

MANUTENÇÃO PREDITIVA: O QUE É, COMO FUNCIONA, TÉCNICAS E CRITÉRIOS DE APLICAÇÃO

Manutenção preditiva: entenda como funciona, técnicas, intervalo P-F, criticidade, qualidade dos dados e critérios de Engenharia para transformar condição em decisão.

SUMÁRIO

1. COMO A MANUTENÇÃO PREDITIVA FUNCIONA NA PRÁTICA	3
2. O QUE A MANUTENÇÃO PREDITIVA REALMENTE PREVÊ	6
3. MANUTENÇÃO PREDITIVA, PREVENTIVA E BASEADA EM CONDIÇÃO NÃO SÃO A MESMA COISA	6
4. QUAIS TÉCNICAS PODEM SER UTILIZADAS	7
5. O INTERVALO P-F E A FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO	8
6. CRITICIDADE E RISCO DEFINEM ONDE A PREDITIVA GERA MAIS VALOR	10
7. QUALIDADE DOS DADOS É PARTE DO PROBLEMA DE ENGENHARIA	10
8. DA ANOMALIA AO DIAGNÓSTICO TÉCNICO	11
9. APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	11
10. QUANDO A MANUTENÇÃO PREDITIVA IDENTIFICA UM PROBLEMA QUE EXIGE PROJETO	12
11. GOVERNANÇA DE SERVIÇOS E FORNECEDORES	14
12. COMO ESTRUTURAR UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA	14
13. COMO MEDIR SE O PROGRAMA ESTÁ FUNCIONANDO	14
14. QUANDO CONTRATAR ENGENHARIA ESPECIALIZADA	15
15. CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
15.0.1. Soluções relacionadas	17
15.0.2. Serviços relacionados	17
15.0.3. Conteúdos principais sobre o tema	17
15.0.4. Conteúdos técnicos correlatos	17

Manutenção preditiva é uma estratégia de manutenção baseada na avaliação sistemática da condição e do desempenho de um ativo para antecipar a necessidade de intervenção antes que uma falha funcional ocorra. Em vez de executar uma tarefa apenas porque determinado intervalo de tempo venceu, a decisão é apoiada por sinais reais de degradação, tendências, medições, inspeções e análise técnica.

Na terminologia clássica da ABNT NBR 5462, a manutenção preditiva utiliza técnicas sistemáticas de análise e meios de supervisão ou amostragem para reduzir intervenções preventivas desnecessárias e diminuir a manutenção corretiva. A abordagem contemporânea de gestão de ativos amplia esse raciocínio: a ABNT NBR ISO 55001:2024 trata a ação preditiva como suporte à decisão sobre o momento adequado para manutenção, renovação, substituição ou desativação, relacionando condição, desempenho, riscos, oportunidades e custos.

Por isso, manutenção preditiva não significa simplesmente instalar sensores ou realizar termografia. Um programa só é tecnicamente consistente quando transforma dados confiáveis em diagnóstico, avaliação de criticidade e decisão de Engenharia. Em alguns ativos, a melhor decisão será continuar operando e monitorar; em outros, antecipar uma intervenção; em situações críticas, desenvolver um projeto de adequação, revisar proteções, planejar uma parada, substituir um ativo ou alterar a própria estratégia de manutenção.

Ela é especialmente útil quando existe um mecanismo de degradação detectável antes da perda da função requerida e quando o intervalo disponível entre a identificação da anomalia e a falha permite analisar, planejar e executar uma resposta compatível com o risco. Quando a falha é essencialmente aleatória, não há variável de condição tecnicamente correlacionada ou o custo de monitoramento não se justifica, outras estratégias podem ser mais adequadas.

1. COMO A MANUTENÇÃO PREDITIVA FUNCIONA NA PRÁTICA

A lógica começa pela função que o ativo precisa desempenhar e pelos modos de falha capazes de comprometer essa função. Só depois são definidos os parâmetros que realmente podem revelar degradação. Temperatura, vibração, resistência de isolamento, descargas parciais, qualidade do óleo, ultrassom, corrente elétrica, pressão, vazão ou outras grandezas não têm valor por si mesmas: elas se tornam úteis quando possuem relação conhecida com um mecanismo de falha e são analisadas dentro das condições reais de operação.

Uma medição isolada raramente é suficiente. O resultado precisa ser comparado com critérios de aceitação, histórico, tendência, condição de carga, ambiente, características do ativo e, quando aplicável, referências do fabricante e requisitos de projeto. É essa contextualização que permite separar uma variação normal de processo de uma degradação que exige investigação.

Fluxo da manutenção preditiva

O diagrama mostra um ativo em operação, a coleta e validação de dados de condição, a análise de anomalias, o diagnóstico, a avaliação de criticidade e as possíveis decisões de Engenharia.

```
#a3a-diagram-1{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;fill:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);}@keyframes
edge-animation-frame{from{stroke-dashoffset:0;}}@keyframes
dash{to{stroke-dashoffset:0;}}#a3a-diagram-1 .edge-animation-slow{stroke-dasharray:9,5!important;stroke-dashoffset:900;animation:dash 50s linear
infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-1 .edge-animation-fast{stroke-dasharray:9,5!important;stroke-dashoffset:900;animation:dash 20s linear
infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-1 .error-icon{fill:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);}#a3a-diagram-1 .error-text{fill:#000000;stroke:#000000;}#a3a-diagram-1
.edge-thickness-normal{stroke-width:1px;}#a3a-diagram-1
.edge-thickness-thick{stroke-width:3.5px;}#a3a-diagram-1
.edge-pattern-solid{stroke-dasharray:0;}#a3a-diagram-1
.edge-thickness-invisible{stroke-width:0;fill:none;}#a3a-diagram-1
.edge-pattern-dashed{stroke-dasharray:3;}#a3a-diagram-1
.edge-pattern-dotted{stroke-dasharray:2;}#a3a-diagram-1 .marker{fill:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-1
.marker.cross{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-1
svg{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;}#a3a-diagram-1
p{margin:0;}#a3a-diagram-1 .label{font-family:Roboto,sans-serif;color:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);}#a3a-diagram-1 .cluster-label text{fill:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-1 .cluster-label span{color:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-1 .cluster-label span
p{background-color:transparent;}#a3a-diagram-1 .label text,#a3a-diagram-1
span{fill:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);color:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);}#a3a-diagram-1
.node rect,#a3a-diagram-1 .node circle,#a3a-diagram-1 .node ellipse,#a3a-diagram-1 .node
polygon,#a3a-diagram-1 .node path{fill:var(--a3a-diag-fill, #eef2fd);stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:1px;}#a3a-diagram-1
.rough-node .label text,#a3a-diagram-1 .node .label text,#a3a-diagram-1 .image-shape
.label,#a3a-diagram-1 .icon-shape .label{text-anchor:middle;}#a3a-diagram-1 .node .katex
path{fill:#000;stroke:#000;stroke-width:1px;}#a3a-diagram-1 .rough-node
.label,#a3a-diagram-1 .node .label,#a3a-diagram-1 .image-shape .label,#a3a-diagram-1
```

```
.icon-shape .label{text-align:center;}#a3a-diagram-1
.node.clickable{cursor:pointer;}#a3a-diagram-1 .root .anchor path{fill:var(--a3a-diag-stroke,
#2e42a2)!important;stroke-width:0;stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-1
.arrowheadPath{fill:var(--a3a-diag-stroke, #0b0b0b);}#a3a-diagram-1 .edgePath
.path{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:2.0px;}#a3a-diagram-1
.flowchart-link{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);fill:none;}#a3a-diagram-1
.edgeLabel{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;}#a3a-diagram-1 .edgeLabel
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);}#a3a-diagram-1 .edgeLabel
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);}#a3a-diagram-1 .labelBkg{background-color:rgba(255, 255, 255,
0.5);}#a3a-diagram-1 .cluster rect{fill:var(--a3a-diag-surface,
#f8f8f8);stroke:var(--a3a-diag-border, #e2e8f0);stroke-width:1px;}#a3a-diagram-1 .cluster
text{fill:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-1 .cluster
span{color:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-1 div.mermaidTooltip{position:abs
olute;text-align:center;max-width:200px;padding:2px;font-family:Roboto,sans-serif;font-siz
e:12px;background:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);border:1px solid hsl(0, 0%,
90%);border-radius:2px;pointer-events:none;z-index:100;}#a3a-diagram-1
.flowchartTitleText{text-anchor:middle;font-size:18px;fill:var(--a3a-diag-text,
#0a0a0a);}#a3a-diagram-1 rect.text{fill:none;stroke-width:0;}#a3a-diagram-1
.icon-shape,#a3a-diagram-1 .image-shape{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;}#a3a-diagram-1 .icon-shape p,#a3a-diagram-1 .image-shape
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);padding:2px;}#a3a-diagram-1
.icon-shape rect,#a3a-diagram-1 .image-shape
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);}#a3a-diagram-1 .label-icon{display:inline-block;height:1em;overflow:visible;vertical
-align:-0.125em;}#a3a-diagram-1 .node .label-icon
path{fill:currentColor;stroke:revert;stroke-width:revert;}#a3a-diagram-1
:root{--mermaid-font-family:Roboto,sans-serif;}Ativo em operaçãoVariável de
condiçãoMedição ou inspeçãoValidação do dado e do contextoAnálise de tendência ou
anomaliaDiagnóstico técnicoAvaliação de criticidade e riscoDecisão de
EngenhariaContinuar e monitorarPlanejar intervençãoInspeccionar ou ensaiar
novamenteAdequar, renovar ou substituirFluxo técnico da manutenção preditiva, da
condição observada à decisão de Engenharia
```

O fluxo evidencia por que a predição deve estar integrada à [Engenharia de Manutenção](#). O objetivo final não é gerar um laudo de medição, mas produzir informação suficientemente confiável para decidir o que fazer, quando fazer e com qual prioridade.

2. O QUE A MANUTENÇÃO PREDITIVA REALMENTE PREVÊ

O termo pode induzir à ideia de que a técnica prevê com precisão a data exata da falha. Na prática, isso nem sempre é possível nem necessário. O que se busca é estimar a evolução de uma condição, reconhecer desvios e estabelecer uma janela de decisão melhor do que aquela disponível após a falha.

A própria ABNT NBR ISO 55001:2024 coloca a ação preditiva no contexto da tomada de decisão. O processo deve permitir avaliar ocorrências e impactos potenciais e determinar o momento mais adequado para intervir. Isso pode significar estimar vida remanescente, mas também pode significar reconhecer que determinado parâmetro está se afastando do comportamento esperado e que uma investigação precisa ser antecipada.

Em instalações complexas, a decisão ainda depende das consequências. Dois ativos com a mesma tendência de degradação podem receber respostas diferentes se um deles possuir redundância e baixo impacto operacional, enquanto o outro sustenta uma função crítica de segurança, produção ou continuidade do negócio.

3. MANUTENÇÃO PREDITIVA, PREVENTIVA E BASEADA EM CONDIÇÃO NÃO SÃO A MESMA COISA

Quando a organização coleta dados de condição, mas não possui critérios claros para transformar alarmes em prioridade, a tecnologia passa a gerar informação sem governança. A Engenharia de Manutenção estrutura criticidade, critérios de decisão, responsabilidades e tratamento dos achados para que a predição resulte em ações verificáveis.

[Estruturar a Engenharia de Manutenção](#)

As três abordagens se relacionam, mas não são sinônimos. A distinção é importante porque um plano de manutenção pode combinar diferentes políticas para diferentes ativos e modos de falha.

Estratégia	Principal gatilho	Base da decisão	Aplicação típica
Manutenção preventiva	Tempo, uso ou critério previamente definido	Periodicidade ou regra prescrita	Substituição, inspeção ou intervenção programada antes da falha
Manutenção preditiva	Tendência ou previsão obtida por análise sistemática	Dados de condição, comportamento e diagnóstico	Antecipar a necessidade e o momento de intervenção
Manutenção baseada em condição (CBM)	Estado observado do ativo	Limites, tendências, alarmes e avaliação de condição	Intervir quando a condição indica necessidade real

Estratégia	Principal gatilho	Base da decisão	Aplicação típica
Manutenção corretiva	Falha ou perda da função requerida	Ocorrência da pane	Restabelecer a função após a falha

Um programa maduro não escolhe uma única estratégia para toda a instalação. A escolha precisa considerar função requerida, modos de falha, detectabilidade, criticidade, segurança, impacto operacional, custo do ciclo de vida e capacidade de resposta da organização. Essa é a razão pela qual a [Manutenção Baseada em Condição](#) e a [Manutenção Centrada em Confiabilidade](#) são complementares, e não concorrentes, à manutenção preditiva.

4. QUAIS TÉCNICAS PODEM SER UTILIZADAS

Não existe uma tecnologia universal de manutenção preditiva. A técnica precisa ser selecionada conforme o fenômeno físico que precede a falha e a informação necessária para a decisão.

Técnica ou fonte de dados	O que pode revelar	Cuidados de interpretação
Termografia	Aquecimento anormal, assimetrias térmicas, conexões degradadas e sobrecargas aparentes	Carga, emissividade, reflexos, distância e condições ambientais alteram a leitura
Análise de vibração	Desbalanceamento, desalinhamento, folgas, defeitos em rolamentos e fenômenos rotativos	Exige referência de operação, posição de medição e análise espectral coerente
Ultrassom	Descargas, vazamentos, atrito e fenômenos não perceptíveis diretamente	Ruído de fundo, acesso e técnica de coleta influenciam o resultado
Análise de óleo e partículas	Contaminação, desgaste, degradação do lubrificante e condição interna	Amostragem, ponto de coleta e histórico são decisivos para comparabilidade
Ensaio elétrico	Alterações de isolamento, resistência, contatos, circuitos e componentes	Método, instrumento, condição de ensaio e critérios precisam ser documentados
Variáveis de processo	Desvios de corrente, temperatura, pressão, vazão, potência ou eficiência	Processo e carga podem explicar a variação sem existir falha do ativo
Monitoramento contínuo	Evolução temporal e eventos transitórios	Grande volume de dados não substitui arquitetura de alarmes, contexto e governança

Em sistemas elétricos, por exemplo, a termografia pode ser extremamente útil para identificar anomalias térmicas. Entretanto, uma imagem térmica não deve ser tratada automaticamente como diagnóstico final. É necessário correlacionar o achado com carregamento, conexões, projeto, proteção, histórico, criticidade e condições de operação antes de definir a ação.

5. O INTERVALO P-F E A FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO

Um conceito útil para estruturar tarefas preditivas é o intervalo entre o ponto em que uma falha potencial pode ser detectada e o momento em que ocorre a perda da função requerida. Esse intervalo é frequentemente representado como P-F.

A frequência de inspeção precisa permitir detectar a degradação com antecedência suficiente para confirmar o achado, analisar a severidade, planejar recursos, preparar documentação e executar a intervenção. Uma inspeção tecnicamente excelente, mas realizada com periodicidade maior do que a janela disponível para decisão, pode chegar tarde demais.

Intervalo entre falha potencial e falha funcional

O diagrama mostra a evolução da condição normal até o ponto em que uma anomalia é detectável, seguida de diagnóstico, planejamento e execução, ou da falha funcional caso a intervenção não ocorra.

```
#a3a-diagram-2{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;fill:var(--a3a-diag-text,#0a0a0a);}@keyframes edge-animation-frame{from{stroke-dashoffset:0;}}@keyframes dash{to{stroke-dashoffset:0;}}#a3a-diagram-2 .edge-animation-slow{stroke-dasharray:9,5!important;stroke-dashoffset:900;animation:dash 50s linear infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-2 .edge-animation-fast{stroke-dasharray:9,5!important;stroke-dashoffset:900;animation:dash 20s linear infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-2 .error-icon{fill:var(--a3a-diag-canvas,#ffffff);}#a3a-diagram-2 .error-text{fill:#000000;stroke:#000000;}#a3a-diagram-2 .edge-thickness-normal{stroke-width:1px;}#a3a-diagram-2 .edge-thickness-thick{stroke-width:3.5px;}#a3a-diagram-2 .edge-pattern-solid{stroke-dasharray:0;}#a3a-diagram-2 .edge-thickness-invisible{stroke-width:0;fill:none;}#a3a-diagram-2 .edge-pattern-dashed{stroke-dasharray:3;}#a3a-diagram-2 .edge-pattern-dotted{stroke-dasharray:2;}#a3a-diagram-2 .marker{fill:var(--a3a-diag-stroke,#2e42a2);stroke:var(--a3a-diag-stroke,#2e42a2);}#a3a-diagram-2 .marker.cross{stroke:var(--a3a-diag-stroke,#2e42a2);}#a3a-diagram-2 svg{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;}#a3a-diagram-2 p{margin:0;}#a3a-diagram-2 .label{font-family:Roboto,sans-serif;color:var(--a3a-diag-text,#0a0a0a);}#a3a-diagram-2 .cluster-label text{fill:var(--a3a-diag-title,#0124af);}#a3a-diagram-2 .cluster-label span{color:var(--a3a-diag-title,#0124af);}#a3a-diagram-2 .cluster-label span p{background-color:transparent;}#a3a-diagram-2 .label text,#a3a-diagram-2 span{fill:var(--a3a-diag-text,#0a0a0a);color:var(--a3a-diag-text,#0a0a0a);}#a3a-diagram-2 .node rect,#a3a-diagram-2 .node circle,#a3a-diagram-2 .node ellipse,#a3a-diagram-2 .node
```

```

polygon,#a3a-diagram-2 .node path{fill:var(--a3a-diag-fill,
#eef2fd);stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:1px;}#a3a-diagram-2
.rough-node .label text,#a3a-diagram-2 .node .label text,#a3a-diagram-2 .image-shape
.label,#a3a-diagram-2 .icon-shape .label{text-anchor:middle;}#a3a-diagram-2 .node .katex
path{fill:#000;stroke:#000;stroke-width:1px;}#a3a-diagram-2 .rough-node
.label,#a3a-diagram-2 .node .label,#a3a-diagram-2 .image-shape .label,#a3a-diagram-2
.icon-shape .label{text-align:center;}#a3a-diagram-2
.node.clickable{cursor:pointer;}#a3a-diagram-2 .root .anchor path{fill:var(--a3a-diag-stroke,
#2e42a2)!important;stroke-width:0;stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-2
.arrowheadPath{fill:var(--a3a-diag-stroke, #0b0b0b);}#a3a-diagram-2 .edgePath
.path{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:2.0px;}#a3a-diagram-2
.flowchart-link{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);fill:none;}#a3a-diagram-2
.edgeLabel{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;}#a3a-diagram-2 .edgeLabel
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);}#a3a-diagram-2 .edgeLabel
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);}#a3a-diagram-2 .labelBkg{background-color:rgba(255, 255, 255,
0.5);}#a3a-diagram-2 .cluster rect{fill:var(--a3a-diag-surface,
#f8f8f8);stroke:var(--a3a-diag-border, #e2e8f0);stroke-width:1px;}#a3a-diagram-2 .cluster
text{fill:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-2 .cluster
span{color:var(--a3a-diag-title, #0124af);}#a3a-diagram-2 div.mermaidTooltip{position:abs
olute;text-align:center;max-width:200px;padding:2px;font-family:Roboto,sans-serif;font-siz
e:12px;background:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);border:1px solid hsl(0, 0%,
90%);border-radius:2px;pointer-events:none;z-index:100;}#a3a-diagram-2
.flowchartTitleText{text-anchor:middle;font-size:18px;fill:var(--a3a-diag-text,
#0a0a0a);}#a3a-diagram-2 rect.text{fill:none;stroke-width:0;}#a3a-diagram-2
.icon-shape,#a3a-diagram-2 .image-shape{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;}#a3a-diagram-2 .icon-shape p,#a3a-diagram-2 .image-shape
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);padding:2px;}#a3a-diagram-2
.icon-shape rect,#a3a-diagram-2 .image-shape
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);}#a3a-diagram-2 .label-icon{display:inline-block;height:1em;overflow:visible;vertical
-align:-0.125em;}#a3a-diagram-2 .node .label-icon
path{fill:currentColor;stroke:revert;stroke-width:revert;}#a3a-diagram-2
:root{--mermaid-font-family:Roboto,sans-serif;}sem intervençãoCondição normalP:
anomalia detectávelConfirmação e diagnósticoPlanejamento da intervençãoExecução e
verificaçãoF: falha funcionalRelação conceitual entre detecção da falha potencial,
planejamento e falha funcional

```

A periodicidade, portanto, não deveria ser apenas copiada de uma tabela genérica. Ela precisa refletir a velocidade do mecanismo de degradação, a capacidade de detecção da técnica, a criticidade da função e o tempo necessário para mobilizar uma resposta segura.

6. CRITICIDADE E RISCO DEFINEM ONDE A PREDITIVA GERA MAIS VALOR

Monitorar tudo continuamente costuma ser economicamente ineficiente. O valor da preditiva aumenta quando a organização seleciona ativos e modos de falha nos quais antecipar uma decisão reduz exposição relevante a perda de produção, indisponibilidade, segurança, impacto ambiental, não conformidade ou custo de ciclo de vida.

A ABNT NBR ISO 55001:2024 exige que a gestão de ativos estabeleça processos de avaliação de riscos e considere a criticidade dos ativos em relação aos objetivos. Essa lógica evita dois extremos: utilizar técnicas sofisticadas em ativos de baixa consequência ou, no sentido oposto, deixar ativos críticos sujeitos apenas a manutenção reativa sem justificativa técnica.

A análise de criticidade deve relacionar consequência, probabilidade, função, redundância e capacidade de recuperação. Com isso, a estratégia de inspeção deixa de ser uma agenda uniforme e passa a refletir a exposição real da organização.

7. QUALIDADE DOS DADOS É PARTE DO PROBLEMA DE ENGENHARIA

Um programa preditivo depende de saber exatamente qual ativo foi medido, qual função ele suporta, qual é sua criticidade e quais documentos representam sua condição real. Quando cadastro, hierarquia ou documentação estão fragmentados, o diagnóstico técnico precisa começar pela estruturação dessas informações.

[Avaliar e estruturar a Gestão de Ativos](#)

Um programa preditivo pode produzir decisões ruins mesmo utilizando instrumentos de alta precisão. Isso ocorre quando faltam contexto, rastreabilidade ou consistência na coleta.

Uma temperatura, por exemplo, precisa ser associada ao ativo correto, ponto de medição, data, condição de carga, ambiente, instrumento, responsável, método e critério de avaliação. O mesmo vale para vibração, resistência, pressão, corrente ou qualquer outra grandeza. Sem essas relações, comparar resultados de períodos diferentes pode criar tendências artificiais.

A gestão dos dados deve também preservar evidências. A [Gestão de Ativos de Engenharia](#) permite estruturar identificação, hierarquia, criticidade, histórico e documentação para que inspeções e decisões não permaneçam desconectadas. Esse ponto é coerente com a ISO 55001:2024, que exige a determinação dos dados e informações necessários, seus atributos, unidades, qualidade, fontes e processos de coleta e integração.

8. DA ANOMALIA AO DIAGNÓSTICO TÉCNICO

Uma anomalia é um sinal de investigação, não uma ordem automática de substituição. A Engenharia precisa avaliar se o fenômeno é repetível, se a causa está no próprio ativo ou no sistema, se existe erro de medição, se a condição operacional explica o desvio e quais são as consequências de continuar operando.

Esse diagnóstico pode exigir novas medições, inspeção física, análise documental, consulta ao projeto, comparação com ativos similares, ensaios específicos ou uma [análise de falhas](#). Quando o problema é recorrente, técnicas como FMEA, FMECA e análise de causa podem revelar que o tratamento adequado não é aumentar a frequência de manutenção, mas corrigir uma deficiência de projeto, especificação, instalação, operação ou processo.

Essa distinção é central. Manutenção de alto nível não significa executar mais tarefas; significa compreender por que a função está sendo ameaçada e selecionar a resposta que cria mais valor ao longo do ciclo de vida.

9. APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Instalações elétricas oferecem diversas oportunidades para técnicas preditivas, mas também exigem uma visão sistêmica. Um aquecimento em conexão, uma elevação de corrente, uma degradação de isolamento ou um comportamento anormal de proteção pode ser consequência de problema local, sobrecarga, desequilíbrio, harmônicas, falha de coordenação, inadequação de projeto ou alteração no perfil de cargas.

Por isso, a inspeção deve dialogar com a documentação da instalação. Em ambientes sujeitos à NR-10, o estado documental, o Prontuário das Instalações Elétricas quando aplicável, procedimentos, diagramas e registros precisam acompanhar a realidade de campo. Da mesma forma, requisitos técnicos de instalações de baixa tensão, aterramento e proteção contra descargas atmosféricas precisam ser avaliados conforme as normas aplicáveis ao caso, sem transformar uma técnica preditiva em substituta de projeto, inspeção de conformidade ou análise de risco.

Quando existe divergência entre campo e documentação, uma [Due Diligence Técnica de Engenharia](#) pode ser necessária antes de estabelecer prioridades. O resultado pode alimentar atualização documental, plano de adequação, projetos elétricos, especificações, orçamento e contratação de intervenções.

10. QUANDO A MANUTENÇÃO PREDITIVA IDENTIFICA UM PROBLEMA QUE EXIGE PROJETO

Uma tendência de degradação nem sempre termina em uma ordem de manutenção. Em muitos casos, o achado revela uma causa sistêmica cuja solução depende de Engenharia.

Do achado preditivo à solução de EngenhariaO diagrama mostra como um achado de condição pode evoluir para diagnóstico, análise de risco, manutenção localizada, projeto ou renovação, seguindo quando necessário para especificação, procurement, fiscalização, comissionamento e documentação

```
final.#a3a-diagram-3{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;fill:var(--a3a-diag-text,
#0a0a0a);}@keyframes edge-animation-frame{from{stroke-dashoffset:0;}}@keyframes
dash{to{stroke-dashoffset:0;}}#a3a-diagram-3 .edge-animation-slow{stroke-dasharray:9,5!i
mportant;stroke-dashoffset:900;animation:dash 50s linear
infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-3 .edge-animation-fast{stroke-dasharray:9,5!im
portant;stroke-dashoffset:900;animation:dash 20s linear
infinite;stroke-linecap:round;}#a3a-diagram-3 .error-icon{fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);}#a3a-diagram-3 .error-text{fill:#000000;stroke:#000000;}#a3a-diagram-3
.edge-thickness-normal{stroke-width:1px;}#a3a-diagram-3
.edge-thickness-thick{stroke-width:3.5px;}#a3a-diagram-3
.edge-pattern-solid{stroke-dasharray:0;}#a3a-diagram-3
.edge-thickness-invisible{stroke-width:0;fill:none;}#a3a-diagram-3
.edge-pattern-dashed{stroke-dasharray:3;}#a3a-diagram-3
.edge-pattern-dotted{stroke-dasharray:2;}#a3a-diagram-3 .marker{fill:var(--a3a-diag-stroke,
#2e42a2);stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-3
.marker.cross{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);}#a3a-diagram-3
svg{font-family:Roboto,sans-serif;font-size:15px;}#a3a-diagram-3
p{margin:0;}#a3a-diagram-3 .label{font-family:Roboto,sans-serif;color:var(--a3a-diag-text,
#0a0a0a);}#a3a-diagram-3 .cluster-label text{fill:var(--a3a-diag-title,
#0124af);}#a3a-diagram-3 .cluster-label span{color:var(--a3a-diag-title,
#0124af);}#a3a-diagram-3 .cluster-label span
p{background-color:transparent;}#a3a-diagram-3 .label text,#a3a-diagram-3
span{fill:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);color:var(--a3a-diag-text, #0a0a0a);}#a3a-diagram-3
.node rect,#a3a-diagram-3 .node circle,#a3a-diagram-3 .node ellipse,#a3a-diagram-3 .node
polygon,#a3a-diagram-3 .node path{fill:var(--a3a-diag-fill,
```

```
#eef2fd);stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:1px;})#a3a-diagram-3
.rough-node .label text,#a3a-diagram-3 .node .label text,#a3a-diagram-3 .image-shape
.label,#a3a-diagram-3 .icon-shape .label{text-anchor:middle;})#a3a-diagram-3 .node .katex
path{fill:#000;stroke:#000;stroke-width:1px;})#a3a-diagram-3 .rough-node
.label,#a3a-diagram-3 .node .label,#a3a-diagram-3 .image-shape .label,#a3a-diagram-3
.icon-shape .label{text-align:center;})#a3a-diagram-3
.node.clickable{cursor:pointer;})#a3a-diagram-3 .root .anchor path{fill:var(--a3a-diag-stroke,
#2e42a2)!important;stroke-width:0;stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);})#a3a-diagram-3
.arrowheadPath{fill:var(--a3a-diag-stroke, #0b0b0b);})#a3a-diagram-3 .edgePath
.path{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);stroke-width:2.0px;})#a3a-diagram-3
.flowchart-link{stroke:var(--a3a-diag-stroke, #2e42a2);fill:none;})#a3a-diagram-3
.edgeLabel{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;})#a3a-diagram-3 .edgeLabel
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);})#a3a-diagram-3 .edgeLabel
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);})#a3a-diagram-3 .labelBkg{background-color:rgba(255, 255, 255,
0.5);})#a3a-diagram-3 .cluster rect{fill:var(--a3a-diag-surface,
#f8f8f8);stroke:var(--a3a-diag-border, #e2e8f0);stroke-width:1px;})#a3a-diagram-3 .cluster
text{fill:var(--a3a-diag-title, #0124af);})#a3a-diagram-3 .cluster
span{color:var(--a3a-diag-title, #0124af);})#a3a-diagram-3 div.mermaidTooltip{position:abs
olute;text-align:center;max-width:200px;padding:2px;font-family:Roboto,sans-serif;font-siz
e:12px;background:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);border:1px solid hsl(0, 0%,
90%);border-radius:2px;pointer-events:none;z-index:100;})#a3a-diagram-3
.flowchartTitleText{text-anchor:middle;font-size:18px;fill:var(--a3a-diag-text,
#0a0a0a);})#a3a-diagram-3 rect.text{fill:none;stroke-width:0;})#a3a-diagram-3
.icon-shape,#a3a-diagram-3 .image-shape{background-color:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);text-align:center;})#a3a-diagram-3 .icon-shape p,#a3a-diagram-3 .image-shape
p{background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);padding:2px;})#a3a-diagram-3
.icon-shape rect,#a3a-diagram-3 .image-shape
rect{opacity:0.5;background-color:var(--a3a-diag-canvas, #ffffff);fill:var(--a3a-diag-canvas,
#ffffff);})#a3a-diagram-3 .label-icon{display:inline-block;height:1em;overflow:visible;vertical
-align:-0.125em;})#a3a-diagram-3 .node .label-icon
path{fill:currentColor;stroke:revert;stroke-width:revert;})#a3a-diagram-3
:root{--mermaid-font-family:Roboto,sans-serif;}Achado de condiçãoDiagnóstico e
evidênciasAnálise de risco e criticidadeAção necessáriaManutenção localizadaProjeto ou
adequaçãoRenovação ou substituiçãoEspecificação e procurementImplantação e
fiscalizaçãoTestes, comissionamento e aceiteAs-built e gestão do ativoEncadeamento de
um achado preditivo até a solução de Engenharia quando a causa é sistêmica
```

É nesse ponto que a manutenção se conecta à Engenharia Consultiva. Uma anomalia recorrente em painéis pode exigir revisão de distribuição de cargas ou projeto de retrofit; problemas de disponibilidade podem justificar estudo de redundância; falhas repetidas em componentes podem demandar revisão de especificação; obsolescência pode exigir planejamento de renovação. A função da Engenharia é transformar evidência operacional em uma decisão tecnicamente justificável.

11. GOVERNANÇA DE SERVIÇOS E FORNECEDORES

Grande parte das medições preditivas pode ser executada por prestadores especializados. Terceirizar a coleta, porém, não transfere automaticamente a responsabilidade pela qualidade da decisão.

O contratante precisa definir escopo, métodos, ativos, condições de medição, critérios de aceitação, formato dos dados, evidências, responsabilidades e processo de tratamento dos achados. A ISO 55001:2024 dedica requisitos específicos aos processos, produtos, tecnologias e serviços providos externamente, incluindo definição de interfaces, responsabilidades, compartilhamento de conhecimento e monitoramento.

Essa governança é particularmente relevante quando diferentes fornecedores executam termografia, ensaios, manutenção, automação ou outras especialidades. Sem integração, cada relatório pode estar tecnicamente correto e ainda assim a organização não possuir uma visão consolidada dos riscos e prioridades.

12. COMO ESTRUTURAR UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

A implantação deve começar pelas decisões que o programa precisa suportar, e não pela compra de sensores. A sequência abaixo é uma referência de Engenharia e deve ser adaptada à criticidade e à complexidade da instalação.

O [Plano de Manutenção](#) é o local natural para consolidar essas definições no nível operacional, enquanto a política e os planos de gestão de ativos estabelecem os critérios de decisão em nível mais amplo.

13. COMO MEDIR SE O PROGRAMA ESTÁ FUNCIONANDO

O desempenho não deve ser avaliado apenas pelo número de inspeções realizadas ou pelo volume de alarmes. Indicadores precisam mostrar se a organização está detectando degradações úteis, tomando decisões com antecedência e reduzindo exposição a falhas relevantes.

Acompanhamentos como falhas funcionais evitadas, reincidência, tempo entre detecção e decisão, cumprimento de ações críticas, disponibilidade, MTBF, MTTR, custo de indisponibilidade e qualidade dos dados podem ser úteis conforme o tipo de ativo. O artigo sobre [Indicadores de Manutenção](#) detalha como estruturar KPIs sem confundir atividade executada com resultado de Engenharia.

O indicador adequado é aquele que ajuda a decidir. Uma organização pode aumentar o número de medições e, ao mesmo tempo, piorar sua gestão se os achados não forem priorizados, tratados e convertidos em ações verificáveis.

14. QUANDO CONTRATAR ENGENHARIA ESPECIALIZADA

A necessidade de apoio especializado aparece quando o problema ultrapassa a capacidade de uma rotina operacional isolada: ativos sem cadastro confiável, documentação desatualizada, critérios de manutenção não justificados, reincidência de falhas, relatórios de inspeção sem tratamento, backlog crítico, dúvidas de conformidade, modernizações ou necessidade de coordenar diversos fornecedores.

Nessas situações, o trabalho pode começar por vistoria, Due Diligence, levantamento cadastral, análise documental ou avaliação de riscos. A partir do diagnóstico, a Engenharia pode estruturar planos de ação, atualizar documentação, desenvolver projetos, preparar especificações, apoiar procurement, acompanhar execução, fiscalizar serviços, verificar evidências e conduzir testes e comissionamento.

Esse encadeamento preserva a independência técnica do contratante. Em vez de a solução ser definida exclusivamente pelo fornecedor que vende equipamento ou executa manutenção, os requisitos e critérios são estruturados a partir da necessidade do ativo e do risco do negócio — uma aplicação típica de Engenharia Consultiva e Owner's Engineering.

15. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Manutenção preditiva é uma disciplina de decisão baseada em condição. Sensores, termografia, vibração, ensaios e algoritmos são meios para observar o comportamento dos ativos; o valor surge quando essas evidências são transformadas em diagnóstico, risco, prioridade e ação tecnicamente justificável.

A abordagem mais madura combina confiabilidade, gestão de ativos, documentação, planejamento e governança. Ela também reconhece que alguns achados devem resultar em manutenção, enquanto outros exigem projeto, renovação, especificação, procurement, fiscalização ou comissionamento. É essa integração que transforma a manutenção

preditiva de uma atividade de inspeção em uma ferramenta efetiva de Engenharia e gestão do ciclo de vida.

Quando uma anomalia indica inadequação sistêmica, obsolescência ou risco que não pode ser tratado por uma intervenção localizada, o próximo passo deixa de ser manutenção e passa a ser Engenharia: diagnóstico, projeto, especificação, procurement, acompanhamento da implantação e comissionamento.

Solicitar uma Due Diligence Técnica de Engenharia

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5462:1994 – Confiabilidade e manutenibilidade – Terminologia. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 55001:2024 – Gestão de ativos – Sistemas de gestão – Requisitos. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/83054.html>.

[3] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Operations and Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency. Disponível em: <https://www.energy.gov/cmei/femp/articles/operations-and-maintenance-best-practices-guide-achieving-operational-efficiency>.

O que é manutenção preditiva? É a estratégia que utiliza avaliação sistemática da condição, medições, tendências e análise técnica para antecipar necessidades de intervenção antes da falha funcional, apoiando a decisão sobre quando e como agir. **Qual é a diferença entre manutenção preditiva e preventiva?** A preventiva é normalmente acionada por intervalos ou critérios previamente definidos. A preditiva utiliza informações sobre a condição e o comportamento do ativo para antecipar a necessidade e o momento de intervenção. **Termografia é manutenção preditiva?** A termografia é uma técnica que pode integrar um programa preditivo. A imagem térmica, isoladamente, não constitui toda a estratégia: o resultado precisa ser contextualizado, diagnosticado, priorizado e convertido em uma decisão de Engenharia. **Todo equipamento deve ter manutenção preditiva?** Não. A estratégia deve ser escolhida conforme função, modo de falha, detectabilidade, criticidade, risco, custo e capacidade de resposta. Para alguns ativos, manutenção preventiva ou corretiva planejada pode ser mais adequada. **O que é o intervalo P-F?** É a janela conceitual entre o ponto em que uma falha potencial se torna detectável e o momento em que ocorre a falha funcional. Ela ajuda a definir frequência de inspeção e antecedência necessária para análise e intervenção. **Quando uma anomalia preditiva exige um projeto de Engenharia?** Quando o achado revela causa sistêmica, inadequação de projeto, obsolescência, necessidade de mudança de capacidade,

proteção, redundância ou outra condição que não pode ser resolvida com uma ação localizada de manutenção.

15.0.1. Soluções relacionadas

15.0.2. Serviços relacionados

15.0.3. Conteúdos principais sobre o tema

15.0.4. Conteúdos técnicos correlatos

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.