

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

Modelo para a análise de retorno sobre investimento na gestão de ativos com monitoramento online

JOÃO VICTOR DE GÊNOVA DOS SANTOS

CURSO:
ENGENHARIA MECATRÔNICA

PROF. ME. MARLUS DEC

Florianópolis - SC
SETEMBRO / 2024

JOÃO VICTOR DE GÊNOVA DOS SANTOS

MODELO PARA A ANÁLISE DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO NA GESTÃO
DE ATIVOS COM MONITORAMENTO ONLINE

Monografia apresentada ao
Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecatrônica, do
Câmpus Florianópolis, do
Instituto Federal de Santa
Catarina, para a obtenção
do diploma de Engenheiro
Mecatrônico.

Orientador: PROF. ME.
MARLUS DEC

Florianópolis - SC
SETEMBRO / 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, João Victor de Genova
Modelo para a análise de retorno sobre investimento
na gestão de ativos com monitoramento online / João Victor
de Genova Santos; orientação de Marlus Dec. - Florianópolis,
SC, 2024.
62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.

1. ROI. 2. Gestão da Manutenção. 3. Manutenção 4.0.
4. Gestão de Ativos. I. Dec, Marlus. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. Modelo para a análise de
retorno sobre investimento na gestão de ativos com
monitoramento online.

JOÃO VICTOR DE GÊNOVA DOS SANTOS

MODELO PARA A ANÁLISE DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO NA GESTÃO
DE ATIVOS COM MONITORAMENTO ONLINE

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia
Mecatrônica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Florianópolis, 06 de setembro de 2024.

Prof. Marlus Dec, Me.
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Eduardo Antonio Linck, Me.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Norberto Moro, Me.
Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

A comprovação dos retornos obtidos em investimentos nas áreas de manutenção e confiabilidade de uma empresa é um desafio, devido à complexidade das variáveis envolvidas, como retornos financeiros, economia de tempo, segurança, e indicadores de performance e satisfação. Com a evolução da tecnologia na indústria e na manutenção, culminando na Manutenção 4.0, as empresas passaram a adotar estratégias de monitoramento online e digitalização para permanecerem competitivas, maximizando lucros e minimizando perdas de produtividade, além de evitar falhas catastróficas que acarretam altos custos de manutenção. Esse cenário impulsionou o investimento em gestão de ativos por meio de manutenções preditivas e baseadas em condições, que visam prolongar a vida útil das máquinas, identificar falhas potenciais antes que se tornem funcionais, e assim evitar o lucro cessante. Este trabalho propõe um modelo para analisar o retorno sobre o investimento (ROI) na gestão de ativos com monitoramento online, através de um modelo de cálculo que integra métricas e indicadores de manutenção e financeiros. A metodologia será validada por meio de simulações utilizando dados hipotéticos, buscando comprovar a viabilidade e os benefícios do monitoramento contínuo na gestão de ativos.

Palavras-chave: ROI, Gestão da Manutenção, Manutenção 4.0, Gestão de Ativos.

ABSTRACT

Proving the returns on investments made in the areas of maintenance and reliability within a company is challenging due to the complexity of variables involved, such as financial returns, time savings, safety, and performance and satisfaction indicators. With the technological evolution in both industry and maintenance, culminating in Maintenance 4.0, companies have adopted online monitoring and digitalization strategies to stay competitive, maximize profits, minimize productivity losses, and avoid catastrophic equipment failures that lead to high maintenance costs. This scenario has driven increased investment in asset management through predictive and condition-based maintenance, aiming to extend the operational life of machines, identify potential failures before they become critical, and improve operational effectiveness. This study proposes a model for analyzing the return on investment (ROI) in asset management with online monitoring by developing a calculation model that integrates maintenance and financial metrics and indicators. The methodology will be validated through simulations using hypothetical data, aiming to confirm the feasibility and benefits of continuous monitoring in asset management.

Keywords: ROI, Maintenance Management, Maintenance 4.0, Asset Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Princípios da Gestão de ativos.....	17
Figura 2: Evolução das Técnicas de Manutenção.....	19
Figura 3: Curva PF.....	20
Figura 4 - MTBF e MTTR.....	31
Figura 5 - Pilares do OEE.....	32
Figura 6 - Planilha de ROI.....	41
Figura 7 - Primeira simulação de ROI.....	44
Figura 8 - Segunda simulação de ROI.....	47
Figura 9 - Terceira simulação de ROI.....	50
Figura 10 - Quarta simulação de ROI.....	53
Figura 11 - Quinta simulação de ROI.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de indicadores da manutenção e financeiros.....	23
Quadro 2 - Metodologias abordadas para cálculo do ROI.....	26
Quadro 3 - Fórmulas dos indicadores de Manutenção.....	30
Quadro 4 - Fórmulas dos indicadores Financeiros.....	32
Quadro 5 - Indicadores utilizados para o cálculo.....	35
Quadro 6 - Variáveis utilizadas para o cálculo.....	38
Quadro 7 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 1.....	42
Quadro 8 - Dados para indicadores financeiros Simulação 1.....	43
Quadro 9 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 2.....	45
Quadro 10 - Dados para indicadores financeiros Simulação 2.....	46
Quadro 11 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 3.....	48
Quadro 12 - Dados para indicadores financeiros Simulação 3.....	49
Quadro 13 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 4.....	51
Quadro 14 - Dados para indicadores financeiros Simulação 4.....	52
Quadro 15 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 5.....	54
Quadro 16 - Dados para indicadores financeiros Simulação 5.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

CMT - Custo de Manutenção Total

CMF - Custo de Manutenção sobre Faturamento

CMPV - Custo de manutenção sobre valor de reposição

CMUP - Custo de manutenção sobre unidade produzida

CPP - Custo de parada de produção

HH - Hora Homem

IAM - Institute of Asset Management

IOT - Internet of Things

KPI - Key Performance Indicator

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTF - Mean Time to Failure

MTTR - Mean Time to Repair

OEE - Overall Equipment Effectiveness

PF - Potential Failure

ROI - Return Over Investment

TF - Taxa de Falha

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Fundamentação Teórica.....	15
2.1 Gestão de ativos.....	15
2.2 Monitoramento Preditivo Online.....	18
2.3 Indicadores de Manutenção e Financeiros.....	21
2.4 Análise do ROI em gestão de ativos.....	24
2.5 Metodologia para análise do ROI.....	25
3. Metodologia.....	28
3.1 Recursos Materiais.....	28
3.2 Indicadores de Manutenção e Financeiros.....	29
4. Desenvolvimento.....	34
4.1 Criação do modelo de cálculo.....	34
4.2 Estruturação da planilha de cálculos.....	38
4.3 Simulação dos cálculos.....	41
4.3.1 Simulação 1.....	42
4.3.2 Simulação 2.....	45
4.3.3 Simulação 3.....	48
4.3.4 Simulação 4.....	51
4.3.5 Simulação 5.....	54
5. Considerações Finais.....	58
5.1 Conclusão.....	58
5.2 Recomendações para trabalhos futuros.....	58
APÊNDICE A - Fórmulas na planilha.....	61

1. Introdução

A gestão eficaz dos ativos é fundamental para o sucesso e a competitividade das organizações em diversos setores da indústria. Em um cenário global cada vez mais dinâmico e competitivo, a capacidade de gerenciar recursos de maneira eficiente se tornou um diferencial crucial para empresas que buscam não apenas sobreviver, mas prosperar em um ambiente de negócios marcado por rápidas mudanças tecnológicas e altas expectativas de desempenho. A gestão de ativos, tradicionalmente focada na manutenção e operação dos equipamentos, tem evoluído para abranger um escopo mais amplo, integrando aspectos financeiros, de segurança e de performance como pilares estratégicos para a sustentabilidade e crescimento das organizações.

No contexto atual, onde a busca por eficiência operacional e a maximização do retorno sobre investimento (ROI) são diferenciais essenciais, a gestão de ativos emerge como uma área estratégica de foco para muitas empresas. A necessidade de otimizar o desempenho dos ativos, minimizando custos operacionais e maximizando a vida útil dos equipamentos, tem impulsionado uma transição significativa na maneira como as empresas abordam suas práticas de manutenção e operação. Esta transição é fortemente influenciada pela evolução tecnológica, que tem permitido a implementação de soluções avançadas, como o monitoramento online e a digitalização, características centrais da Manutenção 4.0.

Este trabalho propõe-se a explorar e analisar a importância da gestão de ativos, especialmente no que diz respeito ao monitoramento contínuo de ativos e à análise do retorno sobre investimento (ROI) associado a essas práticas. O desafio de comprovar os retornos obtidos em investimentos nas áreas de manutenção e confiabilidade de uma empresa é uma realidade enfrentada por gestores e profissionais do ramo. A complexidade desses retornos, que envolvem aspectos financeiros, temporais, de segurança e indicadores de desempenho, demanda abordagens mais sofisticadas e sistemáticas para sua análise e avaliação. Sem uma metodologia clara e estruturada para mensurar esses retornos, muitas empresas podem subestimar os benefícios de investir em tecnologias de ponta, comprometendo sua competitividade a longo prazo.

Nesse sentido, a evolução tecnológica, impulsionada pela chegada da Manutenção 4.0, trouxe consigo novas oportunidades e desafios para a gestão de

ativos. A Manutenção 4.0, caracterizada pelo uso de tecnologias como o monitoramento online e a digitalização de materiais, oferece às empresas ferramentas poderosas para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e evitar falhas catastróficas nos equipamentos. O uso dessas tecnologias permite que as empresas realizem uma manutenção preditiva, baseada em dados concretos e em tempo real, o que possibilita a identificação precoce de potenciais problemas antes que estes se tornem críticos, evitando assim interrupções inesperadas e dispendiosas na produção.

Como resultado, observa-se um aumento significativo nos investimentos das empresas na gestão de ativos, com uma crescente ênfase em estratégias de manutenção preditiva e baseada em condições. Essas abordagens não apenas ajudam a reduzir os custos operacionais, mas também aumentam a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos, o que, por sua vez, contribui para a melhoria do ROI. A capacidade de monitorar continuamente o desempenho dos ativos e ajustar as estratégias de manutenção com base em dados em tempo real se torna um fator crucial para o sucesso a longo prazo.

Diante desse cenário, este trabalho visa contribuir para o entendimento e aprimoramento da gestão de ativos, propondo um modelo para analisar o retorno sobre o investimento realizado no monitoramento contínuo de ativos. Ao reunir indicadores relevantes e estabelecer uma abordagem estruturada para avaliar o ROI desses investimentos, espera-se fornecer insights valiosos para gestores e profissionais da área, permitindo-lhes tomar decisões mais informadas e eficazes em relação à gestão de ativos de suas organizações. A metodologia proposta será testada e validada através de simulações e dados hipotéticos, oferecendo uma base prática para sua aplicação em cenários reais.

Ao longo deste trabalho, serão abordados conceitos chave relacionados à gestão de ativos, Manutenção 4.0, ROI e práticas de monitoramento online de ativos. Serão apresentadas uma revisão da literatura sobre o tema, uma metodologia proposta para análise de ROI e uma aplicação prática para demonstrar a utilização e eficácia da abordagem proposta. Por fim, serão discutidos os resultados obtidos, suas implicações para a prática da gestão de ativos e sugestões para futuras pesquisas na área, visando o contínuo desenvolvimento de estratégias que maximizem o retorno sobre o investimento e assegurem a competitividade das empresas no cenário industrial atual.

1.1 Objetivos

No presente capítulo serão apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, o presente trabalho visa elaborar uma metodologia para o estudo e a análise do retorno sobre o investimento realizado na gestão de ativos com monitoramento online.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um modelo de cálculo contendo métricas e indicadores de manutenção e indicadores financeiros;
- Definir relação entre esses indicadores para a realização do cálculo;
- Utilizar dados hipotéticos baseados em empresas e realizar simulações para confirmar a tese.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Gestão de ativos

A gestão de ativos é uma disciplina essencial no contexto moderno das organizações, caracterizada pelo processo sistemático e coordenado de planejamento, aquisição, operação, manutenção, atualização e disposição dos ativos de uma organização, com o objetivo de atingir seus objetivos de forma eficaz e econômica. Essa abordagem abrangente visa não apenas a otimização do desempenho dos ativos, mas também a minimização dos custos e riscos, a maximização do valor e a garantia de sua manutenibilidade ao longo de todo o ciclo de vida.

A gestão eficaz de ativos envolve a integração de diversas atividades coordenadas dentro da organização, com o intuito de obter valor e resultados lucrativos. Para alcançar esse objetivo, é fundamental equilibrar oportunidades e riscos, bem como custos e desempenho, utilizando boas práticas de monitoramento que permitam um controle eficaz dos ativos. Esse processo busca, em última análise, alcançar resultados sustentáveis para a organização, conforme descrito por Kardec (2014), que enfatiza a importância de práticas bem estruturadas na gestão de ativos para garantir a longevidade e o valor dos mesmos.

Dentro dessa perspectiva, os ativos de uma organização podem ser classificados em duas grandes categorias: tangíveis e intangíveis. Os ativos tangíveis referem-se a bens físicos ou materiais, como equipamentos, veículos, edifícios e terrenos, que têm um valor econômico direto e uma presença física mensurável. Esses ativos são fundamentais para as operações diárias de uma empresa, pois representam os recursos que suportam a produção, a logística e outros aspectos críticos do negócio.

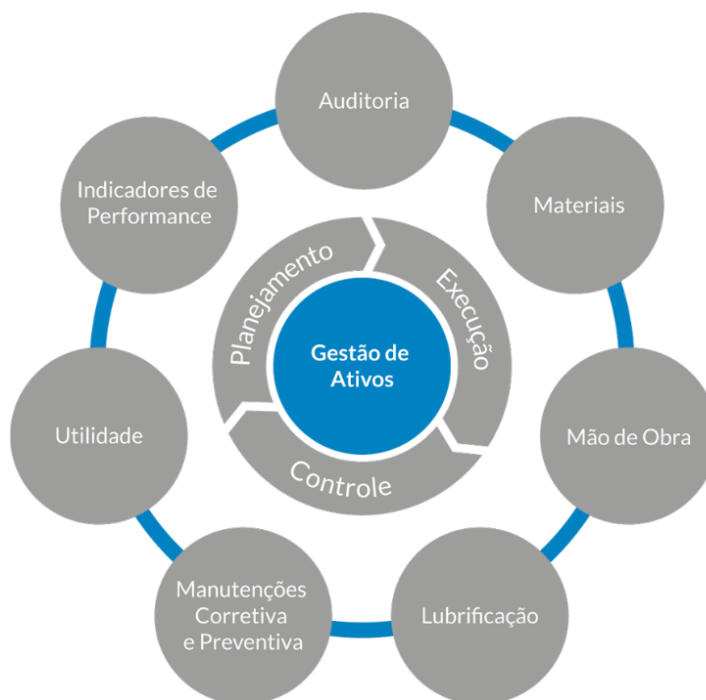
Por outro lado, os ativos intangíveis incluem elementos como marcas registradas, patentes, propriedade intelectual e reputação, que, embora não possuam uma forma física, têm um impacto significativo no valor e na competitividade de uma organização. A gestão desses ativos intangíveis é igualmente crucial, pois eles podem representar uma parte substancial do valor de mercado da empresa e influenciar diretamente a sua capacidade de inovar, proteger suas invenções e manter uma posição competitiva no mercado.

A norma NBR ISO 55000 (2014) oferece uma definição abrangente de um ativo físico, descrevendo-o como um item, bem material, entidade ou qualquer coisa que possa ter um valor real ou potencial para uma organização. Essa definição enfatiza que o valor de um ativo pode variar significativamente entre diferentes empresas e/ou partes interessadas, e que os ativos podem ser tangíveis ou intangíveis, financeiros ou não financeiros. Essa variação de valor reflete a natureza dinâmica e contextual dos ativos, onde o mesmo item pode ter significados e implicações diferentes dependendo do contexto organizacional e das necessidades específicas da empresa.

O Institute of Asset Management (IAM, 2014) complementa essa visão ao definir a Gestão de Ativos como "a arte e a ciência de tomar as decisões corretas e otimizar a entrega de valores", com o objetivo comum de minimizar os custos de operação durante a vida útil de um ativo. Essa definição destaca a importância de um processo decisório embasado em dados e análises robustas, que permitam maximizar o valor dos ativos ao longo do tempo, considerando tanto os aspectos financeiros quanto os não financeiros envolvidos.

Adicionalmente, a gestão de ativos requer uma abordagem integrada que envolva a colaboração entre diferentes departamentos e níveis hierárquicos da organização. Isso inclui a coordenação entre as áreas de finanças, operações, manutenção e engenharia, entre outras, para garantir que as decisões sobre ativos sejam alinhadas com os objetivos estratégicos da empresa. A gestão de ativos, portanto, não é apenas uma função isolada, mas um componente estratégico que afeta toda a organização.

Com a evolução tecnológica e o avanço da digitalização, a gestão de ativos tem se beneficiado de ferramentas e técnicas cada vez mais sofisticadas, como o monitoramento online e a análise de big data, que permitem uma gestão proativa e baseada em dados reais. Essas tecnologias possibilitam a identificação precoce de falhas, a otimização dos cronogramas de manutenção e a maximização da vida útil dos ativos, o que contribui diretamente para a melhoria do ROI (Retorno sobre o Investimento) e a competitividade das empresas.

Figura 1: Princípios da Gestão de ativos.

Fonte: 3DWF (2024)

A gestão de ativos está intrinsecamente ligada à gestão da manutenção, pois ambas as disciplinas compartilham o objetivo comum de maximizar o desempenho dos ativos de uma organização. A gestão da manutenção, assim como a gestão de ativos, foca em garantir que os ativos operem de forma eficiente, confiável e econômica. Tanto a gestão de manutenção quanto a gestão de ativos envolvem o planejamento e a programação cuidadosa para garantir que os ativos sejam mantidos em condições ideais de funcionamento, prolongando sua vida útil ao máximo, enquanto minimizam os custos operacionais.

A gestão de manutenção tem uma função crucial na otimização do ciclo de vida dos ativos, garantindo que eles permaneçam operacionais pelo maior tempo possível com o menor custo. Isso é alcançado por meio de estratégias de manutenção preditiva e baseada em condições, que permitem a identificação precoce de possíveis falhas e a realização de intervenções preventivas antes que ocorram falhas catastróficas.

O ROI (Return on Investment) surge como uma ferramenta poderosa para analisar o impacto financeiro dos investimentos na gestão de ativos. Ao calcular o

ROI, as empresas podem não apenas avaliar o retorno financeiro obtido com os investimentos realizados, mas também obter insights valiosos sobre a eficácia das decisões estratégicas. A utilização do ROI permite direcionar recursos e investimentos para áreas que trazem maior retorno, garantindo que as máquinas operem de maneira otimizada e que os ativos possam gerar o maior lucro possível.

2.2 Monitoramento Preditivo Online

Com os avanços tecnológicos, as empresas precisaram se adaptar e acompanhar a evolução das técnicas de manutenção para se manterem atualizadas e competitivas no mercado. Essa evolução pode ser traçada ao longo de quatro gerações distintas de manutenção, cada uma representando um marco na forma como os ativos são geridos e mantidos.

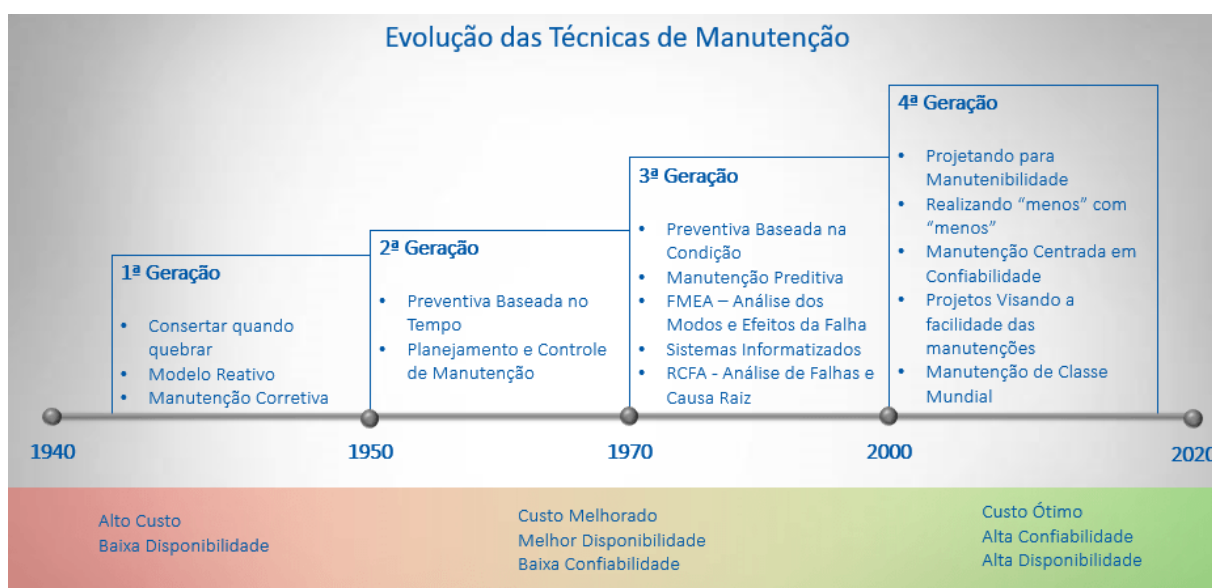
A primeira geração de manutenção, que predominou na década de 1950, era caracterizada principalmente pela manutenção corretiva, onde os equipamentos eram reparados ou substituídos após a ocorrência de uma falha. Essa abordagem reativa gerava altos custos e resultava em baixa disponibilidade dos equipamentos, impactando negativamente a eficiência operacional e a competitividade das empresas.

A segunda geração trouxe consigo o conceito de manutenção preventiva, que se baseava na substituição de componentes em intervalos de tempo pré-determinados, com o intuito de prever possíveis falhas e minimizar a interrupção das operações. Embora tenha sido um avanço em relação à manutenção corretiva, a manutenção preventiva ainda apresentava limitações, pois não considerava as condições reais dos equipamentos, o que poderia levar à substituição prematura de peças ainda em bom estado ou à falha de componentes que não estavam programados para manutenção.

Foi na terceira geração que surgiram as bases para a manutenção preditiva, uma abordagem que se caracteriza pelo monitoramento das condições reais de operação dos equipamentos para detectar anomalias e antecipar falhas. Essa geração introduziu a ideia de manutenção baseada na condição, que permitiu que intervenções fossem realizadas apenas quando necessário, com base em dados reais coletados dos ativos. Essa abordagem não apenas otimizou os custos de manutenção, mas também aumentou a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos.

Por fim, a quarta geração de manutenção, impulsionada pelos avanços da tecnologia da informação e pela digitalização, trouxe a Manutenção 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), big data, e análise preditiva. Essa geração introduziu o monitoramento online dos ativos, permitindo que os equipamentos fossem monitorados continuamente e em tempo real. O monitoramento online preditivo possibilita a detecção precoce de falhas potenciais e a administração mais precisa e eficiente do funcionamento das máquinas.

Figura 2: Evolução das Técnicas de Manutenção



Fonte: Engeteles (2017)

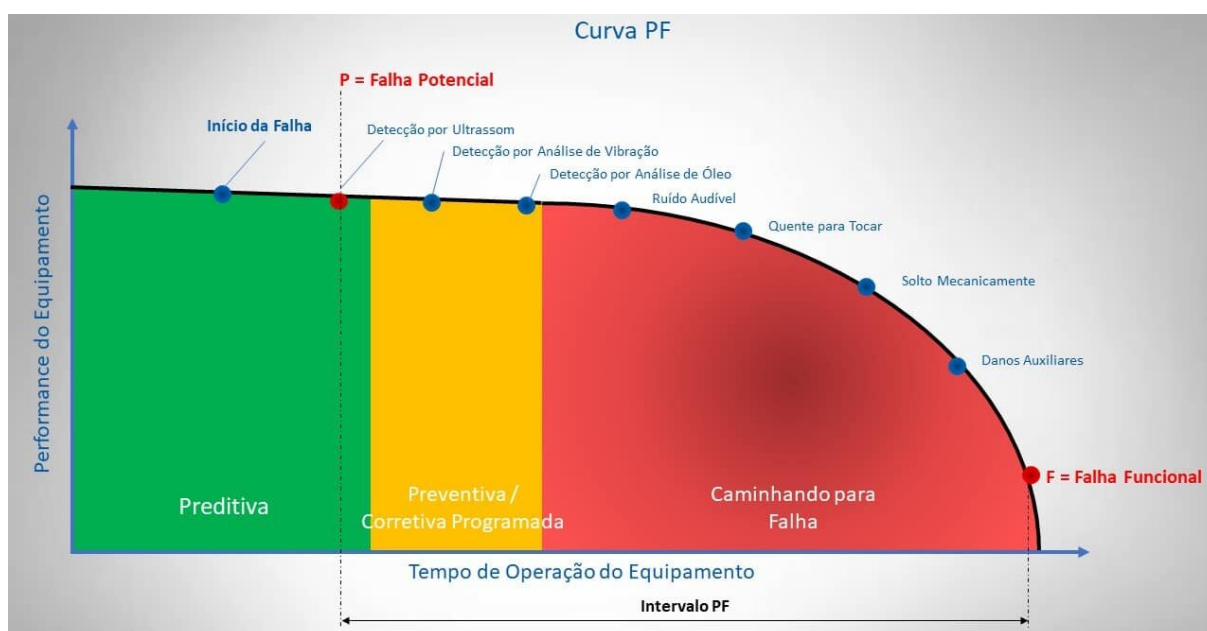
Segundo a norma NBR-5462 (1994), a manutenção preditiva tem como objetivo antecipar falhas e identificar a causa raiz dos problemas nas máquinas antes que eles se tornem problemas maiores, através da coleta contínua de dados ao longo do tempo. As técnicas mais comumente utilizadas nesse tipo de manutenção incluem a medição de temperatura (termografia), análise de vibração, análise de óleo e ultrassom. Cada uma dessas técnicas foca em modos de falha específicos, permitindo um diagnóstico mais preciso e confiável.

Com a evolução tecnológica proporcionada pela Manutenção 4.0, o monitoramento preditivo se transformou ainda mais, possibilitando a coleta de dados em tempo real através de sensores conectados aos ativos. Esses sensores capturam informações sobre as condições operacionais das máquinas e enviam

esses dados para softwares especializados que realizam a análise e interpretação dos mesmos. Através desse monitoramento contínuo, é possível detectar o início de falhas potenciais, representadas na Curva PF, que mostra o intervalo de tempo entre a detecção de uma falha potencial (P) e o momento em que a falha se torna funcional (F), ou seja, quando a falha já compromete a operação do equipamento.

A Curva PF é um conceito fundamental no monitoramento preditivo, pois ela permite que os profissionais de manutenção programem intervenções antes que a falha se torne catastrófica, evitando paradas inesperadas e altos custos de reparo.

Figura 3: Curva PF



Fonte: Engeteles (2017)

A adoção do monitoramento preditivo online oferece vários benefícios para as organizações, incluindo a otimização da manutenção, maior precisão na detecção de falhas e redução dos custos operacionais. Ao adquirir informações em tempo real sobre os ativos, as empresas podem agendar intervenções de maneira mais eficiente, no momento mais oportuno, minimizando o tempo de indisponibilidade das máquinas e reduzindo os custos associados às paradas de produção.

Além disso, ao detectar e corrigir problemas de forma precoce, o monitoramento preditivo online ajuda a prolongar a vida útil dos ativos, aumentando o retorno sobre o investimento realizado. Esse tipo de monitoramento também proporciona maior segurança para os trabalhadores, ao identificar situações

potencialmente perigosas nos equipamentos e ajudar a prevenir acidentes de trabalho.

Atualmente, várias empresas se especializam no desenvolvimento de sensores e soluções de monitoramento online voltadas para a manutenção preditiva. Empresas como Dynamox, TEBE, Traction e SEMEQ estão na vanguarda desse mercado, oferecendo tecnologias que incluem sensores para monitoramento de vibração, temperatura, corrente e tensão, além de softwares para análise e gestão de ativos. Essas ferramentas não apenas melhoram a eficiência da manutenção, mas também oferecem uma visão mais estratégica e integrada dos ativos, facilitando a tomada de decisões gerenciais.

Os softwares desenvolvidos por essas empresas variam desde aqueles que fornecem análises brutas dos dados coletados até aqueles que oferecem informações gerenciais mais detalhadas, incluindo indicadores de performance e dados financeiros. Dessa forma, o monitoramento preditivo online não só melhora a manutenção, mas também contribui para a estratégia geral da empresa, influenciando positivamente o ROI (Retorno sobre o Investimento) ao direcionar recursos para as áreas que proporcionam maior retorno.

Com tantas opções de soluções de monitoramento preditivo online disponíveis, a avaliação do ROI torna-se crucial para determinar quais tecnologias oferecem o melhor retorno sobre o investimento e quais são os benefícios tangíveis que essas soluções podem trazer para a organização. Além de melhorar a eficiência da manutenção e a confiabilidade dos ativos, essas tecnologias também impactam positivamente outras áreas da empresa, contribuindo para a sustentabilidade e a competitividade no mercado.

2.3 Indicadores de Manutenção e Financeiros

Os indicadores de manutenção e financeiros são ferramentas essenciais para entender o desempenho da gestão de ativos e para obter dados cruciais que auxiliam no gerenciamento eficaz de uma empresa. De acordo com a Abecom (2021), as indústrias são altamente dependentes de suas máquinas, tanto para utilidades quanto para produção. Uma máquina inoperante pode resultar na paralisação do processo produtivo, o que, por sua vez, gera indisponibilidade e redução no lucro. Nesse contexto, o monitoramento contínuo e a análise dos

indicadores tornam-se essenciais para garantir a disponibilidade dos ativos e assegurar o bom funcionamento dos mesmos.

Esses indicadores, frequentemente referidos como KPIs (Key Performance Indicators), são métricas que medem o desempenho dos processos produtivos e são aplicados para avaliar a eficiência e eficácia das práticas de manutenção dentro de uma empresa. Segundo Viana (2021), os indicadores de manutenção podem ser categorizados em três grupos principais: indicadores de desempenho, indicadores de segurança e indicadores financeiros.

Os indicadores de desempenho são projetados para fornecer informações sobre a eficiência operacional das máquinas e a eficácia das práticas de manutenção. Esses indicadores incluem o MTBF (Mean Time Between Failures), que mede o tempo médio entre falhas, e o MTTR (Mean Time To Repair), que calcula o tempo médio necessário para realizar reparos. Outros indicadores importantes são a disponibilidade, que avalia o percentual de tempo que um equipamento está operacional e disponível para uso, e a confiabilidade, que verifica a probabilidade de um ativo funcionar sem falhas em um determinado período. Esses indicadores ajudam as empresas a prever e prevenir falhas, garantindo que os ativos permaneçam operacionais pelo maior tempo possível.

Os indicadores de segurança têm como objetivo medir o nível de segurança tanto na operação das máquinas quanto no ambiente de trabalho dos operadores. Eles são fundamentais para evitar acidentes e garantir um ambiente de produção seguro. A segurança no ambiente de trabalho não apenas protege os trabalhadores, mas também reduz o risco de paradas inesperadas, que podem causar prejuízos financeiros e operacionais. O acompanhamento rigoroso desses indicadores permite que as empresas tomem medidas preventivas para minimizar os riscos e garantir que os processos produtivos ocorram de forma segura e eficiente.

Por fim, os indicadores financeiros são responsáveis por fornecer uma visão clara dos custos associados à manutenção, incluindo investimentos em mão de obra, reparos, tecnologias de monitoramento, e a substituição de peças ou equipamentos. Esses indicadores também permitem uma análise detalhada dos ganhos financeiros obtidos com a eficiência operacional e a gestão eficaz dos ativos. Entre os principais indicadores financeiros, estão o CMT (Custo de Manutenção Total), que calcula o custo total da manutenção, e o CMF (Custo de Manutenção sobre Faturamento), que analisa o impacto da manutenção sobre o faturamento da

empresa. Outros indicadores incluem o CPMV (Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição) e o CMUP (Custo de Manutenção sobre Unidade Produzida), que oferecem uma visão mais granular dos custos de manutenção em relação ao valor dos ativos e à produção.

Quadro 1: Lista de indicadores da manutenção e financeiros

Indicador	Significado
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTTR	Tempo médio de reparo
Disponibilidade	Disponibilidade do equipamento
Confiabilidade	Confiabilidade do equipamento
Backlog	Tempo de tarefas pendentes
OEE	Eficiência global dos equipamentos
MTTF	Tempo médio sem falhas
TF	Taxa de falha
HH	Homem hora
CMT	Custo de manutenção total
CMF	Custo de manutenção sobre faturamento
CPMV	Custo de manutenção sobre valor de reposição
CMUP	Custo de manutenção sobre unidade produzida
CPP	Custo de parada de produção

Fonte: Autor.

Essa tabela resume os principais indicadores utilizados pelas empresas e seus significados, oferecendo uma visão abrangente dos diferentes aspectos da manutenção e dos custos financeiros envolvidos. A inclusão desses indicadores em um programa de gestão de ativos permite que as empresas acompanhem e melhorem continuamente suas operações, garantindo que os investimentos

realizados em manutenção resultem em um retorno positivo e sustentável.

2.4 Análise do ROI em gestão de ativos

Quando uma empresa realiza um investimento em determinado setor ou área, é crucial considerar e avaliar o retorno obtido com base nesse investimento. Sem essa análise, o capital alocado pode não gerar resultados positivos, levando a possíveis prejuízos e colocando a empresa em risco de falência a longo prazo. Nesse contexto, o ROI (Retorno sobre Investimento) emerge como uma métrica fundamental para a tomada de decisões estratégicas.

O ROI é utilizado para calcular o retorno obtido com base em um investimento específico, fornecendo uma visão clara do desempenho financeiro e operacional da empresa. Esta métrica é expressa como uma porcentagem, o que facilita a comparação entre diferentes investimentos e a análise de sua eficácia. De acordo com Assaf Neto (2017), ao utilizar o ROI, é importante que as empresas tenham certos cuidados. Uma empresa que não promove modernizações tecnológicas ou melhorias em seus processos operacionais pode, inicialmente, apresentar um crescimento no ROI. No entanto, essa prática pode comprometer a sustentabilidade a longo prazo, colocando em risco a continuidade da organização.

Para calcular o ROI, é necessário considerar o valor investido em uma ferramenta ou solução específica, bem como avaliar os ganhos obtidos a partir desse investimento. A equação básica para o cálculo do ROI é demonstrada a seguir:

$$ROI = \left(\frac{\text{Ganho obtido} - \text{Valor investido}}{\text{Valor investido}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- Ganho obtido: Refere-se ao benefício financeiro ou aumento de valor obtido a partir do investimento realizado.
- Valor investido: É o montante de recursos financeiros aplicados no investimento.

Na gestão de ativos, o ROI desempenha um papel vital na coordenação das

atividades da organização com o objetivo de maximizar o valor dos ativos. Segundo a ABRAMAN (2013), essa coordenação envolve considerar o desempenho dos ativos, reconhecer os riscos associados, identificar oportunidades de melhoria e equilibrar os custos com os benefícios. Ao fornecer uma visão gerencial clara dos dados mais relevantes para a empresa, o ROI permite que os gestores avaliem o retorno dos investimentos em diferentes áreas da organização, como manutenção, aquisição de novas tecnologias, ou aprimoramento de processos operacionais.

Quanto mais dados precisos forem coletados e utilizados para a análise do ROI, mais confiável será o resultado obtido. Por essa razão, é fundamental que as empresas mantenham um histórico detalhado de dados, realizem cálculos regulares dos indicadores de manutenção e financeiros, e possuam uma estrutura robusta de gestão de ativos. Dessa forma, as decisões tomadas serão baseadas em informações concretas e precisas, garantindo que os investimentos realizados estejam de fato contribuindo para o crescimento sustentável da empresa.

A análise do ROI não é apenas uma ferramenta para medir o sucesso financeiro de um investimento. Ela também desempenha um papel crítico na estratégia de longo prazo da empresa. Ao fornecer uma visão detalhada do retorno financeiro, o ROI auxilia na identificação de quais áreas da empresa estão gerando maior valor e onde os recursos podem ser melhor alocados. Isso não apenas otimiza o desempenho operacional, mas também contribui para a melhoria contínua e a inovação, fatores essenciais para a competitividade no mercado atual.

2.5 Metodologia para análise do ROI

O cálculo do ROI (Retorno sobre Investimento) pode ser realizado de diversas formas, levando em consideração diferentes tipos de métricas e indicadores. Para o desenvolvimento de uma metodologia robusta para análise do ROI em gestão de ativos, é necessário considerar uma variedade de abordagens que permitam uma avaliação abrangente e precisa do retorno obtido com os investimentos realizados.

As metodologias de cálculo do ROI já foram amplamente aplicadas em diversas áreas e em diferentes tipos de empresas e setores, cada uma adaptando-se às necessidades específicas e aos objetivos estratégicos de cada organização. A seguir, serão exploradas algumas metodologias reconhecidas na literatura, demonstrando a diversidade de abordagens possíveis e destacando os

autores que as discutem.

De acordo com Cerqueira (2013), existem diversas maneiras de se calcular o retorno sobre o investimento. As metodologias abordadas por diferentes autores são apresentadas na Tabela 2, que resume as fórmulas utilizadas e seus respectivos autores.

Quadro 2 - Metodologias abordadas para cálculo do ROI

Fórmula	Autor
$ROI = \left(\frac{\text{Benefício Líquido}}{\text{Custo Líquido}} \right) \cdot 100$	Sikka (2004)
$ROI = \frac{\text{Benefício} - \text{Custo}}{\text{Custo}}$	Solingen (2004)
$ROI = \left(\frac{\text{Benefício} - \text{Custo}}{\text{Custo}} \right) \cdot 100$	Rico (2004)
$ROI = \frac{\text{Custo Economizado} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}}$	Emam (2005)
$ROI = \frac{\text{Custo Economizado} - \text{Investimento}}{\text{Custo Original}}$	Emam (2005)

Fonte: Autor.

Para Sikka (2004), o ROI é a relação dos ganhos de investimento de capital com a proporção de gastos realizada, ele possui uma visão com base em benefícios e custos, e mesmo nem todos eles sendo quantificáveis com facilidade, a busca por quantificar aqueles benefícios e custos mais significativos é a abordagem principal. Em sua visão, os benefícios líquidos podem ser diretos, como aumento de receita, melhoria da produtividade ou redução de custos, ou indiretos, como redistribuição de recursos ou tarefas. Os custos líquidos englobam benefícios, salários, contratações, despesas gerais e administrativas.

De acordo com Solingen (2004), o cálculo dos benefícios e dos custos é imprescindível e uma necessidade primária para realizar as decisões de investimento. Ele evidencia que o cálculo de custo, na maioria das organizações, é estimado, por também utilizarem valores fixos por hora, além dos citados acima, fazendo com que o valor do custo se torne próximo ao valor real e tenha uma precisão aceitável. Para ele, a mesma metodologia pode ser aplicada para calcular os benefícios e os custos, e sua metodologia para o cálculo do ROI consiste em

dividir o lucro de investimento pelo investimento realizado.

Rico (2004) apresenta em seu trabalho uma metodologia para o ROI que é conhecida como uma maneira de quantificar, calcular e analisar seu impacto financeiro. Esta metodologia consiste em mensurar os benefícios, custos, a relação custo/benefício, o ROI e um ponto de equilíbrio. Os benefícios são o somatório do valor econômico que caracterizam a melhoria vigente no processo, os custos são o valor total gasto com o investimento na aquisição e implantação e a relação custo/benefício é a razão entre os valores. Para calcular o ROI, primeiro os custos são subtraídos dos benefícios, e posteriormente dividido pelos custos, assim é levado em consideração o benefício real. Finalmente, o ponto de equilíbrio quantifica quando os benefícios superam os custos, sinalizando o início de lucro, e é levada em consideração a evolução na produtividade.

Segundo Eman (2005), o ROI pode ser calculado antes ou depois da implementação da tecnologia, sendo que a única diferença é se os dados usados para a análise são estimados ou mensurados. Em seu trabalho ele aborda duas metodologias, a primeira metodologia demonstra qual foi o custo economizado no projeto em seu investimento inicial, já o segundo método monitora os benefícios do investimento de uma melhor forma, trazendo o custo total economizado com o investimento. Na prática, uma das maiores diferenças entre os dois cálculos é que o primeiro tende a ter maiores valores do que o segundo, pelos modelos estarem medindo coisas diferentes, um mede o ROI de forma tradicional, enquanto o outro é uma medida de economia, respectivamente.

Ao considerar as diferentes metodologias para o cálculo do ROI, é importante que as empresas escolham aquela que melhor se adapte às suas necessidades e objetivos específicos. A análise criteriosa dessas metodologias pode fornecer insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas, garantindo que os investimentos realizados em gestão de ativos gerem o retorno esperado e contribuam para o crescimento sustentável da organização.

3. Metodologia

A metodologia abordada na presente pesquisa é de caráter exploratório. “Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.” (Gil, 2002).

3.1 Recursos Materiais

Para o desenvolvimento do modelo de análise do ROI em gestão de ativos, é crucial contar com recursos materiais apropriados que garantam a precisão e eficácia dos cálculos e análises realizadas. Neste trabalho, optou-se por utilizar dados estimados para o cálculo do ROI, uma vez que dados reais ainda não estão disponíveis devido à fase inicial do projeto. A abordagem com dados estimados permitirá simular diferentes cenários e avaliar preliminarmente os impactos potenciais dos investimentos.

Os dados estimados serão organizados e analisados utilizando planilhas, que desempenham um papel essencial na gestão e processamento das informações. As planilhas serão estruturadas para incluir áreas específicas para a entrada de dados, cálculo de indicadores e cálculo do ROI. A entrada de dados permitirá a inserção das informações relacionadas aos investimentos realizados, custos associados e benefícios esperados. As fórmulas e funções das planilhas serão configuradas para calcular os principais indicadores financeiros e de manutenção, como MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), MTTR (Tempo Médio para Reparo), Disponibilidade e Custo de Manutenção Total. O cálculo do ROI será feito com base nas informações de Custos evitados e no Investimento realizado.

Para garantir a precisão dos cálculos e a eficiência no processamento dos dados, serão empregadas ferramentas e softwares especializados. O Google Planilhas será a ferramenta principal para a criação e gestão das planilhas de cálculo, dada sua ampla aplicação em análises financeiras e de manutenção. Além

disso, softwares de gestão de ativos poderão ser utilizados para integrar os dados estimados com os sistemas de monitoramento e gestão de ativos, permitindo uma análise mais abrangente e detalhada.

A fim de assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos a partir dos dados estimados, serão seguidos procedimentos de validação rigorosos. Esses procedimentos incluirão a revisão dos dados para garantir que sejam razoáveis e consistentes com os parâmetros do projeto, a comparação dos resultados com benchmarks e estudos de caso semelhantes para validar as estimativas e verificar a precisão dos cálculos, e ajustes baseados nas comparações com dados de referência. Com base nessas análises, o ROI poderá ser recalculado para refletir as condições mais precisas possíveis.

Os resultados dos cálculos e das análises serão devidamente documentados em relatórios detalhados, que irão incluir uma descrição dos dados estimados, a apresentação dos cálculos dos indicadores financeiros e de manutenção, a exposição dos resultados do cálculo do ROI e a interpretação dos impactos dos investimentos realizados. Além disso, serão fornecidas sugestões para a melhoria dos processos com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas. A integração cuidadosa desses recursos materiais permitirá a realização de uma análise robusta e eficaz do ROI, contribuindo para o desenvolvimento de uma metodologia sólida para a gestão de ativos.

3.2 Indicadores de Manutenção e Financeiros

Os indicadores de manutenção e financeiros fornecem informações importantes sobre uma empresa e como ela está estruturada no que diz respeito à gestão de seus ativos. Uma empresa que realiza o cálculo dos seus indicadores consegue obter mais informações e agir com base em dados, sendo mais assertiva e conseguindo também obter um histórico dos indicadores, podendo avaliar se está tendo uma evolução ou queda na performance.

Para a metodologia dos cálculos dos indicadores, a tabela a seguir apresenta os indicadores de manutenção a serem utilizados e as suas respectivas fórmulas.

Quadro 3 - Fórmulas dos indicadores de Manutenção

Indicador	Fórmula
MTBF	$MTBF = \frac{\Sigma \text{ Horas de operação}}{N^{\circ} \text{ de Falhas}}$
MTTR	$MTTR = \frac{\Sigma \text{ Horas de reparo}}{N^{\circ} \text{ de Falhas}}$
Disponibilidade	$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100$
Confiabilidade	$Confiabilidade = e^{-\text{taxa de falhas} \cdot \text{tempo}}$
Performance	$Performance = \frac{\text{Produção real}}{\text{Produção esperada}}$
Qualidade	$Qualidade = \frac{\text{Produtos aceitáveis}}{\text{Total produzido}}$
OEE	$OEE = Disp \cdot Perf \cdot Qualidade$

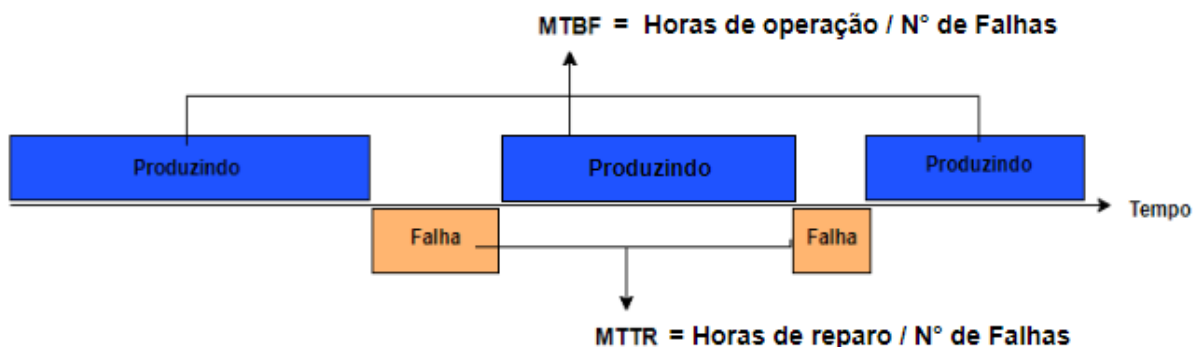
Fonte: Autor.

O MTBF (*Mean Time Between Failures*), ou tempo médio entre falhas, consiste basicamente em medir o tempo médio entre uma falha e outra. Para o seu cálculo é considerado o somatório das horas de trabalho em bom funcionamento do equipamento, e dividido pelo número de falhas que ocorreram. (Viana, 2016).

O Tempo médio para reparo, também conhecido como MTTR (*Mean Time to Repair*), é um indicador que mostra a média de tempo levada para realizar o reparo do equipamento. O cálculo dele consiste no somatório dos tempos de reparo sobre o número total de falhas do equipamento.

Sendo o MTBF o tempo médio entre falhas, e o MTTR o indicador do tempo de reparo, a imagem a seguir ilustra como funcionam estes indicadores na prática:

Figura 4 - MTBF e MTTR



Fonte: Autor.

Sendo um dos indicadores mais importantes da manutenção, a disponibilidade calcula a probabilidade de um ativo estar disponível para operação. Existem algumas formas de calcular o indicador de disponibilidade, uma delas é dividindo o MTBF pela soma do MTBF e MTTR, e multiplicado por 100, obtendo assim o seu valor.

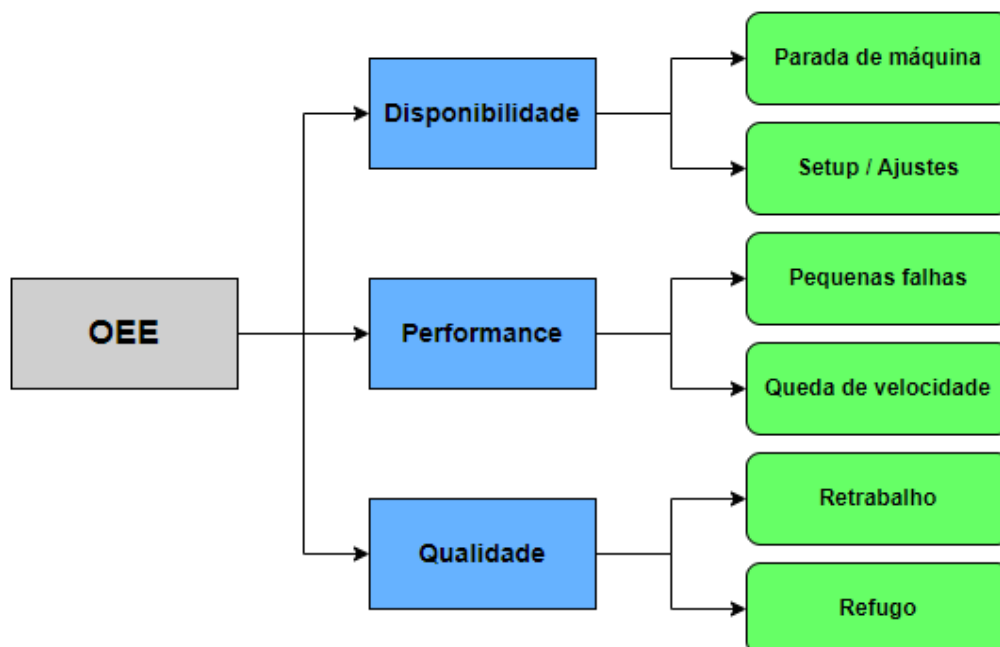
Para a norma NBR-5462 (1994), confiabilidade é a probabilidade de um equipamento desempenhar as suas funções de acordo com as condições de operação durante um determinado período de tempo. O cálculo desse indicador leva em consideração o número de Euler, o tempo estimado e a taxa de falhas.

A performance é o indicador que tem como objetivo mensurar a capacidade de um equipamento produzir o que se era estimado dele, portanto sua fórmula leva em conta a produção real sobre a produção esperada, resultando o valor da performance daquele ativo.

Para calcular a qualidade do equipamento, é levado em consideração a quantidade de produtos ou peças consideradas aceitáveis, desconsiderando então os refugos e retrabalhos realizados, sobre a quantidade total de unidades produzidas.

O OEE (Overall Equipment Effectiveness) ou Eficiência global dos equipamentos é um indicador que leva em consideração os três indicadores mencionados anteriormente, se trata de um indicador de desempenho das máquinas de uma fábrica ou empresa. Ele identifica a porcentagem de tempo de fabricação que é realmente produtiva. A figura 4 ilustra os pilares que fazem parte do cálculo do OEE.

Figura 5 - Pilares do OEE



Fonte: Autor.

Esses indicadores permitem uma visão abrangente do desempenho dos ativos, ajudando a identificar áreas de melhoria e a monitorar a eficiência operacional.

Para os indicadores financeiros, que são fundamentais para avaliar o impacto econômico dos investimentos em ativos, as seguintes fórmulas apresentadas no Quadro 4 serão utilizadas.

Quadro 4 - Fórmulas dos indicadores Financeiros

Indicador	Fórmula
CPP	$CPP = \text{Custo de hora parada} \cdot \text{Horas de parada evitadas}$
HH	$HH = \text{Custo da Hora} \cdot \text{Total de Horas economizadas}$
CPMV	$CPMV = \text{Custo do ativo} - \text{Valor de peças trocadas}$
Custo Total Evitado	$CTE = CPP + HH + CPMV$

Investimento Total	$Investimento\ Total = \Sigma Investimentos$
--------------------	--

Fonte: Autor.

O custo de parada de produção é um indicador que visa obter o valor perdido com a produção estando congelada, a fim de calcular o valor evitado, o cálculo será feito multiplicando o custo por hora parada de produção pelas horas de parada evitadas.

A hora homem tem como objetivo calcular qual foi o gasto total com a mão de obra realizada durante um período de tempo, no caso da metodologia, será calculado o gasto total evitado, para o seu cálculo é necessário saber qual o custo da hora, e multiplicar pelo total de horas economizadas, tendo assim o seu valor.

Para calcular o valor salvo por ser identificado o defeito no equipamento antes de que a sua falha ocorra, o custo de manutenção sobre valor de reposição é um excelente indicador, onde ele calcula o custo do ativo menos o valor gasto com a substituição das peças com defeito, tendo assim o gasto evitado com a substituição da máquina.

O Custo total evitado nada mais é do que a soma de todos os gastos que foram economizados, sendo então a soma do custo de parada de produção, custo da hora homem e o custo de manutenção sobre o valor de reposição.

O Investimento total é o indicador financeiro que contempla os custos de todos os investimentos realizados para o monitoramento online dos ativos, ele inclui os investimentos em sensores, no software e na mão de obra para a instalação.

Com os indicadores de manutenção e financeiros citados, e as fórmulas definidas para os seus cálculos, é possível dar início ao desenvolvimento da criação do modelo de cálculo, junto com a estruturação da planilha e simulação dos cálculos.

4. Desenvolvimento

No presente capítulo, será abordado o desenvolvimento do trabalho, reunindo o material estudado e aplicando uma metodologia para a comprovação do retorno sobre o investimento realizado na gestão de ativos monitorados de forma online.

Os dados a serem utilizados serão baseados em informações de indústrias e empresas reais, de caráter sigiloso, não contendo assim o nome ou detalhes das fontes que possam gerar um vazamento de informações. As variáveis dos indicadores de manutenção e financeiros trarão esses dados de máquinas e processos produtivos aproximados, de modo a não comprometer a integridade das empresas e a confidencialidade.

4.1 Criação do modelo de cálculo

À medida que as empresas avançam na gestão de ativos, as áreas de manutenção e confiabilidade, juntamente com a gestão de ativos, têm se modernizado, adotando novas tecnologias para aprimorar o monitoramento da saúde e da performance de seus equipamentos. Essa evolução tecnológica também traz a necessidade de avaliar a eficácia dos investimentos realizados, assegurando que os recursos alocados estejam de fato contribuindo para o progresso da empresa e não apenas resultando em desperdício financeiro. Neste contexto, o ROI (Retorno sobre Investimento) emerge como uma ferramenta essencial para analisar os retornos obtidos com o capital investido em diferentes setores ou áreas.

O objetivo deste trabalho é não apenas calcular o ROI, mas também fornecer uma análise detalhada dos indicadores-chave que impactam a gestão de ativos. Para isso, serão considerados indicadores de manutenção e financeiros que oferecem uma visão abrangente do impacto dos investimentos. Essa abordagem permite avaliar a eficiência do investimento realizado e comparar se houve uma evolução positiva e um retorno evidente.

Para iniciar o desenvolvimento, é crucial definir e padronizar os indicadores a serem utilizados, garantindo uma metodologia consistente e repetível. Isso permitirá aplicar a metodologia desenvolvida a diferentes casos de uso, possibilitando uma comparação eficiente dos resultados.

O monitoramento online surge como uma ferramenta significativa, oferecendo

benefícios substanciais para a rotina de monitoramento dos ativos e para as principais áreas da empresa envolvidas. Com o monitoramento online, é possível acompanhar o comportamento dos equipamentos de forma contínua e diária, identificar melhorias nos níveis de operação e prever potenciais falhas. Além disso, muitos dos indicadores podem ser calculados diretamente a partir dos dados históricos obtidos pelo monitoramento, como o tempo de operação, número de paradas e duração das paradas.

No presente trabalho, para o cálculo dos indicadores, serão utilizados os seguintes KPIs:

Quadro 5 - Indicadores utilizados para o cálculo

Indicador	Impacto no ROI
MTBF	Um maior MTBF indica menor custo de manutenção e maior disponibilidade do ativo, contribuindo para um ROI positivo.
MTTR	Com um tempo de reparo menor, significa um menor tempo de produção parada, com isso temos um maior ROI.
Disponibilidade	Tendo uma maior disponibilidade da máquina, mais esse equipamento produz e gera maior capital, impactando positivamente no retorno sobre o investimento.
Confiabilidade	A confiabilidade de um equipamento estando alta, garante um maior período sem ocorrer uma falha, o que influencia em um melhor ROI.
Performance	Com uma alta performance, significa que o ativo conseguiu atingir uma boa produção, chegando próxima da produção estimada, com isso o ROI seria positivo.
Qualidade	A qualidade depende da capacidade do equipamento produzir peças ou produtos com qualidade, evitando refugos e retrabalhos, dessa maneira tendo um menor desperdício e aumentando o lucro, sendo bom para o ROI.

OEE	O OEE é o indicador que engloba a disponibilidade, performance e qualidade, desse modo, com esse indicador positivo, o retorno sobre o investimento também será positivo.
CPP	Tendo um custo de parada de produção evitada alto, significa que foi economizado capital por evitar uma parada, sendo muito vantajoso monetariamente para a empresa e para a gestão do ativo, e proporcionando um ROI elevado.
HH	Com a hora homem evitada sendo alta, significa uma menor quantidade de intervenções no equipamento, aumentando a sua disponibilidade e vida útil, gerando um bom retorno sobre o investimento.
CPMV	Um CPMV alto, caracteriza um grande gasto com o equipamento, e conseqüentemente um retorno sobre o investimento baixo, mas um baixo custo de manutenção sobre o valor de reposição influência em um alto ROI.
Custo Total Evitado	O custo total evitado engloba todos os custos que foram evitados com o ativo, então quanto maior for essa economia, maior será o retorno sobre o investimento realizado.
Investimento Total	Para ter um alto ROI, ou o investimento total precisa ser baixo, ou é necessário que o investimento total traga benefícios claros para o equipamento.

Fonte: Autor.

Tendo assim os indicadores definidos, eles irão integrar uma parte importante da metodologia, que será trazer informações além do ROI, para apoiar no entendimento do retorno sobre o investimento, e não depender de apenas variáveis financeiras, mas também de operação e produção.

Para uma compreensão detalhada da fórmula do ROI (Retorno sobre Investimento) e sua aplicação, é importante analisar cada componente da fórmula e como cada um deles contribui para a avaliação do retorno financeiro sobre os

investimentos realizados. A fórmula escolhida para este trabalho é:

$$ROI = \frac{\text{Custo Evitado} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \cdot 100 \quad (2)$$

O Custo Evitado é o valor que representa a economia gerada pela implementação de melhorias, tecnologias ou estratégias de manutenção. Em outras palavras, é o montante que a empresa conseguiu economizar ao evitar custos adicionais que seriam incorridos se a intervenção não tivesse ocorrido. O custo evitado pode incluir economias em paradas de produção evitadas, reduções nos custos de manutenção e melhorias na eficiência operativa. A capacidade de calcular esse valor com precisão é crucial, pois ele reflete diretamente o impacto positivo das medidas adotadas sobre os custos operacionais da empresa.

O Investimento é o valor total gasto na implementação das melhorias ou na aquisição de novas tecnologias. Inclui todos os custos relacionados, como aquisição de equipamentos, custos com a instalação, treinamento de pessoal e outros gastos associados. O investimento deve ser bem documentado e englobar todos os aspectos financeiros envolvidos para garantir uma avaliação precisa do retorno.

O primeiro passo na fórmula é subtrair o investimento total do custo evitado. Esta operação visa determinar o valor líquido do retorno obtido após considerar o gasto inicial. O valor resultante representa a economia líquida gerada pelas melhorias em relação ao investimento feito.

O próximo passo é dividir o valor líquido obtido pela quantidade investida. Isso fornece uma visão percentual do retorno, permitindo avaliar a eficiência do investimento em termos relativos ao custo inicial.

Finalmente, para expressar o ROI como uma porcentagem, o resultado da divisão é multiplicado por 100. Isso facilita a interpretação dos resultados e a comparação com outros investimentos ou benchmarks de mercado.

Para ilustrar, considere um exemplo onde uma empresa investiu R\$100.000 em novas tecnologias de monitoramento e conseguiu evitar R\$150.000 em custos operacionais e de manutenção. A fórmula do ROI seria aplicada da seguinte forma:

$$ROI = \frac{150.000 - 100.000}{100.000} \cdot 100 = 0,50\%$$

Neste exemplo, o ROI seria de 50%, indicando que a empresa obteve um retorno de 50% sobre o investimento realizado. Esse resultado sugere que para cada real investido, a empresa gerou um retorno de R\$0,50 além do valor investido.

A fórmula do ROI é fundamental para avaliar a eficácia dos investimentos e justificar futuras alocações de recursos. Ela proporciona uma visão clara de quanto a empresa está ganhando em relação ao que está gastando, ajudando a identificar áreas de sucesso e áreas que podem precisar de ajustes. Um ROI positivo demonstra que os investimentos estão trazendo benefícios financeiros e operacionais para a empresa, enquanto um ROI negativo pode sinalizar a necessidade de reavaliar a estratégia ou os investimentos realizados.

4.2 Estruturação da planilha de cálculos

Tendo os indicadores definidos e a fórmula para calcular o ROI criada, surge agora a necessidade de organizar os dados e informações na planilha para ser possível realizar os cálculos de uma maneira automatizada, onde as variáveis são inseridas, e com isso os resultados e valores são exibidos, tendo assim o modelo criado para posteriormente serem feitas as simulações.

Com o objetivo de facilitar a visualização e também separar as variáveis que irão compor os dados dos resultados dos indicadores de manutenção, financeiros e do retorno sobre o investimento, serão utilizadas duas colunas na planilha, uma para serem inseridos as informações referentes aos dados necessários para realizar os cálculos dos indicadores e do ROI, e a outra coluna irá trazer os resultados obtidos através da automatização dos cálculos, utilizando as fórmulas citadas no Quadro 3 e Quadro 4.

Trazendo então primeiramente as variáveis que farão parte dos dados iniciais necessários para realizar os cálculos, além de suas funções e quais os indicadores impactados por elas, temos o Quadro 6 para apresentá-las.

Quadro 6 - Variáveis utilizadas para o cálculo

Variável	Função	Indicador impactado
Tempo de Funcionamento	Representa o total de horas em operação do equipamento	MTBF, Taxa de falhas, Disponibilidade,

		Confiabilidade e OEE
Nº de falhas	Quantidade de falhas que ocorreram no ativo	MTBF, MTTR, Taxa de falhas, Disponibilidade, Confiabilidade e OEE
Tempo de Parada	É o tempo total em horas que a máquina ficou fora de operação	MTTR, Disponibilidade e OEE
Produção real	Indica o valor total obtido com a produção	Performance e OEE
Produção esperada	Indica o valor total que se espera a ser produzido	Performance e OEE
Nº de produtos aceitáveis	Quantidade de peças ou produtos produzidos que são aceitáveis	Qualidade e OEE
Total produzido	Total de peças ou produtos produzidos, incluindo refugo e desperdício	Qualidade e OEE
Custo de Hora Parada	Representa o custo gerado por hora parada do ativo	CPP e Custo total evitado
Horas de Parada evitadas	Total de horas de parada evitadas com a identificação da falha de maneira precoce	CPP e Custo total evitado
Custo de HH	Custo da Hora Homem	HH e Custo total evitado
HH Economizado	Horas Homem economizadas com a identificação precoce da falha	HH e Custo total evitado
Custo do ativo	Custo total do equipamento	CPMV e Custo total evitado
Valor de Peças trocadas	Custo gasto com a troca das peças do ativo	CPMV e Custo total evitado
Valor investido em sensores	Valor total utilizado com o investimento nos sensores para o monitoramento	Investimento total

Valor investido em software	Valor total utilizado com o investimento no software para o monitoramento	Investimento total
Valor investido em mão de obra	Valor total utilizado com a mão de obra para o monitoramento	Investimento total

Fonte: Autor.

Com as variáveis devidamente listadas e suas funções detalhadas, a próxima etapa consiste em configurar a segunda coluna da planilha, onde os cálculos dos indicadores serão realizados. Esta coluna incluirá os seguintes elementos:

1. **Indicadores de Manutenção:** Inicialmente, a planilha apresentará os resultados dos indicadores de manutenção, como MTBF, MTTR, Disponibilidade, Confiabilidade, Performance, Qualidade e OEE.
2. **Indicadores Financeiros:** Em seguida, serão exibidos os resultados dos indicadores financeiros, como CPP, Custo de HH, CPMV, Custo Total Evitado e Investimento Total.
3. **ROI:** Por último, a planilha mostrará o cálculo final do ROI, baseado nas variáveis e indicadores previamente definidos.

Após definir o formato da planilha e listar todos os dados e indicadores, o passo final é inserir essas informações nas colunas determinadas e aplicar as fórmulas apropriadas em cada célula. Isso permitirá que a planilha realize os cálculos automaticamente, possibilitando a realização de simulações e a verificação da precisão do modelo desenvolvido.

A Figura 6 ilustra a planilha após a sua estruturação completa, mostrando como os dados são organizados e como os resultados são calculados e exibidos.

Figura 6 - Planilha de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento		MTBF	
Nº de falhas		MTTR	
Tempo de parada		Taxa de falhas	
Produção real		Disponibilidade	
Produção esperada		Confiabilidade	
Nº de produtos aceitáveis		Performance	
Total produzido		Qualidade	
Custo de Hora parada		OEE	
Horas de parada evitadas		Indicadores Financeiros	
Custo de HH		CPP	R\$ -
HH economizado		HH	R\$ -
Custo do ativo		CPMV	R\$ -
Valor de peças trocadas		Custo Total Evitado	R\$ -
Valor investido em sensor		Investimento Total	R\$ -
Valor investido em software		ROI	
Valor investido em mão de obra			

Fonte: Autor.

Com a planilha devidamente estruturada e configurada, será possível realizar análises detalhadas do retorno sobre o investimento, facilitar a comparação entre diferentes cenários e validar a eficácia das estratégias implementadas para a gestão de ativos.

4.3 Simulação dos cálculos

Tendo a estruturação da planilha concluída, é possível então iniciar a simulação dos cálculos do ROI, utilizando dados hipotéticos para apresentar os diferentes resultados que podem ser obtidos, e as variações causadas tanto nos indicadores quanto nos valores do retorno sobre o investimento.

Para obter uma maior quantidade de informações e dados para serem analisados, serão realizadas cinco simulações utilizando a planilha de cálculos, para se obter uma grande amostra de indicadores e também de resultados do ROI.

As simulações terão como parâmetros um período de seis meses a ser considerado para o tempo total de funcionamento do equipamento, e também para serem avaliados os indicadores financeiros, com isso em vista iremos realizar a primeira simulação.

4.3.1 Simulação 1

Iniciando pelos dados referente aos cálculos dos indicadores de manutenção, temos um equipamento que operou durante 2300 horas, tendo um número de falhas igual a três, e um tempo de parada de 22 horas. A sua produção gerou um valor de 950 mil reais, 50 mil abaixo do esperado, e teve um total de 200 mil produtos produzidos, estando com 2 mil desses produtos fora do padrão aceitável . Dessa forma, o Quadro 6 apresenta as informações de maneira organizada.

Quadro 7 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 1

Dado	Valor
Tempo de funcionamento	2300
N° de falhas	3
Tempo de parada	22
Produção real	R\$ 950.000,00
Produção esperada	R\$ 1.000.000,00
N° de produtos aceitáveis	198000
Total produzido	200000

Fonte: Autor.

Partindo agora para os dados referentes aos indicadores financeiros, um custo de hora parada do equipamento equivalente a 10 mil reais a hora, tendo sido evitadas 60 horas de máquina parada. O custo da hora homem é de 150 reais, tendo 200 horas sido economizadas, o custo do ativo é de 500 mil reais, e tendo um custo de 25 mil com a reposição de peças. O valor investido no monitoramento com os sensores foi de 100 mil reais, no software 20 mil reais foram investidos, e 12 mil foi gasto com a mão de obra. No Quadro 7, é possível verificar as informações organizadas.

Quadro 8 - Dados para indicadores financeiros Simulação 1

Dado	Valor
Custo de Hora parada	R\$ 10.000,00
Horas de parada evitadas	60
Custo de HH	R\$ 150,00
HH economizado	200
Custo do ativo	R\$ 500.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 25.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 100.000,00
Valor investido em software	R\$ 20.000,00
Valor investido em mão de obra	R\$ 12.000,00

Fonte: Autor.

Tendo todos os valores necessários definidos para realizar a simulação da planilha, os mesmos foram inseridos em seus respectivos campos e o resultado da primeira simulação é apresentado na imagem abaixo.

Figura 7 - Primeira simulação de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento	2300	MTBF	766,6666667
Nº de falhas	3	MTTR	7,333333333
Tempo de parada	22	Taxa de falhas	0,001304347826
Produção real	R\$ 950.000,00	Disponibilidade	99,05%
Produção esperada	R\$ 1.000.000,00	Confiabilidade	87,77%
Nº de produtos aceitáveis	198000	Performance	95,00%
Total produzido	200000	Qualidade	99,00%
Custo de Hora parada	R\$ 10.000,00	OEE	93,16%
Horas de parada evitadas	60	Indicadores Financeiros	
Custo de HH	R\$ 150,00	CPP	R\$ 600.000,00
HH economizado	200	HH	R\$ 30.000,00
Custo do ativo	R\$ 500.000,00	CPMV	R\$ 475.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 25.000,00	Custo Total Evitado	R\$ 1.105.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 100.000,00	Investimento Total	R\$ 132.000,00
Valor investido em software	R\$ 20.000,00	ROI	
Valor investido em mão de obra	R\$ 12.000,00	737%	

Fonte: Autor.

É possível avaliar que os indicadores de manutenção altos, tendo um tempo médio entre falhas de 766,66 horas, e um tempo médio para reparo de 7,33 horas, uma taxa de falha de aproximadamente 0,001 e uma disponibilidade de 99%. A confiabilidade do ativo ficou em 87,77% e a sua performance em 95%, a qualidade chegou a 99% e a eficiência global do equipamento obteve um valor de 93%.

Nos indicadores financeiros, o custo de parada de produção evitado chegou a 600 mil reais, o custo da hora homem evitado foi de 30 mil reais, e o custo de manutenção evitado sobre valor de reposição do equipamento é de 475 mil reais, com isso, o custo total evitado chegou em mais de 1,1 milhão de reais, tendo um investimento total de 132 mil reais.

Por fim, o valor de retorno sobre o investimento realizado é de 737%, um valor alto, que indica um investimento bem sucedido, tendo como principais fatores a se avaliar nos benefícios do monitoramento online, uma alta disponibilidade do ativo, que garantiu o equipamento funcionando por um longo período de tempo, uma baixa taxa de falhas, e um custo total evitado muito expressivo. Esses são cenários onde a detecção precoce das falhas, antes de que se tornem um problema para a operação do equipamento, através do monitoramento contínuo, ajuda a priorizar a vida útil do ativo, com o menor custo possível.

4.3.2 Simulação 2

Para dados referente aos cálculos dos indicadores de manutenção da segunda simulação, temos um equipamento que operou durante 600 horas, tendo um número de falhas igual a 8, e um tempo de parada de 92 horas. A sua produção gerou um valor de 320 mil reais, onde o valor esperado era de 500 mil reais, e teve um total de 40 mil produtos produzidos, estando com metade desses produtos fora do padrão aceitável. Dessa forma, o Quadro 8 apresenta as informações de maneira organizada.

Quadro 9 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 2

Dado	Valor
Tempo de funcionamento	600
Nº de falhas	8
Tempo de parada	92
Produção real	R\$ 320.000,00
Produção esperada	R\$ 500.000,00
Nº de produtos aceitáveis	40000
Total produzido	80000

Fonte: Autor.

Partindo agora para os dados referentes aos indicadores financeiros, um custo de hora parada do equipamento equivalente a 7,5 mil reais a hora, tendo sido evitadas 10 horas de máquina parada. O custo da hora homem é de 200 reais, com 27 horas tendo sido economizadas, o custo do ativo é de 450 mil reais, e o custo com a reposição de peças foi de 125 mil. O valor investido no monitoramento com os sensores foi de 80 mil reais, no software 35 mil reais foram investidos, e 18 mil foi gasto com a mão de obra. No Quadro 9, é possível verificar as informações organizadas.

Quadro 10 - Dados para indicadores financeiros Simulação 2

Dado	Valor
Custo de Hora parada	R\$ 7.500,00
Horas de parada evitadas	10
Custo de HH	R\$ 200,00
HH economizado	27
Custo do ativo	R\$ 450.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 125.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 80.000,00
Valor investido em software	R\$ 35.000,00
Valor investido em mão de obra	R\$ 18.000,00

Fonte: Autor.

Tendo todos os valores necessários definidos para realizar a simulação da planilha, os mesmos foram inseridos em seus respectivos campos e o resultado da primeira simulação é apresentado na imagem abaixo.

Figura 8 - Segunda simulação de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento	600	MTBF	75
Nº de falhas	8	MTTR	11,5
Tempo de parada	92	Taxa de falhas	0,01333333333
Produção real	R\$ 320.000,00	Disponibilidade	86,71%
Produção esperada	R\$ 500.000,00	Confiabilidade	26,36%
Nº de produtos aceitáveis	40000	Performance	64,00%
Total produzido	80000	Qualidade	50,00%
Custo de Hora parada	R\$ 7.500,00	OEE	27,75%
Horas de parada evitadas	10	Indicadores Financeiros	
Custo de HH	R\$ 200,00	CPP	R\$ 75.000,00
HH economizado	27	HH	R\$ 5.400,00
Custo do ativo	R\$ 450.000,00	CPMV	R\$ 325.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 125.000,00	Custo Total Evitado	R\$ 405.400,00
Valor investido em sensor	R\$ 80.000,00	Investimento Total	R\$ 133.000,00
Valor investido em software	R\$ 35.000,00	ROI	
Valor investido em mão de obra	R\$ 18.000,00	205%	

Fonte: Autor.

É possível identificar que nos indicadores de manutenção possui alguns valores baixos, tendo um tempo médio entre falhas de 75 horas, e um tempo médio para reparo de 11,5 horas, uma taxa de falha de aproximadamente 0,013 e uma disponibilidade de 86,71%. A confiabilidade do ativo ficou em 26,36% e a sua performance em 64%, a qualidade chegou a 50% e a eficiência global do equipamento obteve um valor de 27,75%.

Nos indicadores financeiros, o custo de parada de produção evitado chegou a 75 mil reais, o custo da hora homem evitado foi de 5,4 mil reais, e o custo de manutenção evitado sobre valor de reposição do equipamento é de 325 mil reais, com isso, o custo total evitado chegou em mais de 400 mil de reais, tendo um investimento total de 133 mil reais.

Por fim, o valor de retorno sobre o investimento realizado é de 205%, um valor acima de 100%, mas menor do que a primeira simulação, isso indica um investimento que gerou frutos, mas que não garantiu uma boa confiabilidade do ativo, e uma qualidade de apenas 50%, que acabou resultando em uma baixa performance e uma baixa OEE, o custo total evitado foi quase o valor do ativo, mas não foi muito maior do que o investimento feito. Esse cenário pode indicar um déficit na equipe em identificar as falhas de forma precoce, ou uma má implementação do monitoramento online, que mesmo assim conseguiu trazer um melhor resultado do

que apenas as manutenções corretivas conseguiriam.

4.3.3 Simulação 3

Na terceira simulação, para os dados referentes aos cálculos dos indicadores de manutenção, temos um equipamento que operou durante 1200 horas, tendo um número total de 10 falhas, e um tempo de parada de 180 horas. A sua produção não realizou um acompanhamento quantitativo, ocasionando na ausência de dados sobre a produção real e esperada, e também não realizou um controle de qualidade dos produtos, gerando assim uma ausência de dados para o número de produtos aceitáveis e total produzido. Com isso, o Quadro 10 indica os valores referentes a cada dado.

Quadro 11 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 3

Dado	Valor
Tempo de funcionamento	1200
Nº de falhas	10
Tempo de parada	180
Produção real	-
Produção esperada	-
Nº de produtos aceitáveis	-
Total produzido	-

Fonte: Autor.

Partindo agora para os dados referentes aos indicadores financeiros, o custo de hora parada do equipamento é equivalente a 2 mil reais a hora, tendo sido evitadas 5 horas de máquina parada. O custo da hora homem e o valor da hora homem não foram contabilizadas, pois a empresa não realizava o acompanhamento destes indicadores. O custo do ativo é de 400 mil reais, e o custo com a reposição de peças foi de 300 mil. O valor investido no monitoramento com os sensores foi de

50 mil reais, no software 15 mil reais foram investidos, e 10 mil foi gasto com a mão de obra. No Quadro 11, é possível verificar as informações listadas.

Quadro 12 - Dados para indicadores financeiros Simulação 3

Dado	Valor
Custo de Hora parada	R\$ 2.000,00
Horas de parada evitadas	5
Custo de HH	-
HH economizado	-
Custo do ativo	R\$ 400.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 300.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 50.000,00
Valor investido em software	R\$ 15.000,00
Valor investido em mão de obra	R\$10.000,00

Fonte: Autor.

Tendo todos os valores necessários definidos para realizar a simulação da planilha, os mesmos foram inseridos em seus respectivos campos e o resultado da primeira simulação é apresentado na imagem abaixo.

Figura 9 - Terceira simulação de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento	1200	MTBF	120
Nº de falhas	10	MTTR	18
Tempo de parada	180	Taxa de falhas	0,008333333333
Produção real		Disponibilidade	86,96%
Produção esperada		Confiabilidade	43,46%
Nº de produtos aceitáveis		Performance	-%
Total produzido		Qualidade	-%
Custo de Hora parada	R\$ 2.000,00	OEE	-%
Horas de parada evitadas	5	Indicadores Financeiros	
Custo de HH		CPP	R\$ 10.000,00
HH economizado		HH	R\$ -
Custo do ativo	R\$ 400.000,00	CPMV	R\$ 100.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 300.000,00	Custo Total Evitado	R\$ 110.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 50.000,00	Investimento Total	R\$ 75.000,00
Valor investido em software	R\$ 15.000,00	ROI	
Valor investido em mão de obra	R\$ 10.000,00	47%	

Fonte: Autor.

É possível identificar que nos indicadores de manutenção existe a ausência de alguns indicadores, devido a falta de dados fornecidos, o tempo médio entre falhas é de 120 horas, e um tempo médio para reparo de 18 horas, com uma taxa de falha de aproximadamente 0,008. A disponibilidade do ativo é de 86,96%, e a confiabilidade do equipamento ficou em 43,46%, os valores de performance, qualidade e do OEE foram os afetados pela falta de dados.

Nos indicadores financeiros, o custo de parada de produção evitado chegou a 10 mil reais, o custo da hora homem evitado não foi calculado por não ter os dados necessários, e o custo de manutenção evitado sobre valor de reposição do equipamento é de 100 mil reais, com isso, o custo total evitado chegou em 110 mil de reais, tendo um investimento total de 75 mil reais.

Por fim, o valor de retorno sobre o investimento realizado é de 47%, um valor considerado muito baixo para um investimento, indicando que os custos recuperados só foram de pouco menos da metade investida. Esse valor do ROI está ligado ao não acompanhamento de alguns indicadores chaves para o seu cálculo, e também a um alto valor gasto com a troca de peças do equipamento, ocasionando em um baixo custo total evitado, comparado com o valor total investido. Nesse cenário, é possível que a equipe responsável pela manutenção e gestão de ativos seja pequena, não conseguindo atuar de forma rápida no diagnóstico antecipado

das falhas nas máquinas, ou também uma má implementação do monitoramento online, que mesmo conseguindo trazer um melhor resultado do que apenas as manutenções corretivas conseguiriam, deixou a desejar em seu retorno do investimento.

4.3.4 Simulação 4

Para os dados referentes aos cálculos dos indicadores de manutenção da última simulação, temos uma máquina que operou durante 500 horas, tendo um número de falhas igual a 2, e um tempo de parada de 6 horas. A sua produção gerou um valor de 250 mil reais, onde o valor esperado era de 300 mil reais, e teve um total de 2 mil produtos produzidos, onde 200 desses estavam fora dos padrões aceitáveis. Dessa forma, o Quadro 12 apresenta os dados para os indicadores de manutenção.

Quadro 13 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 4

Dado	Valor
Tempo de funcionamento	500
N° de falhas	2
Tempo de parada	6
Produção real	R\$ 250.000,00
Produção esperada	R\$ 300.000,00
N° de produtos aceitáveis	1800
Total produzido	2000

Fonte: Autor.

Partindo agora para os dados referentes aos indicadores financeiros, um custo de hora parada do equipamento equivalente a 30 mil reais a hora, tendo sido evitadas 20 horas de máquina parada. O custo da hora homem é de 150 reais, com 50 horas tendo sido economizadas entre inspeção e monitoramento, o custo do ativo

é de 500 mil reais, e o custo com a reposição de peças foi de apenas 5 mil. O valor investido no monitoramento com os sensores foi de 20 mil reais, no software 10 mil reais foram investidos, e 2 mil foi gasto com a mão de obra. No Quadro 13, é possível verificar as informações de forma organizada.

Quadro 14 - Dados para indicadores financeiros Simulação 4

Dado	Valor
Custo de Hora parada	R\$ 30.000,00
Horas de parada evitadas	20
Custo de HH	R\$ 150,00
HH economizado	50
Custo do ativo	R\$ 500.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 5.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 20.000,00
Valor investido em software	R\$ 10.000,00
Valor investido em mão de obra	R\$ 2.000,00

Fonte: Autor.

Tendo todos os valores necessários definidos para realizar a simulação da planilha, os mesmos foram inseridos em seus respectivos campos e o resultado da primeira simulação é apresentado na imagem abaixo.

Figura 10 - Quarta simulação de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento	500	MTBF	250
Nº de falhas	2	MTTR	3
Tempo de parada	6	Taxa de falhas	0,004
Produção real	R\$ 250.000,00	Disponibilidade	98,81%
Produção esperada	R\$ 300.000,00	Confiabilidade	67,03%
Nº de produtos aceitáveis	1800	Performance	83,33%
Total produzido	2000	Qualidade	90,00%
Custo de Hora parada	R\$ 30.000,00	OEE	74,11%
Horas de parada evitadas	20	Indicadores Financeiros	
Custo de HH	R\$ 150,00	CPP	R\$ 600.000,00
HH economizado	50	HH	R\$ 7.500,00
Custo do ativo	R\$ 500.000,00	CPMV	R\$ 495.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 5.000,00	Custo Total Evitado	R\$ 1.102.500,00
Valor investido em sensor	R\$ 20.000,00	Investimento Total	R\$ 32.000,00
Valor investido em software	R\$ 10.000,00	ROI	
Valor investido em mão de obra	R\$ 2.000,00	3345%	

Fonte: Autor.

É possível identificar que nos indicadores de manutenção possui valores satisfatórios, tendo um tempo médio entre falhas de 250 horas, e um tempo médio para reparo de apenas 3 horas, uma taxa de falha de aproximadamente 0,004 e uma disponibilidade de 98,81%. A confiabilidade do ativo ficou em 67,03% e a sua performance em 83,33%, a qualidade chegou a 90% e a eficiência global do equipamento obteve um valor de 74,11%.

Nos indicadores financeiros, o custo de parada de produção evitado chegou a 600 mil reais, o custo da hora homem evitado foi de 7,5 mil reais, e o custo de manutenção evitado sobre valor de reposição do equipamento é de 495 mil reais, com isso, o custo total evitado chegou em mais de 1,1 milhão de reais, tendo um investimento total de 32 mil reais.

Por fim, o valor de retorno sobre o investimento realizado é de 3345%, um valor considerado muito alto, onde indica um custo total evitado maior do que 30 vezes o valor investido, indicando um investimento que gerou muitos frutos, e que garantiu uma excelente disponibilidade do ativo, e uma boa qualidade do processo. No âmbito financeiro é possível verificar que houve um custo evitado com paradas de produção, garantindo que o processo não tivesse interferências, e uma grande economia em relação ao ativo, gastando apenas 5 mil reais para sua manutenção. Esse cenário pode indicar uma ótima implementação do monitoramento online, que

conseguiu trazer bons indicadores de manutenção e também bons indicadores financeiros, além de um ROI extremamente alto, provando um melhor resultado do que apenas as manutenções corretivas ou preventivas conseguiriam.

4.3.5 Simulação 5

Utilizando como dados para os cálculos dos indicadores de manutenção os mesmos da simulação anterior, e alterando apenas o número de falhas, temos um ativo que operou durante 500 horas, tendo um número de falhas igual a 5, e um tempo de parada de 6 horas. A sua produção gerou um valor de 250 mil reais, onde o valor esperado era de 300 mil reais, e teve um total de 2 mil produtos produzidos, onde 200 desses estavam fora dos padrões aceitáveis. Dessa forma, o Quadro 15 apresenta os dados para os indicadores de manutenção.

Quadro 15 - Dados para indicadores de manutenção Simulação 5

Dado	Valor
Tempo de funcionamento	500
N° de falhas	5
Tempo de parada	6
Produção real	R\$ 250.000,00
Produção esperada	R\$ 300.000,00
N° de produtos aceitáveis	1800
Total produzido	2000

Fonte: Autor.

Partindo agora para os dados referentes aos indicadores financeiros, um custo de hora parada do equipamento equivalente a 30 mil reais a hora, tendo sido evitadas 10 horas de máquina parada. O custo da hora homem é de 150 reais, com 20 horas tendo sido economizadas entre inspeção e monitoramento, o custo do ativo

é de 500 mil reais, e o custo com a reposição de peças foi de 300 mil. O valor investido no monitoramento com os sensores foi de 20 mil reais, no software 10 mil reais foram investidos, e 2 mil foi gasto com a mão de obra. No Quadro 16, é possível verificar as informações de forma organizada.

Quadro 16 - Dados para indicadores financeiros Simulação 5

Dado	Valor
Custo de Hora parada	R\$ 30.000,00
Horas de parada evitadas	10
Custo de HH	R\$ 150,00
HH economizado	20
Custo do ativo	R\$ 500.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 300.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 20.000,00
Valor investido em software	R\$ 10.000,00
Valor investido em mão de obra	R\$ 2.000,00

Fonte: Autor.

Tendo todos os valores necessários definidos para realizar a simulação da planilha, os mesmos foram inseridos em seus respectivos campos e o resultado da última simulação é apresentado na imagem abaixo.

Figura 11 - Quinta simulação de ROI

Dados		Indicadores de Manutenção	
Tempo de funcionamento	500	MTBF	100
Nº de falhas	5	MTTR	1,2
Tempo de parada	6	Taxa de falhas	0,01
Produção real	R\$ 250.000,00	Disponibilidade	98,81%
Produção esperada	R\$ 300.000,00	Confiabilidade	36,79%
Nº de produtos aceitáveis	1800	Performance	83,33%
Total produzido	2000	Qualidade	90,00%
Custo de Hora parada	R\$ 30.000,00	OEE	74,11%
Horas de parada evitadas	10	Indicadores Financeiros	
Custo de HH	R\$ 150,00	CPP	R\$ 300.000,00
HH economizado	20	HH	R\$ 3.000,00
Custo do ativo	R\$ 500.000,00	CPMV	R\$ 200.000,00
Valor de peças trocadas	R\$ 300.000,00	Custo Total Evitado	R\$ 503.000,00
Valor investido em sensor	R\$ 20.000,00	Investimento Total	R\$ 32.000,00
Valor investido em software	R\$ 10.000,00	ROI	
Valor investido em mão de obra	R\$ 2.000,00	1472%	

Fonte: Autor.

É possível avaliar que os indicadores de manutenção MTBF e MTTR tiveram uma diminuição comparada à simulação anterior, tendo um tempo médio entre falhas de 100 horas, e um tempo médio para reparo de 1,2 horas, uma taxa de falha de aproximadamente 0,01 e uma disponibilidade de 98,81%. A confiabilidade do ativo ficou em 36,79% e a sua performance em 83,33%, a qualidade chegou a 90% e a eficiência global do equipamento obteve um valor de 74,11%.

Nos indicadores financeiros, o custo de parada de produção evitado chegou a 300 mil reais, o custo da hora homem evitado foi de 3 mil reais, e o custo de manutenção evitado sobre valor de reposição do equipamento é de 200 mil reais, com isso, o custo total evitado chegou em aproximadamente 500 mil de reais, tendo um investimento total de 32 mil reais.

Por fim, o valor de retorno sobre o investimento realizado é de 1472%, um valor alto, que indica um investimento bem sucedido, mas que foi quase três vezes menor do que o ROI calculado na simulação 4, isso devido ao aumento no número de falhas, que impacta diretamente os indicadores de manutenção, diminuindo o MTBF, MTTR, a Confiabilidade e a OEE, e aumentando a taxa de falhas, e impactando também indiretamente os indicadores financeiros, causando uma diminuição nas horas de parada evitadas e na hora homem evitada, e aumentando o custo de reparo do ativo. É possível dizer que o número de falhas é o principal ponto

a ser avaliado para ter um bom retorno sobre o investimento, pois com menos falhas, o equipamento se torna mais confiável, tendo uma maior disponibilidade e evitando as manutenções corretivas, que são a causa dos maiores gastos com a máquina dentro da manutenção.

5. Considerações Finais

5.1 Conclusão

No presente trabalho, conclui-se que os objetivos foram alcançados, conseguindo desenvolver um modelo para a análise do retorno sobre o investimento na gestão de ativos com o monitoramento online, tendo sido elaborado um modelo para a realização dos cálculos, levando em consideração indicadores de manutenção e indicadores financeiros, sendo definidas as fórmulas e realizada a criação da planilha, trazendo os resultados dos indicadores e o valor do ROI.

Com isso foi possível através de dados hipotéticos analisar diferentes cenários de empresas, e fazer simulações para verificar diferentes resultados e entender como cada dado se relaciona ao retorno sobre o investimento. Algumas dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento foram a criação dos modelos de cálculos envolvendo todos os indicadores necessários, de modo que todas as informações fossem ligadas, e também na falta de materiais desenvolvidos que tivessem o cenário de aplicação voltado para a gestão de ativos na manutenção.

Dentre os pontos positivos avaliados, com a criação do modelo de análise é possível ter um acompanhamento mais próximo do funcionamento das máquinas, do processo produtivo e dos principais dados que caracterizam os indicadores do equipamento, além de possibilitar a criação de um histórico de dados recorrente, podendo serem feitas análises e comparações em diferentes momentos, e verificar a evolução ou decaimento do ROI.

Uma desvantagem da utilização do modelo é quando não se tem todas as variáveis necessárias para o cálculo conhecidas, onde ainda será possível de calcular o ROI, porém ele será impactado de maneira negativa, por não ter todas as informações disponíveis, sendo assim um cálculo parcial.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se que utilizando o modelo criado, sejam realizados estudos de casos em empresas de diferentes ramos, abordando os cálculos com dados reais, e sendo possível avaliar a metodologia desenvolvida de forma aplicada, contendo indicadores e dados analisados em um ambiente prático.

Dessa maneira as empresas poderiam verificar com propriedade o ROI gerado.

Sugere-se também que a metodologia seja aplicada para verificar as evoluções dos indicadores e do ROI ao longo do tempo, sendo utilizada de forma recorrente para calcular os seus valores.

Referências

3DWF. Gestão de Ativos. 2021. Disponível em: <https://3dwf.com.br/gestao-de-ativos/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ABECOM. Manutenção preditiva: o que é? Quais técnicas e vantagens? 2021. Disponível em: https://www.abecom.com.br/o-que-e-manutencao-preditiva/?gclid=Cj0KCQjwnMWkBhDLARIsAHBOftplxlZ5gcldmG8nHo7qm6dhQoIWDD4G2wS-6XJF38PoKypqmPmuD_kaAmFXEALw_wcB. Acesso em: 20 jun. 2024.

ABRAMAN. "A Situação da Manutenção no Brasil". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 28., 2013.

ASSAF NETO, A. Valuation: Métricas de Valor & Avaliação de Empresas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: 1994. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

CERQUEIRA, D. V. Aplicação de metodologia de análise de retorno sobre investimento no contexto do Centro de Qualidade e Testes de Software. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Software) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

EMAM, K. E. The ROI from Software Quality. Florida: Auerbach Publications, 2005.

ENGETELES. Curva PF: O que é e como usar. 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/curva-pf/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

ENGETELES. O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0. 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/pcm-na-industria-4-0/>. Acesso em: 6 mai. 2024.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT. An Anatomy, Volume 2. 2014. Disponível em: <www.theiam.org>. Acesso em: 8 jun. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 55000 - Asset management. 2014. Disponível em: <http://www.irantpm.ir/wp-content/uploads/2014/03/ISO-55000-2014.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2024.

KARDEC, A.; ESMERALDO, J.; LAFRAIA, J. R. B.; NASCIF, J. A. Gestão de ativos. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.

RICO, D. ROI of Software Process Improvement: Metrics for Project Managers and Software Engineers. Florida: J. Ross Publishing, Inc., 2004.

SIKKA, V. Maximizing ROI on Software Development. Florida: Auerbach Publications, 2004.

SOLINGEN, R. Measuring the ROI of software process improvement. IEEE Software, 2004.

VIANA, H. Manual de Gestão da Manutenção – Volume 2. 1. ed. Brasília: ENGETELES Editora, 2021.

VIANA, H. R. PCM planejamento e controle da manutenção. 2016.

APÊNDICE A - Fórmulas na planilha

	A	B	C	D
1	Dados		Indicadores de Manutenção	
2	Tempo de funcionamento	0	MTBF	=B2/B3
3	Nº de falhas	0	MTTR	=B4/B3
4	Tempo de parada	0	Taxa de falhas	=1/D2
5	Produção real	0	Disponibilidade	=D2/(D2+D3)
6	Produção esperada	0	Confiabilidade	=EXP(-(D4*100))
7	Nº de produtos aceitáveis	0	Performance	=B5/B6
8	Total produzido	0	Qualidade	=B7/B8
9	Custo de Hora parada	0	OEE	=D5*D7*D8
10	Horas de parada evitadas	0	Indicadores Financeiros	
11	Custo de HH	0	CPP	=B9*B10
12	HH economizado	0	HH	=B11*B12
13	Custo do ativo	0	CPMV	=B13-B14
14	Valor de peças trocadas	0	Custo Total Evitado	=D11+D12+D13
15	Valor investido em sensor	0	Investimento Total	=B15+B16+B17
16	Valor investido em software	0	ROI	
17	Valor investido em mão de obra	0		=(D14-D15)/D15