

**IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING  
MACHINE WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION  
COUNTING SYSTEM**

SAMUEL GOMES  
JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA  
LUCAS DIEGO RABELO  
FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO  
KLEBER DA SILVA MOREIRA  
VITOR SANTOS DUARTE

**IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING MACHINE  
WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION COUNTING SYSTEM**

**IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA DE MÁQUINA DESBOBINADEIRA DE  
VERGALHÃO COM INTEGRAÇÃO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTAGEM DE  
PRODUÇÃO**

---

**SAMUEL GOMES**

<https://orcid.org/0009-0002-9536-7317/smgcpigigante@gmail.com>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

**JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA**

<https://orcid.org/0009-0005-6122-5443/jonathanalexandre231@gmail.com>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

**LUCAS DIEGO RABELO**

<https://orcid.org/0009-0003-0551-3884/lucasdiegorabelo@gmail.com>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

**FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO**

<https://orcid.org/0009-0002-1740-7707/fernandoaraujo.senai@fieg.com.br>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

**KLEBER DA SILVA MOREIRA**

<https://orcid.org/0009-0006-5525-1060/klebersilveira.senai@fieg.com.br>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

**VITOR SANTOS DUARTE**

<https://orcid.org/0000-0001-6145-6210/vitorvdsd132@gmail.com>  
Faculdade SENAI Roberto Mange - SENAI/GO, Anápolis, Goiás

---

## IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING MACHINE WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION COUNTING SYSTEM

SAMUEL GOMES  
JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA  
LUCAS DIEGO RABELO  
FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO  
KLEBER DA SILVA MOREIRA  
VITOR SANTOS DUARTE



Recebido em: 18/06/2026

Aprovado em: 24/08/2026

Publicado em: 24/08/2026

### ABSTRACT

This study presents the *retrofit* of an AVAKORT AK 12 rebar decoiling machine, including production-control automation and a functional evaluation of protective measures. The objective was to modernize the control system, incorporate guards and interlocks intended to reduce operator exposure to crushing hazards in the traction and straightening areas, and automate the counting of cut rebar pieces. The solution integrated a Delta TP04P-32TP1R Programmable Logic Controller (PLC), an integrated Human-Machine Interface (HMI), a PNP inductive sensor, four flexible-stem limit switches, a latching emergency-stop pushbutton, contactors, and mechanical guards. The methodology consisted of applied and experimental research involving equipment characterization, identification of the main hazards, implementation of protective measures, and operational tests. Counting performance was evaluated in five tests with programmed quantities of 5, 10, 15, 20, and 25 pieces, totaling 75. A total of 71 pieces were counted, corresponding to an overall correct-count rate of 94.67%; the mean correct-count rate across tests was 95.87%, with a standard deviation of 4.33 percentage points. Functional tests of the protective measures indicated a mean complete physical stopping time of 450 ms, measured with a mobile-phone stopwatch. Available speed records indicated that the mean values for diameters of 6, 9, and 12 mm changed from 4.0 to 5.2 m/min, from 3.5 to 4.5 m/min, and from 2.8 to 3.64 m/min, respectively, corresponding to increases of 30.0%, 28.6%, and 30.0%. The results indicate that the *retrofit* integrated protective measures, production control, and operational improvement under the evaluated conditions. However, they do not support claims of full compliance with safety standards or economic feasibility because no formal assessment of the required safety category or performance level and no cost analysis were conducted.

**Keywords:** industrial automation; PLC; *retrofit*; machine guarding; interlocking; production counting.

### RESUMO

Este estudo apresenta o *retrofit* de uma máquina desbobinadeira de vergalhão AVAKORT AK 12, com implementação de automação para controle da produção e avaliação funcional de medidas de proteção. O objetivo foi modernizar o sistema de comando, incorporar proteções e intertravamentos destinados a reduzir a exposição do operador aos riscos de esmagamento nas regiões de tração e endireitamento e automatizar a contagem dos vergalhões cortados. A solução integrou um Controlador Lógico Programável (CLP) Delta TP04P-32TP1R, Interface Homem-Máquina (IHM) integrada, sensor indutivo PNP, quatro chaves de fim de curso com haste flexível, botoeira de emergência com retenção, contatores e proteções mecânicas. A metodologia consistiu em pesquisa aplicada e experimental, envolvendo caracterização do equipamento, identificação dos principais perigos, implementação das medidas de proteção e realização de ensaios operacionais. A contagem foi avaliada em cinco ensaios, com quantidades programadas de 5, 10, 15, 20 e 25 vergalhões, totalizando 75 peças. Foram contabilizadas 71 unidades, correspondendo a uma taxa global de acerto de 94,67%; a média das taxas de acerto por ensaio foi de 95,87%, com desvio-padrão de 4,33

pontos percentuais. Os ensaios funcionais das medidas de proteção indicaram tempo médio de parada física completa de 450 ms, medido com cronômetro de celular. Os registros disponíveis de velocidade indicaram que as médias passaram, para os diâmetros de 6, 9 e 12 mm, de 4,0 para 5,2 m/min, de 3,5 para 4,5 m/min e de 2,8 para 3,64 m/min, respectivamente, correspondendo a aumentos de 30,0%, 28,6% e 30,0%. Os resultados indicam que o *retrofit* possibilitou integrar medidas de proteção, controle produtivo e melhoria operacional nas condições avaliadas, sem permitir afirmar conformidade integral com normas de segurança ou viabilidade econômica, uma vez que não foram realizadas avaliação formal da categoria ou do nível de desempenho nem análise de custos.

**Palavras-chave:** automação industrial; CLP; *retrofit*; proteções de máquinas; intertravamento; contagem de produção.

## 1 INTRODUÇÃO

A automação de processos industriais constitui uma estratégia para elevar a eficiência, a padronização e a capacidade de controle dos sistemas produtivos. Em equipamentos antigos, entretanto, a evolução dos requisitos de segurança e de controle pode ocorrer em ritmo diferente da evolução da estrutura mecânica. Nesse cenário, o *retrofit* permite modernizar máquinas existentes mediante a substituição ou incorporação de elementos de comando, sensores, interfaces e dispositivos de proteção, preservando parte significativa da estrutura física do equipamento.

Estudos sobre *retrofit* industrial mostram que a modernização de equipamentos legados pode ser utilizada como caminho para digitalização e integração progressiva de sistemas de manufatura. Al-Maeeni *et al.* (2020) discutem o *smart retrofitting* de máquinas-ferramenta no contexto da Indústria 4.0, enquanto Słowik e Sierocka (2023) identificam o *retrofit* como uma abordagem recorrente para modernização e adaptação de equipamentos industriais. Keshav Kolla *et al.* (2022) também discutem o *retrofit* de máquinas legadas no contexto da Internet Industrial das Coisas.

Além da dimensão tecnológica do *retrofit*, sua execução deve necessariamente observar os requisitos de segurança de máquinas, uma vez que a modernização de componentes de comando e controle não dispensa a necessidade de identificar e mitigar os riscos associados aos elementos mecânicos preservados do equipamento original. Nesse processo, a identificação dos perigos e a adoção de medidas de redução de risco constituem etapas fundamentais, cujos princípios gerais são estabelecidos pela ISO 12100. Entre as medidas de redução de risco previstas nesse processo, destacam-se os dispositivos de intertravamento associados a proteções, tratados especificamente

pela ISO 14119:2024, e as funções de parada de emergência, cujos princípios de projeto são definidos pela ISO 13850:2015. No Brasil, esses requisitos encontram correspondência na Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), que estabelece exigências de segurança para máquinas e equipamentos e permanece como principal referência regulatória para a proteção dos trabalhadores.

Em máquinas destinadas ao processamento de vergalhões, as regiões de tração, endireitamento e corte apresentam elementos móveis capazes de produzir riscos mecânicos, incluindo esmagamento e aprisionamento. Apesar da relevância desses riscos, observa-se uma escassez de trabalhos que tratem especificamente do *retrofit* voltado à automação e à proteção em máquinas desbobinadeiras de vergalhão, com a literatura concentrando-se em abordagens mais gerais de modernização industrial. No equipamento estudado, identificou-se a necessidade de ampliar as proteções físicas, intertravá-las ao sistema de comando e substituir a contagem manual por uma estratégia automatizada.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar e avaliar funcionalmente o *retrofit* de uma máquina desbobinadeira de vergalhão AVAKORT AK 12, integrando proteção mecânica, intertravamentos de acesso, parada de emergência, Controlador Lógico Programável (CLP), Interface Homem-Máquina (IHM) e sensor indutivo para contagem da produção. Como contribuição prática, o estudo busca demonstrar a integração de medidas de proteção e controle produtivo em um equipamento industrial existente, utilizando recursos disponíveis na própria instalação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Retrofit* de equipamentos industriais

O *retrofit* pode ser entendido como a modernização de um equipamento existente mediante a incorporação de tecnologias de controle, sensoriamento, comunicação ou proteção, sem que seja necessária a substituição integral da máquina. Essa estratégia é particularmente relevante para equipamentos antigos cuja estrutura mecânica ainda apresenta utilidade, mas cujos sistemas de comando e proteção se tornaram inadequados às necessidades atuais.

Essa relevância decorre, em grande medida, do ritmo distinto de obsolescência entre os componentes mecânicos e eletrônicos de um equipamento. Kaarlela *et al.* (2024) argumentam que a estrutura mecânica de máquinas industriais permanece funcional por décadas, enquanto os sistemas de controle se tornam obsoletos primeiro o que torna a substituição do comando, com reaproveitamento da mecânica, uma estratégia técnica e ambientalmente vantajosa, além de viabilizar a conectividade característica da Indústria 4.0.

Esse padrão é confirmado por revisões mais amplas da literatura: Slowik e Sierocka (2023), em uma revisão sistemática, identificam a modernização de equipamentos, a digitalização e a adaptação de máquinas legadas como temas recorrentes nos trabalhos sobre *retrofit*. Nessa mesma direção, Al-Maeeni *et al.* (2020) destacam o potencial do *smart retrofitting* para integrar tecnologias contemporâneas a máquinas existentes, consolidando essa abordagem como caminho relevante para a digitalização progressiva de sistemas de manufatura.

## 2.2 Segurança de máquinas e avaliação de riscos

A segurança de máquinas deve ser tratada a partir da identificação dos perigos presentes nas diferentes fases de utilização do equipamento e da seleção de medidas de redução de risco. A ISO 12100 estabelece uma metodologia geral para identificação de perigos, estimativa e avaliação de riscos e implementação de medidas de redução. A NR-12, por sua vez, estabelece requisitos de segurança para máquinas e equipamentos no contexto brasileiro.

No que se refere às proteções físicas, a ISO 14120 estabelece requisitos gerais para o projeto e a construção de proteções fixas e móveis, incluindo aspectos como resistência mecânica, distâncias de segurança e facilidade de acesso para manutenção. No caso específico de proteções móveis, os dispositivos de intertravamento devem impedir ou interromper condições de operação quando a abertura da proteção permitir acesso à zona perigosa. A ISO 14119:2024 apresenta princípios para seleção e aplicação desses dispositivos. A função de parada de emergência é tratada pela ISO 13850:2015. Já a ISO 13849-1:2023 estabelece uma metodologia para projeto e integração de partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, mas não define, isoladamente, qual nível de desempenho deve ser aplicado a uma máquina específica.

No presente estudo, essas referências são utilizadas como base conceitual para discutir as medidas implementadas. Não foi realizado cálculo formal de PLr, PL, categoria de segurança ou validação funcional conforme ISO 13849-1. Dessa forma, os resultados apresentados devem ser interpretados como avaliação experimental do comportamento do sistema implementado, e não como certificação de conformidade normativa.

### 3 METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, experimental e de desenvolvimento tecnológico, pois envolveu a implementação física de uma solução de automação associada a medidas de proteção e a realização de ensaios para avaliar seu comportamento funcional. A abordagem combinou aspectos quantitativos, relacionados à contagem de produção, velocidade de processamento e tempo de parada, e aspectos qualitativos, relacionados ao comportamento dos intertravamentos e às condições de acesso às zonas protegidas.

#### 3.1 Caracterização do equipamento

A máquina estudada é uma desbobinadeira de vergalhão da fabricante AVAKORT, modelo AK 12. O equipamento é utilizado para desenrolamento, endireitamento e corte de vergalhões, incluindo aços CA-50 e CA-60, com diâmetros entre 6 e 12 mm. A máquina é antiga e não foi localizado seu ano de fabricação nem uma placa de identificação. O acionamento é composto por três motores trifásicos, alimentados em 380 V. As principais características técnicas identificadas no equipamento são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características técnicas da máquina desbobinadeira de vergalhão AVAKORT AK 12.

| Componente/Parâmetro        | Característica                             |
|-----------------------------|--------------------------------------------|
| Fabricante                  | AVAKORT                                    |
| Modelo                      | AK 12                                      |
| Quantidade de motores       | 3                                          |
| Motor de corte              | 2 CV; trifásico; 60 Hz; 1200 rpm; 3,5 A;   |
| Motor da endireitadeira     | 12 CV; trifásico; 60 Hz; 1750 rpm; 17,7 A; |
| Motor de tração             | 3 CV; trifásico; 60 Hz; 1750 rpm; 4,8 A    |
| Alimentação                 | 380 V trifásica                            |
| Material processado         | Vergalhões CA-50 e CA-60                   |
| Faixa de diâmetros avaliada | 6, 9 e 12 mm                               |

Fonte: Do autor (2026).

### 3.2 Diagnóstico inicial e identificação dos perigos

Antes do *retrofit*, foram identificados riscos de esmagamento nas regiões das roldanas de tração e de endireitamento. A condição inicial da máquina é apresentada na Figura 1. O Quadro 2 sintetiza os perigos identificados, as medidas implementadas e o comportamento observado após o *retrofit*. A avaliação realizada neste estudo teve caráter aplicado e direcionado aos perigos observados no equipamento; não constitui uma apreciação formal completa de riscos segundo todas as etapas da ISO 12100.

# IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING MACHINE WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION COUNTING SYSTEM

SAMUEL GOMES  
JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA  
LUCAS DIEGO RABELO  
FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO  
KLEBER DA SILVA MOREIRA  
VITOR SANTOS DUARTE

Figura 1 – Máquina desbobinadeira antes da realização do *retrofit*.



Fonte: Do autor (2026).

Quadro 2 – Perigos identificados, medidas implementadas e comportamento observado após o *retrofit*.

| Perigo/condição                                        | Situação observada antes do <i>retrofit</i>           | Medida implementada                                    | Comportamento observado após o <i>retrofit</i>        | Referência normativa relacionada  |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Esmagamento nas roldanas de tração e de endireitamento | Região de movimento com necessidade de proteção       | Proteção física da roldana + intertravamento de acesso | Abertura de acesso provoca parada do sistema          | NR-12; ISO 12100; ISO 14120/14119 |
| Acesso à zona de perigo durante operação               | Acesso às regiões protegidas precisava ser controlado | 4 chaves de fim de curso com haste flexível            | Abertura de qualquer porta interrompe o funcionamento | NR-12; ISO 14119                  |
| Partida com porta aberta                               | Condição a ser eliminada pelo intertravamento         | Lógica de bloqueio no CLP                              | Partida não permitida com porta aberta                | NR-12; ISO 14119                  |
| Situação de emergência                                 | Necessidade de parada imediata                        | Botoneira de emergência com retenção                   | Todo o sistema para; rearme necessário                | NR-12; ISO 13850                  |

Fonte: Do autor (2026).

### 3.3 Arquitetura de controle e componentes

O sistema implementado utiliza um CLP Delta TP04P-32TP1R com IHM integrada, responsável pela lógica de controle, temporização, contagem e supervisão operacional. A programação foi desenvolvida em linguagem *Ladder* no *software* ISPSOft. A configuração da IHM foi realizada no *software* TPEditor.

Para a contagem dos vergalhões foi utilizado um sensor indutivo com saída PNP. O equipamento também passou a utilizar quatro chaves de fim de curso com haste flexível, instaladas nas portas de acesso, e uma botoeira de emergência com retenção. A lógica de intertravamento foi implementada nos sinais digitais do CLP. Não foi utilizado relé de segurança dedicado. O acionamento dos motores é realizado por contatores, com proteção contra sobrecorrente por disjuntores-motor, conforme a configuração descrita no projeto. O Quadro 3 sintetiza os principais elementos da arquitetura de controle implementada.

Quadro 3 – Arquitetura de controle e componentes do sistema implementado.

| Elemento                      | Especificação informada                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| CLP                           | Delta TP04P-32TP1R                                 |
| IHM                           | Integrada ao CLP                                   |
| Software do CLP               | ISPSOft                                            |
| Software da IHM               | TPEditor                                           |
| Sensor de contagem            | Indutivo, PNP                                      |
| Sensores de acesso            | 4 chaves de fim de curso com haste flexível        |
| Parada de emergência          | Botoeira com retenção                              |
| Relé de segurança dedicado    | Não utilizado                                      |
| Intertravamento               | Implementado por lógica nos sinais digitais do CLP |
| Acionamento                   | Contatores                                         |
| Proteção contra sobrecorrente | Disjuntores-motor                                  |

Fonte: Do autor (2026).

### 3.4 Implementação do *retrofit*

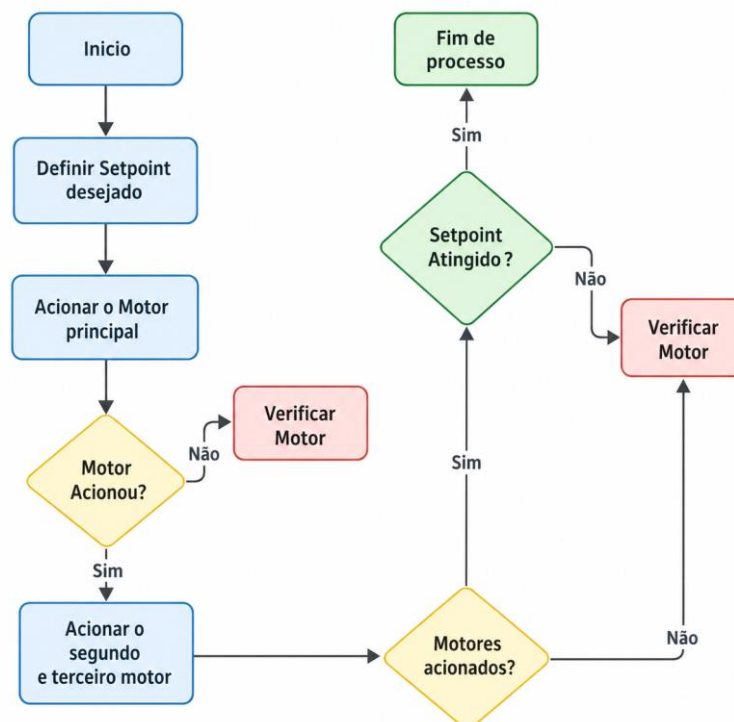
A implementação ocorreu em duas frentes principais. Inicialmente foi desenvolvida a lógica de controle do CLP, contemplando o acionamento sequencial dos motores, a programação do *setpoint*, a contagem dos pulsos do sensor indutivo, as temporizações e os intertravamentos. Em seguida, foram realizadas a instalação das proteções mecânicas, a instalação das chaves de fim de curso nas quatro portas, a instalação da botoeira de emergência e a verificação do circuito elétrico.

O princípio de operação consiste na definição do número desejado de cortes na IHM. Após as condições de proteção e intertravamento serem satisfeitas, o CLP permite o acionamento dos motores. O sensor indutivo fornece os sinais utilizados para a contagem. Ao atingir o *setpoint* programado, o comando interrompe o ciclo produtivo. A abertura de uma porta durante a operação ou o acionamento da emergência provoca a interrupção do sistema, sendo necessário o rearme após uma condição de emergência. A lógica geral desse funcionamento é ilustrada no fluxograma da Figura 2, enquanto a configuração física resultante da implementação é apresentada na Figura 3.

## IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING MACHINE WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION COUNTING SYSTEM

SAMUEL GOMES  
JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA  
LUCAS DIEGO RABELO  
FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO  
KLEBER DA SILVA MOREIRA  
VITOR SANTOS DUARTE

Figura 2 – Fluxograma do funcionamento do sistema.



Fonte: Do autor (2026).

Figura 3 – Máquina após a implementação do *retrofit* e instalação das medidas de proteção.



Fonte: Do autor (2026).

### 3.5 Procedimento experimental

O procedimento experimental foi estruturado em três etapas: ensaios de contagem, ensaios funcionais das medidas de proteção e avaliação do desempenho produtivo.

Os ensaios de contagem foram realizados em cinco condições de quantidade programada: 5, 10, 15, 20 e 25 vergalhões, comparando-se, para cada condição, o valor definido na IHM com a quantidade efetivamente contabilizada pelo sistema. A velocidade de operação foi mantida em uma condição padrão ao longo de todos os ensaios; não foram realizados testes específicos para avaliar o efeito de diferentes velocidades sobre a taxa de acerto da contagem.

Os ensaios funcionais das medidas de proteção avaliaram três condições: a abertura das portas de acesso durante a operação, a tentativa de partida com porta aberta e o acionamento da botoeira de emergência, incluindo a verificação da necessidade de rearme após a atuação da emergência. O tempo de resposta do sistema foi definido como o intervalo entre o acionamento do dispositivo avaliado e a parada física completa da máquina, medido com cronômetro de celular. Foram registrados três valores individuais na condição de parada avaliada, apresentados na Tabela 2. Devido ao método de medição, esses valores devem ser interpretados como registros experimentais aproximados.

Por fim, o desempenho produtivo foi avaliado por meio da comparação entre os registros de velocidade antes e após o *retrofit*, para os diâmetros de 6, 9 e 12 mm. Foram considerados três registros por condição, conforme apresentado na Tabela 3. O aumento percentual foi calculado pela razão entre a diferença das velocidades pós-*retrofit* e pré-*retrofit* e a velocidade pré-*retrofit*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Funcionamento do sistema e medidas de proteção

Após a implementação do *retrofit*, o sistema passou a integrar as funções de comando, contagem e intertravamento em uma mesma arquitetura de controle. A IHM permite ao operador definir a quantidade de peças do ciclo e acompanhar o contador de produção, enquanto o CLP executa a lógica sequencial e monitora os sinais de campo, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Interface Homem-Máquina exibindo o contador de produção durante os ensaios.



Fonte: Do autor (2026).

Nos ensaios funcionais, a abertura de qualquer uma das quatro portas de acesso durante a operação provocou a parada do sistema. A tentativa de partida com uma porta aberta foi bloqueada pela lógica de intertravamento. O acionamento da botoeira de emergência também provocou a parada do sistema, e o retorno à condição operacional exigiu rearme.

Esses resultados demonstram o comportamento funcional observado das proteções intertravadas nas condições avaliadas. A ISO 14119:2024 aborda princípios de projeto e seleção de dispositivos de intertravamento associados a proteções, enquanto a ISO 13850:2015 trata dos princípios da função de parada de emergência. No entanto, como o presente estudo não realizou cálculo do nível de desempenho nem validação formal do circuito associado às medidas de proteção, os resultados não devem ser interpretados como demonstração de atendimento integral a essas normas.

#### 4.2 Taxa de acerto da contagem de produção

A taxa de acerto do sistema de contagem foi avaliada por meio de cinco ensaios, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de contagem de produção. Fonte: Do autor (2026).

| Ensaio | Programado | Contado | Erro absoluto | Erro (%) | Acerto (%) |
|--------|------------|---------|---------------|----------|------------|
| 1      | 5          | 5       | 0             | 0.00%    | 100.00%    |
| 2      | 10         | 10      | 0             | 0.00%    | 100.00%    |
| 3      | 15         | 14      | 1             | 6.67%    | 93.33%     |
| 4      | 20         | 18      | 2             | 10.00%   | 90.00%     |
| 5      | 25         | 24      | 1             | 4.00%    | 96.00%     |

Fonte: Do autor (2026).

Os cinco ensaios totalizaram 75 vergalhões programados e 71 vergalhões contabilizados. Dessa forma, a taxa global de acerto da contagem foi de 94,67%, correspondente à razão entre a quantidade contabilizada e a quantidade programada. Considerando cada ensaio como uma observação, a média das taxas de acerto foi de 95,87%, com desvio-padrão amostral de 4,33 pontos percentuais.

Os dois primeiros ensaios, com 5 e 10 peças programadas, apresentaram contagem exata. Nos ensaios com 15, 20 e 25 peças, foram observadas diferenças de uma, duas e uma unidade, respectivamente. O maior erro relativo ocorreu no ensaio com 20 peças, correspondente a 10,00%. Esses resultados mostram que a taxa de acerto não foi uniforme em todas as condições de quantidade avaliadas, não havendo, portanto, contagem exata em todos os ensaios realizados. Uma hipótese de investigação futura é verificar se as divergências estão relacionadas à aquisição de pulsos pelo sensor, à geometria e ao posicionamento do elemento detectado, ao processamento dos sinais pelo CLP ou a condições específicas do ciclo. Entretanto, os dados disponíveis não permitem estabelecer causalidade. Também não foram realizados ensaios em diferentes velocidades, impossibilitando avaliar a influência dessa variável sobre a taxa de acerto da contagem.

### 4.3 Tempo de parada nas condições de ensaio

O tempo de parada física na condição avaliada foi determinado conforme o procedimento descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de parada física na condição avaliada. Fonte: Do autor (2026).

| Instrumento        | Procedimento                                                  | Condição        | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Média  | Desvio Padrão |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|----------|----------|----------|--------|---------------|
| Cronômetro celular | Acionamento do dispositivo até cessação completa do movimento | Parada completa | 417 ms   | 451 ms   | 482 ms   | 450 ms | 32,51 ms      |

Fonte: Do autor (2026).

A média do tempo de parada física completa observado foi de 450 ms, com desvio-padrão amostral de 32,51 ms. Esses valores representam resultados experimentais aproximados obtidos nas condições de teste e não foram utilizados como limites normativos de conformidade. Não foi identificada, nos dados experimentais disponíveis, uma base que permita associar o valor de 500 ms a uma categoria ou nível de desempenho específico da NR-12 ou da ISO 13849-1. Essa distinção é importante porque a ISO 13849-1:2023 estabelece uma metodologia para projeto de partes de sistemas de comando relacionadas à segurança e não define, isoladamente, um tempo universal de parada de 500 ms para máquinas.

### 4.4 Desempenho produtivo antes e após o *retrofit*

Para avaliar o desempenho produtivo, comparou-se a velocidade de operação antes e após o retrofit nos três diâmetros de vergalhão avaliados, cujos valores são detalhados a seguir na Tabela 3.

Tabela 3 – Desempenho produtivo antes e após o *retrofit*. Fonte: Do autor (2026).

| Faixa de bitola (mm) | Condição | Ensaio 1 (m/min) | Ensaio 2 (m/min) | Ensaio 3 (m/min) | Média (m/min) | Desvio padrão (m/min) | Ganho (%) |
|----------------------|----------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------------|-----------|
| 6 mm                 | Antes    | 3,82             | 4,02             | 4,16             | 4,0           | 0,17                  | 30,00%    |
|                      | Depois   | 5,18             | 5,19             | 5,23             | 5,20          | 0,03                  |           |
| 9 mm                 | Antes    | 3,49             | 3,53             | 3,48             | 3,50          | 0,03                  | 28,57%    |
|                      | Depois   | 4,48             | 4,50             | 4,52             | 4,50          | 0,02                  |           |
| 12 mm                | Antes    | 2,75             | 2,80             | 2,85             | 2,80          | 0,05                  | 30,00%    |
|                      | Depois   | 3,59             | 3,64             | 3,69             | 3,64          | 0,05                  |           |

Fonte: Do autor (2026).

Os registros disponíveis para o equipamento indicam aumento da velocidade de produção após o *retrofit* para os três diâmetros avaliados. Para 6 mm, a velocidade média passou de 4,0 para 5,2 m/min, representando aumento de 30,0%. Para 9 mm, a média passou de 3,5 para 4,5 m/min, correspondente a 28,57%. Para 12 mm, a média passou de 2,8 para 3,64 m/min, correspondente a 30,0%. A média aritmética dos aumentos relativos foi de aproximadamente 29,52%.

Esse resultado indica melhoria operacional relevante, mas deve ser interpretado com cautela. Os dados disponíveis não apresentam um desenho experimental controlado que permita atribuir exclusivamente ao *retrofit* toda a variação observada na velocidade. Assim, o resultado é apresentado como comparação operacional antes e após a intervenção, e não como estimativa causal isolada do efeito do *retrofit*.

#### 4.5 Discussão comparativa e contribuição do estudo

Os resultados reforçam a aplicabilidade do *retrofit* como estratégia de modernização de equipamentos legados. Al-Maeeni *et al.* (2020) discutem o smart retrofitting como forma de incorporar tecnologias contemporâneas a máquinas existentes, enquanto Słowik e Sierocka (2023) identificam a modernização e digitalização de equipamentos como tendências relevantes da literatura de *retrofit*. Keshav Kolla *et al.* (2022) abordam especificamente a integração de máquinas legadas ao contexto da IIoT. Esses trabalhos fornecem suporte ao princípio de modernizar equipamentos existentes em vez de substituí-los integralmente.

No presente estudo, a contribuição prática está na integração de três dimensões em uma máquina existente: proteção das zonas de risco, intertravamento dos acessos e controle automatizado da produção. A solução não se limitou à instalação de um sistema de contagem, pois incorporou também proteções mecânicas, quatro dispositivos de intertravamento de acesso, parada de emergência e lógica de bloqueio de partida.

Em relação às medidas de proteção, os comportamentos funcionais observados - parada do sistema quando uma porta é aberta, bloqueio de partida com porta aberta, parada após o acionamento da emergência e necessidade de rearme - demonstram que os intertravamentos implementados executaram as funções operacionais previstas no projeto nas condições ensaiadas. Esse comportamento está alinhado conceitualmente às referências de segurança de máquinas, embora a ausência de relé de segurança dedicado e de uma análise formal de desempenho impeça extrapolar os resultados para uma certificação de categoria, PL ou SIL.

Quanto à produção, a taxa global de acerto de 94,67% demonstra o funcionamento do sistema de contagem nas condições avaliadas, mas as divergências observadas nos ensaios com 15, 20 e 25 peças evidenciam a necessidade de investigar a aquisição de pulsos, o posicionamento do sensor e o processamento dos sinais pelo CLP.

Do ponto de vista econômico, o retrofit utilizou materiais já disponíveis na fábrica e, segundo as informações obtidas, não houve custo direto de aquisição para a intervenção. Entretanto, não foram registrados custos de mão de obra, custos de materiais reutilizados, custo de uma máquina nova equivalente ou indicadores de retorno financeiro. Portanto, não é possível concluir economicamente sobre o investimento. A contribuição econômica potencial deve ser tratada apenas como hipótese para estudos futuros.

#### 4.6 Limitações do estudo

As principais limitações identificadas são: (i) número reduzido de ensaios de contagem; (ii) realização dos testes em uma única condição de velocidade; (iii) utilização de cronômetro de celular, com acionamento manual, para medição de um evento inferior a 500 ms; (iv) ausência de cálculo formal de categoria, PLr ou PL segundo a ISO 13849-1; (v) ausência de análise econômica; (vi) ausência de registros detalhados sobre as condições de obtenção das velocidades antes e após o

*retrofit*, a capacidade produtiva e o ano de fabricação; e (vii) não realização de uma apreciação completa de riscos segundo todas as etapas de uma metodologia normativa.

Essas limitações delimitam o alcance das conclusões. Os resultados demonstram o comportamento do sistema nas condições ensaiadas, mas não permitem generalizar seu desempenho para todas as velocidades, quantidades de produção ou condições de falha possíveis.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a implementação de um retrofit em uma máquina desbobinadeira de vergalhão AVAKORT AK 12, integrando proteção mecânica, intertravamentos de acesso, parada de emergência, CLP, IHM e sensor indutivo para contagem da produção. A intervenção permitiu modernizar o sistema de comando e incorporar funções de proteção às regiões de tração e endireitamento, nas quais havia risco de esmagamento.

Nos ensaios de contagem, foram avaliadas cinco quantidades programadas, de 5 a 25 vergalhões. Das 75 peças programadas, 71 foram contabilizadas, resultando em taxa global de acerto de 94,67%. A média das taxas de acerto por ensaio foi de 95,87%, com desvio-padrão amostral de 4,33 pontos percentuais. Esses resultados confirmam o funcionamento do sistema de contagem nas condições avaliadas, mas também evidenciam a necessidade de investigar as divergências observadas nos três maiores *setpoints*.

Os ensaios funcionais das medidas de proteção demonstraram que a abertura das quatro portas de acesso interrompe o funcionamento, que a máquina não permite partida com uma porta aberta e que o acionamento da emergência provoca a parada do sistema, com necessidade de rearme. A média do tempo de parada física observado foi de 450 ms. Entretanto, esse valor deve ser entendido como resultado experimental aproximado e não como limite normativo universal, uma vez que não foi realizado cálculo de desempenho de segurança nem associação formal desse tempo a uma categoria ou PL.

Também foram observados aumentos nos registros de velocidade para os diâmetros de 6, 9 e 12 mm, correspondentes a 30,0%, 28,57% e 30,0%, respectivamente. Esses resultados indicam ganho operacional associado à condição pós-*retrofit*, embora não permitam estabelecer causalidade exclusiva sem um desenho experimental comparativo mais controlado.

Conclui-se que o *retrofit* demonstrou funcionamento nas condições ensaiadas e capacidade de integrar medidas de proteção e controle de produção em uma máquina industrial existente. Contudo, o estudo não permite afirmar viabilidade econômica nem conformidade integral com a NR-12 ou com normas internacionais de segurança funcional. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o número de ensaios, testar diferentes velocidades e quantidades, medir os tempos de parada com instrumentação de maior resolução, realizar apreciação formal de riscos e determinar os requisitos de desempenho das funções relacionadas à proteção. Recomenda-se ainda desenvolver uma análise econômica completa e integrar o sistema a recursos de supervisão, rastreabilidade e coleta de dados.

## REFERÊNCIAS

AL-MAEENI, Sara Salman Hassan *et al.* Smart retrofitting of machine tools in the context of Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 88, p. 369-374, 2020. DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.064.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12): Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, DF: MTE, 2019. Atualizada pela Portaria MTE nº 344, de 21 de março de 2024.

DE OLIVEIRA, Eric Sampaio *et al.* Automação nos processos industriais: processo de implementação e o papel do gestor de tecnologia da informação. **Prospectus**, v. 6, n. 1, p. 153-203, 2024.

DE SANTANA, Thiago Parizotto *et al.* NR-12: análise e aplicação da norma. **Revista Delos**, v. 17, n. 61, p. e2811, 2024.

DOMINGUEZ, Cristian David Azevedo; ROCHA, Siomara Dias da. Estudo de caso: adequação de uma guilhotina hidráulica à Norma Regulamentadora 12. **Revista FT**, v. 28, n. 135, 2024.

ILARI, S.; CARLO, F. D.; CIARAPICA, F. E.; BEVILACQUA, M. Machine tool transition from Industry 3.0 to 4.0: a comparison between old machine retrofitting and the purchase of new machines from a triple bottom line perspective. **Sustainability**, v. 13, n. 18, 10441, 2021. DOI: 10.3390/su131810441.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 12100:2010. Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction. Geneva: ISO, 2010.



TECNOLOGIAS PARA  
COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL

## IMPLEMENTATION OF A SAFETY SYSTEM FOR A REBAR UNCOILING MACHINE WITH INTEGRATION OF AN AUTOMATED PRODUCTION COUNTING SYSTEM

SAMUEL GOMES  
JONATHAN ALEXANDRE DE MOURA  
LUCAS DIEGO RABELO  
FERNANDO CAIADO FLEURY ARAUJO  
KLEBER DA SILVA MOREIRA  
VITOR SANTOS DUARTE

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13849-1:2023. Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design. Geneva: ISO, 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13850:2015. Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design. Geneva: ISO, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14119:2024. Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection. Geneva: ISO, 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14120:2015. Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards. Geneva: ISO, 2015.

KAARLELA, Tero; NIEMI, Tero; PITKÄÄHO, Tomi; HARJULA, Jari. Retrofitting enables sustainability, Industry 4.0 connectivity, and improved usability. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, v. 9, p. 100146, 2024.

KESHAV KOLLA, S. S. V. *et al.* Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT). **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 62-70, 2022. DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.205.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SŁOWIK, Maciej; SIEROCKA, Honorata. Manufacturing equipment retrofitting towards Industry 4.0 standards — a systematic overview of the literature. **Engineering Management in Production and Services**, v. 15, n. 3, p. 14-26, 2023. DOI: 10.2478/emj-2023-0017.