

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA A DIGITALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA

Jaíne Follmann¹, Tális Piovesan²

¹Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi, Panambi – RS, Brasil

²Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi, Panambi – RS, Brasil

e-mail: jaine.2022005606@aluno.iffar.edu.br, talis.piovesan@iffarroupilha.edu.br

Resumo – Este artigo apresenta o projeto, desenvolvimento e implementação do aplicativo MA Digital, uma solução destinada à sistematização da Manutenção Autônoma (MA) em uma empresa metalmeccânica do noroeste do Rio Grande do Sul. A MA, um dos pilares da Manutenção Produtiva Total (TPM), tem como objetivo engajar os operadores na preservação das condições operacionais dos equipamentos, contribuindo para a prevenção de falhas e o aumento da eficiência. O desenvolvimento da solução foi motivado por problemas como registros manuais inconsistentes, falta de rastreabilidade e aumento dos custos de manutenção, decorrentes da não realização adequada de rotinas de limpeza, inspeção e pequenos cuidados operacionais. A metodologia adotada incluiu análise de dados do sistema SAP PM, aplicação de MFMEA e Análise de Pareto, que permitiram mapear os principais modos de falha e orientar o desenvolvimento da solução. O aplicativo MA Digital já está em funcionamento em dois centros de usinagem, possibilitando o cadastro padronizado de rotinas, controle da execução com evidências fotográficas, rastreabilidade completa dos dados e integração com o SAP para consulta dos ativos. A digitalização das rotinas promoveu maior controle, aumento da confiabilidade das informações, redução de falhas recorrentes e ganhos operacionais expressivos para a organização.

Palavras-Chave – Manutenção Autônoma, Digitalização, Manutenção Produtiva Total.

STUDY AND DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR THE DIGITALIZATION OF AUTONOMOUS MAINTENANCE IN A METAL-MECHANIC INDUSTRY

Abstract – This article presents the design, development, and implementation of the MA Digital application, a solution aimed at systematizing Autonomous Maintenance (AM) in a metal-mechanic company located in the northwest region of Rio Grande do Sul, Brazil. AM, one of the pillars of Total Productive Maintenance (TPM), aims to engage operators in preserving the operational conditions of equipment, contributing to failure prevention and improved efficiency. The development of this solution was motivated by problems such as inconsistent manual records, lack of data traceability, and increased maintenance costs resulting from the inadequate execution of cleaning, inspection, and basic care routines. The adopted methodology included data analysis from the

SAP PM system, application of MFMEA, and Pareto Analysis, which enabled the mapping of the main failure modes and guided the definition of the solution's requirements. The MA Digital application is already operational in two machining centers, allowing standardized routine management, execution control with photographic evidence, full data traceability, and integration with SAP for asset management. The digitalization of AM routines provides greater control, improved data reliability, reduction of recurrent failures, and significant operational gains for the organization.

Keywords – Autonomous Maintenance, Digitalization, Total Productive Maintenance.

NOMENCLATURA

MA – Manutenção Autônoma

TPM – Manutenção Produtiva Total

SAP – Systems, Applications and Products (Sistema Integrado de Gestão Empresarial)

PM – Plant Maintenance

IATF – International Automotive Task Force

ISO 9001 – Norma de Sistema de Gestão de Qualidade

MTBF – Mean Time Between Failures (Tempo Médio Entre Falhas)

MDT – Mean Down Time (Tempo Médio de Inatividade)

MFMEA – Maintenance Failure Mode and Effects Analysis (Análise dos Modos de Falha e Efeitos na Manutenção)

I. INTRODUÇÃO

A Manutenção Autônoma é um dos pilares centrais da Manutenção Produtiva Total, com foco na capacitação e no engajamento dos operadores para executarem rotinas básicas de inspeção, limpeza, reapertos e lubrificação nos equipamentos sob sua responsabilidade. Essa prática visa não apenas prolongar a vida útil dos ativos, mas também aumentar a confiabilidade operacional, reduzir falhas e fortalecer a cultura de responsabilidade compartilhada entre produção e manutenção [1].

Na prática industrial, no entanto, é comum que máquinas operem sob condições que favorecem o acúmulo de sujeira, cavacos, resíduos e poeiras, o que compromete diretamente o desempenho dos sistemas de ventilação e causa superaquecimento de componentes. A ausência de rotinas regulares de lubrificação resulta em desgaste acelerado, enquanto a negligência na limpeza de filtros e alojamentos

leva à sobrecarga térmica e à queima de motores [2], [3]. Vazamentos de óleo e fluido hidráulico, por sua vez, são indicativos de falhas em vedações e geram riscos de segurança, perdas financeiras e degradação ambiental [4]. Além disso, o funcionamento contínuo sob vibração promove folgas estruturais e desalinhamentos, que poderiam ser evitados com inspeções visuais regulares e intervenções simples realizadas pelos próprios operadores [2], [5].

Segundo Costa e Martins [6], a falta de padronização das rotinas de limpeza e lubrificação, aliada à baixa rastreabilidade das ações executadas, é um dos principais fatores que contribuem para falhas recorrentes em ambientes fabris. Filho e Souza [7] reforçam que a ausência de um acompanhamento estruturado das tarefas executadas pelos operadores compromete a confiabilidade operacional e dificulta o planejamento da manutenção corretiva e preventiva.

Contudo, a aplicação efetiva da MA ainda enfrenta diversas barreiras no cenário industrial, especialmente pela percepção de que a manutenção é responsabilidade exclusiva das equipes técnicas, o que, consequentemente, reduz o envolvimento dos operadores nas ações de conservação. Essa limitação é agravada pelo uso de *checklists* físicos de manutenção autônoma, frequentemente preenchidos de forma superficial, sem padronização ou controle efetivo. Conforme ilustrado na Figura 1, os *checklists* físicos apresentam instruções pouco padronizadas e de difícil controle. Conforme ilustrado na Figura 2, os registros manuais no verso do documento são frequentemente preenchidos de forma superficial, comprometendo a rastreabilidade, dificultando auditorias e a responsabilização pelas rotinas executadas. Como destacado por Cavalcante et al. [4], essa fragilidade documental reduz o engajamento dos operadores e compromete a confiabilidade das informações.

MANUTENÇÃO AUTÔNOMA - MA																					
MÁQ.:		Centro de usinagem FJV-60/80 Mazak				Al:		13115		LINHA :		Ferramentaria									
Elab.:		Gilmar G.		Data:		10/07/24		Rev.:		Eduarda C.		Data:		08/04/25		Jaine F.		Data:		08/04/25	
ATENÇÃO! Em vermelho estão marcados os itens que garantem sua segurança. No caso de anormalidade em qualquer item marcado em vermelho, parar máquina imediatamente																					
ITEM		Executar MA c/ Máquina		AÇÕES								MEIOS		TEMPO PADRÃO (em min)		FREQUÊNCIA					
A - Máquina (Inspeções)																					
A01		LIGADA E OPERANDO		Verificar existência de alarmes de bateria fraca na tela do painel de comando. Quando existir, abrir chamado de manutenção.								Visual		1 min		Diária					
A02		LIGADA E OPERANDO		Verificar existência de ruídos e vibrações anormais em toda máquina durante movimentação "X, Y e Z".								Visual, Áudio		1 min		Diária					
A03		EM QUALQUER SITUAÇÃO		Verificar existência de vazamentos de ar comprimido, líquido de emulsão e óleo em toda máquina.								Visual		1 min		Diária					

Fig. 1. Checklist de Manutenção Autônoma (Instruções).

CALENDÁRIO DE EVIDÊNCIA DA REALIZAÇÃO DA MA									
Nº	Mês: Agosto							Líder	
Executor.	01	02	03	04	05	06	07	Visto	
	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR	REGISTRO OPERADOR		
	FREQ.	FREQ.	FREQ.	FREQ.	FREQ.	FREQ.	FREQ.		
	D S M	D S M	D S M	D S M	D S M	D S M	D S M	Rubrica Líder	
	08	09	10	11	12	13	14		
								Visto	

Fig. 2. Checklist atual de Manutenção Autônoma (Registros).

As ferramentas digitais amplamente utilizadas no setor industrial, como SAP PM, Oracle Maintenance Cloud e IBM Maximo, são plataformas que permitem às empresas gerenciar de forma centralizada todo o ciclo de vida de seus ativos (como máquinas, edifícios, veículos e instalações). Nos últimos anos, essas soluções evoluíram significativamente no suporte à manutenção planejada e preditiva, contribuindo para maior eficiência operacional e redução de falhas não programadas. No entanto, essas plataformas não foram desenhadas para atender às rotinas operacionais da MA, e não oferecem recursos como controle de tempo por tarefa, coleta de evidência visual ou interface direta com o operador [5], [8], [9].

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o projeto, desenvolvimento e uso do aplicativo MA Digital, uma ferramenta concebida para suprir lacunas recorrentes na manutenção autônoma, como a falta de padronização nas rotinas, baixa rastreabilidade das execuções, dificuldade de auditoria em campo e ausência de indicadores confiáveis. Assim, a solução proposta permite o cadastro de rotinas por família de equipamentos e por ativo específico, a definição de frequência personalizada, a descrição padronizada da inspeção e o registro obrigatório de evidências fotográficas. Além do mais, cada execução é cronometrada automaticamente, permitindo o acompanhamento da produtividade e da regularidade das tarefas. O sistema também permite auditoria remota por líderes e coordenadores, com aprovação ou reprovação técnica das rotinas. Além disso, o sistema conta com uma tela de histórico, que centraliza todos os registros de execução das rotinas e possibilita a aplicação de filtros por ativo, operador, área ou frequência. Com base nesse histórico, é possível medir a aderência ao plano de manutenção autônoma, identificar pontos de melhoria, reconhecer operadores mais engajados e auxiliar a liderança na tomada de decisões com base em dados reais.

Este artigo tem como objetivo geral apresentar o desenvolvimento, a aplicação prática e os benefícios observados com o uso do aplicativo MA Digital em uma empresa metalmeccânica, destacando sua contribuição para a estruturação da manutenção autônoma. De forma específica, busca-se: (i) analisar os principais problemas operacionais relacionados à MA na empresa; (ii) identificar as causas das falhas e seus impactos; (iii) desenvolver uma solução digital capaz de padronizar e monitorar as rotinas de MA; e (iv) avaliar os resultados obtidos após a implementação do sistema, considerando indicadores operacionais, aderência às rotinas e benefícios financeiros.

II. METODOLOGIA

A. Introdução ao Contexto dos Centros de Usinagem

Os centros de usinagem são equipamentos de alta precisão, utilizados para operações de fresamento, furação e rosqueamento em componentes metálicos. Na empresa em estudo, esses ativos são considerados críticos para a produtividade da fábrica, por representarem etapas essenciais nos processos produtivos. A alta frequência de falhas e os

custos elevados de manutenção associados a esses equipamentos motivaram sua escolha como foco para a aplicação da Manutenção Autônoma.

B. Coleta de dados e Critérios de Análise

O sistema SAP é uma plataforma integrada amplamente utilizada por empresas para gerenciar seus processos de negócio, incluindo finanças, produção, logística e manutenção. Os dados foram coletados por meio do módulo de manutenção PM, abrangendo registros do ano de 2023, com informações referentes a ordens de manutenção, falhas registradas, tempo de parada dos equipamentos e custos associados.

A pesquisa tem caráter aplicado e descritivo, com abordagem predominantemente quantitativa, voltada ao desenvolvimento e validação de uma solução digital para a manutenção autônoma em uma empresa metalmeccânica do noroeste do Rio Grande do Sul.

A seleção dos equipamentos considerou critérios como criticidade operacional, número de falhas e impacto financeiro. Assim, a análise foi conduzida em dois níveis: (i) centros de usinagem críticos; e (ii) setores diversos com diferentes tipos de máquinas.

Ademais, utilizou-se a análise de modos e efeitos de falha MFMEA para relacionar as causas aos tipos de manutenção aplicáveis (autônoma, preventiva ou preditiva). A análise de Pareto foi empregada para evidenciar a concentração das falhas mais críticas com base em sua frequência e impacto.

C. Análise dos Modos de Falha e Efeitos na Manutenção

Analysaram-se três centros de usinagem, selecionados dentre os 49 existentes com base em criticidade operacional, número de falhas registradas e custos acumulados ao longo de 2023:

- Centro de Usinagem 1 (Setor Agrícola);
- Centro de Usinagem 2 (Setor Construção);
- Centro de Usinagem 3 (Setor Construção).

O Centro de Usinagem 1 foi utilizado como referência positiva devido à sua implementação eficaz da metodologia TPM, servindo como exemplo de boas práticas.

Aplicou-se a MFMEA com o objetivo de relacionar cada modo de falha à sua possível causa e, principalmente, ao tipo de manutenção que poderia ter evitado sua ocorrência. Assim, foi possível categorizar as falhas conforme sua prevenção por meio da manutenção autônoma, preventiva ou preditiva. Conforme demonstrado na Figura 3, os resultados da análise inicial indicam que:

- 60,44% das falhas poderiam ter sido evitadas com execução adequada de manutenção autônoma;
- 31,87% das falhas estavam relacionadas às deficiências na manutenção preventiva;
- 7,69% poderiam ser mitigadas com manutenção preditiva.

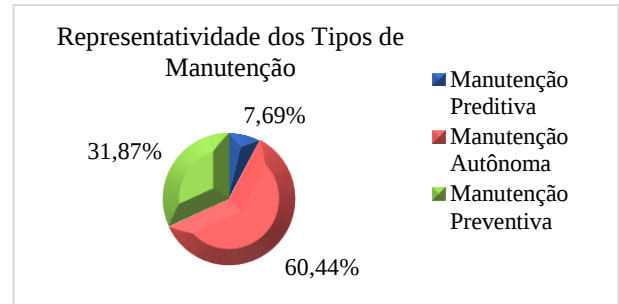


Fig. 3. Gráfico de representatividade dos tipos de manutenção nos modos de falha, de 3 equipamentos analisados.

A análise ampliada incluiu outros equipamentos, como a Prensa 1 com *Transfer* (Setor Rodoviário), a Célula de Solda 1 (Setor Construção), a Puncionadeira 1 (Setor de Tanques de Combustível) e a Máquina de Corte a Laser 1 (Setor Construção). Com isso, foram identificados 206 modos de falha na análise de MFMEA, entre eles: vazamentos de óleo e ar comprimido, sensores desregulados ou queimados, disjuntores desarmados, rolamentos danificados, proteções soltas ou quebradas, parafusos frouxos, cabos danificados e filtros saturados. Muitas dessas falhas, como falta de lubrificação, sujeira acumulada em sensores, mau contato em conexões elétricas e desgaste não identificado em componentes mecânicos, poderiam ser evitadas ou detectadas precocemente por meio de atividades simples da manutenção autônoma, como limpeza, reaperto, lubrificação e inspeção visual. No total:

- 116 (56,31%) poderiam ser evitados ou identificados precocemente com manutenção autônoma;
- 77 (37,38%) associados à manutenção preventiva;
- 13 (6,31%) mitigados com manutenção preditiva.

Esses resultados estão apresentados na Figura 4.

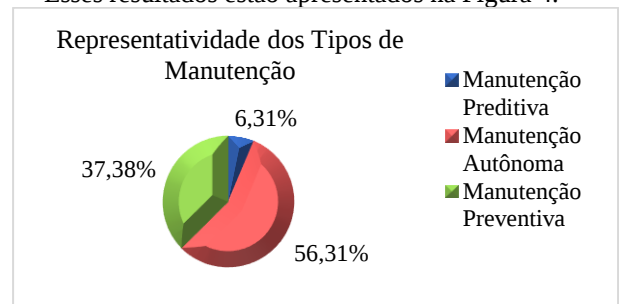


Fig. 4. Gráfico de representatividade dos tipos de manutenção nos modos de falha, de 7 equipamentos analisados.

D. Estudo de Custos

A seguir apresenta-se a avaliação dos custos decorrentes da falta de execução adequada das práticas de manutenção autônoma em 2 centros de usinagem críticos:

1. Centro de Usinagem 2 (Setor Construção):

Em apenas 1 ano de operação, foram registrados custos expressivos relacionados à ausência de manutenção autônoma básica. Entre os principais problemas:

- Quebras de proteções telescópicas, com custo acumulado de R\$ 55.389,99 (média de R\$ 13.847,49 por conserto), causadas pelo acúmulo de cavacos metálicos que travaram as partes móveis. Essas proteções têm vida útil estimada de pelo menos 5 anos sem necessidade de reparos, desde que haja limpeza periódica, lubrificações e inspeções visuais;
- Desgaste prematuro das esteiras, totalizando R\$ 46.000,00, devido ao acúmulo de cavacos em sua parte interna, gerando atrito excessivo e sobrecarga mecânica. Com os cuidados adequados, como remoção rotineira de resíduos, essas esteiras poderiam operar por até 10 anos sem reparos.

Essas falhas ocasionaram paradas não planejadas, atrasos produtivos e horas ociosas, que poderiam ter sido evitadas com ações simples de manutenção autônoma e preventiva.

2. Centro de Usinagem 3 (Setor Construção):

Neste caso, o custo de R\$ 554.329,91 registrado em 2023 foi resultado do desgaste acumulado ao longo de 10 anos nas guias internas, provocado principalmente pela falta de remoção de cavacos e limpeza sistemática. Estima-se que, com os cuidados corretos, como lubrificação e inspeções visuais regulares, essas guias poderiam ter atingido uma vida útil de até 15 anos sem necessidade de substituição, evitando assim custos elevados e longos períodos de parada.

E. Discussão dos Resultados e Considerações Éticas

Os dados evidenciam que a problemática relacionada à MA se estende por diferentes setores e tipos de equipamentos da empresa. Ademais, mais da metade das falhas registradas poderiam ser evitadas com a aplicação de rotinas simples, como inspeções visuais, limpezas e lubrificações regulares. Além disso, a análise de custos demonstra que os impactos financeiros das falhas são expressivos e evitáveis.

Como limitação, destaca-se que, embora o estudo tenha utilizado metodologias reconhecidas como a MFMEA e a análise de dados do sistema SAP PM, a interpretação sobre qual tipo de manutenção poderia evitar cada falha pode variar de acordo com o contexto técnico, o nível de maturidade dos processos e a experiência dos profissionais envolvidos.

O estudo foi conduzido em conformidade com os padrões éticos da empresa, garantindo a confidencialidade das informações e o cumprimento das diretrizes de TI. Não houve necessidade de submissão a Comitê de Ética ou assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, pois foram utilizados exclusivamente dados técnicos e operacionais.

III. PROPOSTA FUNCIONAL DA SOLUÇÃO DIGITAL PARA A MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

A proposta do aplicativo MA Digital surgiu como resposta às limitações observadas no processo tradicional de manutenção autônoma, que incluíam registros inconsistentes, ausência de rastreabilidade, baixa padronização e dificuldade de controle e auditoria das atividades. Essas falhas

comprometiam não apenas a eficácia das rotinas de MA, mas também a confiabilidade dos equipamentos e a maturidade da cultura de manutenção na organização.

Dessa forma, a solução foi desenvolvida com foco em sistematizar e digitalizar o processo de MA, promovendo rastreabilidade, controle em tempo real e participação ativa dos operadores, líderes e coordenadores. Para isso, o sistema foi estruturado em módulos funcionais interdependentes, com base em requisitos definidos a partir da observação das fragilidades do processo manual.

Assim, apresenta-se o mapeamento entre os principais problemas observados e os requisitos funcionais definidos para o desenvolvimento do sistema na Tabela I.

Tabela I - Problemas identificados e requisitos funcionais do aplicativo.

Problema Identificado	Requisito Desenvolvido
Falta de rastreabilidade e controle das rotinas	Registro digital com <i>log</i> , identificação de usuário, data e equipamento
<i>Checklists</i> manuais não padronizados	Tela de famílias, com base única de rotinas para ativos similares
Instruções imprecisas e baixa qualidade das inspeções	Cadastro padronizado e personalizável de rotinas com instruções claras
Falta de controle de tempo de execução	Cronômetro automático por rotina
Dificuldade de auditoria e responsabilização	Tela de auditoria com aprovação/reprovação, evidência fotográfica obrigatória
Ausência de indicadores e relatórios	Tela de histórico com base de dados completa para geração de indicadores

As principais funcionalidades previstas na proposta do sistema são:

- Tela de Famílias: permitirá que ativos similares compartilhem uma base comum de rotinas. Dessa forma, ao cadastrar um novo equipamento, as rotinas-padrão poderão ser aplicadas automaticamente, garantindo padronização entre máquinas do mesmo tipo.
- Configuração do Plano: possibilitará adicionar, excluir ou personalizar rotinas para cada ativo, mantendo a flexibilidade necessária sem comprometer os padrões definidos pela Engenharia de Manutenção.
- Execução das Rotinas: ao clicar no botão Iniciar, o cronômetro será acionado automaticamente. O operador deverá inserir as respostas, anexar evidências fotográficas obrigatórias (tiradas no momento da inspeção) e finalizar a tarefa. O tempo real de execução será registrado e comparado ao tempo teórico previsto.
- Auditorias: serão realizadas semanalmente pelos líderes e mensalmente pelos coordenadores. A tela de auditoria permitirá aprovar ou reprovar as rotinas. Em caso de reprovação, a atividade retornará automaticamente para execução obrigatória pelo operador.

- Reprogramação de Rotinas: quando a execução não for possível no prazo estipulado, o sistema permitirá a reprogramação da atividade dentro de margens previamente definidas, conforme o perfil do usuário.
- Tela de Histórico: consolidará todos os registros de rotinas executadas, pendentes ou reprovadas. A partir desta base de dados, o sistema permitirá gerar indicadores como aderência às rotinas, tempo médio de execução e conformidade das auditorias.

Essa proposta busca resolver, de forma objetiva, as limitações práticas e operacionais do modelo manual de manutenção autônoma. Ao sistematizar rotinas, integrar os diferentes níveis de usuários e garantir a rastreabilidade das ações, o sistema promove maior confiabilidade, eficiência e capacidade de gestão sobre os processos de MA na empresa. Além disso, sua integração com o sistema SAP possibilita a consulta direta aos ativos cadastrados, facilitando a vinculação do equipamento correto ao plano de inspeção e assegurando maior consistência e rastreabilidade das informações. O fluxo de utilização do aplicativo é representado de forma esquemática, evidenciando as responsabilidades específicas atribuídas à Engenharia de Manutenção, operadores, líderes e coordenadores dentro do processo digitalizado, conforme ilustrado na Figura 5.

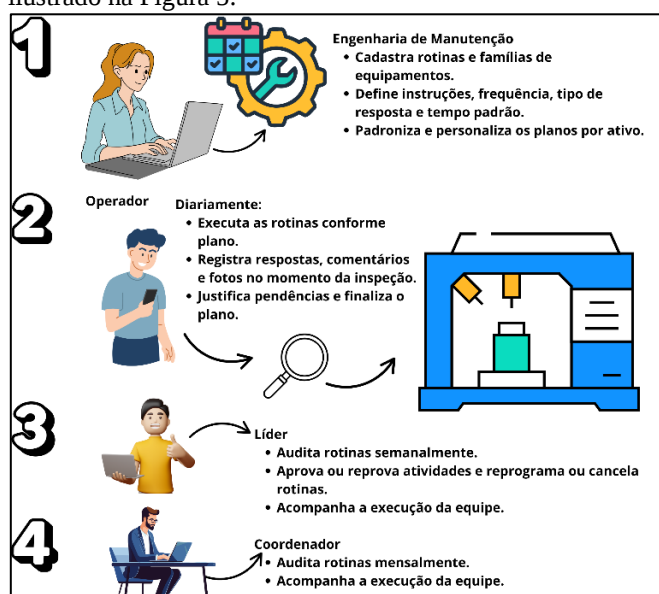


Fig. 5. Fluxo de atividades e responsabilidades por perfil de usuário no aplicativo MA Digital.

IV. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Com o projeto, desenvolvimento e a implementação do aplicativo MA Digital, espera-se superar gradualmente os desafios como a inconsistência nos registros, a falta de padronização das rotinas e a baixa rastreabilidade das informações, por meio da criação de uma base de dados estruturada com o histórico de inspeções.

Embora os frutos da digitalização ainda não tenham sido plenamente colhidos, a projeção financeira indica um cenário promissor. Assim, considerando uma economia estimada de

R\$13.847,49 por máquina ao ano (com base na prevenção de falhas recorrentes), e a expansão da utilização do aplicativo para 30 máquinas, estima-se que o retorno sobre o investimento ocorra já no primeiro ano, com saldo positivo de R\$ 307.424,70. Os benefícios acumulados até 2029 podem alcançar R\$ 2.575.639,23. A projeção financeira de economia com a implementação do aplicativo ao longo de cinco anos está detalhada na Tabela II.

Explicação dos Conceitos:

Correção pela Taxa CDI: A projeção considera a taxa CDI de 10,97% ao ano, aplicada para calcular o valor presente dos fluxos de caixa futuros. Esse ajuste reflete o valor temporal do dinheiro, ou seja, o impacto que os juros compostos têm sobre os valores economizados em anos futuros, conforme fórmula (1).

$$FV = PV \times (1 + r)^t \quad (1)$$

Onde:

FV (Future Value): Valor economizado no futuro.

PV (Present Value): Valor atual (R\$ 415.424,70 por ano, no caso inicial).

r: Taxa CDI anual (10,97%).

t: Número de anos desde o início da projeção.

Retorno Acumulado: É o valor total da economia gerada ao longo dos anos, somando os valores economizados ano após ano. Ele representa o total economizado desde a implementação do aplicativo.

Retorno Líquido: Refere-se ao valor da economia acumulada com a solução, subtraído do custo inicial do investimento. Ou seja, após descontar os R\$ 108.000,00 investidos na implementação do sistema (incluindo custos com mão de obra), o retorno líquido representa o ganho efetivo obtido com a adoção da ferramenta.

Tabela II - Projeção de economia com a implementação do MA Digital.

Ano	Economia Anual (R\$)	Retorno Acumulado (R\$)	Retorno Líquido (R\$)
2025	415.424,70	415.424,70	307.424,70
2026	460.996,79	876.421,49	768.421,49
2027	511.568,14	1.387.989,63	1.279.989,63
2028	567.687,16	1.955.676,79	1.847.676,79
2029	629.962,44	2.575.639,23	2.467.639,23

V. BENEFÍCIOS ESPERADOS

A partir da implementação inicial do aplicativo MA Digital, uma empresa metalmecânica do noroeste do Rio Grande do Sul projeta uma série de benefícios operacionais e estratégicos a serem alcançados com a expansão da solução para demais setores da planta. Os benefícios esperados incluem:

- **Redução de Falhas e Paradas Não Programadas:** A execução digital e monitorada das rotinas de MA tende a permitir a identificação precoce de anomalias, contribuindo para a redução de falhas e paradas inesperadas que hoje impactam diretamente os custos e a produtividade;
- **Aumento da Confiabilidade e Disponibilidade dos Equipamentos:** A padronização das inspeções e o acompanhamento das atividades em tempo real visam manter os equipamentos em melhores condições de operação, aumentando sua disponibilidade e prolongando a vida útil;
- **Melhoria no Controle e na Visibilidade das Atividades de Manutenção:** A digitalização dos registros permite um controle mais rigoroso das rotinas de MA, facilitando o rastreamento de execuções, auditorias e justificativas, além de apoiar a tomada de decisões com base em dados reais;
- **Conformidade com Auditorias e Certificações:** A geração automática de históricos e registros fotográficos fortalece a aderência aos requisitos de normas como ISO 9001 e IATF, facilitando o atendimento a auditorias internas e externas;
- **Redução de Custos Operacionais:** Com a sistematização das rotinas, espera-se reduzir falhas recorrentes, retrabalho e intervenções corretivas, gerando economia operacional e aumento da eficiência fabril.

VI. RESULTADOS

O principal resultado deste trabalho foi o projeto, o desenvolvimento e a implementação inicial do aplicativo MA Digital, criado para digitalizar e padronizar as rotinas de MA em uma empresa metalmeccânica do noroeste do Rio Grande do Sul. O aplicativo foi implantado em duas máquinas piloto, validando suas funcionalidades em ambiente produtivo.

A concepção do aplicativo MA Digital foi idealizada pela autora deste trabalho, que participou ativamente da definição dos requisitos, do desenho das telas, da estrutura dos fluxos de navegação e das funcionalidades esperadas do sistema. A equipe de Tecnologia da Informação (TI) da empresa ficou responsável pelo desenvolvimento técnico da solução com base nas especificações propostas.

O sistema foi projetado para substituir os registros manuais de inspeções por um processo digital integrado, promovendo rastreabilidade e controle operacional em tempo real. A seguir, são apresentadas as principais telas e funcionalidades do aplicativo:

A. Cadastro de Famílias

O aplicativo permite o cadastro de famílias de equipamentos, com o objetivo de garantir a padronização dos planos de manutenção associados aos ativos pertencentes a

uma mesma categoria. A tela de cadastro de famílias de equipamentos, essencial para a padronização das rotinas, está apresentada na Figura 6.

A tela 'Novo Grupo' para cadastro de famílias de equipamentos. Possui campos para 'Nome do Família' e 'Descrição do grupo'. O campo de descrição contém o texto 'abc' e 'Descrição'. No canto inferior direito, há botões 'Cancel' e 'Salvar'.

Fig. 6. Tela de Cadastro de Famílias

A listagem das famílias já cadastradas no sistema está apresentada na Figura 7.

A tela 'Família' mostrando a listagem de famílias cadastradas. Possui uma barra de busca com o texto 'Nome do Família' e botões '+ Família', 'Cadastro massa' e um ícone de download. Abaixo, há uma tabela com duas colunas: 'Família' e 'Descrição'. A tabela contém dois registros. No rodapé, há uma barra de paginação indicando 'Exibindo 2 de 2 registros' e botões de navegação.

Família	Descrição
27 Centro de Usinagem FH 12800 Mazak	Centro de Usinagem FH 12800 Mazak
28 Centro de Usinagem FJV 60.80 Mazak	Centro de Usinagem FJV 60.80 Mazak

Fig. 7. Tela de Cadastro de Famílias (Famílias cadastradas)

B. Cadastro de Rotinas por ativos

Na tela de rotinas, é possível cadastrar rotinas de inspeção e vinculá-las a uma família de equipamentos. Cada rotina pode ser configurada com a descrição da atividade a ser executada, a indicação de impacto na segurança do operador, o tempo padrão para execução, e o estado operacional exigido da máquina no momento da inspeção (ligada, desligada ou em qualquer condição). Também é possível definir a frequência de realização, o tipo de resposta esperada (conforme, não conforme ou medida), a necessidade de auditoria por parte do líder ou coordenador, e a obrigatoriedade de evidências fotográficas. Além disso, o sistema permite a inclusão de instruções complementares e imagens ilustrativas do ponto de inspeção. A interface de cadastro das rotinas de inspeção, associadas a uma família de equipamentos, está apresentada na Figura 8.

Fig. 8. Tela de Cadastro de Rotinas por ativos

C. Configuração do plano

Nesta etapa, é criado o plano de manutenção autônoma do ativo. O sistema permite importar as rotinas previamente definidas para a respectiva família de equipamentos, vinculá-las ao ativo em questão, bem como criar novas rotinas ou excluir aquelas que não se aplicam ao contexto específico. Também é possível editar ou adaptar rotinas pré-existentes, assegurando a flexibilidade necessária para personalizações, sem comprometer a padronização técnica estabelecida. O processo de configuração do plano de manutenção autônoma por ativo pode ser visualizado na Figura 9.

Pergunta	Resposta	Auditoria	Frequência	Tempo	Ma.Inspeção	It.Segurança
139 R01 - Verificar existência de alarme "bateria fraca" na tela do painel de comando. Se houver abrir chamado de manutenção. Não desligar a máquina.	conforme -	-	Diário	1(seg.)	Ligada e operando	Não
140 A01 - Verificar existência de alarmes de bateria fraca na tela do painel de comando. Quando existir, abrir chamado de manutenção.	conforme -	-	Diário	1(seg.)	Ligada e operando	Não

Fig. 9. Tela de Configuração do plano

D. Realizar Inspeção

Este é o ambiente destinado à execução das inspeções pelos operadores. Nele, o usuário acessa o sistema, seleciona o ativo por meio do número de patrimônio e escolhe a frequência da inspeção a ser realizada. As opções de frequência incluem rotinas diárias, semanais (segunda a sexta-feira), mensais (1ª à 4ª semana), além de inspeções bimestrais, trimestrais, quadrimestrais, semestrais e anuais, conforme definido no plano de manutenção autônoma. O ambiente de acesso às

inspeções, com as opções de seleção do ativo e escolha da frequência, está representado na Figura 10.

Fig. 10. Tela de acesso às inspeções: (a) seleção do ativo; (b) escolha da frequência.

Ao selecionar as opções do plano, o operador tem acesso às rotinas que deverão ser executadas. Nesta tela, são apresentados todos os detalhes previamente configurados, fornecendo as instruções necessárias para a execução correta de cada atividade. O operador pode definir a ordem de execução das rotinas, utilizando a opção de pular etapas. Ao iniciar uma rotina, um cronômetro é acionado automaticamente, registrando o tempo gasto na realização da inspeção correspondente. O processo de seleção das rotinas, bem como os detalhes configurados para cada uma, pode ser visualizado na Figura 11.

Fig. 11. Tela de seleção das rotinas de inspeção: (a) listagem das rotinas disponíveis; (b) visualização dos detalhes de cada rotina.

Ao clicar na opção de evidências, o sistema ativa automaticamente a câmera do dispositivo móvel, não permitindo o envio de imagens da galeria. Essa funcionalidade garante que a foto seja registrada no momento da inspeção, servindo como comprovação da execução. A obrigatoriedade do registro fotográfico é definida conforme as configurações

do plano de manutenção. Na tela de comentários, o operador pode incluir observações relevantes identificadas durante a inspeção. O processo de registro de evidências fotográficas, assim como a inserção de comentários durante a inspeção, está ilustrado na Figura 12.

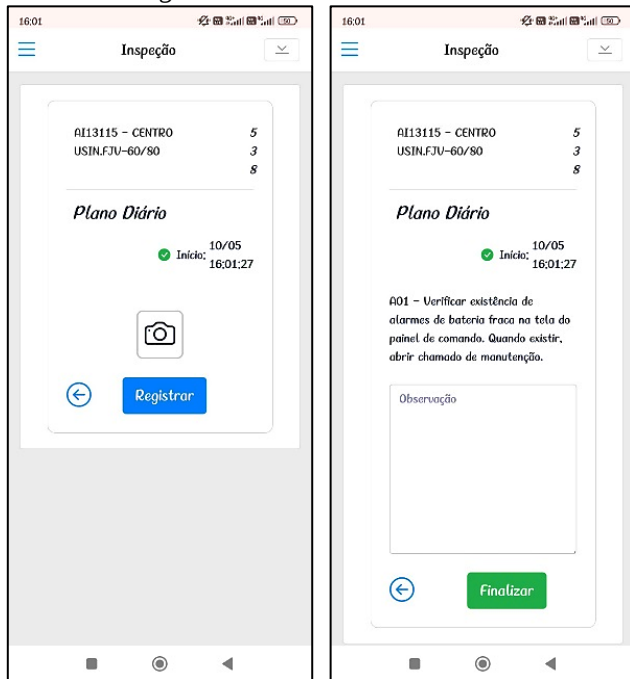


Fig. 12. Tela de inspeção: (a) registro de evidências fotográficas; (b) campo de comentários do operador.

Durante a inspeção, o operador deve obrigatoriamente informar se o item está conforme, não conforme ou registrar uma medida, como por exemplo a leitura de pressão. Após a execução de todas as rotinas previstas, é possível finalizar o plano. Caso alguma rotina não possa ser realizada, o operador deverá informar o motivo da não execução, permitindo a finalização parcial do plano. Todas essas informações são registradas no histórico do ativo para fins de rastreabilidade e controle. O campo de conformidade, juntamente com o alerta de rotinas pendentes que impedem a finalização do plano, pode ser visualizado na Figura 13.

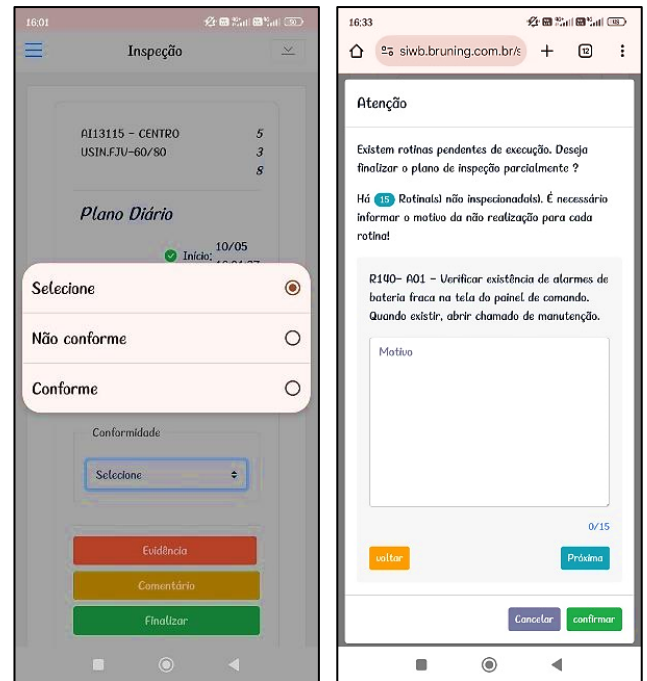


Fig. 13. Tela de inspeção: (a) registro de conformidade; (b) alerta de rotinas pendentes.

O aplicativo também permite a execução das rotinas em modo *offline*, armazenando localmente as informações preenchidas pelo operador. Em caso de falha na conexão com a rede, os dados são preservados e podem ser sincronizados automaticamente ou manualmente, por meio do botão de sincronização, assim que o dispositivo estiver novamente conectado. Dessa forma, garante-se que nenhuma informação da inspeção seja perdida.

E. Tela histórico

A tela de histórico permite o acompanhamento detalhado das inspeções realizadas pelos operadores, apresentando o *status* de cada plano e suas respectivas rotinas. Nesse ambiente, é possível realizar auditorias (função restrita a líderes e coordenadores), visualizar os detalhes das respostas, aplicar filtros por *status*, auditor, unidade de negócio, grupo planejador, número de patrimônio (equipamento), usuário, frequência e data. Também é possível reagendar rotinas, exceto as de frequência diária, desde que respeitada a janela de tempo previamente configurada, além de cancelar planos de inspeção quando a máquina estiver fora de operação (função restrita a líderes). Por conseguinte, a funcionalidade de exportação para planilhas em Excel facilita o monitoramento contínuo e a geração de indicadores de desempenho voltados à manutenção autônoma. A tela de histórico, que apresenta os registros de inspeções e o *status* dos planos, está representada na Figura 14.

Histórico

QA, Jane Follmann

Buscar

Inspeção

Download

Ativo	Família	Unid. Negócio	Grp. Plan. Manut.	Executor	Frequência	Status	Dt. Criação	Dt. Finalização	Reagendada	Observação	Plano/Versão
651	AI13115	Centro de Usinagem FV 60.80 Mazak	Corporativo	385 - 10974	Mensal (segunda)	Auditoria coordenador	13/06/25 05:31:02	13/06/25 07:25:38	-		67-1
650	AI13115	Centro de Usinagem FV 60.80 Mazak	Corporativo	385 - 10974	Semanal (sexta)	Concluído	13/06/25 05:31:02	13/06/25 07:16:52	-		67-1

Fig. 14. Tela de histórico das inspeções realizadas e status dos planos de manutenção.

As auditorias têm como finalidade assegurar que líderes e coordenadores acompanhem a execução dos planos de manutenção, verifiquem as não conformidades apontadas pelos operadores, confirmem a realização adequada das rotinas e monitorem o grau de comprometimento da liderança com os equipamentos sob sua responsabilidade. Na configuração de cada rotina, pode ser definida a obrigatoriedade de auditoria por parte do líder ou coordenador. Na tela de auditoria, os responsáveis devem aprovar ou reprovar as rotinas avaliadas, em caso de reprovação, é obrigatória a justificativa do motivo da reprovação. A interface de auditoria das rotinas, que permite a aprovação ou reprovação por líderes e coordenadores, está representada na Figura 15.

Detalhes Inspeção

[Voltar](#)

B11 - Limpeza e atualização do tabelão e quadros.

Registro: 17707 | Tempo (s): 6 | Status: Auditoria

Conformidade: Conforme

Instrução: Panos, produtos de limpeza, Canetões

Observações: null

[Anterior](#) [Reprovar](#) [Aprovar](#) [Próximo](#)

Fig. 15. Tela de auditoria das rotinas de manutenção autônoma.

A implementação das funcionalidades apresentadas atende aos requisitos definidos e demonstra potencial para eliminar as principais fragilidades mapeadas nas rotinas manuais de MA.

VII. CONCLUSÃO

O projeto, desenvolvimento e aplicação do aplicativo MA Digital demonstraram ser uma solução eficaz para enfrentar os desafios encontrados na execução da manutenção autônoma em ambientes industriais. A proposta apresentada neste trabalho surgiu da análise crítica do modelo manual utilizado anteriormente, que apresentava limitações significativas quanto à rastreabilidade das informações, padronização das

rotinas, controle de execução, auditoria e engajamento dos operadores.

A transição para uma plataforma digital possibilitou a integração de todas as etapas do processo de MA em um único sistema, abrangendo desde o cadastro técnico das rotinas por parte da Engenharia de Manutenção até a execução diária das inspeções pelos operadores e a validação técnica por líderes e coordenadores. Com o MA Digital, tornou-se possível garantir a execução conforme os parâmetros definidos, registrar evidências fotográficas em tempo real, medir o tempo real de execução e gerar indicadores consistentes para a melhoria contínua do processo.

A aplicação inicial foi realizada em dois equipamentos do setor de Agrícola e Ferramentaria, com resultados positivos em termos de padronização, rastreabilidade e confiabilidade das execuções. Está prevista, ainda, a expansão do sistema para 30 equipamentos até o final de 2025, reforçando seu caráter escalável e a aderência da solução ao contexto fabril.

Os benefícios observados com a implementação do aplicativo mostraram-se relevantes frente às limitações do modelo manual. O sistema promove a padronização das rotinas por família de equipamentos, reduz falhas de execução, melhora a qualidade das informações coletadas e permite uma atuação mais preventiva por parte da liderança. Além disso, há ganhos potenciais de tempo e produtividade, uma vez que o aplicativo automatiza tarefas manuais, eliminando a necessidade de retrabalho com verificação de formulários físicos ou registros incompletos. A digitalização das rotinas favorece o controle das atividades e a tomada de decisão baseada em dados registrados em tempo real. Embora não tenham sido realizadas medições comparativas diretas entre o modelo físico e o digital, os ganhos esperados incluem maior fluidez na execução das rotinas, redução da sobrecarga da liderança com conferência manual e melhoria na organização dos dados de manutenção, contribuindo para a otimização dos recursos técnicos e a prevenção de custos associados à manutenção corretiva, paradas não planejadas e falhas recorrentes.

A integração com sistemas já utilizados pela empresa, como o SAP, permite a busca automatizada de ativos e equipamentos cadastrados, enquanto a estrutura modular do aplicativo reforça sua escalabilidade e adaptabilidade a diferentes áreas produtivas. Nesse sentido, o MA Digital consolida-se não apenas como uma solução técnica eficaz, mas como um instrumento estratégico que fortalece a cultura de excelência operacional e inovação digital na manutenção industrial.

Dessa forma, os objetivos específicos propostos neste trabalho foram integralmente alcançados: os principais problemas operacionais relacionados à manutenção autônoma foram analisados; (ii) as causas das falhas e seus impactos operacionais e financeiros foram identificados; (iii) foi desenvolvida uma solução digital funcional, padronizada e aderente à realidade da planta; e (iv) os resultados da sua aplicação foram avaliados com base em indicadores

operacionais, aderência às rotinas e ganhos econômicos mensuráveis.

A iniciativa reafirma o papel estratégico da tecnologia na transformação dos processos de manutenção, contribuindo para a construção de ambientes produtivos mais eficientes, confiáveis e sustentáveis.

VIII. TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade ao desenvolvimento do projeto MA Digital, alguns trabalhos futuros já foram planejados para consolidar e expandir a solução dentro da organização. Entre as principais ações previstas, destacam-se:

A expansão da aplicação contempla, nesta etapa, a utilização do aplicativo em 30 máquinas selecionadas, permitindo a digitalização das rotinas de manutenção autônoma nesses ativos. Para 2026, está prevista a ampliação do sistema para 244 máquinas, consolidando a transformação digital das rotinas de MA na organização.

Também está prevista a evolução da integração com o SAP, que atualmente permite apenas a consulta dos ativos, para que passe a contemplar, dentro do próprio aplicativo, a abertura automática de ordens de manutenção diretamente a partir das inspeções que apresentarem registros de não conformidade.

Além disso, está prevista a análise de indicadores de desempenho, após um período de consolidação do uso do aplicativo, iniciar a coleta e análise de indicadores como Taxa de Aderência às Rotinas, Disponibilidade Operacional, MDT e MTBF, visando medir os ganhos obtidos com a digitalização.

O aprimoramento contínuo da plataforma prevê a avaliação da experiência dos usuários finais (operadores, líderes e coordenadores), com o objetivo de realizar ajustes e promover melhorias nas funcionalidades, interfaces e fluxos do sistema, de forma a potencializar a eficiência operacional e a usabilidade da aplicação.

A avaliação dos benefícios econômicos e operacionais contempla a realização de estudos periódicos, com o objetivo de mensurar a efetividade do aplicativo na redução de falhas, na diminuição dos custos de manutenção e no aumento da confiabilidade dos equipamentos. Esses dados servirão como base para fortalecer a tomada de decisões estratégicas e orientar futuras ações de melhoria na gestão da manutenção.

REFERÊNCIAS

[1] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*, Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.

[2] E. G. Lopes, *Manutenção Produtiva Total (TPM): Um Modelo de Implementação nas Empresas Brasileiras*, Blucher, 1ª ed., São Paulo, 2009.

[3] J. Viana, "Gestão de Manutenção – Melhores Práticas para Gestão de Ativos Industriais", *Qualitymark*, vol. 2, pp. 120-130, mar. 2014.

[4] C. A. V. Cavalcante, R. S. Lopes, e M. T. Melo, *Manutenção Centrada em Confiabilidade: Teoria e Aplicações Práticas no Brasil*, Blucher, São Paulo, 2013.

[5] L. R. Andrade e M. E. Almeida, "Indústria 4.0: Transformação Digital na Manutenção Industrial", *Revista Produção*, vol. 28, pp. 845-860, out. 2018.

[6] A. M. R. Silva e P. L. Gomes, "Transformação Digital e Seus Impactos na Manutenção: Estudo de Caso no Setor Automotivo", *Revista de Engenharia de Produção*, vol. 15, pp. 120-134, set. 2020.

[7] IBM, *IBM Maximo Application Suite*. Disponível em: <https://www.ibm.com>, acessado em: nov. 2024.

[8] SAP, *SAP Plant Maintenance – Visão Geral do Módulo PM*. Disponível em: <https://www.sap.com/>. Acessado em: mai. 2025.

[9] Oracle, *Oracle Maintenance Cloud – Overview*. Disponível em: <https://www.oracle.com/>. Acessado em: mai. 2025.

DADOS BIOGRÁFICOS

Jaíne Follmann, nascida em 30/08/1995 em Panambi-RS, é técnica em eletrotécnica (2017) pelo Colégio Evangélico Panambi. Atualmente é aluna do curso de Tecnologia em Automação Industrial do IFFAR Panambi-RS. Suas áreas de interesse são: automação industrial, técnicas de manutenção, manutenção preditiva, engenharia de confiabilidade e engenharia de manutenção.