

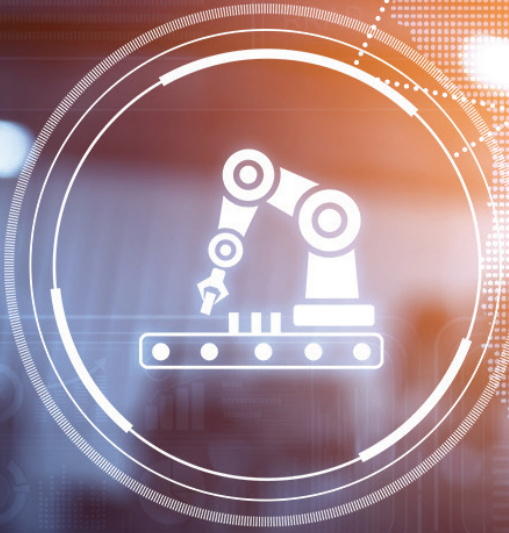
# Guia de Manutenção Preditiva

**C4IR** Brasil

CENTRO PARA A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

# C4IR Brasil

CENTRO PARA A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL



## Membros fundadores

---





---

**C4IR** Brasil

CENTRO PARA A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

## Comitê Executivo do C4IR Brasil

---

### Presidente

**Igor Nogueira Calvet**

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

### Vice-Presidente

**Francisco Soares**

Qualcomm

### Membros

**Conrado Leister**

Meta

**Luiz Tonisi**

Qualcomm

**Bruno Jorge Soares**

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

**Uallace Moreira Lima**

Secretaria de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

**Julio Silvestre**

Bracell

**Liedi Bernucci**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

**Jorge Mazzei**

AstraZeneca

**Jorge Lima**

Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo

**Saul Mendonça**

Eletrobras

**Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação**

## Coordenação

---

Aldo Russo

Erica da Cruz Novaes Gonçalves Dias

## Autores

---

Adriano Galindo Leal

Aldo Russo

Cristina Maria Ferreira da Silva

Douglas Bellomo Cavalcante

Erica da Cruz Novaes Gonçalves Dias

Fábio Rogério Lins Pereira

João Carlos Savio Cordeiro

João Carlos Mosquim

Kazuto Kawakita

Leandro Avanço

Marcos Antonio Simplício Junior

Maria Cristina Machado Domingues

Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo

Nilson Massami Taira

Olga Satomi Yoshida

Rafael Pavão

Ricardo José Rabelo

Dr. -Ing. Rodrigo Pastl Pontes

Sergio Inácio Ferreira

Vladimir Emiliano Moreira Rocha

## Agradecimentos

---

### **AstraZeneca**

Marina Garbi Lintz

Giovanna Ferreira Ignácio

### **Comunidade de projeto**

Tulio Duarte

Dr. -Ing. Rodrigo Pastl Pontes

Rafael Pavão

Paulo Roberto Santos

José Carlos Franceli

João Carlos Mosquim

Cassio Barbosa

### **IPT**

Adriano Galindo Leal

Mari Tomita

Mauro Kendi Noda

### **Logicalis**

Yassuki Takano

Fábio Jardim

Julio Frigo

### **Selco**

André Silva

Alexandre Batistela

Edner Carvalho

Rafael Hughes

### **SENAI**

Alexandre da Silva Saito

Edson Pereira da Silva

Letícia Francischini Rodrigues

Vanderlei Meireles

### **Teknikao**

Luciano Ponci

## Sumário

---

Sobre o C4IR Brasil	9
Prefácio	10
Apresentação	12
<b>Capítulo 1</b> A manutenção preditiva e sua importância	15
<b>Capítulo 2</b> Contexto da organização	25
<b>Capítulo 3</b> Processo de implementação de manutenção preditiva	31
<b>Capítulo 4</b> Obtenção e processamento dos dados	39
<b>Capítulo 5</b> Processo de predição de falhas	54
<b>Capítulo 6</b> Treinamento e desenvolvimento para manutenção preditiva	61
<b>Capítulo 7</b> Estudos de casos	66
Notas finais	86
Apêndice I	89
Referências	92



---

**C4IR** Brasil

CENTRO PARA A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL



## Sobre o C4IR Brasil

---

O Centro para a Quarta Revolução Industrial (C4IR Brasil) é resultado de uma parceria público-privada. Afiliado ao Fórum Econômico Mundial (WEF) em articulação com o Governo Federal, através do Ministério da Economia (ME) e do Governo do Estado de São Paulo, pela Secretaria do Desenvolvimento Econômico, conta ainda com diversos membros mantenedores provenientes do âmbito privado.

O C4IR tem como finalidade o desenvolvimento de ações voltadas à disseminação e adoção de tecnologias emergentes, especialmente no âmbito de governança tecnológica e políticas públicas. No Brasil, os projetos são desenvolvidos em três frentes: Internet das Coisas (IoT) e Transformação Urbana; Inteligência Artificial e Machine Learning e Política de Dados.

A elaboração deste Guia se deu a partir do empenho da equipe de IoT e Transformação Urbana, que articulou esforços entre os membros da comunidade criada para este fim, provenientes da academia, da indústria, com profissionais que atuam no setor público e privado.

A atuação em redes para a execução de projetos evidencia o papel do C4IR na busca por soluções amplas diante dos desafios de acelerar a transformação digital do ecossistema industrial, com especial atenção às pequenas e médias empresas.

Neste sentido, este Guia representa uma contribuição ao caminho trilhado no Brasil, de fortalecimento à adoção de tecnologias nas atividades empresariais e no estímulo ao surgimento de novos negócios.

Marcos Souza  
Diretor Executivo

## Prefácio

---

Acelerar o impacto da adoção de tecnologias da Quarta Revolução Industrial nas empresas continua sendo um desafio, especialmente nas de pequeno e médio porte. Nestas, comumente a utilização de soluções baseadas em internet das coisas, inteligência artificial, tecnologias em nuvem, dentre outras, se mantém baixa.

Para a inversão deste cenário, há superação de barreiras que partem desde o acesso às linhas de financiamento específicas a este fim, à clareza em relação ao retorno dos investimentos a serem realizados até às mudanças em infraestrutura e processos que a adoção de tecnologias acarretará.

Há de se enfatizar que a transformação digital nos negócios representa uma possibilidade de expandir perspectivas de atuação no mercado e de resolver problemas de uma maneira inovadora. A integração de componentes físicos e virtuais pode abrir caminhos para atuação em novos mercados e aprimoramento das atividades cotidianamente realizadas pelas organizações.

O contexto da COVID-19 demonstrou a relevância da adoção de uma cultura de transformação digital nos negócios. Ocorreram mudanças substanciais nas organizações, seja por inserção ou intensificação do *home office*, das vendas *online* ou alterações em seus processos de produção e gestão, por exemplo.

O aproveitamento dos benefícios e potenciais advindos da adoção tecnológica pode ter ainda efeitos amplos, não apenas nas organizações, mas em suas relações com funcionários, fornecedores e clientes. Do ponto de vista econômico e social, o estímulo à adoção de tecnologias emergentes pode contribuir para o impulsionamento de cadeias produtivas e favorecer empresas de portes distintos. Na indústria, essa perspectiva soma-se às alterações na dinâmica de produção mundial, na qual as políticas industriais pró-cadeias produtivas internas vêm adquirindo crescente relevância.

Assim, o cenário atual propicia janelas de oportunidades que podem contribuir para o avanço nas estruturas produtivas via adoção de tecnologias da Quarta Revolução Industrial. Por outro lado, o olhar para experiências bem-sucedidas em outros momentos históricos nos ensina que um conjunto de elementos nacionais e setoriais deve ser considerado para o estabelecimento de estratégias e planos de adoção tecnológica.

O grande valor deste Guia se dá inicialmente no estabelecimento de orientações para adoção de tecnologia, a partir de lições aprendidas na evolução da função manutenção e diante de novos desafios, como a ascensão do 5G, a utilização massiva de adoção de algoritmos de predição.

Evidencia-se ainda a relevância da atuação em redes, seja nas organizações e seus projetos interdepartamentais, como fora delas, através da atuação em comunidades colaborativas e estratégicas, do setor público e privado.

Todas essas características, alinhadas à busca contínua por conhecimento e melhorias nos processos, representam também o desafio de construir uma cultura organizacional em que os dados são uma ferramenta essencial não só para aperfeiçoar as operações como também para a acuracidade de decisões gerenciais.



André Silva  
Selco



Carlos Sánchez  
AstraZeneca



Liedi Léji Bariani  
IPT



Uallace Moreira Lima  
Ministério do Desenvolvimento,  
Indústria, Comércio e Serviços



Carlos Vieira  
Eletrobras



Jeff Merrit  
World Economic Forum

## Apresentação

---

No contexto da digitalização da sociedade, a Transformação Digital representa a adoção de tecnologias e sistemas computacionais para acompanhar as mudanças que vêm surgindo na sociedade. Nas empresas, isso significa a busca por maior inteligência, eficiência, competitividade, qualidade, agilidade, flexibilidade e sustentabilidade.

Atingir esses objetivos envolve o desenvolvimento de uma estratégia de digitalização como desdobramento de uma estratégia de negócio, o que implica a criação de uma visão sobre como o seu negócio irá se transformar por meio da adoção de tecnologias.

O primeiro passo para tal envolve o fato de a empresa ter um profundo conhecimento dos seus processos operacionais e de suas relações com clientes e fornecedores. Além de pensar em como esses processos e relações deveriam ser para que o objetivo estratégico possa ser eficazmente atingido. Nesse ponto, é muito importante que a organização se conscientize sobre um novo ativo fundamental no mundo digital: seus dados.

As organizações geram diariamente milhares de dados através dos sistemas computacionais que utilizam nas diversas atividades de seus negócios e muitos deles não têm o seu potencial de geração de valor explorado pelas empresas. No entanto, é imprescindível considerar várias condições, tais como: compreender quais dados são gerados; como são coletados; com que periodicidade e volume; quais são os dados necessários e se eles existem; se estão sendo armazenados; onde ocorre esse armazenamento e como são ou deveriam ser acessados, conforme os requisitos dos processos da empresa e do seu modelo de negócios.

Além de compreender sobre seu ambiente de negócio e reconhecer a importância dos dados, o planejamento de como fazer para introduzir novas tecnologias é um fator crítico de sucesso.

Isso significa que as empresas não devem buscar a simples compra de tecnologia, pois correm o risco de se frustrarem e bloquear futuras iniciativas de inovação. Assim, algumas perguntas importantes a fazer são:

- Qual valor agregado e vantagem competitiva a tecnologia desejada vai concretamente trazer para a empresa?
- Alguma nova tecnologia pode alavancar inovações disruptivas para a empresa?
- O conhecimento necessário sobre as tecnologias está disponível na organização?
- Qual será o custo e tempo totais da introdução de tecnologias, considerando desde as fases de análise, testes, piloto, integração, etc.? Existem fontes de financiamento para a iniciativa?
- A cultura organizacional é aberta a mudanças e está preparada para as mudanças que a adoção de certas tecnologias trarão aos processos e para as pessoas?
- Existe apoio da alta gestão e ambiente organizacional para projetos de inovação?

Com base em boas práticas nacionais e internacionais, para uma iniciativa bem-sucedida, é necessário estabelecer uma visão integrada e não apenas de curto prazo para a estratégia de digitalização da organização e iniciar o processo com uma menor e muito clara abrangência para validar premissas. Isso dará maior segurança à equipe envolvida para desenvolver a sua curva de aprendizado sobre as tecnologias utilizadas e suas implantações.

Uma estratégia bem-sucedida passa também pela escolha de uma área ou processo específico da organização, na qual uma intervenção mais local dentro de um amplo processo de Transformação Digital tem o potencial de gerar grandes ou mais imediatos impactos.

A execução gradativa dessas ações auxiliará a equipe multidisciplinar a ter tempo de se integrar e atuar colaborativamente para fazer os ajustes necessários durante as etapas do projeto. Iniciar com uma prova de conceito, seguida de um piloto e, posteriormente, a implantação em mais ampla escala é uma boa prática.

Embora a introdução de certas tecnologias seja usualmente direcionada para uma aplicação específica, é importante que no planejamento se considere uma arquitetura tecnológica global, escalável, de não, ou baixo aprisionamento tecnológico. Para explorar outras oportunidades na jornada de digitalização da empresa é necessário ter adequados níveis de segurança cibernética, facilmente interoperável (principalmente com sistemas legados, sistemas ciberfísicos, nuvem computacional e dispositivos IoT), para ser integrada à organização.

O projeto de implementação tecnológica deve ser justificado adequadamente junto à alta gestão. Para isso, deve-se fazer uma comparação do desempenho antes e depois da intervenção tecnológica para demonstrar evolução, além de um caso de negócio robusto que demonstre o potencial de retorno sobre o investimento. Considere também que nem todos os ganhos serão financeiros e quantitativos, mas por vezes menos tangíveis e qualitativos, como prazos de entrega consistentes, melhor reputação, aprendizagem organizacional, colaboradores mais entusiasmados com as melhorias de usabilidade e disponibilidade de dados para tomadas de decisão, entre outros.

Este Guia visa percorrer o caminho da adoção de tecnologia, tendo como base um caso de uso específico: Manutenção Preditiva. Esta função está presente em muitas organizações, cujas operações fazem uso intensivo de ativos físicos, tais como máquinas, motores, bombas, entre outros.

O Guia está organizado em 7 capítulos, além das considerações finais. O capítulo 1 cobre o conceito e relevância da manutenção preditiva em um novo contexto de transformação digital das empresas. O capítulo 2 ressalta os aspectos que devem ser considerados no projeto de implementação de manutenção preditiva. O capítulo 3 discorre sobre a construção de modelo de manutenção preditiva. O capítulo 4 mostra os tipos de dados, sua gestão, mecanismos e práticas de segurança, além de enfatizar a questão da conectividade. O capítulo 5 trata do processo de predição de falhas. O capítulo 6 elenca a relevância do treinamento e desenvolvimento nas organizações para a manutenção preditiva e o último capítulo traz estudos de casos de implementação de manutenção preditiva. O capítulo 7 apresenta os cases de implementação e utilização de manutenção preditiva em diferentes empresas e setores.

# Capítulo 1

---

## A manutenção preditiva e sua importância

## A manutenção preditiva e sua importância

---

A Manutenção Preditiva é um dos assuntos que vêm ganhando ascensão nos últimos anos em função de seu potencial de antever falhas em sistemas produtivos. Neste capítulo, abordaremos os conceitos relacionados à manutenção preditiva, sua relevância, aspectos tecnológicos e alguns pontos para serem enfatizados no momento da decisão pela sua implementação na empresa.

### O que é a manutenção preditiva?

Manutenção preditiva baseia-se em um monitoramento e diagnóstico em tempo real de equipamentos, processos e cadeias produtivas, com o propósito de agir quando estes apresentarem situações que possam resultar em falha, quebra, redução de desempenho, diminuição da segurança aos operadores ou afetar o controle de qualidade de um produto.

Inicialmente a manutenção preditiva foi utilizada para acompanhar a saúde de máquinas e equipamentos ao longo de períodos determinados. Recentemente, ela vem sendo aplicada em problemas presentes em diversos segmentos industriais e em suas cadeias de produção, se tornando uma ferramenta essencial à chamada indústria 4.0 e ao crescente aumento da complexidade dos componentes e instalações industriais.

### Por que implementar manutenção preditiva?

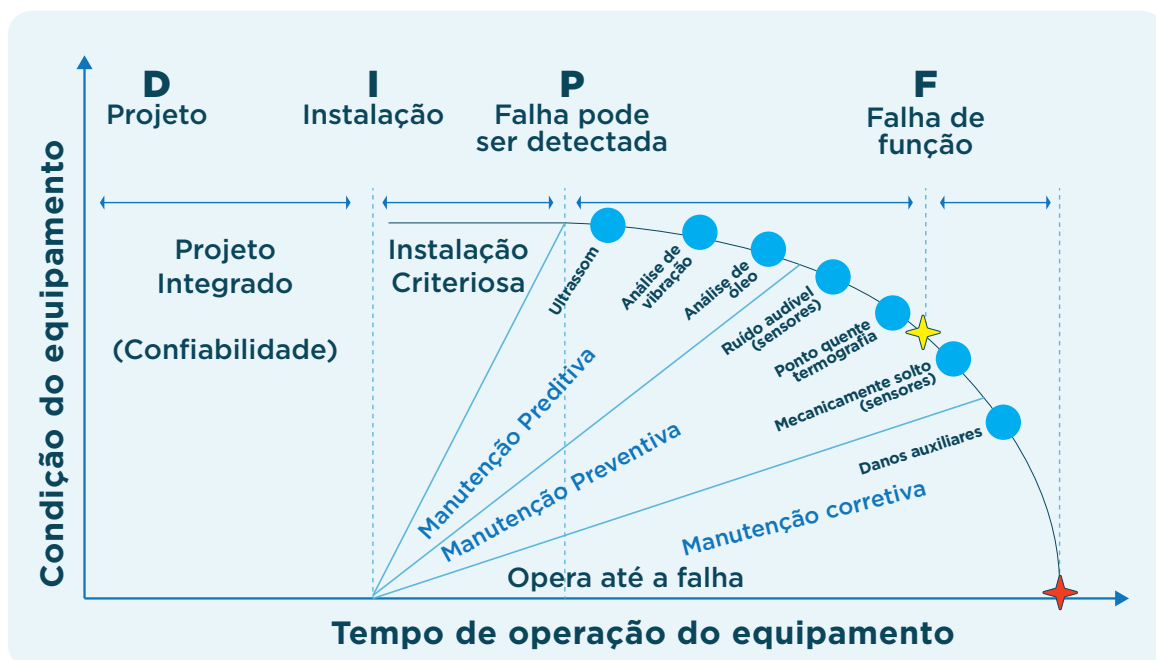
Para demonstrarmos a relevância da manutenção preditiva, iniciamos com a compreensão da chamada curva PF (Potencial de Falha), que ilustra a relação entre performance e tempo de uma máquina, durante sua vida útil. Nela são trabalhados dois conceitos importantes: de falha potencial e falha funcional.

A falha potencial diz respeito ao primeiro sinal de que um equipamento não está operando em sua forma ideal. Caso o problema não seja solucionado, ele resultará em uma falha funcional. Nesta, o equipamento necessita de uma manutenção corretiva, pois não executa mais suas funções, o que geralmente representa custos elevados de manutenção (Figura 1).



A manutenção preditiva atua na antecipação da detecção de falha potencial em um horizonte temporal menor se comparada aos outros tipos de manutenção, além de agir na causa raiz do problema. Com isso, são evitados danos que a longo prazo resultam em altos custos para a empresa e interferem no estado futuro de um equipamento. Essa antecipação auxilia ainda no aproveitamento máximo deste ativo, de suas peças, e possibilita a programação de sua substituição.

**Figura 1. Exemplo de Curva PF e a relação da condição do equipamento ao longo do tempo.**



Fonte: Ohanlon, 2021. Traduzido e adaptado.

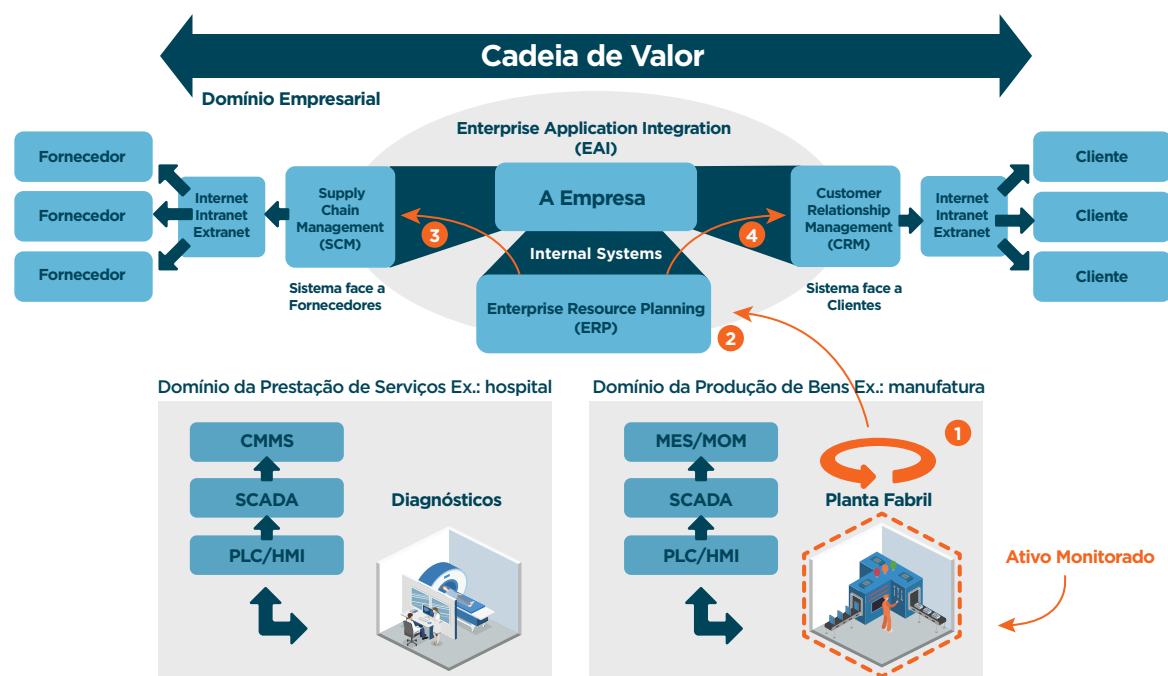
O uso de dados sobre as condições operacionais dos ativos corresponde a níveis crescentes de maturidade e possibilidades de melhorias no desempenho das atividades relacionadas à manutenção e à produção. A coleta e análise de dados contribuem para que a equipe de manutenção tome decisões mais fundamentadas, que levem a uma confiabilidade maior dos resultados obtidos, mais tempo de utilização dos ativos, redução do número de acidentes e falhas e, conseqüentemente, diminuição dos custos operacionais.

Do ponto de vista estratégico e de negócios, a adoção da manutenção preditiva contribui sob vários sentidos, como podemos observar na Figura 2. Ainda que a sua atuação ocorra pontualmente no monitoramento de ativos no nível da produção (etapa 1), seus impactos podem ser percebidos em todo o ecossistema da empresa,

quando os dados obtidos forem utilizados na integração e no gerenciamento de informações (etapa 2) e junto aos parceiros que participam da cadeia de valor, como os fornecedores (etapa 3) e clientes (etapa 4).

Isso permite aos gestores terem uma visão sistêmica sobre a utilização de dados para os diferentes níveis de negócio, atuação integrada entre as áreas, além da adoção de práticas mais modernas de manutenção.

**Figura 2. Arquitetura de negócio e impacto da manutenção preditiva.**



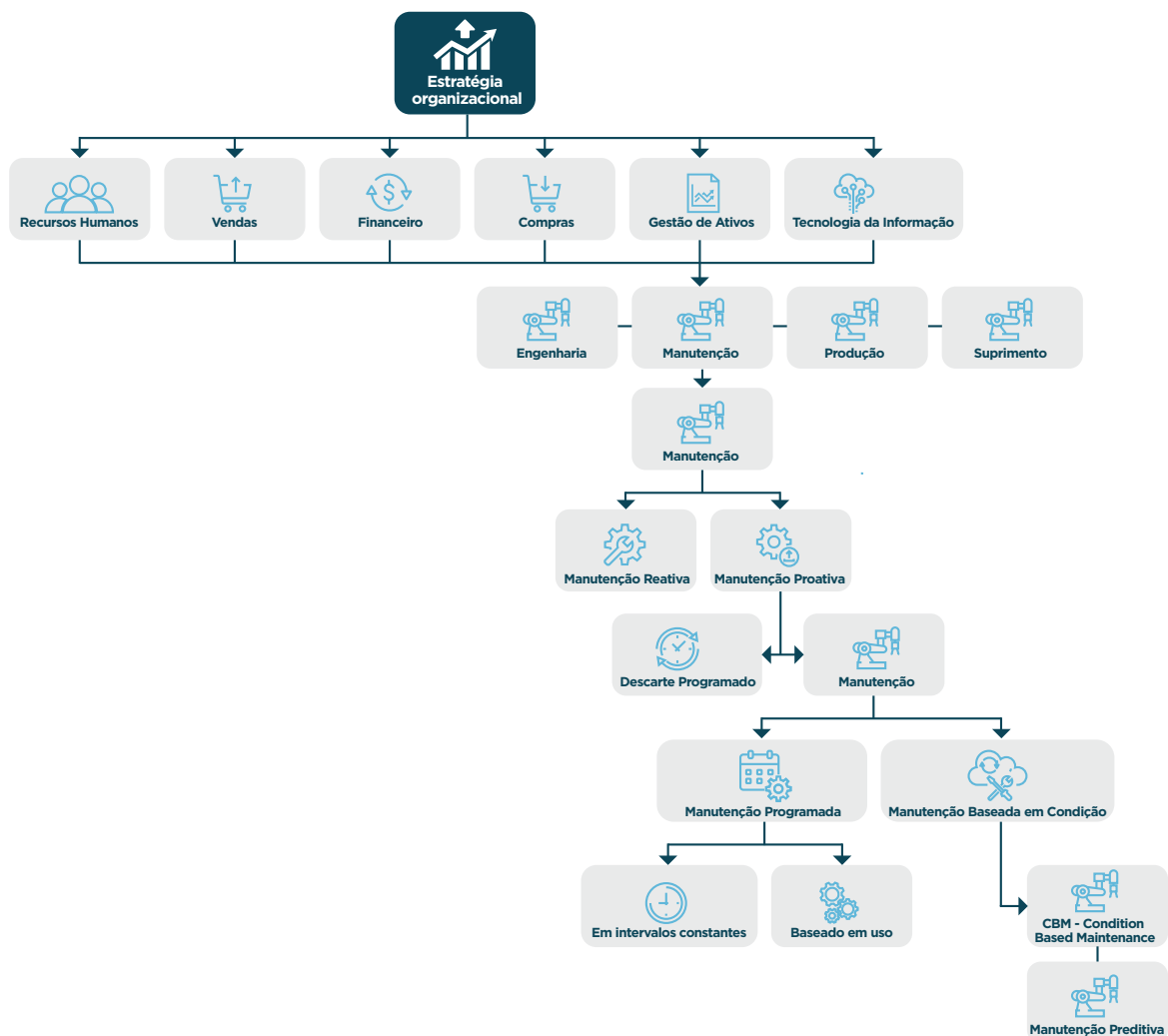
Fonte: [www.triple-tree.com](http://www.triple-tree.com) - former Cherry Tree & Co. - Research: Extended Enterprise. Adaptado.

Neste processo, os sistemas e as bases de informações ligadas à produção e ao negócio passam a serem vistos como ativos das empresas, assumindo papéis relevantes na execução das atividades técnicas, produtivas e administrativas, na gestão de processos, no planejamento e nas tomadas de decisão. Assim como o próprio setor de manutenção, tem seu papel ressaltado como sendo importante para o planejamento estratégico da organização.

## Níveis de maturidade da manutenção

Manutenção preditiva não é um conceito novo. Efetivamente as pessoas a tem praticado por muitos anos e, ao longo do tempo, os diferentes tipos de maturidade em manutenção foram sendo desenvolvidos e implementados. A própria NBR 5462 de 1994 a ressalta como sendo a manutenção que visa diminuir a manutenção preventiva e reduzir ao mínimo a corretiva, através de aplicação de técnicas de análise, garantindo a qualidade desejada de serviço.

**Figura 3. Origens da Manutenção Preditiva.**



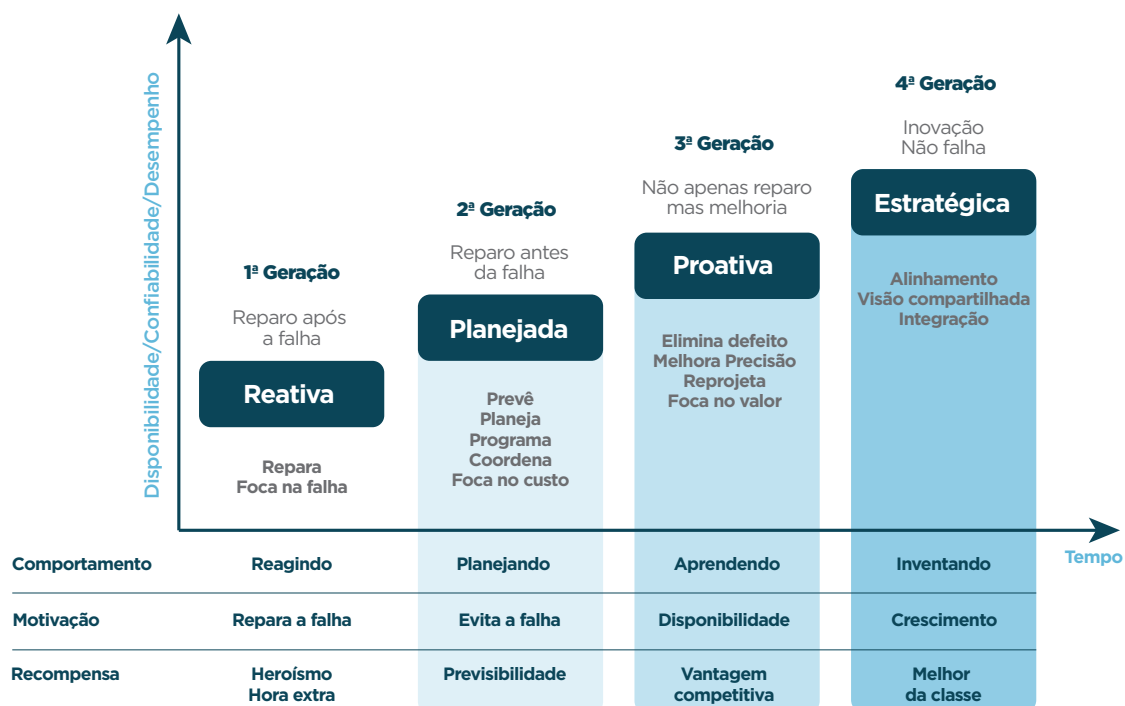
Fonte: Merizalde et al., 2019. Adaptado.

Nas empresas, o monitoramento de ativos através de técnicas específicas passou por uma significativa evolução e apresenta diferentes níveis de maturidade, em que diferentes métodos coexistem em função de critérios tais como: criticidade, relevância, tempo de uso do ativo considerado. Este caminho engloba desde a manutenção praticada de modo reativo, no qual o foco está no reparo da falha, passando pelas inspeções periódicas e planejadas, feitas com instrumentos de medição e com foco atenção na previsibilidade de falhas que inclusive podem levar a panes.

Inclui a manutenção que ocorre de maneira proativa, via monitoramento de parâmetros operacionais em tempo real, via sensores e com objetivos de melhorar o processo via eliminação de defeito e aumento da precisão.

Por fim, chega à quarta geração, na qual a manutenção adquire status de posição estratégica com foco em inovação e inexistência de falhas, alinhada e integrada a outras áreas, e na qual há utilização mais intensiva de recursos tecnológicos, não apenas na predição de falhas, mas em sua prescrição, o que aumenta o desempenho e o nível de confiabilidade dos processos (Figura 4).

**Figura 4. Maturidade da Manutenção Preditiva.**



Fonte: LEDET, 2008. Adaptado e traduzido.

Vale ressaltar que no cenário brasileiro há uma alta variabilidade de maturidade tecnológica nas indústrias, em diferentes estágios de transformação digital. Isto evidencia o desafio que uma implementação de manutenção preditiva pode ter, especialmente nas organizações de pequeno e médio porte. Por outro lado, aponta para uma crescente possibilidade de expansão de soluções baseadas na adoção de tecnologias emergentes na manutenção.

A manutenção preditiva representa um nível da evolução da manutenção preventiva, com vistas a torná-la mais eficiente, ágil e proativa. Ela inclui agregação de tecnologia e mudanças de processos, através da obtenção, análise e tratamento de dados a partir de um grande volume de informações relativas à condição operacional de um ativo ou de um sistema.

As diferentes gerações de manutenção representam não apenas avanços nas transformações técnicas, mas da mudança de comportamento das organizações, suas motivações e benefícios ao se adotar determinada atividade de grupo de técnicas nas ações contra as falhas.

## Tecnologias habilitadoras e a manutenção preditiva

As chamadas tecnologias habilitadoras estão por trás da transformação digital das indústrias e da viabilização do emprego da inteligência artificial para a integração e o controle da produção.

Na manutenção preditiva, a identificação de tendências ou condições são baseadas em um conjunto variado de dados, chamados de *Big Data*, e relacionados ao desempenho de um ativo. Englobam suas condições técnicas: utilização, seu histórico de manutenção, seu ambiente de produção, dentre outros parâmetros.

É importante enfatizar o avanço no desenvolvimento de diversas tecnologias associadas à internet das coisas (IoT - *Internet of Things*), que permitem levar para o mundo digital, dados de objetos físicos. Dentre elas, sensores eletrônicos para a medição em tempo real de sinais de vibração de componentes mecânicos, pressão e temperatura de fluidos, análises químicas de viscosidade de óleos lubrificantes, protocolos de comunicação de dados, softwares de análise e monitoramento, entre outros.

Paralelamente, algoritmos de inteligência artificial (IA) desenvolvidos sob medida para aplicações em manutenção preditiva são utilizados para entender como uma máquina se comporta. Os resultados dessas análises são utilizados como referência para identificar flutuações, desvios e alterações de desempenho de um ativo ou processo.

Esses algoritmos podem utilizar como referência diferentes fontes de dados, como os históricos, os resultados de testes, além dos provenientes para análise do comportamento de variáveis como, por exemplo, temperatura, pressão e vazão de fluidos, velocidades de rotação de motores, ruídos, vibrações e estresse de componentes mecânicos.

Um fator que tem mudado ao longo dos anos quando se fala em manutenção preditiva baseia-se na capacidade de acessar os dados existentes e obter novos a partir do uso de sensores, ampliando a disponibilidade de dados que podem ser utilizados para embasar as ações de manutenção.

Esses dados podem ser obtidos de fontes internas e externas. Dentro das empresas, dados originados por sensores podem ser coletados e distribuídos através do uso da IoT ou de redes industriais convencionais. Seja em uma grande planta industrial como uma refinaria de petróleo, em uma frota de veículos, na distribuição de energia elétrica de uma região ou em uma pequena empresa. Todos os tipos e tamanhos de empresas podem gerar e utilizar dados a partir das atividades que realiza e aprimorar seus sistemas de manutenção.

**Figura 5. Tecnologias habilitadoras para manutenção preditiva.**



Fonte: autoria própria.







Com os dados externos, podem ser considerados parâmetros ambientais, como temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Ou ainda, informações sobre os perfis do operador do equipamento ou processo e as especificações dos materiais processados durante uma falha.

O uso destes dados corresponde a níveis crescentes de maturidade e melhorias no desempenho das atividades relacionadas à manutenção. A coleta e análise de dados contribuem para que a equipe de manutenção tome decisões mais bem fundamentadas, que levam a uma confiabilidade maior nos resultados obtidos, um maior tempo de utilização dos ativos, redução do número de acidentes e falhas e, conseqüentemente, diminuição dos custos operacionais.

A adoção da manutenção preditiva contribui para a evolução da infraestrutura produtiva sob várias perspectivas, trazendo aos gestores uma visão sistêmica aplicável às empresas de diferentes portes e áreas de atuação. Ela igualmente acompanha a redução de custos das tecnologias utilizadas para a obtenção de dados, fato que contribui para a adoção de práticas mais modernas de manutenção.

Neste processo, os sistemas e as bases de informações ligadas à produção e ao negócio passam a ser vistos como ativos das empresas, assumindo papéis relevantes na execução das atividades técnicas, produtivas e administrativas, na gestão de processos, no planejamento e tomada de decisão. Assim como o próprio setor de manutenção, tem seu papel ressaltado como sendo importante para o planejamento estratégico da organização.

## Quadro-resumo benefícios da Manutenção Preditiva

	Ela prevê atuação no problema original e atua em sua causa raiz, impedindo o acúmulo de danos que, a longo prazo resultam em grandes custos para a empresa.
	Interfere no estado futuro de um equipamento, ao verificar suas condições atuais e definir seus problemas potenciais.
	As informações permitem o aproveitamento máximo da vida útil do equipamento ou de elementos da máquina.
	Ela permite programar a reforma e substituição somente de peças comprometidas.
	A velocidade das informações geradas contribui para um melhor planejamento de ações integradas.
	As informações geradas permitem a tomada de decisão de maneira mais assertiva.

## Fatores críticos de sucesso

Há desafios a serem analisados no planejamento da implementação de manutenção preditiva. Ela requer o acompanhamento e inspeções periódicas, através de protocolos específicos de monitoramento e profissionais especializados.

Esse exercício de analisar os fatores positivos e as desvantagens na adoção da manutenção preditiva inclui também o fato de que ela pode, eventualmente, minimizar ou até mesmo substituir a necessidade dos outros tipos de manutenção, além de poder variar a complexidade dos modelos a serem adotados.

Definir o que é mais adequado para cada caso exige um olhar pontual, embora seja possível se pautar em orientações gerais e experiências existentes. Quando consideramos um sistema de manutenção, há possibilidade de incluir diferentes soluções, com atenção às suas características, vantagens e desvantagens. Um tipo de manutenção não é excludente ou limitante a outros.

É importante elencar quais elementos serão explorados e os requisitos que deverão ser atendidos em sua implementação. A implantação da manutenção preditiva segue regras gerais de gerenciamento de projetos de compra tecnológica, com especial atenção às transformações no negócio e em seus processos operacionais.



# Capítulo 2

---

## Contexto da organização

Desenvolver um projeto de implementação de manutenção preditiva requer da organização um olhar para si, de modo a compreender suas necessidades, recursos disponíveis, metas, suas características da gestão e disponibilidade para mudanças. Mantendo em perspectiva que o projeto, apesar de uma ação pontual, representa uma parte da transformação global da organização: a transformação digital, refletida concretamente através de um *roadmap*.

Desta forma, aspectos estratégicos, tecnológicos, culturais e de desenvolvimento organizacional, financeiros e a comunicação devem ser levados em conta no momento da tomada de decisão para implementação da manutenção preditiva.

## Aspectos estratégicos

Para a tomada de decisão pela implementação da manutenção preditiva, pode-se pensar em alguns pontos, como:

- Qual o momento digital da organização: qual seu parque tecnológico e como é seu modelo de negócio atual?
- O que se pretende ao adotar novas tecnologias: qual o propósito do projeto?
- Como se vai medir o sucesso do projeto?
- O quanto esse projeto se relaciona à estratégia global da empresa?
- Atuar de maneira mais integrada à cadeia de valor representaria quais benefícios ao negócio?

As respostas a essas questões induzem ao pensamento sobre como a atuação pontual na função manutenção poderá impactar nas demais áreas funcionais da organização e no seu negócio de forma global.

Uma vez que o objetivo em relação à implementação esteja determinado, como estruturá-lo? Para tanto, a definição da equipe e das áreas que serão os patrocinadores e apoiadores do projeto se faz relevante.

É preciso ainda identificar e definir as melhores práticas de manutenção que serão adotadas no projeto e como elas se aplicarão ao contexto da empresa.

Para a escolha da fração do parque tecnológico, no qual será adotada a manutenção preditiva, deverão ser estabelecidos critérios específicos, como será visto no capítulo 3.

A manutenção preditiva pode também moldar novos relacionamentos com clientes e fornecedores. Seja através da colaboração para o cumprimento dos prazos de entrega, redução de custos, qualidade de produtos e serviços oferecidos ou ainda o oferecimento de treinamento, como veremos no capítulo 6. Pode significar também a possibilidade de vender ou fazer uso da manutenção preditiva como um serviço.

O projeto de manutenção preditiva deve ser apoiado pela alta administração, que estará ciente, comprometida e disposta a defendê-lo como parte da transformação digital da empresa.

## Aspectos Tecnológicos

Neste âmbito, pode-se elencar as disponibilidades tecnológicas do mercado, características e necessidades do projeto de implementação de manutenção preditiva. Devem ser levados em consideração:

- As características do parque tecnológico instalado quanto à obsolescência, estado de conservação, vida útil remanescente;
- A viabilidade tecnológica da aplicação da manutenção preditiva;
- A disponibilidade das tecnologias necessárias: os fornecedores são locais ou haverá necessidade de importação?
- O nível de maturidade da tecnologia a ser adotada;
- A existência de normatização para utilização das tecnologias: possuem normas ABNT, por exemplo?
- Se as tecnologias escolhidas são abertas e ofertadas por diferentes provedores, ou são proprietárias e vinculadas a um único fabricante;
- A existência e a qualidade das infraestruturas de comunicação e de armazenamento de quantidades enormes de dados, suas seguranças e desempenhos computacionais;
- A existência de profissionais com competências para lidar com as tecnologias envolvidas, suas implantações e manutenções.

## Cultura e desenvolvimento organizacional

Os dados passaram a ser ativos estratégicos para a competitividade da organização, gerando valor para seus negócios, parceiros e clientes. Sendo assim, todos os colaboradores da organização devem estar conscientes sobre a relevância da utilização de dados, corretos e atualizados, no seu dia a dia e da consequente alteração dos processos de negócio. Essa dinâmica implica em uma necessidade de aprimoramento da aprendizagem organizacional.

No caso da manutenção preditiva isso se dá pela participação de toda organização. Os diferentes atores são envolvidos na evolução da função manutenção, que influencia no desenvolvimento de suas atividades, através dos dados gerados pelos sistemas específicos.

A adequação do projeto aos processos do negócio tende a ocorrer de maneira ágil e contínua, com vistas a compatibilizar as necessidades identificadas com os objetivos estratégicos e a adaptação do ambiente organizacional às tecnologias adotadas.

Assim, o projeto deve ser organizado em torno de equipes multifuncionais, envolvendo engenheiros, técnicos, profissionais de TI e os recursos humanos. A adequação dos perfis dos funcionários a serem treinados e contratados deve ser feita. Talvez novos cargos possam ser demandados, como cientistas de dados e engenheiros de confiabilidade. O gerenciamento de mudanças será fundamental para garantir o engajamento dos profissionais, seu nível de confiança nas ferramentas e as entre equipes.

Esse conjunto de ações engloba um desenvolvimento de uma cultura que estimule a experimentação a partir de novas tecnologias e formas de trabalho, a cooperação multifuncional e a tomada de decisões baseada em dados.

A incorporação e o desenvolvimento do ambiente ágil requer um planejamento bem definido das etapas e fases de implementação da manutenção preditiva. Isto permitirá que a equipe se familiarize com a nova metodologia de trabalho, através da geração de desafios e com foco em resultados progressivos. É uma fase que visa explorar descobertas integradas ao processo, de forma a incentivar o compartilhamento das informações e o aprendizado entre as equipes.

Assim, aos níveis gerenciais caberá a tarefa de estabelecer uma comunicação aberta junto aos membros da equipe para determinarem os processos de trabalho e atividades atribuídas, as metas e objetivos, e dar feedbacks sobre a evolução da equipe.

Em relação à comunicação, seja com os funcionários, clientes, fornecedores, a maneira como as transformações são comunicadas a esses parceiros, pode potencializar os benefícios esperados pela empresa, gerando maior engajamento e conexão com eles.

Além disso, considerando que toda transformação organizacional pode gerar insegurança entre os diferentes *stakeholders*, inseri-los nas comunicações sobre o avanço da implementação da manutenção preditiva pode aumentar a confiança deles em relação aos processos a serem adotados.

A comunicação, neste aspecto, torna-se parte da mudança cultural a ser realizada na organização, tendo em vista que engloba uma mudança modificação na mentalidade dos envolvidos na transformação digital. Além de ser clara e eficiente, a comunicação pode fortalecer o engajamento dos funcionários com as metas e mudanças organizacionais, atrelando-as ao crescimento profissional e bem-estar das equipes.

## Aspectos financeiros

A convergência de novas tecnologias com a transformação digital da empresa requer a alocação de recursos financeiros para o projeto, a fim de promover sua viabilidade e continuidade. A decisão pelo investimento pode incluir alguns aspectos como os riscos envolvidos, a revisão dos objetivos estratégicos, a escolha da fonte de recursos, o estabelecimento de parcerias, dentre outros.

A aprovação dos investimentos em tecnologia deve acontecer de maneira planejada, racional e atrelada às necessidades e capacidade das empresas, a partir do levantamento de suas informações internas e maturidade tecnológica. Adicionalmente, é relevante ter um olhar para fora da organização, buscando entender constantemente as necessidades e evolução do mercado, bem como tendências.

Especificamente sobre as fontes de recursos, estes podem ser próprios ou provenientes de diversos tipos de financiamentos disponíveis no mercado, além de fomentos ofertados comumente por agências públicas de promoção à inovação, como o BNDES e a FINEP. Citamos ainda a possibilidade de criar projetos de inovação aberta, com participação de atores que possam contribuir para a implementação, como empresas de soluções, agências de fomento, academia (Figura 6).

A forma escolhida de financiamento deve levar em consideração a evolução do entendimento do problema e as necessidades de aperfeiçoamento dos requisitos, o que significa que o orçamento precisa ser flexível e ajustável ao processo de inovação e às metas almejadas.

Figura 6: Mapa de financiamentos e fundos disponíveis no Brasil.

FONTES RECURSOS	MÃO DE OBRA	BOLSAS	TREINAMENTOS	VIAGENS	SERVICO DE TERCEIROS	MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	MATERIAL DE CONSUMO E PERMANENTE	SOFTWARE	DESPESAS RELATIVAS À PROPRIEDADE INTELECTUAL	AQUISIÇÃO, TRANSFERÊNCIA E ABSORÇÃO DE TECNOLOGIA	OBRAS CIVIS, MONTAGENS E INSTALAÇÕES	DESPESAS PRÉ-OPERACIONAIS E MARKETING
EMBRAPII	✓	✓		✓	✓		✓	✓				
EMBRAPII	✓	✓		✓	✓		✓	✓				
PROGRAMA TALENTOS PARA INOVAÇÃO	✓	✓										
FINEP - FINANCIAMENTO REEMBOLSÁVEL DIRETO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FINEP INOVAÇÃO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FINEP CONECTA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FINEP IOT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FINEP EDUCAÇÃO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FINEP TELECOM						✓	✓					
BNDES INOVAÇÃO	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARTÃO BNDES					✓	✓	✓	✓	✓	✓		
PILOTOS IOT INDÚSTRIA	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
THAI	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BNDES GARAGEM			✓	✓	✓		✓					
EDITAL DE INOVAÇÃO PARA A INDÚSTRIA	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			
SIBRATEC					✓			✓	✓	✓		✓

Fonte: Confederação Nacional da Indústria - CNI, 2020.

A decisão pelos investimentos necessários inclui ainda a escolha dos próprios equipamentos a serem adquiridos, a redução de custos e os ganhos deles provenientes. Para tanto, a equipe multidisciplinar pode ter um papel fundamental no estabelecimento dos pontos de atenção a serem observados neste processo e sua adequação aos resultados esperados.

Essa observação deve incluir itens quantitativos e qualitativos. Por exemplo, pode-se analisar o custo total das aquisições a serem feitas, a possibilidade de conexão dos novos equipamentos com outros sistemas da organização, a clareza em relação aos problemas que se deseja resolver, a complexidade envolvida no processo de desenvolvimento da tecnologia a ser adotada, a usabilidade entre os funcionários, as capacidades das equipes, dentre outros.

# Capítulo 3

---

## Processo de implementação de manutenção preditiva

Após conhecer os fundamentos da manutenção preditiva, comprometer a alta administração, moldar a cultura da organização, definir os recursos necessários e metas, é preciso pensar em:

- Como construir um modelo de manutenção preditiva?
- Como montar uma infraestrutura tecnológica?
- Como medir o sucesso do projeto?

A seguir mostraremos esses grupos de ação.

## Construção de modelo de manutenção preditiva

### 1. Classificar e definir os ativos e processos a serem abordados

Para iniciar o processo de implementação da manutenção preditiva é necessário organizar e classificar os ativos da empresa. Para isso, podem ser utilizados os critérios em que forem considerados mais apropriados para a organização, como valor econômico, criticidade no processo produtivo, quantidades de itens disponíveis, risco de quebra, etc.

Na sequência, é necessário identificar os ativos para os quais valha a pena e sejam viáveis para aplicar a manutenção preditiva. No início, apenas ativos de alta e, possivelmente, média criticidade justificarão os investimentos necessários, e apenas ativos para os quais os dados de monitoramento possam ser efetivamente obtidos são candidatos apropriados. Esta seleção criteriosa de ativos ajudará a organização a eleger e desenvolver um estudo de caso inicial bem-sucedido que pode vir a fazer parte do estudo plano de viabilidade.

Para organizações que estão se iniciando na manutenção preditiva é fundamental manter a sistemática de manutenção de maneira gerenciável, ir avançando aos poucos, e não tentar abranger, por exemplo, toda a frota de veículos ou toda a planta industrial de uma só vez. Assim, convém selecionar ativos que possam ser tratados em projetos-piloto, para extrair as lições necessárias e aplicá-las na escalação do processo de implementação da manutenção preditiva por tipo de ativo. E, com a evolução do seu nível de maturidade na empresa, naturalmente, outros ativos poderão ser gradativamente integrados no projeto.



## 2. Levantar o histórico de manutenções e de falhas dos ativos

Para planejar elaborar os objetivos, as metas e estratégias para a implementação do projeto de manutenção preditiva na organização, é importante modelar a confiabilidade dos ativos, através do levantamento do histórico de manutenções e falhas dos equipamentos selecionados.

Para isso, é possível utilizar as técnicas de análise de causa raiz (*Root Cause Analysis - RCA*) e de análise de efeitos do modo de falha (*Failure Mode & Effect Analysis - FMEA*) por tipo de ativo para apontar a direção correta a ser seguida. Em essência, é fundamental elaborar questionamentos como:

- Quais dados são necessários para monitorar as causas raiz e os modos de falhas?
- Quais parâmetros medidos e quais conjuntos de dados externos são exigidos para isso?
- Como as várias causas-raiz e modos de falha podem estar inter-relacionados?
- Os dados e históricos eventualmente existentes são ainda confiáveis e refletem a atual realidade do chão de fábrica?

Desta maneira, consegue-se sistematizar as atividades que auxiliam na identificação de falhas no processo escolhido para a implementação da manutenção preditiva.

## 3. Definir os parâmetros a serem monitorados

Uma vez definidos os ativos e processos a serem abordados no processo de implementação da manutenção preditiva em uma organização, é necessário analisar cada equipamento, seus componentes e suas características de funcionamento para definir os indicadores de desempenho a serem monitorados. Um parâmetro bem escolhido e representativo do desempenho operacional do equipamento poderá gerar dados valiosos e de qualidade para o seu monitoramento. Algumas perguntas norteadoras desta etapa podem ser:

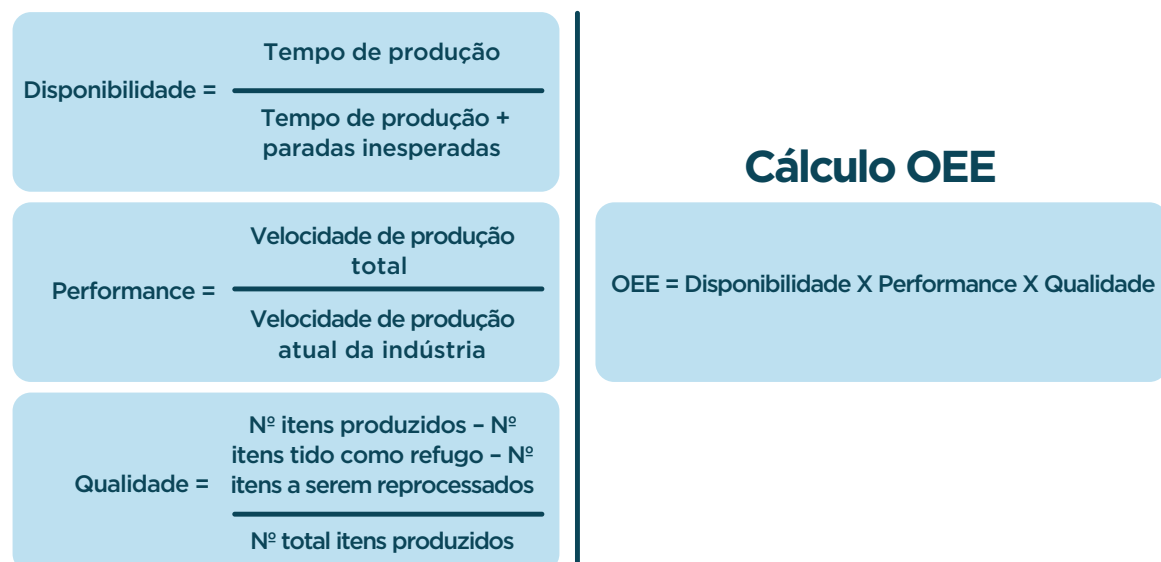
- O parâmetro escolhido pode ser monitorado via sensor ou outro instrumento de medição? Se não, qual é a viabilidade de se investir para obtê-lo?
- Os sinais e dados gerados permitirão avaliar e controlar a condição operacional de cada um dos equipamentos ou sistema?
- Qual é o histórico de falhas da empresa?

## Implantação da OEE

A determinação dos padrões requeridos de manutenção e produtividade pode incluir a chamada Eficiência Global do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness* - OEE em inglês), que representa um dos indicadores de desempenho mais importantes para a indústria, pois demonstra a eficiência de utilização de insumos e maquinários. Para tanto, utiliza como base a disponibilidade, qualidade e performance das máquinas e equipamentos.

O cálculo destes elementos possibilita aos gestores a implantação da OEE, como segue abaixo (Figura 7), o que os auxilia na determinação de quanto tempo os dispositivos operam sem apresentar falhas. A disponibilidade é importante para verificar o impacto que as paradas não programadas das máquinas provocam sobre a produção. A performance demonstra a eficiência da linha produtiva, através do cálculo da diferença entre a velocidade de produção especificada e a velocidade que vem sendo apresentada. Por fim, a qualidade apresenta o total de itens produzidos que atendem aos padrões requeridos de qualidade.

**Figura 7. Elementos que compõem o cálculo da OEE.**



Fonte: <https://www.oee.com.br>

## 1. Avaliar as tecnologias de sensoriamento aplicáveis e a infraestrutura de TIC necessária

O objetivo desta etapa é buscar e selecionar instrumentos de medição adequados à implementação da estratégia de manutenção preditiva para diagnósticos e prognósticos das máquinas da empresa. Vários aparelhos, como sensores microssensores, sensores ultrassônicos, sensores de vibração e sensores de emissão acústica, têm sido projetados e fabricados para coletar dados referentes aos diferentes parâmetros monitorados do equipamento.

O processo de obtenção de dados transforma os sinais derivados dos sensores em domínios que contêm parte das informações relacionadas ao estado operacional de um equipamento.

Da mesma forma, é fundamental avaliar a infraestrutura de aquisição de dados e informática, incluindo equipamentos de medição de umidade e temperatura (*data loggers*), computadores, protocolos e redes de comunicação, além dos softwares necessários à implementação da manutenção preditiva. Observar que, em um chão de fábrica com um número razoável de máquinas e sensores, há um potencial de geração de centenas de milhares de dados por segundo, que devem ser devidamente lidados, o que exige infraestruturas computacionais e de grande capacidade de transmissão.

Os sinais obtidos dos sensores passam por um tratamento, que inclui técnicas de condicionamento de sinal, a fim de aprimorá-lo. São usadas técnicas de filtragem, amplificação e eliminação de ruído. Em seguida, há o pré-processamento, que atuará na validação e compressão dos dados.

A outra etapa consiste na extração de características e atributos dos sinais processados que são representativos de uma falha consolidada ou de uma falha incipiente. Comumente, essas características podem ser extraídas de três domínios: domínio do tempo, domínio da frequência e domínio da frequência do tempo.

Esses tipos de métodos são selecionáveis em um sistema inteligente de diagnóstico e prognóstico de falhas (*Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis System - IFDPS*) e os métodos a serem aplicados podem ser definidos por máquina real ou por análise de sistema.

## Desenvolvimento e implantação

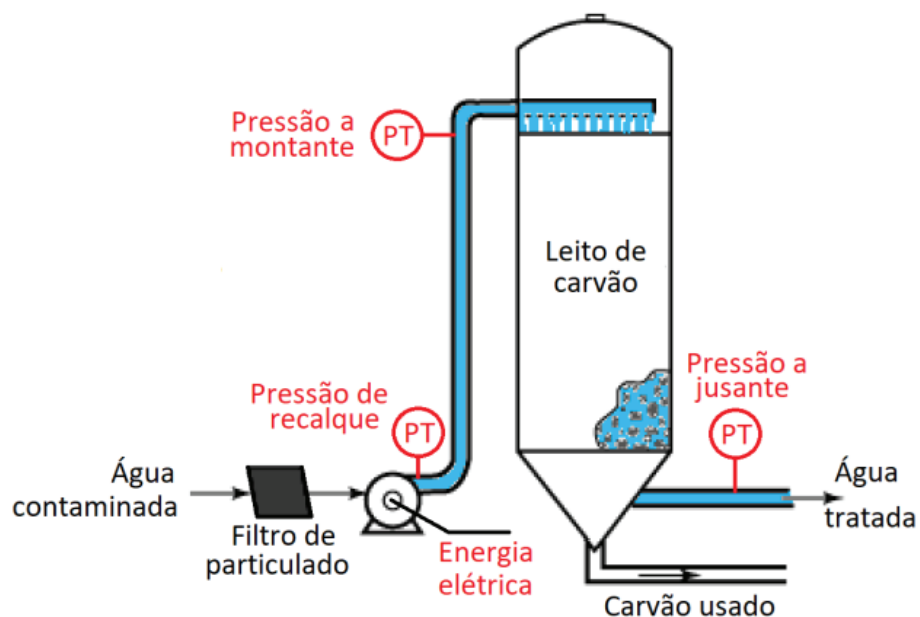
### 1. Implementar protótipos em progressão

Com o intuito de aprender e adquirir experiência em manutenção preditiva é recomendável a implementação de projetos-piloto. Para isso, é importante selecionar tipos de ativos apropriados para projetos-piloto da manutenção preditiva e utilizá-los para estabelecer provas de conceito, aprender e demonstrar o valor ao negócio.

Por exemplo, um protótipo poderia ser o simples monitoramento de um filtro instalado em uma linha de um processo produtivo da empresa. O monitoramento de parâmetros poderia indicar o grau de degradação do filtro. Dentre eles, o diferencial das pressões do fluido, medidas a montante e a jusante do filtro, o aumento da pressão na descarga da bomba ou compressor, o consumo de energia no motor elétrico ou ainda o aumento no grau de contaminação do fluido após o filtro.

Os dados gerados por sensores específicos desses parâmetros seriam transmitidos, armazenados e analisados por algoritmos de monitoramento para informar a necessidade de manutenção do filtro. A título de ilustração, a Figura 8 apresenta esquematicamente um exemplo de parâmetros de monitoramento de um filtro de água contaminada.

**Figura 8. Exemplo de parâmetros de monitoramento de um filtro de água contaminada.**



Fonte: autoria própria.

## 2. Gerar, transmitir, receber, organizar e armazenar os dados

Para que os dados de monitoramento das condições operacionais das máquinas sejam coletados, analisados e utilizados para a sua manutenção preditiva é necessário estabelecer e implementar um processo consistente de geração, transmissão, recebimento, organização e armazenamento de dados. Para isso, existem disponíveis diferentes tecnologias de informação e comunicação industriais que podem ser utilizadas, a depender das necessidades específicas de cada organização.

Como isso envolve a comunicação entre vários e diferentes sistemas/entes computacionais distribuídos, há que se definir a arquitetura, estratégias, abordagens de integração e interoperabilidade de dados.

Por vezes, há a necessidade de uma “engenharia” de retrofitting em função da falta de conectividade de máquinas, especialmente de máquinas antigas, e de equipamentos sem controladores. Nestes casos, há possibilidade de utilização de determinados tipos de dispositivos de IoT como solução para se obter dados destas máquinas e equipamentos.

Um dos pontos mais importantes atualmente a serem considerados no processo de transmissão de dados é a segurança cibernética, que é um conjunto de práticas que protege as informações geradas, armazenadas nos computadores e aparelhos de computação e transmitida através das redes de comunicação, incluindo a Internet e telefones celulares.

## 3. Analisar e processar os dados (Analytics, Inteligência Artificial)

Esta etapa constitui o processo da análise de dados que fundamenta a manutenção preditiva. A escolha de um algoritmo apropriado é um dos fatores mais relevantes para determinar a qualidade e a confiabilidade das previsões. Pode ser relativamente simples projetar um bom algoritmo para a manutenção preditiva se a organização já tiver implementado um modelo adequado para gerir a confiabilidade de seus ativos em uma etapa anterior.

Esse tema do tratamento, análise e processamento de dados é abordado com mais profundidade no próximo capítulo deste Guia.

#### 4. Implementar as ações de manutenção preditiva definidas

É neste ponto que um modelo de manutenção preditiva efetivamente entra em operação. O algoritmo processa dados de várias fontes e utiliza os resultados dessa análise para monitorar e visualizar o desempenho do ativo em tempo real. De posse de um volume cada vez maior de dados, o algoritmo começará a prever falhas futuras. No início, agir com base nessas previsões - desligando uma máquina ou tirando de circulação um trem perfeitamente operacional, pode gerar desconfiança, especialmente se a equipe de gerenciamento e manutenção tiver pouca experiência ou afinidade com a análise de dados.

Se for esse o caso, a manutenção preditiva pode ser implementada gradualmente, em paralelo aos procedimentos de manutenção tradicionais existentes na organização, sem que ações de manutenção sejam tomadas com base em suas previsões. Isso pode ajudar a aumentar gradativamente a confiança nas técnicas previsionais.

Na manutenção preditiva, o algoritmo não apenas prevê quando provavelmente ocorrerá uma falha em um equipamento, mas extrai de uma biblioteca de tarefas de manutenção padrão as informações que auxiliarão na prescrição da melhor ação a ser realizada diante da ocorrência de uma falha. O algoritmo pode, inclusive, emitir ordem de serviço para tal situação.

#### 5. Otimizar os algoritmos, medir e monitorar o desempenho de forma contínua

Os algoritmos utilizados na operação da manutenção preditiva da organização podem ser melhorados progressivamente. Para isso, é possível contratar serviços de cientistas de dados, por exemplo, para que se construa um algoritmo de aprendizagem capaz de identificar padrões significativos em um banco de dados que se aprimore continuamente.

Conforme a manutenção preditiva se torna cada vez mais madura, é desejável adotar uma abordagem de ecossistema, promovendo a colaboração com fornecedores, centros de pesquisa e outros parceiros externos para se manter atualizado com os desenvolvimentos de soluções mais recentes.

Ao atingir esta etapa, pode-se dizer que a empresa terá efetivamente iniciado a implementação da manutenção preditiva orientada por dados em sua tomada de decisão. E, se der seguimento ao desenvolvimento de uma estrutura de suporte para acompanhar o progresso da manutenção preditiva, a empresa estará no caminho de se tornar uma organização praticante da manutenção digital.

# Capítulo 4

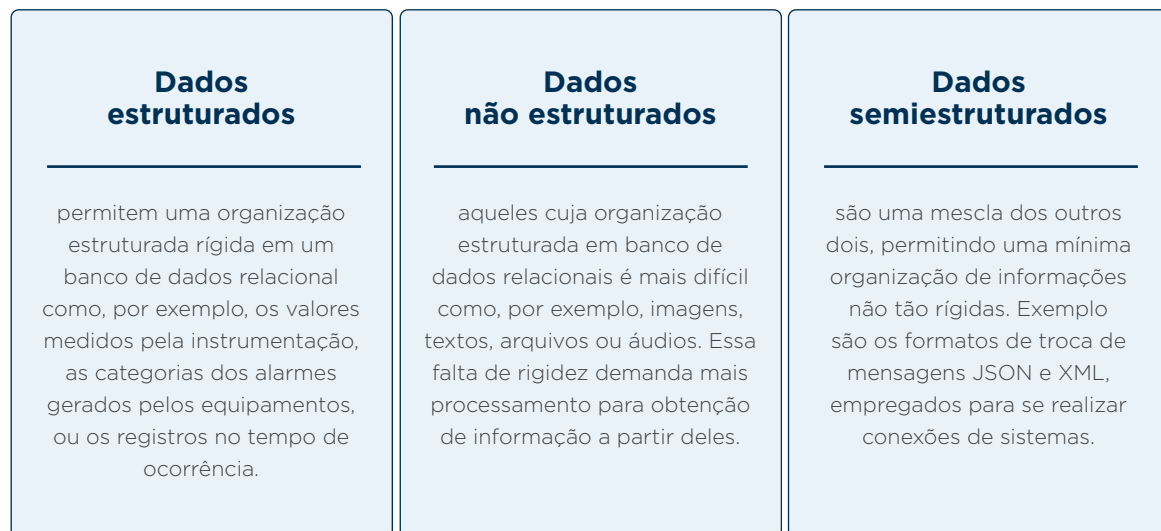
---

## Obtenção e Processamento dos dados

Embora os resultados procedentes da análise de dados ofereçam maior confiabilidade e rastreabilidade, há aspectos importantes que devem ser considerados no momento de se realizar um plano de obtenção e gestão dos dados.

A começar pelos tipos de dados a serem gerados e analisados, que podem ser:

**Figura 9. Exemplo de parâmetros de monitoramento de um filtro de água contaminada.**



Fonte: Braghetto, 2016

Os equipamentos dotados de sensores de fábrica geralmente entregam dados que podem ser estruturados, como o status de operação ou rotação do motor. Porém, aplicações mais modernas disponibilizam informações não estruturadas, como as câmeras de classificação baseadas em imagem. Se for uma questão de opção, recomenda-se concentrar os esforços iniciais nas fontes de dados estruturados, que demandam menor custo computacional na etapa de predição de falhas.

## Fluxo de dados no processo produtivo

Os itens seguintes trazem informações sucintas para auxiliar uma empresa na aquisição de recursos ligados a fontes de dados e dispositivos IoT, conectividade, gestão de dados das informações e cibersegurança.

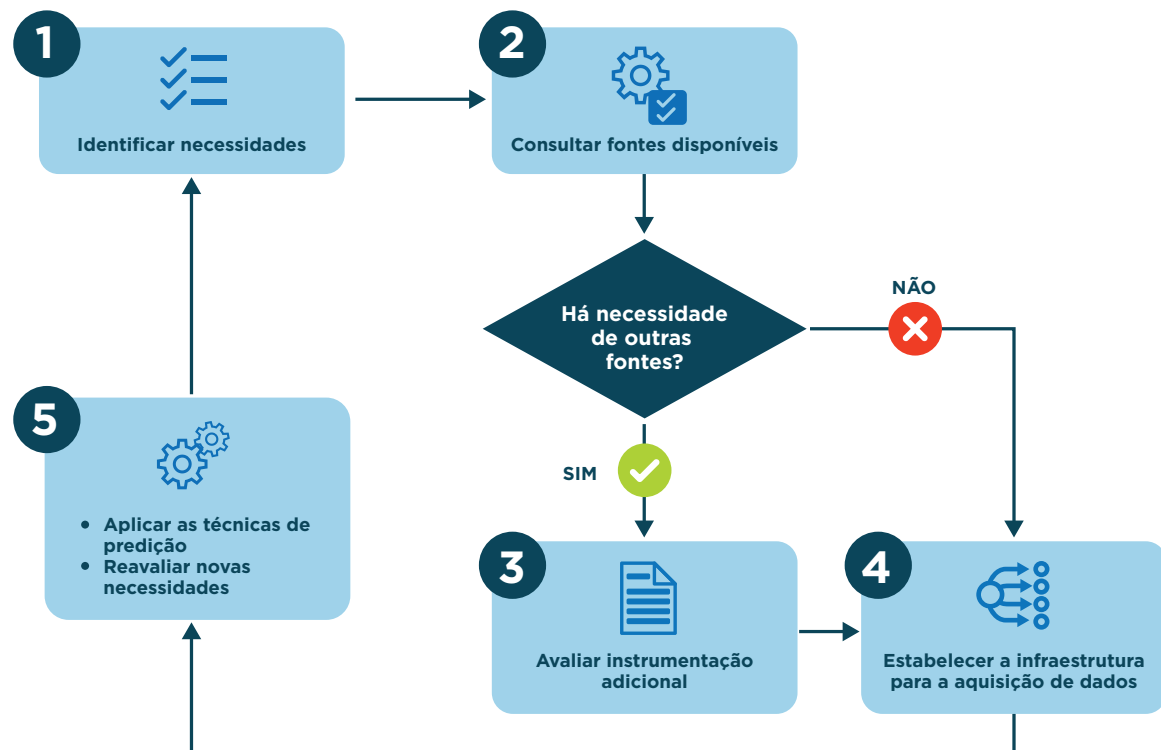
## Formas de obtenção de dados

A maneira como são coletados os dados que irão compor a base a ser utilizada nos processos preditivos é de fundamental importância para o sucesso da implantação das tecnologias habilitadoras da manutenção preditiva. A escolha correta das fontes onde esses dados serão extraídos impactará diretamente na



viabilidade técnica e econômica do projeto. Então, ter de forma muito clara o problema que deseja resolver e os tipos de dados que auxiliarão nesta tarefa é essencial.

**Figura 10 - Ciclo para escolha das fontes para aquisição de dados para Manutenção Preditiva.**



Fonte: autoria própria.

A seguir serão detalhados os 5 passos apresentados na Figura 10.

### 1. Identificar necessidades de dados

A identificação dos dados necessários começa com a definição do ativo que será monitorado. A seguir, deve-se analisar os modos de falha desse ativo. Finalmente, avalia-se quais dados são necessários para elaborar um modelo de predição para esse ativo.

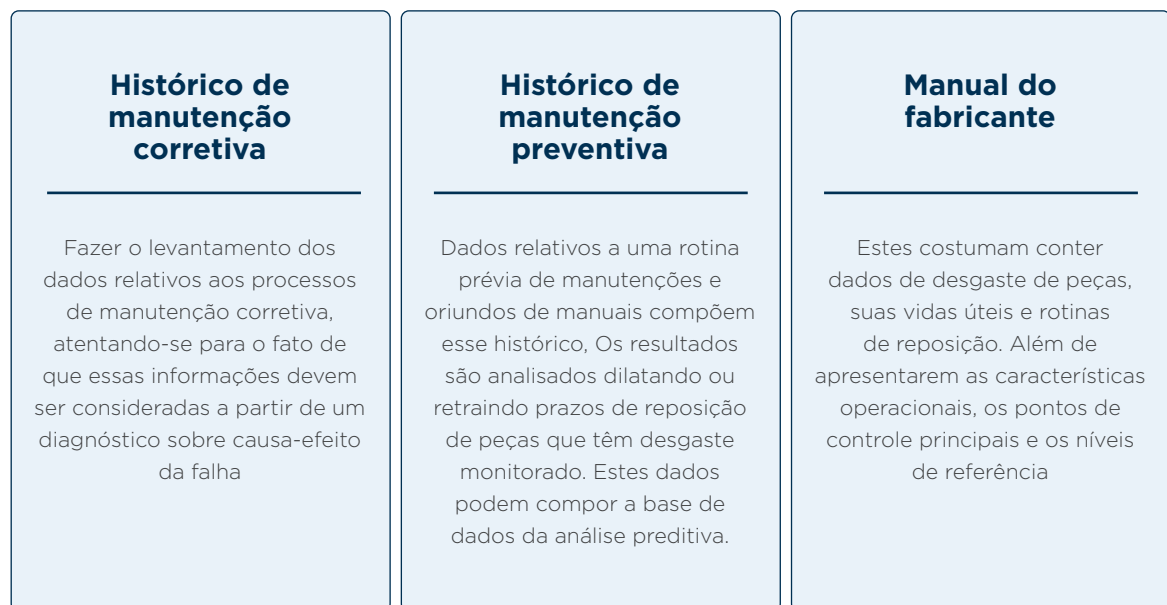
Quais as informações já estão disponíveis na empresa?

A resposta a essa pergunta engloba a avaliação das informações já existentes:

- históricos de manutenção corretiva e manutenção preventiva - será possível elencar os dados relativos aos processos de manutenção;
- manual do fabricante do ativo - características operacionais do ativo e especificações de manutenção. Caso não sejam suficientes, a consulta ao fabricante deve ser considerada.

A partir disso, começa-se a formar uma visão sobre as necessidades que deverão ser atendidas nas etapas de aquisição de dados dos equipamentos.

**Figura 11 – Fontes de informações organizacionais disponíveis.**



Fonte: autoria própria.

## 2. Consultar outras fontes de dados disponíveis

Quais são os dados já disponibilizadas pelos equipamentos escolhidos?

É importante determinar se já existem fontes de dados:

- Sensores;
- Sistemas de monitoramento, controle e corporativos (vide Figura 2);
- Planilhas de manutenção.

Eventualmente, se não houver sistemas implantados ou que não estejam sendo explorados adequadamente, por exemplo, por falta de integração entre eles, podem ser necessários investimentos adicionais em tecnologia ou capacitação.

Deve-se ainda avaliar:

- Existem sensores nas máquinas e no ambiente de produção para gerar os dados necessários?
- Qual a frequência de aquisição ou taxa de amostragem e resolução dos dados?
- Na utilização de dados históricos, estes foram reduzidos ou simplificados?

Quanto mais fontes de dados para alimentar o modelo de predição forem identificadas, menor será a necessidade de investimento com aquisição ou substituição de componentes para aquisição de dados, de gastos com instalação e de mão de obra.

Além disso, uma menor intervenção na produção minimiza o risco de falhas oriundas da substituição ou introdução de componentes nesta etapa de implementação de manutenção preditiva.

Deve-se considerar a normalização dos dados de modo que estejam num formato compatível ou interoperável com os dados já existentes. A equipe de TI deve ser envolvida para esse fim.

### 3. Instrumentação adicional

Para complementar o conjunto de dados necessários, podem ser empregados sensores adicionais.

De forma geral, a inclusão de sensores deve obedecer a algumas orientações básicas, tais como:

- Local em que será instalado – ambiente quimicamente agressivo, presença de pó ou outras partículas;
- Forma de fixação;
- Conectividade;
- Parametrização e configuração remotas;
- Fonte de energia;
- Mecanismos de segurança – privacidade dos dados e bloqueio a acessos indevidos;

- Influência do ambiente na qualidade dos dados – campos magnéticos ou outros fatores que possam causar distorção das grandezas medidas e dados gerados;
- Impactos indesejados na operação do equipamento monitorado.

A observação dessas características é necessária para assegurar que os dados gerados serão confiáveis e acessíveis, bem como a vida útil do sensor seja preservada.

Cada sensor tem a capacidade de medir diferentes grandezas, sendo que algumas estão listadas a seguir:

- **Temperatura:** variação da temperatura do equipamento, suas partes, entrada e saída do processo produtivo ou do ambiente de seu entorno.
- **Vibração:** oscilação acima dos valores normais podem indicar degradação em rolamentos e eixos, perda de alinhamento e necessidade de reaperto de partes do equipamento.
- **Ruído:** mudança do padrão sonoro e presença de sons irregulares. Pode estar ligado à realização da análise de vibração.
- **Torque e potência mecânica:** auxiliam na verificação das condições normais de operação, excessos de cargas, falhas de elementos de ligação e outros.
- **Deformações:** podem ser efeitos de altas cargas em elementos mecânicos, causando o deslocamento das partes do equipamento.
- **Células de carga:** são empregados, por exemplo, para avaliar a entrada de matéria-prima fora de especificação, pesagem de alta precisão.
- **Tensão, corrente elétrica e fator de potência:** são empregados para indicar aumento do consumo de energia elétrica, eficiência energética.
- **Assinatura térmica:** as variações do espectro termográfico podem indicar, por exemplo, mal contato em um quadro elétrico, a perda de eficiência de um motor, identificação de vazamentos, aquecimento de componentes elétricos, controle de qualidade, dentre outros.

Os elementos acima apresentados expandem as possibilidades para a análise de propostas tecnológicas à implementação de manutenção preditiva.

É importante que se leve em conta os formatos dos dados, a precisão, consistência e sua qualidade, bem como relacionar as diversas grandezas para que seja possível diagnosticar a que falhas elas se referem.

Entender os modos de falha e seus impactos na operação dos equipamentos é importante para especificar a solução IoT tecnicamente mais adequada, sua disponibilidade no mercado e os serviços especializados necessários.

Esses fatores são importantes para a escolha de fornecedores, bem como estabelecer a base contratual dessa relação.

#### 4. Infraestrutura de hardware e software

Para estabelecer uma infraestrutura para coleta de dados, recomenda-se primeiramente avaliar os meios de comunicação de dados necessários, que permitirão a interconexão entre dispositivos e os sistemas de informação que irão processá-los.

Algumas fontes de dados serão provenientes de sistemas de software, como de um ERP, do sistema de histórico de ocorrências ou de alarmes. Não é raro haver a necessidade de desenvolvimento de software um sistema de informação para viabilizar a coleta de dados. Listar todos esses meios é o primeiro passo a ser seguido.

No entanto, estes meios podem não possuir padrões que permitam o compartilhamento de informações entre si. Nesse caso, deve-se atentar ao método para efetuar a coleta desses diversos padrões. Algumas alternativas incluem o uso de dispositivos eletrônicos que fazem efetuar conversão destes padrões e de intermediadores de comunicação, chamados de gateways, específicos para uso utilização industrial, ou ainda de plataformas de IoT, que consistem em sistemas de software que rodam em servidores online e que implementam conversores de protocolos.

Neste caminho, é importante também definir como se dará a orquestração da rede que englobará as diversas fontes de dados em ambientes locais, em nuvem ou em modo que englobe essas duas opções – o híbrido. Para tanto, um orquestrador (ou broker) é um sistema de software que manipula os dados provenientes de diversas fontes para disponibilização nos destinos de interesse, como base de dados e painéis de monitoramento. As Plataformas de IoT representam uma solução robusta neste sentido, pois disponibilizam ferramentas de gerenciamento das fontes e armazenamento de dados, cibersegurança, armazenamento de dados e visualização em tempo real. Há diversas opções de plataformas no mercado como modelo de serviço em nuvem e há ainda as que se utilizam de

código aberto para quem deseja manter a sua própria infraestrutura de recursos de computação e armazenamento de dados – os data centers.

As plataformas de IoT podem também ser utilizadas na configuração de orquestração de dados a serem utilizados pelo sistema de predição. Elas já possuem bases de dados incorporadas e disponibilizam o conjunto de rotinas e padrões que facilita a troca de informações entre sistemas, além de permitir a recuperação de dados para posterior análise e recebimento de dados processados para armazenamento. No mais, algumas plataformas de IoT possuem aplicativos de predição para manutenção, facilitando ainda mais o processo de estabelecimento de manutenção preditiva.

### 5. Aplicação das técnicas de predição

Neste ponto do projeto, os dados das diversas fontes disponíveis estarão armazenados e concentrados na base de dados de manutenção preditiva. O próximo passo é executar as técnicas de predição escolhidas que indicarão os melhores momentos para execução das manutenções, garantindo eficiência e redução dos custos envolvidos.

## Conectividade e Comunicação

Um dos pontos-chave da infraestrutura necessária para implementação da manutenção preditiva diz respeito à garantia da conectividade das fontes de dados. Máquinas ligadas a sensores, softwares e outras tecnologias permitem o compartilhamento de dados por meio da internet. É essa troca constante de informações que permite o rastreamento de falhas e anomalias que possam interferir no processo industrial.

A comunicação automatizada entre esses dispositivos se utiliza de protocolos, que são padrões que definem a maneira como se dará essa transferência de dados. Existem diversos tipos de protocolos, que se distinguem pelos tipos de dados que transmitem e pelos dispositivos que são capazes de conectar. Os mais comuns são: Modbus, Profibus, Profinet, DeviceNet, HART, OPC e o OPC-UA. Essa rede industrial de troca de informação entre dispositivos pode se utilizar de cabeamento ou de tecnologia sem fio. A do primeiro tipo é amplamente empregada nos projetos de automação industrial, possibilita diversos tipos de conexão entre computadores e componentes, além de flexibilidade de configuração e adição de dispositivos de fabricantes diferentes.

Em relação às redes sem fio, as mais utilizadas em ambientes industriais são a Wifi, o 5G privado e a LoraWan. Geralmente, possuem como vantagem a ampla cobertura a custo reduzido e flexibilidade para adição de novos dispositivos na rede.

Destacamos a tecnologia 5G, que representa a quinta geração da tecnologia padrão para comunicação por redes celulares e tende a contribuir para uma maior eficiência da manutenção preditiva. Ela habilita a aplicação de internet das coisas e a comunicação praticamente em tempo real entre dispositivos, uma elevada capacidade de conexão e maior velocidade. No mais, permite a utilização de redes privadas que oferecem conectividade unificada, com privacidade e segurança na troca de informações.

Vale ressaltar que a escolha pelas tecnologias mais adequadas deve envolver atenção às características do ambiente onde serão instaladas. Questões como geração de ruído eletromagnético e altas temperaturas podem ser fatores limitantes à adoção de redes sem fio, por exemplo.

## Protocolo industrial para IoT: OPC-UA

A OPC Foundation mantém o OPC Unified Architecture (OPC-UA), um protocolo industrial utilizado para comunicação máquina a máquina, totalmente aberto, multiplataforma e com arquitetura voltada a serviços. Esta última abordagem o torna adequado para Internet das Coisas e permite o monitoramento em tempo real do que ocorre em campo, sendo um importante aliado para a manutenção preditiva.

A evolução do OPC-UA permitirá que a rede controle tanto a comunicação de alto nível, nas camadas superiores da pirâmide de automação, quanto a de baixo nível, permitindo, inclusive, o uso nas aplicações de controle comando em tempo real. A figura 12 demonstra os potenciais do OPC-UA:





- Maximizar o volume de informações relevantes ligadas aos processos de manutenção;
- Incorporar melhores práticas em processos de manutenção, com base em documentos técnicos provenientes de fontes de informação pertinentes;
- Avaliar a implantação de governança de dados na empresa, utilizando, por exemplo, aplicações de business intelligence e inteligência artificial, e a criação de repositórios de dados voltados à visualização e análises, a partir dos vários bancos de dados da empresa.
- Prospectar a adoção de tecnologias recentes e inovadoras, verificando a viabilidade de empregar modelos de processos produtivos baseados em gêmeos digitais (digital twins), por exemplo, ligados à vida útil de equipamentos, sensores, entre outros, com foco em gestão, mineração e análises de dados, mineração de dados e análises.

Cabe observar que a solução de gestão de dados empregada deverá ser customizada para a empresa, considerando características específicas de seu ambiente produtivo e estratégias de negócio.

Outro aspecto relevante é que a busca por ferramentas mais adequadas poderá indicar a utilização de diferentes produtos de mercado para cada área da empresa (administrativa, técnica, etc.).

Nesse contexto, devem ser detalhados requisitos ligados à integração, compartilhamento e interoperabilidade entre as ferramentas, incluindo critérios relativos às interfaces com os usuários (interface homem-máquina e experiência do usuário).

Entre os aspectos a serem observados na realização de uma gestão de dados adequada, destacam-se:

- **Desempenho:** refere-se à agilidade e facilidade para selecionar ou recuperar dados, levando-se em conta o volume de dados, os tipos de dados, o armazenamento, a organização e as ferramentas de busca disponíveis (hardware e software).
- **Arquitetura de dados:** permite que uma organização tenha conhecimento de seus dados e suas relações, valorizando os seus ativos digitais e incorporando-os nos seus processos operacionais e estratégicos. Desta

forma, uma empresa pode desenhar um plano para sua transformação digital e executá-la conforme suas possibilidades ao longo do tempo.

- **Transmissão de dados:** meios físicos disponíveis e respectivas condições para conectar as unidades da empresa que farão uso das informações.
- **Qualidade:** garante a entrega de dados relevantes e úteis aos usuários, com a menor incidência de erros possível, considerando particularidades no vocabulário e linguagem interna da empresa, além de adaptados ao mercado no qual a empresa atua.
- **Acessibilidade:** refere-se a níveis de segurança e disponibilidade de dados coletados para diferentes grupos de usuários da empresa (administradores, área operacional, etc.).
- **Usuários:** informações sobre seu perfil e necessidades, fornecerão requisitos para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina, painéis de visualização de informações, além de permitir a identificação de ações para treinamento e capacitação.
- **Integração:** essencial para qualificar os dados do ponto de vista de valor e significado, possibilitando o compartilhamento de dados entre as partes envolvidas, a identificação de etapas nas quais são combinados os dados de Tecnologia de Operações com os de Tecnologia de Informações, por exemplo.
- **Visualização:** permite avaliações dos dados a partir da observação de diferentes fontes de dados, dispensando sua reorganização em novos ambientes para que sejam analisados.
- **Análises:** permitem estabelecer os parâmetros prioritários para a gestão de dados dentro da empresa, alinhando-os à estratégia do negócio.

Há alternativas tecnológicas para a gestão de dados, de forma a auxiliar as empresas na gestão de mais de um repositório de dados, como os chamados banco de dados transacionais. Outra categoria de ferramentas que auxilia no acompanhamento dos processos produtivos e operacionais são os painéis de visualização (*dashboards*), utilizados em salas de situação e centros de controle operacionais.

A seleção de tecnologias que formarão o ambiente adequado para a gestão de dados da produção deverá focar nas necessidades da empresa, nas prioridades de seus processos de manutenção e na capacitação de sua equipe.

Há alguns aspectos que podem auxiliar os gestores na escolha e especificação de um sistema de dados a ser implementado em ambiente produtivo, fornecendo base para discussões junto às suas equipes e obtenção de recursos financeiros para aquisição e implantação de soluções:

**Quadro 1 – Aspectos relevantes para levantamento de requisitos de uma solução de gestão de dados voltada à manutenção preditiva.**

Aspecto	Detalhamento de características e área de aplicação
<b>Captura de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listar as fontes de dados existentes por processo, área de aplicação e/ou localização.</li> <li>Identificar áreas onde haja interesse para implantação no futuro.</li> <li>Para cada fonte de dados, listar características observando:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Fornecimento de dados adequados à execução das atividades;</li> <li>Necessidade de reparo, substituição e/ou atualização de componentes existentes;</li> <li>Características desejáveis para componentes a serem adquiridos no futuro.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Qualidade e confiabilidade dos dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buscar garantias de que os dados coletados refletem a situação real, avaliando, por exemplo, os erros associados à medição de grandezas físicas obtidas por meio de sensores.</li> </ul>
<b>Integração de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantar as áreas da empresa que requerem o compartilhamento de dados, por exemplo, Tecnologia de Operações e Tecnologia de Informações.</li> <li>Para cada compartilhamento de dados identificar: as informações de entrada e saída nas áreas, tipo de dado, formato de exibição e/ou armazenamento, quantidade de informações trocadas e sua periodicidade, nível de acesso e segurança pelas equipes.</li> </ul>
<b>Sistemas de gestão de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para sistemas legados, sistemas em utilização ou a serem implementados, levantar características que apoiem processos do negócio, tais como: volume, tipo de dados (imagens, vídeos, etc.), periodicidade, fluxo de dados, atividades de compilação e tratamento de dados, etc.</li> </ul>
<b>Acessibilidade e segurança dos dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar grupos de usuários com permissões e visões específicas, acesso a painéis de visualização, download de informações, etc.</li> </ul>
<b>Disponibilidade dos dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliar se há quantidade suficiente de dados confiáveis (com qualidade), informações heterogêneas, conectividade.</li> </ul>
<b>Auditagem dos dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prever mecanismos de verificação das informações, de maneira a prevenir perdas e/ou inconsistência de dados.</li> </ul>

Aspecto	Detalhamento de características e área de aplicação
<b>Oportunidades de mercado</b>	Levantar informações considerando: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantação de novos produtos e/ou serviços, possivelmente atingindo outros mercados e/ou clientes;</li> <li>• Digitalização de processos e incorporação de tecnologias mais recentes;</li> <li>• Redução de custos de produção;</li> <li>• Agregação de valor em produtos e serviços;</li> <li>• Aumento da sustentabilidade do negócio.</li> </ul>
<b>Infraestrutura para comunicação, manipulação, tratamento e armazenamento de dados</b>	Considerar aspectos ligados a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• arquitetura do ambiente, disponível ou a implantar;</li> <li>• armazenamento de dados na borda (edge) ou em nuvem (cloud).</li> </ul>
<b>Transmissão de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar plataformas utilizadas na empresa e/ou opções para implantação, falta de padrões universais para componentes da solução, interoperabilidade entre componentes, etc.</li> </ul>

Fonte: FIA - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. Gestão de Dados: o que é, princípios e 7 táticas eficientes. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/gestao-de-dados>. Acesso em: 15 out. 2021

Uma solução para gestão de dados deve contemplar a especificação de requisitos ligada à: capacidade de processamento de dispositivos locais, na borda ou máquinas/computadores remotos; atributos como: velocidade, largura de banda, mecanismos de acesso, armazenamento; informações adicionais sobre análise e visualização de dados.

## Cibersegurança

As preocupações com cibersegurança são fundamentais para o sucesso da implantação dos mecanismos de coleta de dados para Manutenção Preditiva. Vazamento de dados ou vulnerabilidades que permitam o controle por pessoas não autorizadas pode resultar em danos severos à operação industrial.

A área de cibersegurança trata não apenas falhas acidentais, que comumente comprometem a continuidade da operação de sistemas ou reduzem seu desempenho, mas também de falhas lacunas propositais, causadas por agentes maliciosos com o objetivo de extrair informações sigilosas, modificar dados sem autorização, ou ganhar qualquer tipo de vantagem indevida no sistema.

Na Indústria 4.0, o elevado grau de automação e uso de sistemas computacionais na operação do sistema desenvolve diversas oportunidades para a ação de agentes maliciosos. Lidar com essa ampla superfície de ataque torna-se, portanto,

uma tarefa complexa, algo reconhecido em vários estudos sobre cibersegurança, voltados à Indústria 4.0. Em linhas gerais, pode-se dizer que envolve pelo menos duas disciplinas relacionadas e complementares: segurança por projeto e a gestão de riscos.

O conceito de segurança por projeto refere-se à integração de mecanismos e boas práticas de segurança desde a concepção do sistema. A razão para isso é que a crença de que cibersegurança pode ser “plugada” no sistema, apenas em um segundo momento comumente leva a vulnerabilidades que só poderiam ser solucionadas com uma ampla reengenharia do sistema ou de partes dele.

Princípios fundamentais como, separação de deveres, autenticação e controle de acesso, proteção de dados com criptografia forte, aplicação intensiva de testes, defesa em profundidade (com barreiras de segurança em diversos pontos do sistema, tratando tanto atacantes externos como internos), e a atribuição de um nível de privilégio correspondente ao mínimo necessário para que pessoas e componentes do sistema consigam cumprir suas responsabilidades, são exemplos de aspectos a serem considerados no projeto de soluções robustas.

A gestão de riscos, por sua vez, tem relação com a construção de políticas de segurança adequadas para o sistema alvo, contemplando um conjunto de ações e procedimentos que buscam:

- identificar ativos relevantes no sistema e como eles podem ser ameaçados;
- avaliar o risco associado a cada ativo e ameaça, considerando a probabilidade de que a ameaça se concretize e as consequências resultantes;
- promover a implantação de controles de segurança e o monitoramento contínuo do sistema, de atualizações de softwares, firmwares e APIs, com o objetivo de prevenir incidentes ou permitir uma resposta rápida a eles, mitigando seus efeitos caso ocorram;
- acompanhar de forma contínua a política de segurança do sistema, com revisões periódicas e auditorias específicas como parte do processo de tratamento de incidentes.

É recomendado que a gestão de riscos parta de bases de referência que sejam aplicáveis ao cenário em questão. Por exemplo, no contexto da indústria 4.0, podem ser considerados guias de boas práticas específicas, bem como aqueles que contemplem cenários um pouco mais amplos, como a Internet das Coisas.

# Capítulo 5

---

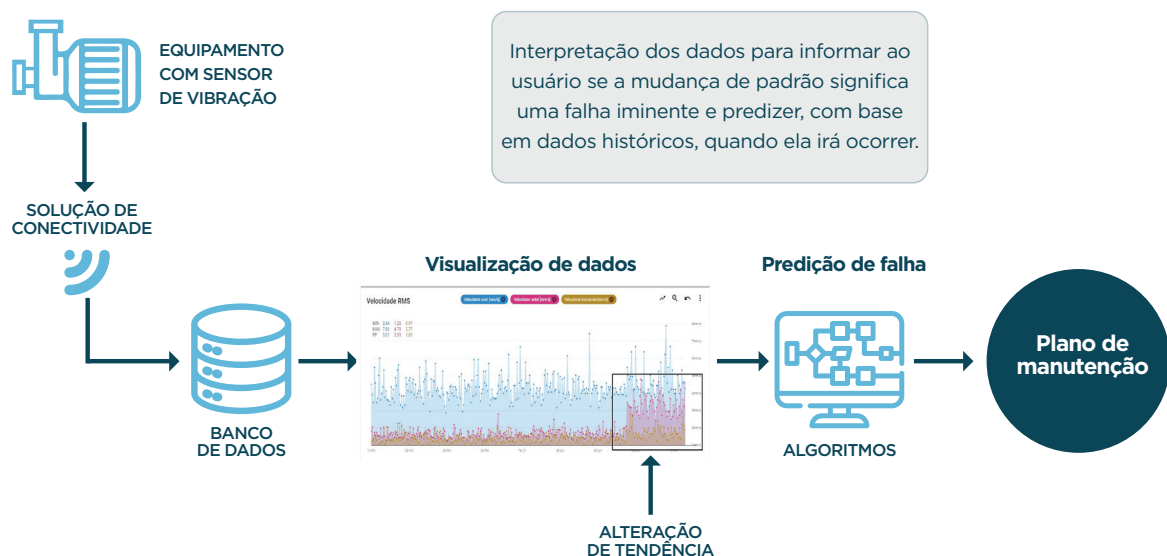
## Processo de predição de falhas

Ao longo deste Guia enfatizamos que o objetivo da manutenção preditiva é prever a ocorrência da falha com antecedência. Para tal, são utilizados modelos estatísticos e técnicas de previsão para o processo suportado pelo equipamento que será monitorado.

Para que a empresa possa aplicar de maneira eficiente e automatizada os preceitos de manutenção preditiva, deverá utilizar uma aplicação de *machine learning* (aprendizado de máquina). Nela, são criados algoritmos para processar os dados coletados do equipamento monitorado e que servirão como base para o modelo que fará previsões sobre falhas.

Tomemos como exemplo a manutenção preditiva no equipamento motor-bomba demonstrado pela Figura 13. Nele, dados de vibração são recolhidos através de sensores localizados em partes estratégicas da máquina.

**Figura 13. Representação do fluxo de dados e sua transformação em informação.**



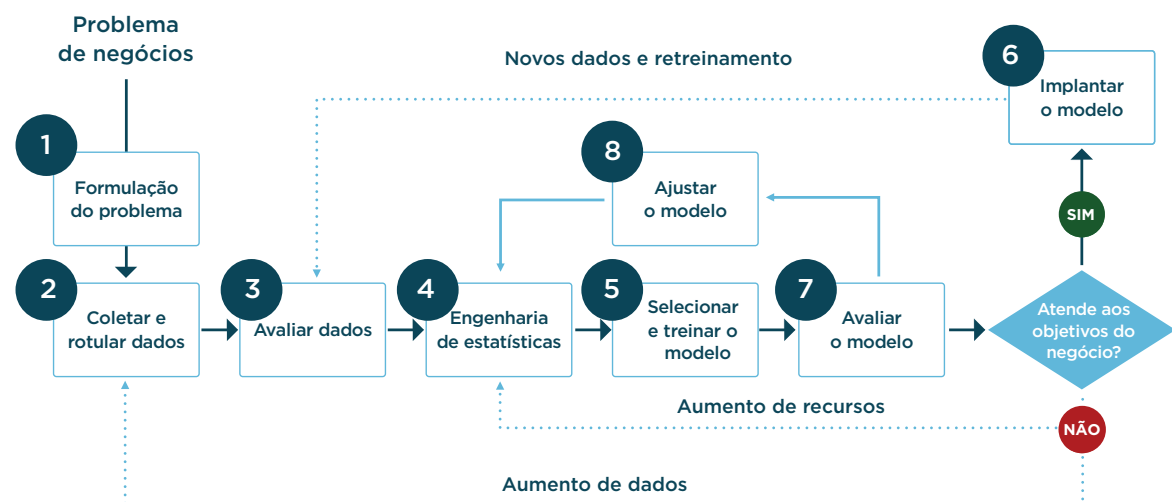
Fonte: autoria própria

Neste caso, os dados são transmitidos para um banco de dados através de rede sem fio. A visualização destes dados em forma gráfica auxilia no monitoramento do equipamento e na observação de desvios dos padrões operacionais esperados. Para se assegurar de que se esteja monitorando as grandezas certas, é importante identificar quais são elas e em que pontos no equipamento é possível medi-las.

O histórico destes dados obtidos constitui a base para a interpretação de mudanças no padrão do funcionamento de um equipamento, na iminência de uma falha ou na predição de quando ela poderá acontecer. Para a automatização deste processo é possível utilizar um fluxo de trabalho (*pipeline*) com todas as etapas a serem seguidas, desde a extração de dados até o treinamento e implantação de um modelo de automatização.

O diagrama da Figura 14 representa as etapas que podem ser seguidas para criar e automatizar uma aplicação de *machine learning*, mapeando em cada etapa suas tarefas específicas:

**Figura 14. Pipeline de Machine Learning. Modelo adotado pela AWS.**



Fonte: <https://aws.amazon.com/pt/training/awsacademy>

As etapas incluem:

- 1:** a formulação de problema a ser o foco das ações;
- 2:** como obter, limpar e rotular dados para as atividades de *machine learning*;
- 3:** as ferramentas e técnicas para entender os dados obtidos;
- 4:** o pré-processamento dos dados para que eles estejam prontos para treinar um modelo;
- 5:** a seleção e o treinamento de um modelo de *machine learning* apropriado;
- 6:** a implantação de um modelo que possa prever resultados;
- 7:** exame do processo de avaliação da performance de um modelo de *machine learning*;
- 8:** orientação durante o ajuste do modelo.



## Desafios de implementação de *machine learning*

O pipeline de *machine learning* é um processo iterativo, ou seja, as etapas são repetidas continuamente de forma a alcançar o melhor modelo e algoritmo, que sejam acessíveis, escaláveis e que deles se possam obter os melhores resultados.

Neste caminho, pode encontrar desafios relacionados aos dados, usuários, negócios e tecnologia. Nestes âmbitos, é importante fazer questionamentos como:

### Dados:

- Os dados são precisos e confiáveis em relação ao problema?
- Os dados obtidos são consistentes?
- Os dados obtidos podem ser convertidos em recomendações práticas?
- Em qual formato e repositório os dados se encontram?

### Usuários:

- Os usuários têm conhecimento em relação ao que a ferramenta proporciona?
- Os usuários conseguem agir a partir da informação gerada?
- Há controle em relação à possibilidade de corromper não intencionalmente o sistema?

### Negócios:

- Foi avaliada a complexidade do problema à aplicabilidade do *Machine Learning*?
- O modelo resultante pode ser explicado para a empresa?
- Qual é o custo de criação, atualização e operação de uma solução de *Machine Learning*?
- Quais são os parâmetros e a periodicidade de análise para transformar dados em informações acionáveis?

### Tecnologia:

- A unidade de negócios tem acesso aos dados dos quais precisa? Os dados podem ser protegidos para atender a quaisquer requisitos normativos?
- Quais ferramentas e estruturas a empresa planeja usar?
- Como essa solução se integra a outros sistemas já existentes na empresa?
- Há flexibilidade da arquitetura de IA permitindo ajustes nos parâmetros, a melhoria ou substituição do algoritmo de IA utilizado?

- Quais foram as capacidades e requisitos definidos para executar os Algoritmos?
- Como foram consideradas as arquiteturas *Analytics* e IA na à borda (*edge*) ou em nuvem (*cloud*) ?

## Treinamento do *Machine Learning*

A etapa de treinamento de *machine learning* é a que vem em sequência da seleção, coleta e armazenamento de dados. Comumente estes dados são séries temporais geradas pelos sensores e podem estar:

- num servidor ou em um computador local;
- em fluxo de geração contínua para ser processado num servidor local;
- em fluxo de geração contínua para ser processado no próprio sensor;
- comunicação contínua ou quase contínua para serem processados em um servidor, ou na nuvem.

A partir disso, o princípio da manutenção preditiva aqui proposta inclui:

- 1.** treinamento de uma base de dados e;
- 2.** seleção ou desenvolvimento de um algoritmo para aprender com esta base e prever com ela.

A manutenção preditiva depende de uma base de dados supervisionada e sua principal etapa é o treino desta base de dados. O ideal é que haja um time composto por pelo menos um engenheiro da manutenção e um cientista de dados, que irão interagir para treinar essa base de dados e testar os algoritmos de aprendizado.

O objetivo do algoritmo de aprendizado é achar um conjunto ótimo de parâmetros os quais o modelo preditivo consiga gerar previsões precisas dos valores obtidos para cada conjunto grupo de dados de entrada.

O procedimento de *machine learning* necessita de uma base de dados treinada como input, que é geralmente é montada através de modelos tradicionais de séries temporais. O algoritmo *machine learning* irá aprender com esta base treinada, que se baseia comumente na minimização dos erros.

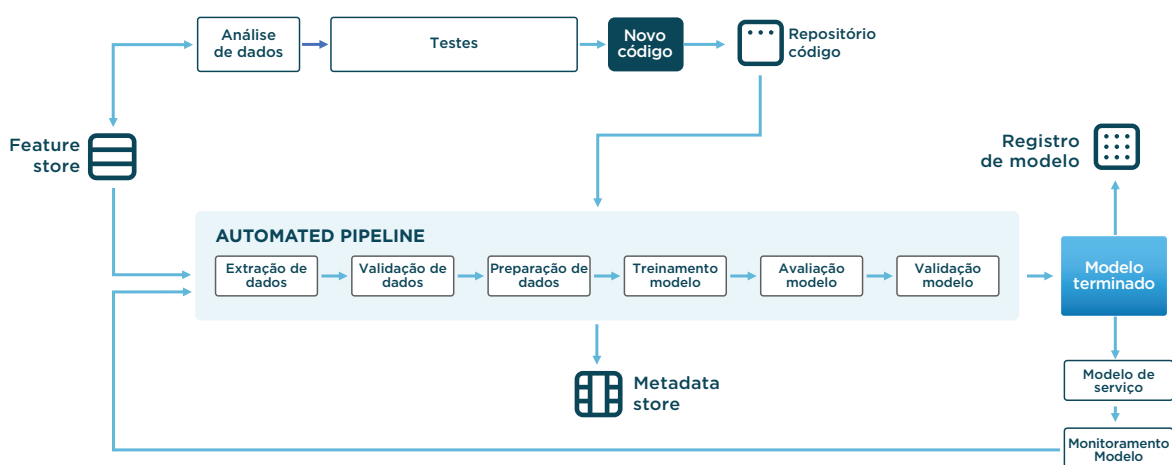
## Ciclo automatizado de *Machine Learning*

Geralmente após uma certa maturidade do modelo de dados há a necessidade de se utilizar uma abordagem automatizada de *machine learning*. Essa automatização acelera as tarefas, que costumam ser mais demoradas e interativas do desenvolvimento de modelo de *machine learning*.

A automatização do ciclo de vida de *machine learning* auxilia no processo de se descobrir modelos que apresentem o desempenho mais elevado em relação às métricas estabelecidas. Com ela, o algoritmo que demonstrará o melhor desempenho é identificado de maneira mais rápida, com um nível mais elevado de confiança e controle dos dados.

Paratanto, o foco dos esforços dos trabalhos da equipe de dados se dá na automatização da extração de dados, do treinamento de modelos, da implantação e monitoramento do modelo implantado (Figura 15).

**Figura 15. Ciclo automatizado de *Machine Learning*.**



Fonte: <https://valohai.com/machine-learning-pipeline/>

A estruturação deste processo de automatização envolve interação entre diferentes profissionais, como um funcionário que possui conhecimento aprofundado sobre o equipamento que será monitorado e um especialista em dados que criará o modelo baseado em algoritmos de treinamento, geralmente um cientista de dados. Este profissional irá criar um modelo capaz de reconhecer padrões e aplicar cálculos matemáticos automaticamente, de modo a fazer previsões a partir dos dados gerados em tempo real pelo equipamento monitorado.

É recomendável que as equipes iniciem o projeto com um fluxo de trabalho manual, onde não exista uma infraestrutura real. A coleta e a limpeza de dados, treinamento de modelo e avaliação podem ser escritos em um único ambiente, em código aberto e passível de serem utilizadas diferentes linguagens de programação. Após algumas etapas técnicas, esse conjunto de informações servirá de base para o estabelecimento de um conjunto de rotinas, protocolos e ferramentas a serem utilizadas na predição de falhas.

# Capítulo 6

---

## Treinamento e desenvolvimento para manutenção preditiva

Qual é o foco do projeto de implementação de manutenção preditiva? Enfatizamos a importância de se ter em perspectiva a finalidade das ações a serem desenvolvidas, os processos necessários, os equipamentos escolhidos, os tipos de dados a serem elencados, dentre outros. Adicionalmente, o preparo das pessoas que participam deste processo é um elemento essencial para o sucesso do projeto em todas as suas etapas.

O treinamento destes indivíduos tem por objetivo fazer com que obtenham, melhorem e retenham as habilidades, conhecimentos, ferramentas, equipamentos e outros recursos necessários para realizar seus trabalhos com competência e correção técnica. Envolve o nível técnico/operacional, bem como o estratégico, uma vez que as organizações passam a tomar decisões com base em dados e informações geradas.

A preparação dos funcionários representa ainda o momento no qual a empresa pode enfatizar o fato de a manutenção preditiva significar uma forma de mitigar riscos relacionados à produção e reforçar seus valores em relação a isso.

Logo no planejamento da implementação, a empresa poderá identificar a necessidade de realização de treinamentos específicos entre as áreas e seus funcionários que atuarão diretamente no processo e que farão uso das tecnologias adotadas. Seus perfis de usuário, os requisitos para o desenvolvimento da interface homem-máquina, a forma como se dará a integração e o compartilhamento de dados permitirão a identificação de ações para a capacitação.

Ao avaliar os processos produtivos envolvidos na implementação pode-se ainda enfatizar a diferença da intensidade de treinamento diante do nível de complexidade dos dados a serem obtidos e dos equipamentos adotados. Para a análise de vibração, por exemplo, comumente é necessário um treinamento mais intensivo.

Um treinamento pode ser desenvolvido de diferentes maneiras, com apoio de consultorias especializadas ou até mesmo em parceria com fornecedores, caso haja aquisição de novos equipamentos. Diversas fabricantes de sensores e outros equipamentos para manutenção preditiva oferecem treinamento aos funcionários das empresas que adquirem seus produtos.

As vantagens deste, caso incluam a possibilidade de haver um direcionamento dos conhecimentos teóricos a serem desenvolvidos em campo, de forma direta, e de posterior serviço de suporte oferecido pelo fornecedor por um período determinado.

Esse contato com empresas pode ser utilizado também para compreender como se dão os treinamentos e o desenvolvimento das habilidades requeridas dos funcionários para manutenção preditiva.

O aprendizado dos funcionários pode ocorrer ainda de maneira menos formal nas organizações que irão desenvolver implementação de manutenção preditiva. De acordo com a cultura de boas práticas, as empresas podem incentivar seus funcionários treinados a compartilharem seus conhecimentos com seus colegas de trabalho, durante o desenvolvimento de suas atividades cotidianas. Um dos exemplos desta prática envolve a realização de mentorias ou ainda de rotatividade na realização de tarefas.

Seja qual for o modo escolhido para a realização de treinamento, alguns aspectos centrais devem ser levados em conta pela equipe de gestão do projeto de implementação de manutenção preditiva:

**Quadro 2. Conjunto de aspectos importantes para direcionamento da gestão do projeto.**

Aspectos	Questões a serem consideradas
<b>Problemas centrais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planejamento para executar mudanças;</li> <li>Necessidade de capacitação das lideranças e gestores para promover mudanças;</li> <li>Necessidades de aquisição de conhecimentos em tecnologias e metodologias;</li> <li>Requalificação da força de trabalho já existente;</li> <li>Como preparar a empresa para a tomada de decisões baseadas em dados.</li> </ul>
<b>Treinamento e Desenvolvimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Habilidades técnicas (hard skills);</li> <li>Habilidades sociais (soft skills);</li> <li>Gestão de mudanças;</li> <li>Mapeamento de ativos intelectuais e conhecimento da comunidade;</li> <li>Consideração sobre o uso de recursos externos de conhecimento;</li> <li>Capacitação, recapacitação, aprendizagem contínua;</li> <li>Mudanças de mentalidade;</li> <li>Capacitação em metodologias ágeis de gestão de projetos;</li> <li>Gestão do conhecimento.</li> </ul>

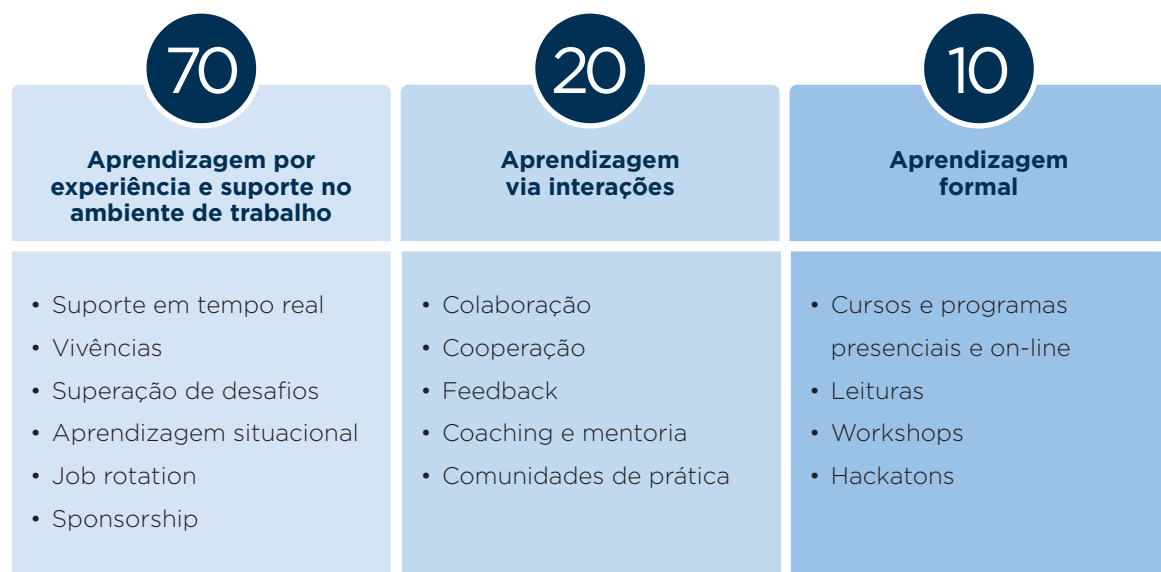
Fonte: elaboração própria.

O conjunto destas possibilidades de aprimoramento profissional no âmbito da manutenção preditiva pode envolver a metodologia conhecida como Modelo de Aprendizagem, ou 70-20-10. Esta abordagem aponta que o processo de desenvolvimento de habilidades profissionais se dá 70% relacionados à experiência própria e treino das habilidades competências em um ambiente controlado; 20% via interação e aprendizado com outras pessoas e 10% através de capacitação formal, o que inclui cursos e treinamentos presenciais e virtuais.

Essa junção entre diferentes frentes de conhecimento teórico e práticas compõe uma perspectiva ampla sobre o processo de aprendizagem dos funcionários, enfatizando a aquisição de conhecimento também no ambiente de trabalho e a interdependência entre os elementos formais e informais.

Importante enfatizar que metodologias como esta exemplificada não significa rigidez na determinação das ações e estratégias a serem adotadas. A empresa pode escolher uma que mais se adéque à sua cultura e necessidades, adaptar uma existente e mesmo criar um modelo de acordo com a sua realidade, com as características do projeto que irá desenvolver, as habilidades necessárias a cada função e funcionários envolvidos, bem como parcerias feitas junto a fornecedores e clientes. Alguns exemplos de ações a serem adotadas envolvem a seguinte estrutura:

**Figura 16. Modelo 70:20:10.**



Fonte: ARETS; JENNINGS; HEIJNEN, 2016.



O plano da implementação de manutenção preditiva pode incluir estas e outras dimensões junto à gestão de recursos humanos e da cultura organizacional. O propósito é de os trabalhadores implementarem em suas rotinas cotidianas o que aprenderem, para consolidarem seus conhecimentos e aprimorarem suas práticas.

Enfatizamos a importância da área de recursos humanos da empresa, que auxiliará na adoção desta ou de outras metodologias escolhidas para o treinamento e desenvolvimento dos funcionários. Um foco para além das máquinas, equipamentos e seus indicadores quantitativos sobre falhas e disponibilidade auxiliará a empresa na melhor gestão de seu pessoal, de forma a incentivá-los em seu crescimento profissional e participarem ativamente das mudanças organizacionais.

Este fato reforça a afirmativa de que a implementação da manutenção preditiva representa um processo integrado entre as áreas organizacionais. Isto colabora para que a transformação digital ocorra de forma satisfatória e estimule esforços semelhantes no futuro, com os times preparados e engajados.

# Capítulo 7

---

## Estudos de casos

## Caso Selco, C4IR e SENAI – Implementação de Plataforma de Gestão Inteligente de Manutenção Industrial

A Selco atua há 35 anos na produção de componentes para compressores alternativos e na oferta de serviços, atendendo a um amplo conjunto de segmentos industriais e de transporte. É uma empresa de capital nacional, cuja sede está localizada na cidade de São Bernardo do Campo – SP. Destaca-se ainda pelo investimento constante em pesquisa e, desenvolvimento e exportação para diversos mercados.

Junto com o C4IR foi desenvolvido um protótipo para a criação de um novo modelo de negócio voltado à oferta de serviço de manutenção preditiva. Também no âmbito do projeto de transformação digital da Selco e em parceria com o SENAI, foi desenvolvido um projeto de Plataforma de Gestão Inteligente de Manutenção Industrial.

### Desafios

Tendo em vista que a performance industrial da Selco é afetada pelas atividades de manutenção, eram geradas perdas em função das paradas de produção, baixa produtividade e custos extras na recuperação desses índices. A resolução destas questões envolvia a utilização de sistemas independentes e relatórios em papel, estatísticas em Excel e sistemas ERP complexos. Após levantamentos realizados nas auditorias de manutenção, foram escolhidos os equipamentos para obtenção e análise de dados na implementação da gestão inteligente de manutenção.

### Objetivos e metas

1. Automatizar a coleta de dados de sensores de medição, com foco em dados de manutenção;
2. Utilizar dispositivos móveis com aplicativos de comunicação e relatórios, permitindo mobilidade no chão da fábrica;
3. Armazenamento de bancos de dados históricos em servidores locais;
4. Utilizar aplicação web para visualização dos dados em tempo real;
5. Executar algoritmos *Machine Learning* com capacidade de processamento e análise de dados;
6. Verificar índices de manutenção de forma assertiva, através de dashboard;
7. Integração para leitura de variáveis coletadas pelos equipamentos de automação industrial; definir níveis de acesso e alertas para atuação da equipe de manutenção.

A plataforma a ser desenvolvida foi estruturada nos pilares de: aquisição de dados, ambiente web e mobilidade Android, armazenamento em banco de dados e *Machine Learning Python*. A aquisição de dados de manutenção é feita por sensores integrados nas máquinas ou por leitura de pontos de inspeção QRCode, disponibilizados em ambiente web e em dispositivos móveis Android dos técnicos. Os dados são armazenados em banco de dados, integrados em um ambiente de consulta e consolidação dos índices de produtividade MTBF, MTTR e disponibilidade. Os algoritmos de *Machine Learning* são construídos em duas etapas: identificação do modelamento, modelagem dos dados e construção customizada dos algoritmos, integrados com o ambiente de gestão da manutenção.

## Escopo

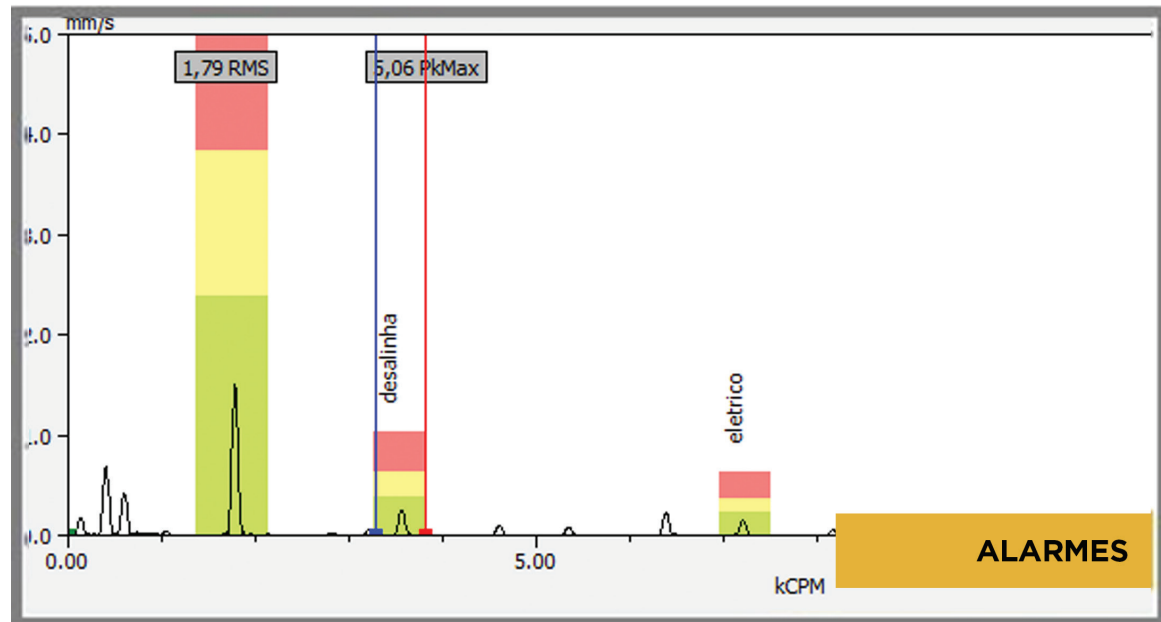
Foi incorporado ao projeto 6 Tornos CNC ROMI GL 170 V3.0 para aplicação, monitoramento e coleta de dados para manutenção preditiva. Serão coletados sinais de vibração no Eixo Árvore do Torno CNC ROMI GL 170 com sensor de vibrações da empresa Teknikao NK30.

Os dados coletados serão tratados pelo Monitor e Analisador de Vibrações NK880 - Sistema digital de monitoramento e análise de vibrações com 8 canais de entrada e comunicação TCP/IP (Internet e intranet) para PC.

O NK880 realiza registros de formas de onda e espectros de frequência, gerando gráficos de tendência com extrapolação global e por bandas (cada um dos 8 canais poderá fazer de forma independente a aquisição de sinais de velocidade, aceleração e envelope da aceleração do movimento vibratório).

Será utilizado um software de análise de vibrações, o SDAV da Teknikao, que analisa vibrações em máquinas e equipamentos rotativos, visando a manutenção preditiva, prestação de serviços, controle de qualidade, etc. Ele possibilita interpretar e analisar os dados compilados pelo Monitor e Analisador de Vibrações NK880, extrapolando os níveis de falha ou degradação do equipamento em uma curva 'PF' e determinando a tendência do ponto de falha e, assim, prescrever o momento da intervenção preventiva.

Os dados coletados podem também ser armazenados em um banco de dados modelados em um algoritmo de *Machine Learning Python* e integrados ao OEE.

**Figura 17. Análise de vibrações.**

Fonte: Software SDAV

## Fluxo de monitoramento preditivo

Após a coleta e compilação dos dados pelos sensores e sistema de análise, as informações de tendência de falha entram no *Backlog* de Manutenção, formando uma lista de priorização para intervenções preventivas no equipamento.

Neste caso, os dados estão disponíveis via um ERP de Gestão de Ativos e Manutenção, visíveis ao Engenheiro e ao Planejador de Manutenção. Este converterá os dados em uma solicitação de manutenção preventiva que, com as devidas tratativas de priorização e criticidade será convertida em uma Ordem de Serviço para execução pelo Técnico de Manutenção.

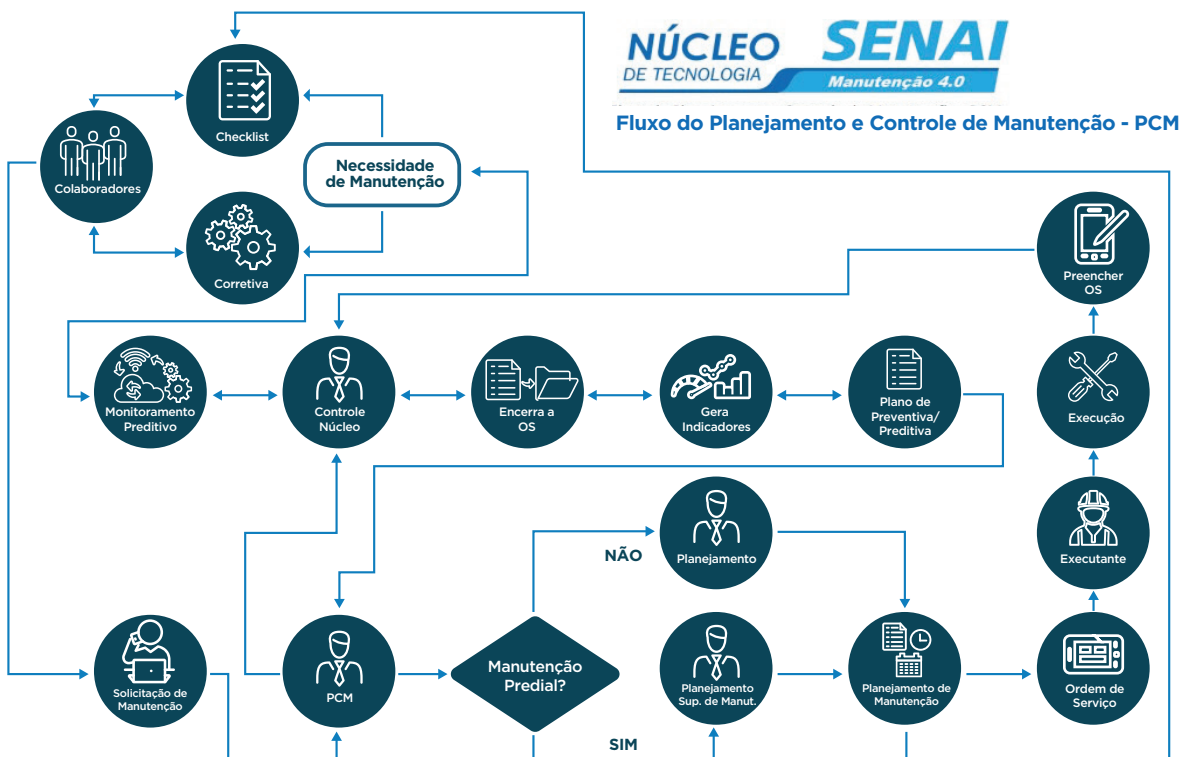
## Considerações Finais

No passado, a atividade de aquisição de dados era feita de forma manual, por um técnico especialista que coletava os dados e emitia um laudo contendo uma única cena de um determinado momento da coleta e, assim, com base em coletas intermitentes, realizava-se o diagnóstico preditivo.

Com a adoção de sensores fixados e instalados na máquina, foi possível uma análise com monitoramento e aquisição de dados em tempo real. Como a quantidade de dados é imensamente maior, o processo é muito mais assertivo e preciso, proporcionando maior confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

No plano de melhoria elaborado, as estimativas de ganhos englobaram uma melhor utilização da mão de obra, aumento da utilização do uso de ativos, um melhor planejamento de serviços, redução de compra de novos ativos e de inventário de peças de reposição e um melhor aproveitamento de garantia.

Figura 18. Fluxo de monitoramento preditivo.



Fonte: SENAI-SP

## Estudo de caso AstraZeneca

O objetivo da coleta de dados realizada via utilização de sensores é identificar desgastes em equipamentos rotativos com base nas vibrações geradas pelo seu funcionamento. Com isso, é estabelecido o momento exato de eventuais intervenções e aumenta-se a confiabilidade e disponibilidade operacional, reduzindo possíveis manutenções corretivas (quebras não previstas).

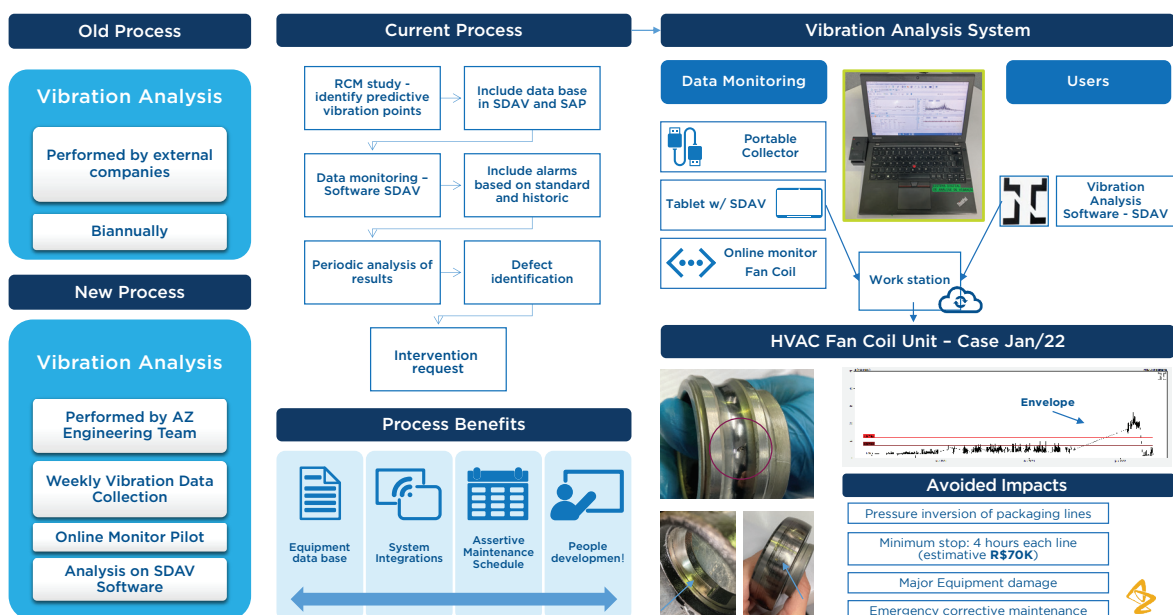
## Desafios

Antes da implementação de manutenção preditiva na planta de Cotia-SP, a empresa realizava análise de vibração a cada dois anos, através da contratação de empresa terceirizada. Com o novo processo, a equipe de engenharia da empresa ficou responsável pelas análises que passaram a ocorrer de forma semanal. Essa mudança foi acompanhada pelo acompanhamento on-line dos dados e de análises feitas por um software adquirido para tal.

No processo atual, a manutenção preditiva faz parte da estratégia de otimização da manutenção, cujos dados são incluídos e monitorados no software SDAV. Este software aplicativo atua na emissão de avisos em caso de identificação de desvios de padrões. A equipe responsável faz acompanhamento periódico dos resultados obtidos pelos sensores e, a partir disso, a identificação de possíveis falhas, com a consequente determinação de possíveis intervenções.

O sistema de análise de vibração envolve a conexão do monitoramento dos dados, realizado via coletor portátil, a utilização de um tablet fornecido pelo fornecedor e o acompanhamento on-line dos dados gerados.

**Figura 19. Arquitetura. Processos antigo e atual de análise de vibração na empresa.**



Fonte: AstraZeneca, 2022.

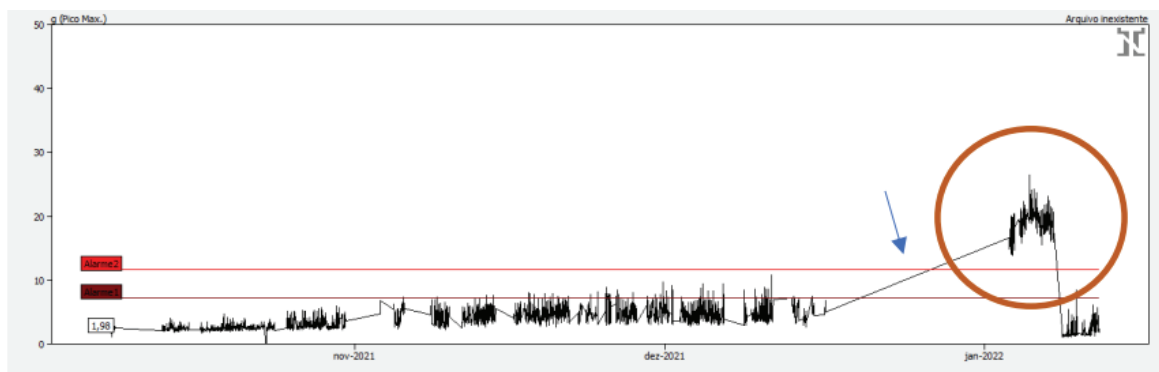
Como benefícios diretos desse processo, além da aquisição de tecnologia 4.0, evidencia-se a integração de sistemas, o estabelecimento de uma programação de manutenção mais assertiva e o desenvolvimento técnico do time participante.

## Escopo

No mês de janeiro de 2022 houve um aumento significativo no espectro geral do software, sinalizando um pico máximo muito acima do programado para o equipamento. Portanto, foi realizada uma análise mais aprofundada para entender a causa raiz desse fato em questão.

Na imagem abaixo, há a ilustração do histórico do funcionamento da máquina a partir de dados obtidos pelo sensor. O círculo em laranja indica o desvio de padrão deste funcionamento, com a indicação do aumento de picos, que estão além do alarme programado.

**Figura 20: Histórico funcionamento da máquina.**

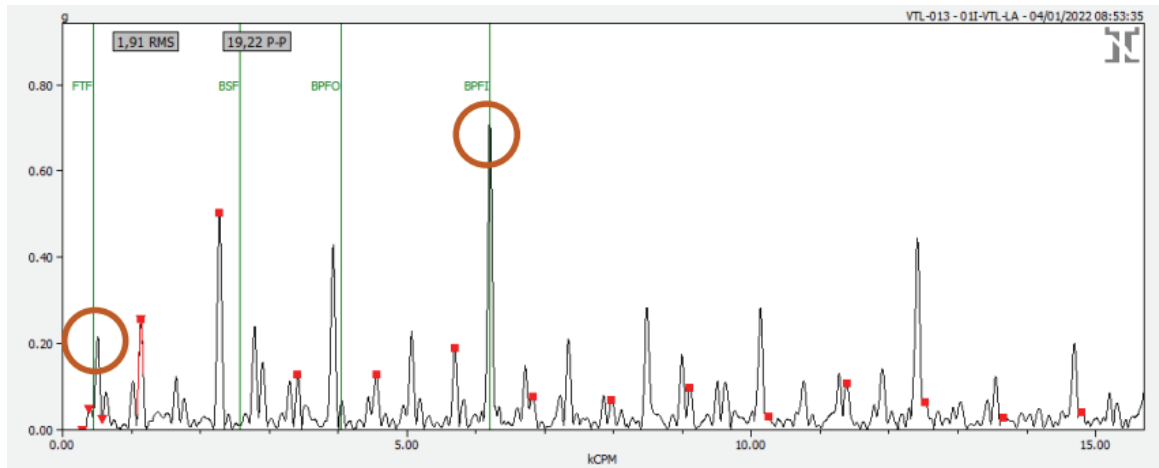


Fonte: Software SDVA – Teknikao.

Para analisar este caso de forma maneira mais específica, foi verificado o espectro de harmônicas, no qual se notou-se que os picos alcançados pela vibração do equipamento coincidiam com os picos do rolamento presentes nele, indicando um possível dano no material. Tal fato pôde ser observado na análise de outro gráfico, no qual foram verificados os picos alcançados pelo rolamento e os picos alcançados pela vibração do equipamento.



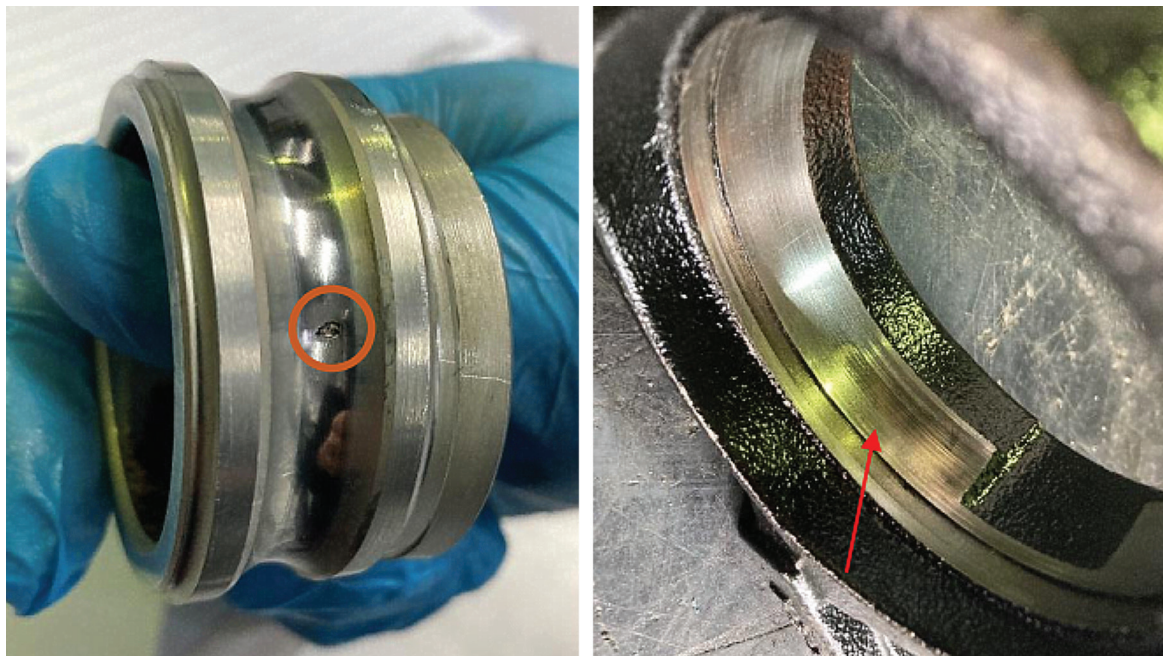
**Figura 21: Demonstração dos picos de vibração da máquina.**



Fonte: Software SDVA - Teknikao.

Foi realizada então uma verificação *in loco* das condições dos rolamentos Fan Coil 008 e foi confirmado o dano na pista interna do rolamento, conforme previsto pelo software.

**Figura 22. Dano na pista interna do rolamento.**

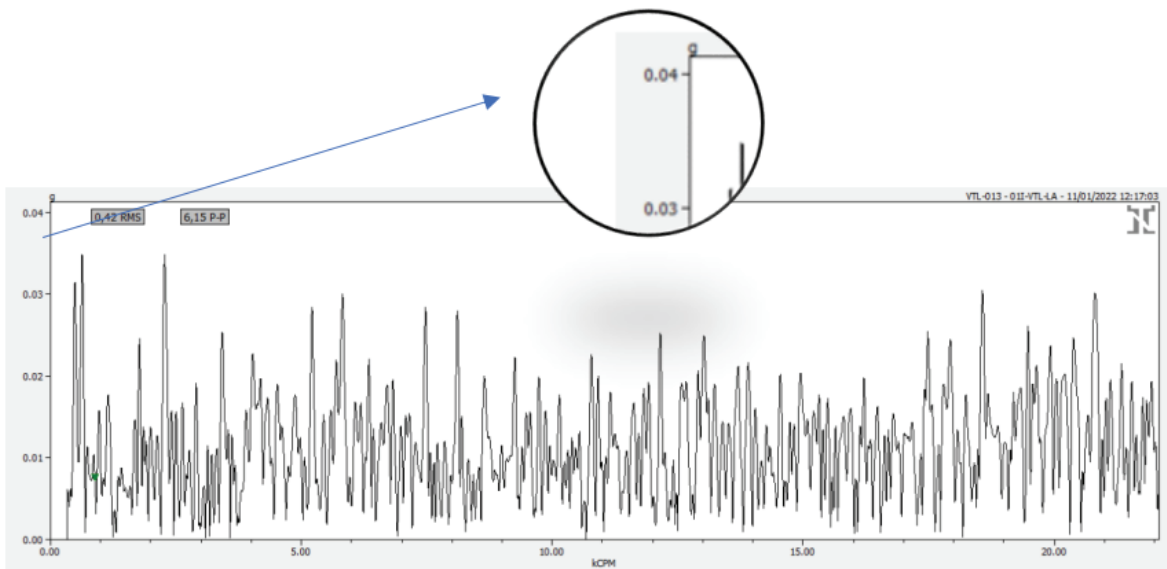


Fonte: AstraZeneca.

Por conta do desgaste na pista interna, o rolamento estava travando ao realizar suas funções, o que gerava mais vibrações ao equipamento e, conseqüentemente, a peça ficou desgastada.

O rolamento foi substituído e os níveis de vibração voltaram a sua normalidade, com os picos sendo reduzidos de 0,80g para 0,04g:

**Figura 23. Demonstração da redução dos níveis de vibração do equipamento após a troca do rolamento previsto pelo software.**



Fonte: Software SDVA.

Através da análise de vibração e os dados obtidos nos gráficos, a equipe responsável conseguiu evitar que houvesse uma quebra não programada do equipamento monitorado. Ao realizar a análise de vibração por meio do software foi programada a verificação *in loco* e posteriormente a substituição da peça danificada, evitando-se paradas.

A análise de vibração realizada teve um papel no aumento da confiabilidade e disponibilidade do equipamento, impossibilitando possíveis eventos que pudessem afetar a produção e por consequência o OEE.

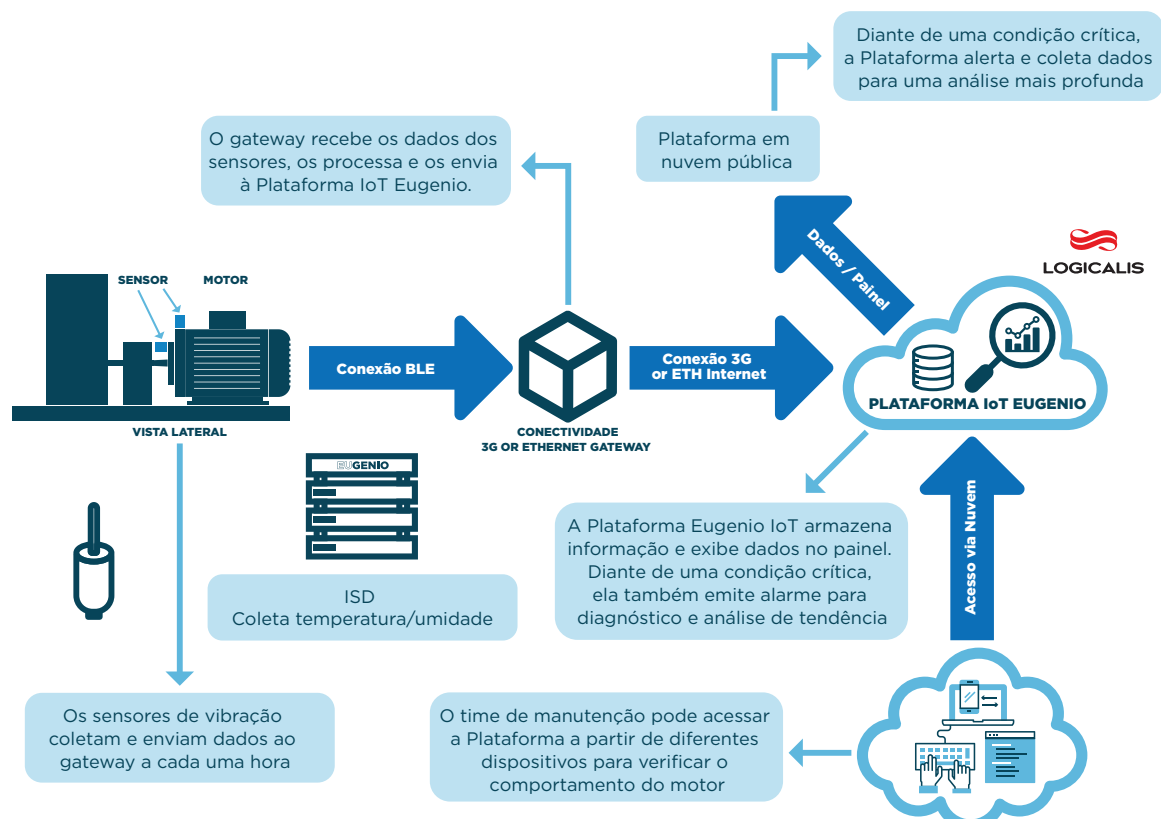
## Caso Renault-Nissan com Logicalis

A Logicalis é uma empresa global que oferece soluções aos seus clientes em suas jornadas de transformação digital. Dentre suas ações que vêm sendo feitas no Brasil, ela desenvolveu um projeto de IoT com o objetivo de obter melhoria de eficiência produtiva na linha de fabricação de veículos da Renault-Nissan, no complexo Ayrton Senna, em Curitiba, aplicando conceitos de manutenção preditiva.

O projeto consistiu na implantação de sensores em prensas mecânicas para coleta de dados de vibração. Os dados coletados eram enviados e processados em tempo real por uma plataforma de Data Analytics que, baseada em algoritmos de previsão, fazia extrapolações e indicava quando as prensas precisariam realizar alguma parada para manutenção. Depois era programado para que esta manutenção ocorresse no menor intervalo possível e de maneira planejada.

A arquitetura da solução desenvolvida pela empresa foi assim estruturada:

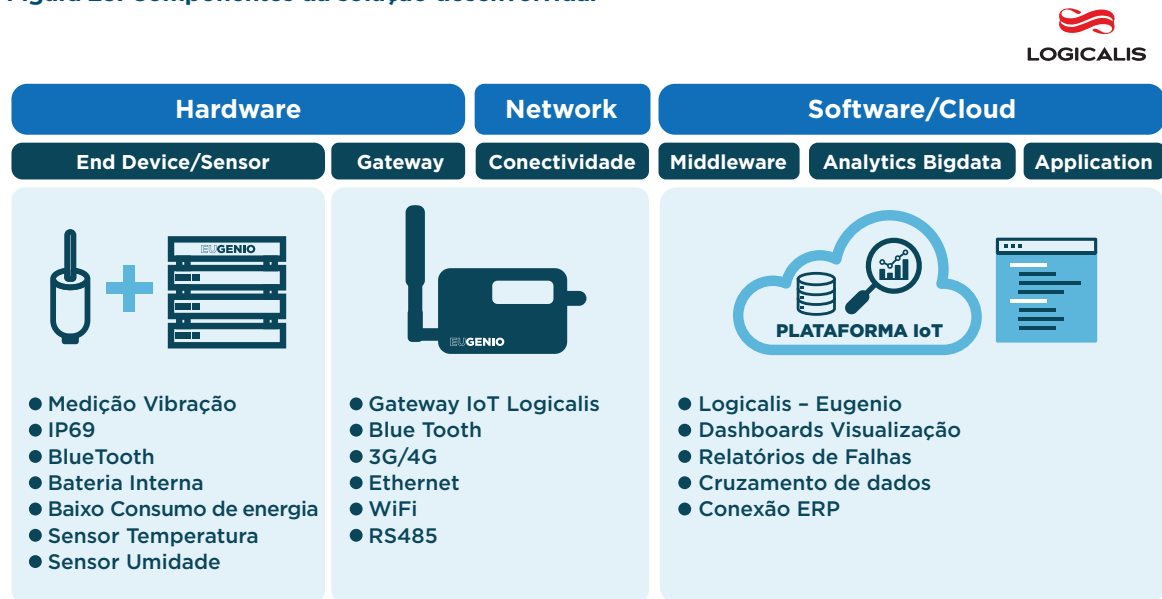
**Figura 24. Componentes da solução desenvolvida.**



Fonte: Logicalis.

Nesta, os componentes utilizados incluíram soluções em hardware, conectividade, software e em nuvem.

**Figura 25. Componentes da solução desenvolvida.**



Fonte: Logicalis.

### Impactos e benefícios esperados

Antes da realização deste projeto, os dados das prensas eram coletados “offline” pela equipe de manutenção e demoravam de 10 a 15 dias para que fossem analisados. Esse prazo do processo fazia com que possíveis falhas não fossem detectadas a tempo, e ocorressem causando incidentes.

Com uma capacidade de produção de aproximadamente 1 carro novo por minuto, qualquer parada não programada na linha de produção representava um grande impacto econômico para a empresa.

Usando esta solução, eram esperados benefícios como:

- Visibilidade on-line dos parâmetros medidos que, combinados com os algoritmos de predição, possibilitavam identificar possíveis falhas futuras com um maior tempo de planejamento - desta forma, as paradas de manutenção poderiam ser feitas em horários em que a linha de produção não estivesse ativa;

- Proatividade na identificação de possíveis problemas com uso de algoritmos de predição – esses algoritmos que avaliavam os dados coletados e conseguiram fazer extrapolações que poderiam ser capazes de indicar falhas futuras caso nenhuma manutenção não fosse feita;
- Redução das paradas de produção – com manutenções feitas realizadas fora do horário de produção e menos falhas devido à realização das manutenções, a produção de mantinha com menores índices de interrupções.

## Alinhamento com as estratégias organizacionais e fatores de sucesso

O alinhamento com as estratégias da organização se deu em relação às iniciativas de transformação digital que permitam: a Renault conhecer e explorar novas tecnologias; ao aumento de eficiência e produtividade; à redução de custos e ao menor tempo de parada da linha de produção, melhor gestão da alocação de recursos.

O projeto envolveu a Diretoria de TI, o CIO – *sponsorship* executivo, Gerência *Digital Transformation*, Gerência de infraestrutura de TI, Diretoria de Produção e a Diretoria de Manutenção.

### A Logicalis aponta como fatores críticos para o sucesso do projeto:

- Forte aliança entre áreas de negócio e TI;
- Desenho da solução tecnológica com objetivo de otimização de problema de negócios;
- *Sponsorship* executivo;
- Prototipação: discussões prévias e testes;
- Entendimento prévio de possíveis obstáculos (interferências de conectividade, busca de soluções adequadas para o tipo de sensoriamento e predição almejado);
- Discussões prévias de portfólio de soluções possíveis e priorização de oportunidades com maiores potenciais de benefícios e maior viabilidade técnico-operacional;
- Formação de *squad* com diversas especialidades: processo de produção; manutenção, arquitetura de IoT; *analytics*; conectividade; sensoriamento; business case, etc.;
- Busca de parceiros tecnológicos com soluções aderentes e experiência.

## Obstáculos superados

As dificuldades encontradas e superadas ao longo da execução do projeto incluíram:

- **Adoção dos usuários**

Seja por mudança de processos de necessidade de adaptação cultural (mitigação de riscos e percepções de perda de posições de trabalho), seja por uso de novos métodos de gestão de projetos (métodos ágeis) e novas tecnologias, houve necessidade de uma demanda intensa de alinhamentos com e entre equipes.

- **Capacitação dos funcionários**

Os novos processos e tecnologias implementadas demandaram treinamento e atividades frequentes de comunicação, especialmente processos operacionais, a forma como os dados deveriam ser analisados.

- **Disponibilidade de provedores de tecnologia**

Foi necessário estruturar equipes com experiência no desenho de soluções que envolvessem problemas de negócios, novas tecnologias e métodos ágeis; O desenho de time consistiu em uma combinação de *squads* multifuncionais do lado da empresa e de um integrador que desenhou a solução e consolidou os parceiros e soluções de sensores, conectividade e *analytics*.

- **Desenvolvimento de parcerias**

O projeto necessitou de um ecossistema de diferentes especialidades tecnológicas e operacionais;

As incertezas e os riscos envolvidos demandaram um modelo baseado em parceria, mais do que contratos com escopos bem estabelecidos e detalhados;

- **Desafios Tecnológicos**

A comunicação dos dispositivos no chão de fábrica foi um desafio neste projeto, já que não existia nenhum tipo de tecnologia de comunicação disponível no ambiente de instalação. Para contornar, foram implantadas soluções de comunicação híbridas (BLE e Celular) para dar conectividade aos sensores.

A falta de definição de uma arquitetura baseada em plataforma, de modo a permitir que este projeto fosse escalável, seguro, gerenciável e integrado, foi um desafio contornado com o uso da plataforma de IoT Eugenio.

## Resultados obtidos

Ficou comprovada, na prática, a solução desenhada pela empresa ao seu cliente. Houve uma captura de indícios de possíveis incidentes ou paradas de maneira preditiva. Foi estabelecida a possibilidade de visualização on-line dos indicadores medidos - e alertas proativos de potenciais falhas - visualização por sensoriamento e não por coletas manuais e reportes *off-line* (e com *delay* de dias). Além disso, houve o desenvolvimento de um novo modelo de operações de manutenção - predição, se somando ao modelo de manutenção preventiva e corretiva. Diretamente, impactou-se nas oportunidades de melhora, de eficiência e produtividade. E, por fim, foi desenvolvido um modelo de projetos com *squads* e métodos que incorporavam práticas ágeis (ciclos rápidos de desenho e testes de soluções).

É possível conferir um vídeo deste case [aqui](#).

## Caso Raízen com Lean 4.0

A LEAN 4.0 é uma empresa focada no desenvolvimento de soluções avançadas para as áreas de qualidade e manutenção, adicionando tecnologia a conceitos de manufatura enxuta para gerar mais valor aos clientes. A Raízen S/A é uma das maiores empresas de energia do país e possui um vasto número de equipamentos em sua cadeia que necessitam constantemente de manutenção.

Uma das ações da área de manutenção agrícola da Raízen é aumentar a vida útil de seus equipamentos. Isso ajuda na diminuição dos custos operacionais e aumenta a agilidade de seus processos. Devido ao período da pandemia, viu-se um crescente aumento no custo unitário de bicos injetores de colhedoras a diesel. Isso impactou de forma negativa as operações.

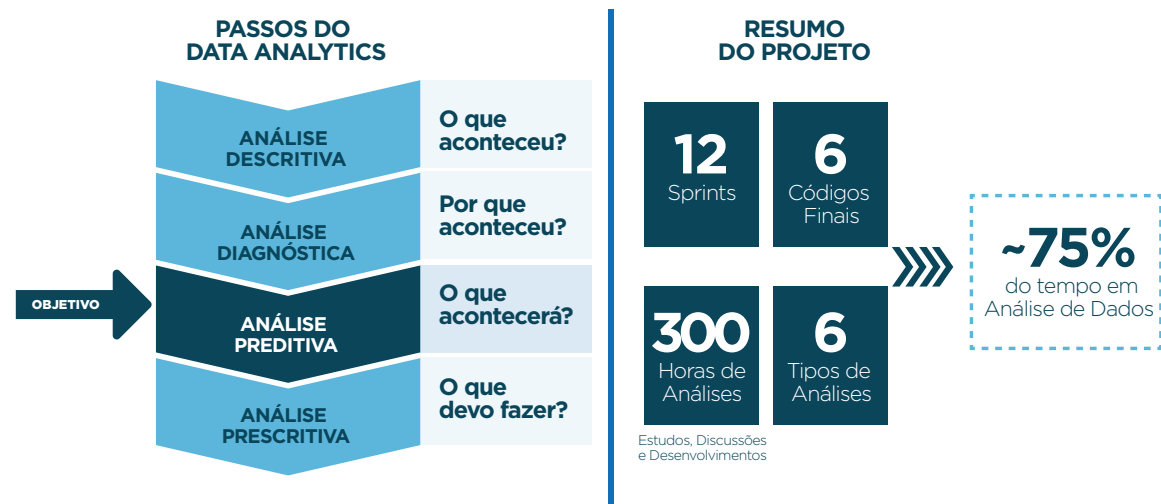
### Objetivo

A equipe de manutenção Raízen, do polo Araraquara, pensou na realização do projeto, cujo principal objetivo era prever o tempo de vida útil dos bicos injetores utilizando os dados disponíveis na empresa, com vistas a otimizar, através de técnicas de Manutenção Preditiva, o planejamento das paradas dessas máquinas e melhorar o processo de troca dos bicos e o mapa de 52 semanas.

Devido à experiência da equipe LEAN 4.0 com o tema, esta foi a responsável pela execução do projeto e transferência desse conhecimento para a equipe da Raízen. A figura 26 mostra à esquerda onde o projeto se encaixou dentro dos passos da análise de dados. À direita, verifica-se o resumo do projeto: 12 sprints, mais de 300 horas de análise, reuniões, discussões, estudos e desenvolvimento dos códigos, 6 códigos finais e 6 abordagens de análise. Vale a pena ressaltar que em torno de 75% do tempo do projeto foi dedicado e necessário para a análise e o estudo dos dados disponíveis.



**Figura 26. Passo da análise de dados onde o projeto se encaixa (à esquerda); resumo do projeto (à direita).**

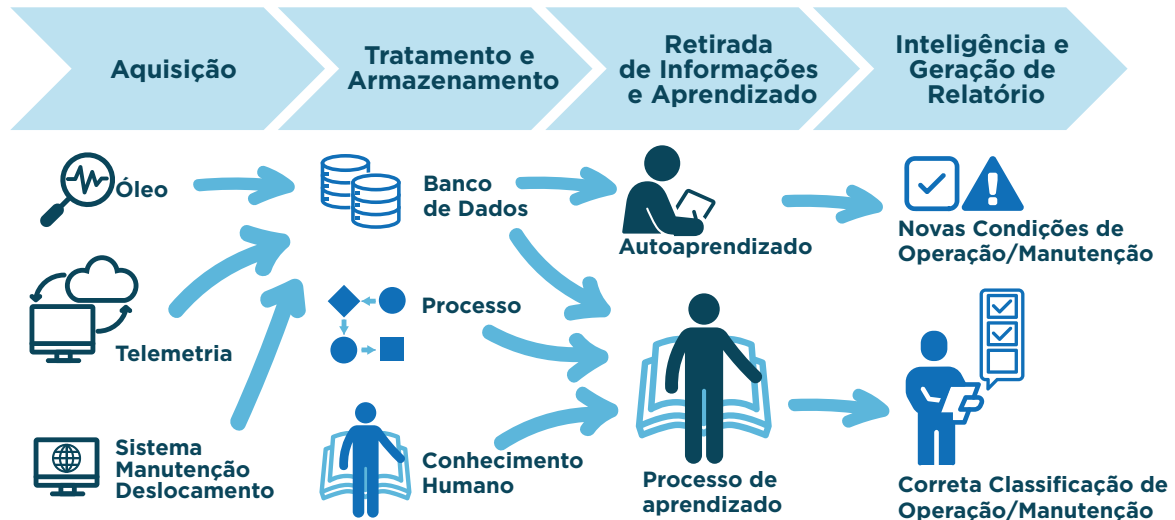


Fonte: Lean 4.0

Para a execução do projeto foi seguida a metodologia demonstrada na figura 27. Primeiramente, os dados de 5 fontes foram selecionados e adquiridos: alarmes das máquinas, análises de óleo, consumo de combustível, apontamentos do sistema de manutenção e deslocamento dos ativos considerados. Após isso, esses dados foram tratados e armazenados, incluindo também o conhecimento e experiência humanos dos profissionais Raízen. Essa é uma das etapas mais importantes. Sem o conhecimento humano não existe a tomada de decisão para definir quais resultados são mais interessantes para o negócio da empresa.

Uma vez esses dados tratados e armazenados, passou-se para a retirada de informações e aprendizado dos algoritmos. Para tanto, foram seguidos 2 caminhos para algoritmos de Machine Learning (ML): aprendizado supervisionado (onde o algoritmo é ensinado o que o expert especialista sabe) e aprendizado não supervisionado (onde o algoritmo descobre novos padrões que o expert profissional não tinha conhecimento). Uma vez passada essa etapa, foi-se para a geração de relatório a partir da inteligência gerada com o ML.

Figura 27. Metodologia para análise e treinamento dos algoritmos de inteligência artificial.



Fonte: Lean 4.0

Diante desses passos, vários resultados foram obtidos percorrendo-se o caminho mostrado na figura 28. Após a aquisição dos dados, foi realizado o tratamento desses dados, para tentar 'limpar' e, dessa forma, evitar análises errôneas. Uma vez realizado esse tratamento, foi necessário verificar o impacto nos custos operacionais e qual seria a frota que mais impactou esses custos, para priorizar os equipamentos a serem analisados.

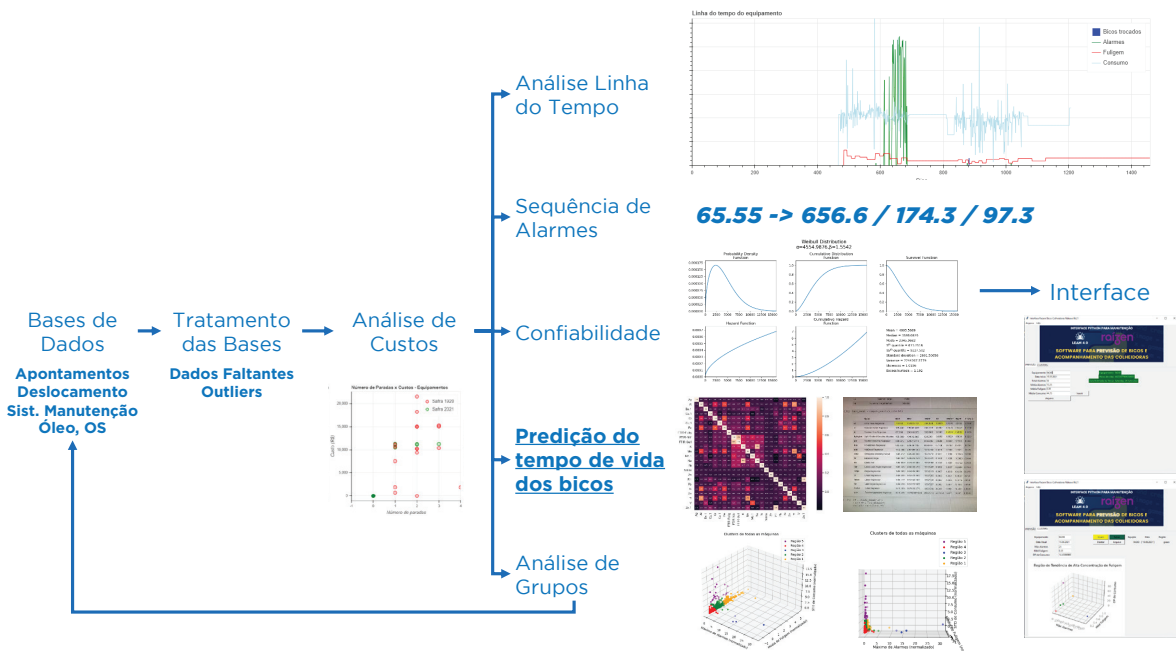
Após a priorização, começou-se a análise dos dados da frota selecionada. Cinco caminhos foram seguidos.

1. Análise da linha do tempo dos dados de telemetria, análise de óleo, consumo de combustível e eventos de troca de bico. Essa análise foi feita para identificar padrões entre essas variáveis e, nesse caso, não foram encontrados.
2. Verificação de possíveis influências causais entre alarmes, utilizando algoritmo de ML. Esse ponto foi totalmente novo para a equipe da Raízen. Aqui, foram verificadas mais de 20 relações causais entre vários alarmes. Isto é, quando um alarme X acontece, existe uma alta probabilidade de um alarme Y estar presente. Dessa forma, é possível achar mais rápido as prováveis causas de uma determinada parada.
3. Cálculo mais preciso das curvas de confiabilidade. Com os dados mais bem tratados e selecionados, foi possível identificar inclusive qual o melhor modelo matemático para a vida útil e probabilidade de falha dos componentes.

4. Os dados foram analisados e foi verificado se era possível criar um modelo matemático para predição do tempo de vida útil dos bicos (objetivo principal do projeto). Durante a análise, foram comparados 20 modelos de ML e selecionado 1. Além desses modelos, foi analisada a correlação entre todos os parâmetros da análise de óleo. Aqui, foi gerado um mapa de calor mostrando a força da correlação entre cada um dos parâmetros. Esse foi mais um ganho não esperado do projeto.
5. Identificação de prováveis grupos dentro nos dados verificados. Foram necessárias mais de 300 análises para verificar qual a melhor combinação de parâmetros estatísticos das variáveis escolhidas. Essa análise foi realizada para obter um diagrama com o propósito de acompanhar tendências de comportamento da colhedora e, indiretamente, inferir o comportamento do bico injetor.

Vale ressaltar que a participação dos profissionais que vivem o processo de manutenção foi imprescindível. Sem a experiência deles não seria possível identificar os grupos encontrados e sua relação com o mundo real.

**Figura 28: Caminhos percorridos, estratégias abordadas e resultados obtidos.**

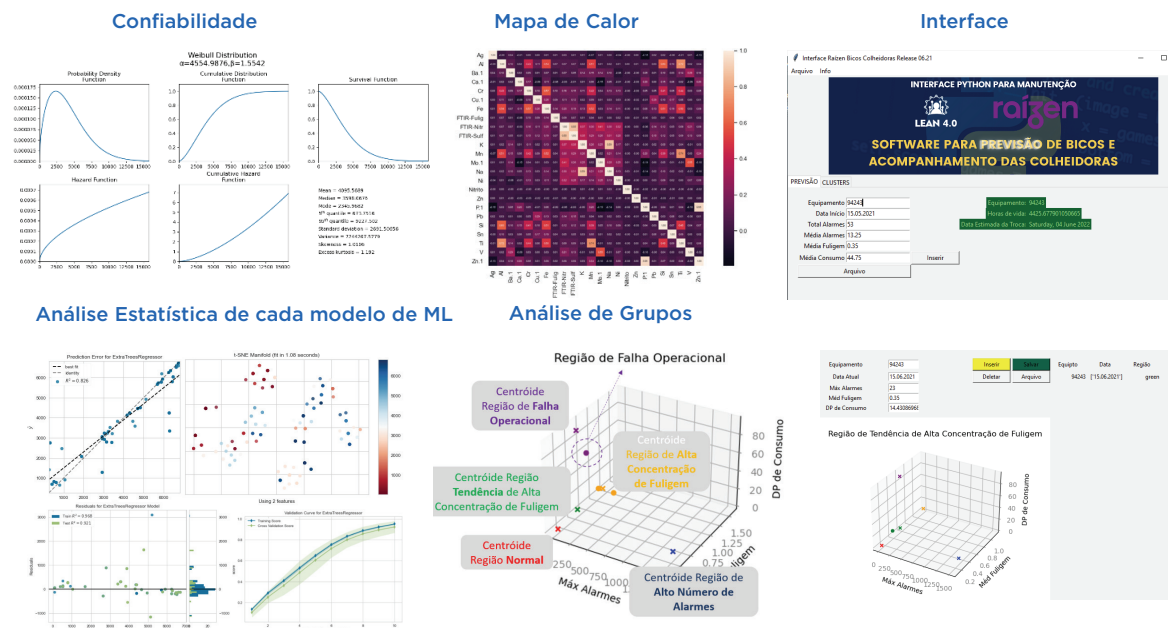


Fonte: Lean 4.0

Para finalizar o projeto, todo esse conhecimento gerado foi compilado dentro de um aplicativo offline. Os algoritmos de predição e tendências foram empacotados

dentro do software, para que os engenheiros e programadores pudessem analisar cada bico de forma sistemática. Além disso, os dados foram priorizados para uso do algoritmo. A figura 29 mostra com mais detalhes alguns dos resultados escritos.

**Figura 29. Detalhes dos resultados do projeto.**



Fonte: Lean 4.0

Diversas dificuldades foram encontradas durante o projeto. Uma delas foi a falta de informações diretas na base. Também houve mudança nos fornecedores para a análise de óleo. O que resulta na alteração do formato da base de dados e na adição de novos tipos de dados, além de acarretar a mudança do resultado da medição. Ainda, o sistema de telemetria era extremamente novo. Possuía à época histórico de apenas 2 anos. Muitos dos alarmes eram novos e não havia o acompanhamento de todos. Por último, havia muita 'sujeira' nos dados, tornando-os de baixa qualidade, prejudicando a análise.

Por outro lado, o sucesso do projeto se deu por vários fatores. O primeiro foi a participação ativa e comprometimento da alta liderança da empresa. A liberdade e confiança depositadas para toda a equipe ajudou na execução do projeto. O entendimento da liderança de que novas tecnologias precisam de teste e tempo para se adaptar foi importante, por não forçar resultados.

Outro fator de sucesso foi o comprometimento e interesse da equipe executora e média liderança. Apesar de poucos profissionais terem a prática com linguagens de programação, o interesse em aprender e evoluir o projeto era imenso. Sem essa vontade, o projeto não teria evoluído.

## Resultados

Houve uma evolução da equipe e do processo de manutenção. A inserção e o teste de novas tecnologias no ambiente operacional se mostrou desafiador e, com isso, a retirada desses profissionais da zona de conforto. Pode ainda ser mencionado como a assertividade do algoritmo na previsão de troca, chegou a cerca de 77%. O modelo deve ser continuamente retreinado e alimentado para aumentar sua eficácia.

Além disso, o negócio empresarial se mostrou melhor. Após o projeto, alguns profissionais da grande empresa subiram de cargo. O conhecimento gerado impulsionou a evolução dos resultados da manutenção. Houve treinamento de outras equipes em novas tecnologias e análises de dados.

No mais, houve ganhos de aplicações em laudos de análise de óleo, em geral. Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas e aplicadas em outros processos. Por exemplo, deep learning está sendo usado para reconhecimento de imagens nas áreas operacionais, a fim de identificar componentes de baixa qualidade e/ou com defeito. Ou seja, este projeto foi o estopim para aplicação de novas tecnologias nas áreas de manutenção.

Graças ao empenho de Divaldo Pessoa, Karleone Vilaça, Gabriel Netzlaff, Rafael Cortez, Kléber Santos, Diego Dias, João Pedro Duarte e Eduardo Cassiano (da Raízen), além de outras áreas envolvidas, e Rodrigo Pastl e Heber Nogueira (da LEAN 4.0), esse projeto pôde ser realizado da melhor forma possível.

# Notas finais

---

Em tempos de transformação digital e das inovações dela decorrentes, as empresas têm sido incentivadas a realizarem mudanças estratégicas em seus processos produtivos e gestão de recursos. Como vimos, a manutenção preditiva representa uma das frentes dessas mudanças na forma de as empresas atuarem, adicionando valor para suas operações.

Para tanto, um processo otimizado alia negócio e inovações tecnológicas com vistas a atender as novas metas e necessidades num cenário de mudanças aceleradas e constantes. Aproveitar as oportunidades que surgem envolve um esforço amplo das organizações e suas diferentes áreas na busca por soluções e geração de resultados aos seus clientes.

Enfatizamos a importância do alinhamento da alta gestão com a necessidade de investimento em novas tecnologias, dado o nível de mudança tecnológica que a implementação de manutenção preditiva poderá significar à empresa como um todo. A forma como o projeto será monetizado deverá estar clara, enfatizando a utilização da tecnologia como meio e não fim ao processo de evolução organizacional.

A jornada de transformação inclui também o âmbito cultural, no qual deve ficar evidenciada a relevância do desenvolvimento de um projeto voltado à manutenção preditiva e os ganhos dele provenientes. Mas, para além da implementação de um projeto para uma área funcional, enfatizamos a preparação da empresa para um futuro cada vez mais digitalizado, que integre bem-estar com crescimento, adaptabilidade e resiliência.

Neste sentido, o treinamento da força de trabalho representa um alinhamento de metas e resultados, mas também uma aposta no impulsionamento das capacidades dos funcionários frente às transformações contínuas do mundo. A gestão de recursos humanos ganha destaque no repensar da empresa para os novos desafios e oportunidades trazidos pela indústria 4.0, com ênfase no desenvolvimento da força de trabalho com base em autonomia para tomada de decisões, integração dos trabalhadores com as novas tecnologias e a busca por eficiência e aprendizado contínuo.

Nos capítulos que se seguiram durante este guia, enfatizamos o estabelecimento de um planejamento de implementação de manutenção preditiva que pudesse considerar os aspectos apresentados de forma integrada para um desenvolvimento de um projeto de sucesso. Isto como um primeiro passo para perspectivas crescentes de melhorias no processo produtivo e maior capacidade de respostas às mudanças no mercado.

Essa integração inclui parceiros externos à empresa, como fornecedores que ofereçam as soluções mais adequadas para o projeto, com preço competitivo, suporte às necessidades de treinamento e que possuam reconhecimento no mercado, tendo em vista a ausência de normatizações brasileiras relativas a sensores, por exemplo.



# Apêndice I

---

## Glossário e Acrônimos

**5G:** é a quinta geração da internet móvel, que possibilita a interconexão entre equipamentos e dispositivos. Possui uma grande capacidade de transmissão de dados e de quantidade de aparelhos interconectados e baixa latência. Características essenciais para a indústria 4.0, o desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT) e o impulsionamento das indústrias autônomas.

**BANCOS DE DADOS TRANSACIONAIS:** podem conter dados estruturados, não estruturados organizados com base em modelagem de dados, de maneira otimizada para executar operações contínuas de gravação de dados e maximizar o fluxo de transações.

**BIG DATA:** é um processo de análise e interpretação de um grande volume de dados armazenados remotamente, que possam subsidiar estudos de tendências de comportamento e identificar oportunidades ligadas ao negócio. A definição desse conjunto de dados estratégicos reúne as seguintes características, denominadas 7V's: volume (quantidade de dados), variedade (tipos de dados), velocidade (agilidade na produção e manipulação), valor (agregação de valor ao negócio), volatilidade (gerenciamento do crescente fluxo de dados), veracidade (qualidade e confiabilidade dos dados) e visualização (apresentação de dados de maneira acessível e legível).

**DATA ANALYTICS** – Análise de dados: é o processo de análise de conjunto de dados, coletados em ferramentas de Big Data, permitindo chegar a conclusões a partir das informações neles contidas. Pode ser utilizado em análises preditivas, através do estudo de padrões e tendências.

**DATA LOGGER** – Registrador de dados: é um gravador autônomo que monitora e registra dados em tempo real. É utilizado geralmente quando o aplicativo requer longos períodos de gravação, mas não uma alta velocidade. Essas gravações são repassadas a sistemas externos, para armazenamento e análise dos dados obtidos.

**DATA WAREHOUSE:** é um repositório centralizado de dados relacionais, extraídos com certa periodicidade e frequência de sistemas transacionais, bancos de dados relacionais e de outras fontes. Data warehouses alimentam relatórios, painéis de visualização e ferramentas de análise, armazenando grande quantidade de dados (variando de centenas de gigabytes a petabytes) de modo eficiente para minimizar

a entrada e saída dos dados e fornecer resultados de consulta rapidamente para centenas e milhares de usuários simultaneamente.

**DATA LAKE:** é um repositório centralizado para todos os dados, incluindo estruturados, semiestruturados e não estruturados, apresentando desempenho otimizado para fornecer resultados de consulta e baixo custo de armazenamento.

**DATA MART:** possui características similares às de data warehouse, porém, reunindo menor quantidade de dados (em geral, da ordem de dezenas de gigabytes) e com ênfase no atendimento de um grupo menor de usuários, por exemplo, alocados em uma equipe ou setor específico da empresa, como na área de finanças, marketing, vendas, entre outras.

**IA - Inteligência Artificial:** é um campo científico que está voltado à compreensão e construção de entidades inteligentes, como máquinas que podem atuar de forma eficaz e segura em diferentes situações. Ela combina ciência da computação a dados robustos no desenvolvimento de algoritmos voltados à resolução de problemas e na reprodução de competências semelhantes às humanas, o que inclui a racionalidade, a aprendizagem, o planejamento e a criatividade.

**IoT - Internet of Things (Internet das Coisas):** é a habilidade que diferentes objetos e equipamentos possuem para realizar comunicação entre si, coletando, processando e transmitindo dados do ambiente ou das redes nas quais estão conectados. É utilizada para diversos fins, o que inclui monitoramento e atuação em diferentes ambientes, como o industrial e o residencial, veículos e o trânsito, dentre outros.

**Machine Learning - Aprendizado da Máquina:** é um subcampo da Inteligência Artificial, no qual os computadores possuem capacidade de aprendizado, identificam padrões e realizam análises preditivas a partir de associações entre diferentes dados em tempo real. Estes dados podem ser números, imagens, áudios, dentre outros.

# Referências

---

## Capítulo 1

ARETS, J.; JENNINGS, C.; HEIJNEN, V. 70:20:10 into action. 702010 Institute 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14724:1994 Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

GFMAN. Global Forum on Maintenance & Asset Management. The Maintenance Framework, 1ST Edition, 2016. Disponível em: [https://gfmam.org/sites/default/files/2019-05/GFMAM\\_THE\\_MAINTENANCE\\_FRAMEWORK\\_FIRST\\_EDITION\\_ENGLISH\\_VERSION.pdf](https://gfmam.org/sites/default/files/2019-05/GFMAM_THE_MAINTENANCE_FRAMEWORK_FIRST_EDITION_ENGLISH_VERSION.pdf). Acesso em: 23/05/2022.

HASHEMIAN, H.; BEAN, W. C. State of the art of predictive maintenance techniques. Engineering Computer Science, 2011. Published in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2011.

LEDET, W. The ABC's of failure: getting the noise out of your system. Disponível em: [https://reliabilityweb.com/articles/entry/the\\_abcs\\_of\\_failure\\_getting\\_rid\\_of\\_the\\_noise\\_in\\_your\\_system](https://reliabilityweb.com/articles/entry/the_abcs_of_failure_getting_rid_of_the_noise_in_your_system). Acesso em: 22/05/2022.

LUGHOFER, E.; SAYED-MOUCHAWEH. Predictive Maintenance in Dynamics Systems: Advanced Methods, Decision Support Tools and Real-World Applications. Switzerland: Springer, 2019.

MERIZALDE, Y.; HERNÁNDEZ-CALLEJO, L.; DUQUE-PEREZ, O; ALONSO-GÓMEZ, V. Maintenance Models Applied to Wind Turbines: a Comprehensive Overview. Energies, v. 12, 225, 2019.

OHANLON, T. The introduction of the SDIPF Curve, 2021. Disponível em: [https://www.linkedin.com/pulse/introduction-sdipf-curve-terrence-ohanlon/?trk=public\\_post](https://www.linkedin.com/pulse/introduction-sdipf-curve-terrence-ohanlon/?trk=public_post). Acesso em: 22/05/2022.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. VINT Research Report, 2016. Disponível em: [https://law.unimelb.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/3385454/Schwab-The\\_Fourth\\_Industrial\\_Revolution\\_Klaus\\_S.pdf](https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf). Acesso em: 22/03/2022.

SILVA, M.L.S.; CONCEIÇÃO, I.L.; FRANÇA, W.A.; LOPES, L.A.S. A importância da Manutenção em motores diesel. Perspectivas online: Ciências exatas e Engenharia. Campos dos Goytacazes, 3(7), 54-61, 2013. [https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas\\_e\\_engenharia/article/view/50/103](https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/50/103). Acesso em: 03/03/2022.

TDGI Brasil. Qual o objetivo da manutenção corretiva e quando fazer. Disponível em: <https://tdgibrasil.com/qual-o-objetivo-da-manutencao-corretiva/>. Acesso em: 30/03/2022.

## Capítulo 2

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, 2016.

## Capítulo 3

BARINOV, A. The Definitive Guide to Predictive Maintenance in Manufacturing. Disponível em: <https://www.ai.intelliarts.com/post/predictive-maintenance-in-manufacturing>. Acesso em: 10/05/2022.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de automação industrial. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

## Capítulo 4

AWS - AMAZON WEB SERVICES (EUA). Data Warehousing on AWS, AWS Whitepaper. 2021. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/data-warehousing-on-aws/data-warehousing-on-aws.pdf#data-storage>. Acesso em: mar 15 out. 2021.

BRAGHETTO, M. Dados semiestruturados. Disponível em: [https://paca.ime.usp.br/pluginfile.php/97394/mod\\_resource/content/1/mac439\\_aula1.pdf](https://paca.ime.usp.br/pluginfile.php/97394/mod_resource/content/1/mac439_aula1.pdf). Acesso em: 25/05/2022.

CGI. Industry 4.0 and cybersecurity: How to protect your business against cyber risks”. White Paper, 2020. Disponível: <https://www.cgi.com/sites/default/files/2020-08/industry-4.0-cybersecurity-methodology-en.pdf>. Acesso em: 15/10/2021.

ENISA. Industry 4.0 cybersecurity: challenges & recommendations. European Union Agency for Cybersecurity, White Paper, May 2019. Disponível em: <https://www.enisa.europa.eu/publications/industry-4-0-cybersecurity-challenges-and-recommendations>. Acesso em: 15/10/2021.

ENISA. “Baseline Security Recommendations for IoT in the context of Critical Information Infrastructures”. European Union Agency for Cybersecurity, White Paper, November 2017. Acesso em: 25/05/2022.

ENISA. Good practices for security of IoT - Secure Software Development Lifecycle. European Union Agency for Cybersecurity, White Paper, November 2019. Disponível em: <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot-1>. Acesso em: 15/10/2021.

ENISA. Guidelines for securing the Internet of Things - Secure supply chain for IoT. European Union Agency for Cybersecurity, White Paper, November 2020. Disponível em: <https://www.enisa.europa.eu/publications/guidelines-for-securing-the-internet-of-things>. Acesso em: 15/10/2021.

FIA - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. Gestão de Dados: o que é, princípios e 7 táticas eficientes. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/gestao-de-dados>. Acesso em: 15 out. 2021.

FIA - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. Big Data: o que é, como aplicar, a importância e exemplos. 2018. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/big-data>. Acesso em: 15 out. 2021.

IoTAC. IoT Security Guidelines. IoT Acceleration Consortium Ministry of Internal Affairs and Communications, White Paper, 2016. Disponível em: [http://www.iotac.jp/wp-content/uploads/2016/01/IoT-Security-Guidelines\\_ver1.0.pdf](http://www.iotac.jp/wp-content/uploads/2016/01/IoT-Security-Guidelines_ver1.0.pdf). Acesso em: 20/05/2022.

JAGATHEESAPERUMAL, S. K. et al, The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions. IEEE Internet of Things Journal, 2020.

LOU, D., HÖLLER, J., PATEL, D., GRAF, U., GILMORE, M. The Industrial Internet of Things Network Framework – Industrial Internet Consortium Foundational Document. Disponível em: [https://www.iiconsortium.org/pdf/Industrial\\_Internet\\_Networking\\_Framework.pdf](https://www.iiconsortium.org/pdf/Industrial_Internet_Networking_Framework.pdf). Acesso em: 15/10/2021.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de automação industrial. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MULLET, V., SONDI, P. RAMAT, E. A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0 in IEEE Access, vol. 9, pp. 23235-23263, 2021.

ROSS, R., McEVILLEY, M., OREN, J. Systems Security Engineering: Considerations for a Multidisciplinary Approach in the Engineering of Trustworthy Secure. NIST Special Publication 800-160, v. 21, 2018. Disponível em: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-160/vol-1/final>. Acesso em: 15/10/2021.

ROSS, R., PILLITTERI, V., GRAUBART, R., BODEAU, D., McQUAID, R. Developing Cyber Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach. National Institute of Standards and Technology (NIST), v.2, 2019. Disponível em: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-160/vol-2/final>. Acesso em: 15/10/2021.

SANTOS, A. S.; AVANÇO, L.; PEREIRA, M. J. Tecnologias Emergentes em IoT: RSSF, RTLS e RFID – Conceitos e aplicações para Cidades Inteligentes e indústria 4.0. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2020.

VDMA. Industries 4.0 Security Guidelines: Recommendations for actions. ISBN 978-3-8163-0689-4, 2016. Disponível em: [https://www.vdmashop.de/refs/Leitf\\_I40\\_Security\\_En\\_LR\\_neu.pdf](https://www.vdmashop.de/refs/Leitf_I40_Security_En_LR_neu.pdf). Acesso em: 15/10/2021.

WASLO, R. LEWINS, T., HAJJ, R., CARTON, R. Industry 4.0 and cybersecurity: Managing risk in an age of connected production. Deloitte University Press, 2017. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/cybersecurity-managing-risk-in-age-of-connected-production.html>. Acesso em: 15/10/2021.

## Capítulo 5

DING, N.; GAO, H.; BU, H.; MA, H.; SI, H. Multivariate-Time-Series-Driven Real-time Anomaly Detection Based on Bayesian Network. Sensors 2018, 18, 3367. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/10/3367>. Acesso em: 30/04/2022.

REGENSBURGER, K. Detect sequences with specific pattern in time series data. Disponível em: <https://stats.stackexchange.com/users/103349/karl-regensburger>. Acesso em: 15/10/2021.

MAYA, S., UENO, K., NISHIKAWA, T. LSTM: a new approach for anomaly detection using deep learning with delayed prediction. International Journal of Data Science and Analytics 8, v.8, 137-164.

## Capítulo 6

ARETS, J., JENNINGS, C., HEIJNEN. V. 70:20:10 into action. 2016. Disponível em: <https://702010institute.com/wp-content/uploads/2018/11/Primer-702010-into-action.pdf>. Acesso em: 13/05/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, 2016.

DELOITTE. Tendências globais de desenvolvimento humano 2021. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/human-capital/articles/tendencias-capital-humano.html>. Acesso em: 10/05/2022.

## Apêndice e Glossário

FIA. Big Data: como funciona, exemplos, importância e desafios. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/big-data/>. Acesso em: 17/05/2022.

OLIVEIRA, E. Internet das coisas: com ESP8266, Arduino e Rasperry PI. São Paulo: Editora Novatec, 2017.

PARLAMENTO EUROPEU. O que é inteligência artificial e como funciona. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200827STO85804/o-que-e-a-inteligencia-artificial-e-como-funciona>. Acesso em: 17/05/2022.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: a modern approach. 4th edition. Person: 2022.

SMITH, G. M. O que é um registrador de dados. Disponível em: <https://dewesoft.com/br/aquisicao-de-dados/what-is-data-logger>. Acesso em: 17/05/2022.

# C4IR Brasil

CENTRO PARA A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

