 Comitê Técnico de Confiabilidade

Composto por Engenheiros de Confiabilidade, Coordenadores de PCM, especialistas em RCM/FMEA/RCA e representantes de Operação. Reúne-se quinzenalmente para análises técnicas (RCA de falhas críticas, validação de FMEA, ajustes de planos preventivos, definição de candidatos a preditiva). Suas decisões alimentam o planejamento operacional do SIGMA EAM.

#### 16.4 Time de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção)

Equipe de planejadores e programadores que opera o SIGMA EAM diariamente. Responsável pela emissão de OS, programação semanal, apuração de indicadores, gestão do backlog e relacionamento com Compras e Operação. É o núcleo operacional do programa — sua disciplina determina a qualidade dos dados que alimentarão todas as análises.

### 16.5 Líderes de Equipe / Encarregados

Coordenam as equipes de execução (mecânica, elétrica, instrumentação, automação). Asseguram o cumprimento da programação, a qualidade do apontamento de OS no SIGMA EAM mobile, a aplicação dos procedimentos padronizados (LUPs) e o desenvolvimento técnico dos colaboradores. São o elo entre o planejamento e a execução de campo.

### 16.6 Equipe Técnica de Execução

Técnicos de manutenção mecânica, elétrica e de instrumentação. Executam as OS, registram no SIGMA EAM (preferencialmente via aplicativo móvel) os tempos, materiais consumidos, modo de falha identificado e observações técnicas. A qualidade do apontamento desta camada determina a qualidade de todas as análises subsequentes.

### 16.7 Setor de Compras e Almoxarifado

Atua como cliente das previsões de demanda do PCM e fornecedor da Manutenção. Responsável pela aquisição planejada de itens MRO, gestão dos contratos com fornecedores, controle de estoque e curva ABC/XYZ. A integração SIGMA EAM ↔ ERP é o canal de comunicação técnico, mas a coordenação humana é igualmente crítica.

### 16.8 Controladoria

Apoia tecnicamente os cálculos de custo de downtime, CMVR, ROI de projetos e variação orçamentária. Valida as premissas financeiras das análises técnicas e participa do Comitê Executivo. Em programas maduros, exerce a função de gatekeeper de ROI: projetos sem business case técnico-financeiro robusto não recebem investimento.

### 16.9 Cadência de reuniões recomendada

Reunião	Frequência	Participantes	Foco
Comitê Executivo	Trimestral	Diretoria + Gerente Programa	KPIs estratégicos, CAPEX, direcionamento
Comitê Técnico de Confiabilidade	Quinzenal	Engenharia + PCM + Operação	RCA, FMEA, planos, preditiva
Reunião de PCM	Semanal	Planejadores + Líderes	Backlog, programação, indicadores
Reunião de Equipe	Diária (15 min)	Líder + Técnicos	Programação do dia, segurança, OS críticas
Revisão de Indicadores	Mensal	Gerente Programa + Coord. PCM	MTBF, MTTR, SC, Wrench Time, custos

## Capítulo 17 — Roadmap de Implantação em 24 Meses

O roadmap apresentado divide a jornada em quatro fases sequenciais, alinhadas à priorização GUT/Pareto descrita na Parte II. Cada fase tem objetivos, entregas e indicadores claros de avanço.

Roadmap de Implantação — Cronograma de 24 Meses

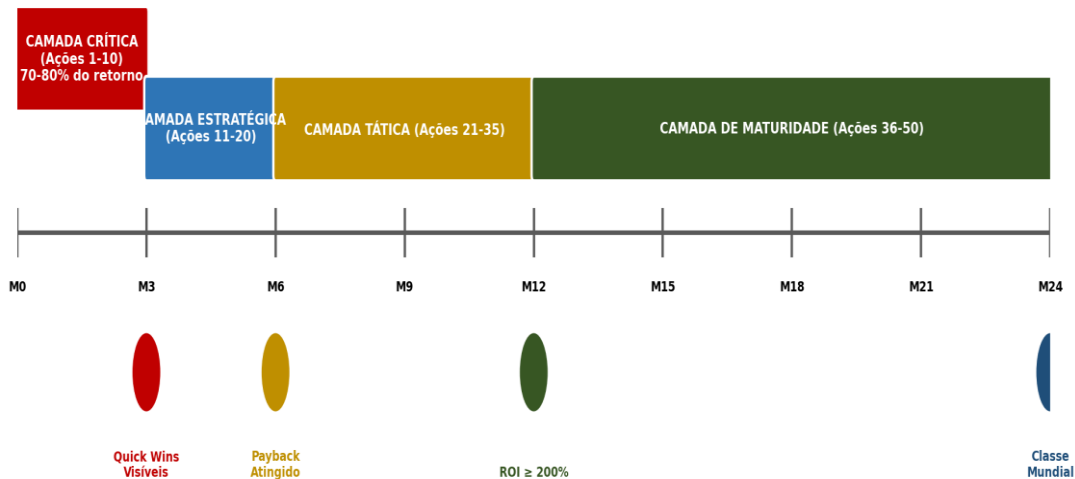


Figura 17.1 — Roadmap consolidado de 24 meses (4 fases)

### 17.1 Fase 1 — Fundação (Meses 1 a 3)

#### Objetivo principal

Implantar e parametrizar o SIGMA EAM, estabelecer governança, capacitar a equipe inicial, padronizar o cadastro mestre de ativos e materiais, e iniciar a coleta estruturada de dados.

#### Entregas da fase

- SIGMA EAM operacional em ambiente produtivo, com todos os usuários habilitados.
- Cadastro mestre de ativos com taxonomia completa (planta, área, sistema, equipamento, componente).
- Cadastro de materiais classificado em curva ABC e XYZ.
- Estrutura de centros de custo e responsabilidades atribuídas.
- Procedimento de apontamento de OS treinado em 100% da equipe.
- Comitê Executivo e Comitê Técnico instituídos formalmente.
- Linha de base (baseline) dos indicadores apurada e documentada.

#### Ações em foco

Ações #1 (mix de manutenção — estabelecer baseline), #4 (MTBF — habilitar cálculo), #6 (custo de downtime — calcular e cadastrar), #8 (schedule compliance — começar a medir), #15 (curva ABC), #22 (tempo padrão por serviço).

### 17.2 Fase 2 — Camada Crítica (Meses 4 a 9)

#### Objetivo principal

Executar plenamente as 10 ações da Camada Crítica, atingindo melhorias mensuráveis nos indicadores-chave e gerando os primeiros resultados financeiros.

#### Entregas da fase

- Análise de Pareto dos modos de falha concluída e top 10 crônicas em projeto de eliminação.

- Custo de downtime apurado e divulgado mensalmente.
- Schedule Compliance acompanhado semanalmente; meta provisória 65%.
- Estoque MRO racionalizado: obsoletos identificados e em processo de liquidação.
- Matriz ABC x XYZ implantada e governando políticas de estoque.
- Previsão de demanda alimentando Compras com horizonte de 90 dias.
- Mix de manutenção: queda de 10 a 15 pontos percentuais em corretiva.

#### **Resultado financeiro esperado da fase**

30% a 40% do ganho anual projetado já materializado, ainda na primeira metade do programa. Payback do investimento total deve ocorrer nesta fase.

### **17.3 Fase 3 — Camadas Estratégica e Tática (Meses 10 a 18)**

#### **Objetivo principal**

Consolidar os ganhos da Camada Crítica e expandir a maturidade analítica com as Camadas Estratégica e Tática (25 ações). Iniciar o programa preditivo para ativos críticos identificados.

#### **Entregas da fase**

- MTTR reduzido em 20%+ nos top 10 modos de falha (LUPs implantadas).
- Backlog estabilizado em 2 a 4 semanas por especialidade.
- Programa de RCA estruturada operando com cadência quinzenal.
- Periodicidade dos planos preventivos ajustada com base em MTBF real.
- FMEA dos ativos classe A alimentado com dados históricos.
- Programa piloto de preditiva (vibração + termografia) em ativos críticos selecionados.
- Wrench Time medido e em trajetória ascendente (meta intermediária: 45%).
- Schedule Compliance estabilizado em 80%+.

#### **Resultado financeiro esperado da fase**

70% a 80% do ganho anual projetado materializado. Indicadores estabilizados em padrão classe média mundial.

### **17.4 Fase 4 — Maturidade (Meses 19 a 24+)**

#### **Objetivo principal**

Atingir maturidade analítica avançada, com aplicação das 15 ações da Camada de Maturidade. Operar em regime de melhoria contínua autossustentável.

#### **Entregas da fase**

- Análise de Weibull aplicada aos componentes críticos.
- RCM aplicado em pelo menos 30% dos ativos classe A.
- CMVR calculado e monitorado para todos os ativos classe A.
- Decisão substituir vs. recuperar formalizada e suportando CAPEX.
- Programa preditivo escalado para 60%+ dos ativos críticos.
- Migração TBM → CBM iniciada em famílias adequadas.
- Schedule Compliance consolidado em > 85%.
- Wrench Time em > 55%.
- ROI total acumulado: 500%+ desde o início do programa.

#### **Resultado financeiro esperado da fase**

100% do ganho anual projetado materializado, com tendência de novo patamar de crescimento via Camada de Maturidade. Início da reflexão sobre maturidade nível 5 (digital twin, prescritiva).

## 17.5 Marcos de avaliação

Marco	Quando	Critério de sucesso
Go-Live SIGMA EAM	Mês 3	100% das OS registradas no sistema
Primeira virada do mix	Mês 6	Corretiva $\leq$ 55%; Preventiva $\geq$ 40%
Payback do investimento	Mês 6-8	Ganhos acumulados $\geq$ Investimento total
Backlog saudável	Mês 12	2 a 4 semanas por especialidade
SC classe mundial	Mês 18	Schedule Compliance $\geq$ 85% por 3 meses
MTBF +20%	Mês 18	Crescimento MTBF nos ativos classe A
ROI 500%	Mês 24	Ganho acumulado $\geq$ 5 $\times$ Investimento

## Capítulo 18 — Cenário Comparativo: Antes vs. Depois

Para consolidar a perspectiva integrada dos ganhos, esta seção apresenta a comparação entre o cenário típico anterior ao programa e o cenário projetado após 24 meses de execução disciplinada das 50 ações.

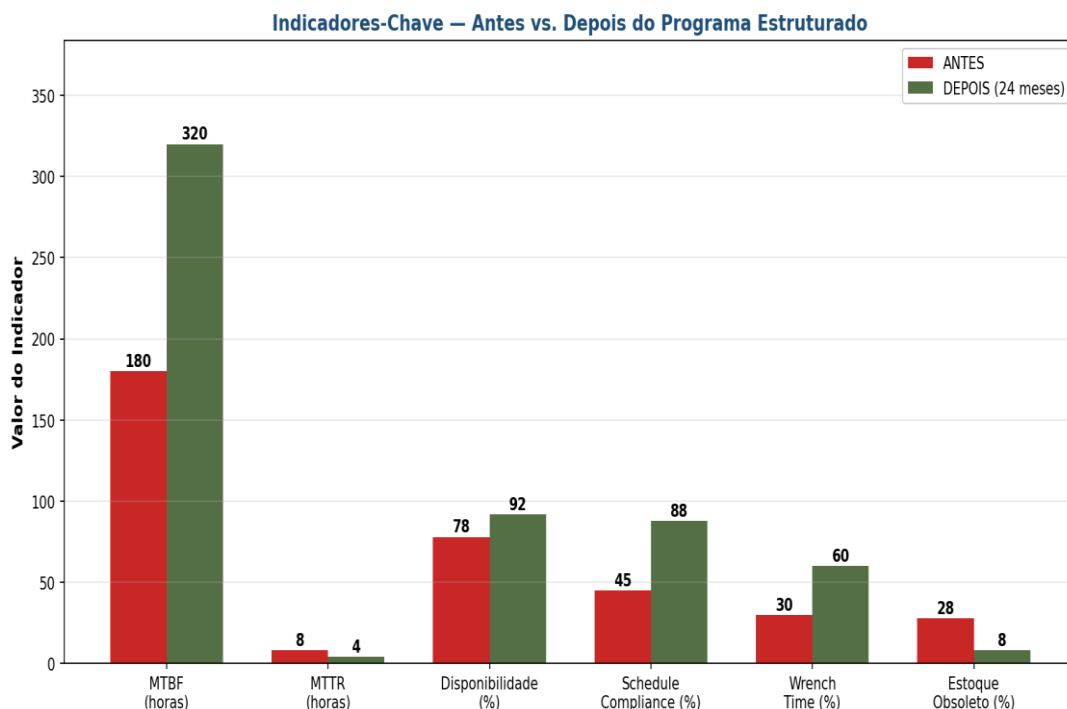


Figura 18.1 — Comparativo de KPIs em 6 dimensões (antes vs. depois)

### 18.1 Quadro comparativo geral

Indicador	Antes (típico)	Depois (24 meses)	Varição
Mix Corretiva / Preventiva	65% / 30%	20% / 65%	↓ 45 pts em corretiva
% Preditiva	5%	15%	↑ 10 pts
MTBF (ativos classe A)	Baseline (100%)	150% a 180%	↑ 50% a 80%
MTTR (top 10 modos)	Baseline (100%)	70% a 80%	↓ 20% a 30%
Disponibilidade (classe A)	78% a 84%	92% a 96%	↑ 8 a 14 pts
Schedule Compliance	55% a 65%	85% a 92%	↑ 25 a 30 pts
Wrench Time	25% a 35%	55% a 65%	↑ 25 a 30 pts
Backlog (semanas)	5 a 8	2 a 4	↓ 50%
Índice de Retrabalho	8% a 14%	< 3%	↓ 70%
% Compras Emergenciais	30% a 45%	< 15%	↓ 50% a 65%
% Estoque Obsoleto	20% a 30%	< 10%	↓ 50% a 70%
Custo Manutenção / Faturamento	5% a 8%	3,5% a 5,5%	↓ 25% a 35%

### 18.2 Impacto financeiro consolidado

Considerando a empresa-tipo média dos cinco segmentos analisados (R\$ 250 milhões de faturamento, R\$ 12 milhões de custo anual de manutenção), o impacto integrado do programa após 24 meses pode ser sintetizado em quatro dimensões financeiras.

Dimensão	Ganho Anual (R\$)	% do Custo Atual
Redução do custo total de manutenção	2.400.000 a 4.200.000	20% a 35%
Liberação de capital em estoque MRO	1.500.000 a 3.000.000 (uma vez)	—
Aumento de receita por disponibilidade	1.800.000 a 3.500.000	—
Redução de multas e batches rejeitados	200.000 a 1.700.000	—
Total anualizado (recorrente)	<b>4.400.000 a 9.400.000</b>	—

### 18.3 Impactos intangíveis

Além dos ganhos quantificáveis, o programa entrega impactos intangíveis de elevado valor estratégico:

- Cultura data-driven: a tomada de decisão baseada em evidências substitui o achismo e a opinião do mais experiente.
- Redução do turnover técnico: profissionais valorizam ambientes estruturados, com reconhecimento objetivo de desempenho.
- Auditoria simplificada (cGMP, ISO 55001, ISO 9001): a rastreabilidade do SIGMA EAM atende às exigências documentais.
- Segurança operacional: 80% dos acidentes em manutenção ocorrem em modo corretivo emergencial — reduzir corretiva = reduzir risco.
- Imagem empresarial: empresas com OEE acima de 85% atraem clientes corporativos e mantêm-se em RFP competitivos.
- Capacidade de absorver crescimento sem expansão de CAPEX: a disponibilidade adicional gerada equivale à liberação de capacidade produtiva.

## Capítulo 19 — Conclusão Estratégica

O percurso analítico apresentado neste documento converge para uma conclusão objetiva: a transformação da gestão da manutenção a partir dos dados históricos do SIGMA EAM não é um projeto opcional de melhoria — é a transição obrigatória entre dois modelos operacionais incomensuráveis em termos de custo, segurança, produtividade e competitividade.

O modelo reativo, dominante na maioria das plantas industriais brasileiras de pequeno e médio porte, opera com custos 30% a 50% superiores ao modelo planejado, com paradas imprevistas 2 a 4 vezes maiores, com capital imobilizado em estoques 20% a 40% acima do necessário, e com produtividade da equipe inferior em 30% a 50%. Não se trata de aspiração técnica: trata-se de sobrevivência em mercados onde a margem operacional opera, frequentemente, em escala unidigital.

O modelo de gestão centrada em dados, sustentado por CMMS/EAM disciplinado e por governança técnica adequada, entrega resultados consistentes em horizonte curto (payback em 3 a 6 meses) e crescentes em horizonte longo (ROI acumulado superior a 500% em 24 meses, com tendência de crescimento sustentado pela maturidade analítica). Estes números não são otimismo de fornecedor: são a média conservadora de estudos compilados por McKinsey, Deloitte, Aberdeen Group, A.T. Kearney e demais fontes citadas neste documento.

### Os três princípios da jornada

Três princípios guiam a execução bem-sucedida de um programa desta natureza.

#### **Primeiro princípio — Disciplina antes de sofisticação**

Tecnologia avançada (machine learning, IoT, digital twin) só gera resultado em organizações com disciplina básica de apontamento de OS, cadastro estruturado de ativos e cumprimento de programação. Programas que pulam etapas em busca de modernidade fracassam em 18 meses. As primeiras 10 ações da Camada Crítica são quase inteiramente operacionais — não exigem nenhuma tecnologia além daquela já presente no SIGMA EAM. Mas exigem disciplina. Sem isso, nenhuma camada superior funciona.

#### **Segundo princípio — Sequência antes de simultaneidade**

Atacar simultaneamente todas as 50 ações é a forma mais eficiente conhecida de fracassar. A priorização GUT/Pareto não é uma sugestão de leitura: é a estrutura de execução. As 10 ações da Camada Crítica devem estar maduras antes do início da Estratégica. A Estratégica antes da Tática. A Tática antes da Maturidade. Esta sequenciação não é arbitrária — reflete a ordem natural em que as capacidades organizacionais se constroem.

#### **Terceiro princípio — Governança antes de ferramenta**

O SIGMA EAM é uma plataforma de classe industrial, robusta, parametrizável e madura. Mas nenhum sistema, isoladamente, transforma uma operação. O que transforma é a combinação de (a) ferramenta tecnológica adequada, (b) governança técnica clara (Comitês, papéis, cadência de reuniões) e (c) cultura de melhoria contínua baseada em dados. A ferramenta é necessária — não suficiente.

### A questão para a Diretoria

Diante dos números apresentados — ROI entre 607% e 905% em 24 meses, payback inferior a 4 meses em todos os cinco segmentos analisados, redução de 20% a 35% no custo de manutenção, liberação de R\$ 1,5 a R\$ 3 milhões em capital de giro — a questão estratégica a ser respondida pela Diretoria não é se vale a pena investir em um programa estruturado de gestão da manutenção apoiado pelo SIGMA EAM. A questão é: quanto custa, em valor presente, a postergação de cada mês desta decisão?

A resposta, calculada para a empresa-tipo média dos cinco segmentos analisados, oscila entre R\$ 370 mil e R\$ 780 mil por mês de adiamento. Em horizonte anual, entre R\$ 4,4 milhões e R\$ 9,4 milhões. Nenhuma outra decisão operacional disponível à Diretoria Industrial apresenta este perfil de retorno.

***Quem tenta fazer tudo, não termina nada.  
Quem ataca os 20% certos, conquista 80% do resultado.***

— Rede Industrial — SIGMA EAM —

# Anexos

## Anexo A — Glossário de Termos Técnicos

Sigla / Termo	Definição
Backlog	Volume de OS pendentes, expresso em horas-homem por especialidade
CAPEX	Capital Expenditure — investimento em ativos imobilizados
CBM	Condition Based Maintenance — manutenção baseada em condição
cGMP	current Good Manufacturing Practices — boas práticas de fabricação
CMMS	Computerized Maintenance Management System — sistema de gestão da manutenção
CMVR	Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição (% a.a.)
CV	Coeficiente de Variação — desvio-padrão dividido pela média (%)
DILO	Day In the Life Of — estudo de tempos por observação direta
EAM	Enterprise Asset Management — gestão de ativos empresariais
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis — análise de modos e efeitos de falha
GUT	Gravidade × Urgência × Tendência — matriz de priorização
KPI	Key Performance Indicator — indicador-chave de desempenho
LUP	Lição de Um Ponto — procedimento padronizado de uma tarefa
MRO	Maintenance, Repair and Operations — materiais de manutenção
MTBF	Mean Time Between Failures — tempo médio entre falhas (h)
MTTF	Mean Time To Failure — tempo médio até falhar (componentes descartáveis)
MTTR	Mean Time To Repair — tempo médio de reparo (h)
NPR	Número de Prioridade de Risco (FMEA) = S × O × D
OEE	Overall Equipment Effectiveness — Disp. × Perf. × Qualidade
OS	Ordem de Serviço — instrumento formal de trabalho da manutenção
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção — função do PCM
RCA	Root Cause Analysis — análise de causa raiz
RCM	Reliability Centered Maintenance — manutenção centrada em confiabilidade
ROI	Return on Investment — retorno sobre investimento (%)
Schedule Compliance	% de OS executadas conforme programadas
SIF	Serviço de Inspeção Federal — autoridade sanitária
SKU	Stock Keeping Unit — código único de item de estoque
SLA	Service Level Agreement — acordo de nível de serviço
TBM	Time Based Maintenance — manutenção por tempo

Sigla / Termo	Definição
TCO	Total Cost of Ownership — custo total de propriedade
VPL	Valor Presente Líquido — método de avaliação financeira
Weibull	Distribuição estatística usada em análise de confiabilidade
Wrench Time	% efetivo do tempo executando manutenção

## Anexo B — Referências e Benchmarks

Os dados, faixas de ganho, fórmulas e ROIs apresentados neste documento são baseados em referências consolidadas da literatura técnica internacional e em estudos públicos de consultoria estratégica.

### Estudos consolidados de consultoria

- McKinsey & Company — Maintenance 4.0: redução de 10% a 40% no custo total de manutenção via uso intensivo de dados. Manutenção preditiva com IA reduz downtime em até 50% e estende vida útil em até 40%.
- Deloitte Insights — Predictive Maintenance and the Smart Factory: manutenção corretiva emergencial custa em média 50% mais que manutenção planejada; smart factory aumenta produtividade da manutenção em 20%.
- A.T. Kearney / Industry Week Maintenance Study: incremento de 28,3% em produtividade da equipe; 20,1% de redução em downtime; 17,8% de redução em estoque MRO; ROI de 545% para programas estruturados de preventiva.
- Aberdeen Group — Asset Performance Management: redução de 27% em downtime médio para empresas com CMMS maduro.
- Siemens — True Cost of Downtime 2024: custo médio anual de downtime em planta industrial de grande porte: US\$ 253 milhões.
- U.S. Department of Energy — Operations & Maintenance Best Practices Guide: manutenção preditiva reduz custos em até 40% vs. operação reativa.

### Normas técnicas referenciadas

- ISO 55000 / 55001 / 55002 — Asset Management — Sistema de gestão de ativos.
- SAE JA1011 — Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
- SAE JA1012 — A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
- ISO 10816 — Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration.
- ABNT NBR 5462 — Confiabilidade e Manutenibilidade.
- SMRP Best Practices Guidelines — Society for Maintenance & Reliability Professionals.

### Bibliografia técnica clássica

- Moubray, J. — Reliability-Centered Maintenance, 2nd Edition. Industrial Press.
- Mobley, R. K. — An Introduction to Predictive Maintenance, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann.
- Smith, R.; Hawkins, B. — Lean Maintenance. Elsevier.
- Wireman, T. — Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. Industrial Press.
- Kardec, A.; Nascif, J. — Manutenção: Função Estratégica. Qualitymark.

## Anexo C — Equação consolidada do ROI

Para conveniência do leitor, apresentam-se aqui as equações consolidadas usadas nos cálculos de ROI da Parte III.

---

$$\begin{aligned} \text{Ganho Anual Total} &= \Sigma (\text{Ganhos por Vetor}) = \text{Vetores } 1 \text{ a } 7 \\ \text{Ganho } 24 \text{ meses} &= \text{Ganho Anual} \times 2 \text{ (Linearidade simplificada)} \\ \text{ROI (24m)} &= (\text{Ganho } 24\text{m} - \text{Investimento Total}) \div \text{Investimento Total} \times 100 \\ \text{Payback (meses)} &= \text{Investimento Total} \div (\text{Ganho Anual} \div 12) \\ \text{VPL (24m, taxa} &= 12\% \text{ a.a.)} = \Sigma [\text{Ganho\_ano\_n} \div (1+\theta,12)^n] - \text{Investimento Total} \end{aligned}$$

---

As equações acima utilizam aproximação linear para o crescimento dos ganhos ao longo do tempo. Em modelos mais sofisticados, recomenda-se aplicar a curva de adoção em S — com 30% do ganho realizado no primeiro semestre, 60% no segundo, 90% no terceiro e 100% no quarto. Esta refinação afasta-se ligeiramente para baixo nas projeções, mas mantém ROI superior a 500% em todos os cinco segmentos analisados.