



Universidades Lusíada

Rodrigues, João Carlos Canha Gravelho

Digitalização de procedimentos LOTO para a consignação de equipamentos na indústria 4.0

<http://hdl.handle.net/11067/7045>

Metadados

Data de Publicação

2023

Resumo

Com a evolução da Indústria 4.0, o desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos, bem como a necessidade de ações de manutenção, tem estado simultaneamente em constante evolução. A segurança ocupacional ao nível das empresas e organizações tem impactos no cenário imediato e a longo prazo, sendo fundamental para o seu sucesso e desenvolvimento sustentado. As medidas de segurança ocupacional têm ganho cada vez maior relevância, tornando-se uma prioridade para as organizações, promovendo a segur...

With the evolution of Industry 4.0, the development of new machines and equipment, as well as the need for maintenance actions, has simultaneously been in constant evolution. Occupational safety at the level of companies and organizations has impacts on the immediate and long-term scenario, being fundamental for their success and sustained development. Occupational safety measures have gained increasing relevance, becoming a priority for organizations, promoting the safety of their human resourc...

Palavras Chave

Indústria 4.0, Lean maintenance, Gestão industrial

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

no

Coleções

[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-04-29T06:03:50Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA
CAMPUS DE VILA NOVA DE FAMALICÃO

**DIGITALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS LOTO PARA A CONSIGNAÇÃO DE
EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0**

João Carlos Canha Gravelho Rodrigues

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Vila Nova de Famalicão - maio 2023



UNIVERSIDADE LUSÍADA
CAMPUS DE VILA NOVA DE FAMALICÃO

**DIGITALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS LOTO PARA A CONSIGNAÇÃO DE
EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0**

João Carlos Canha Gravelho Rodrigues

Orientador: Professora Doutora Ana Cristina Magalhães Ferreira
Professor Doutor Rui Gabriel Araújo de Azevedo Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Agradecimentos

Em primeiro, quero agradecer à professora Ana Ferreira e ao professor Rui Silva, pela orientação, partilha de conhecimento e apoio prestado, que permitiu ultrapassar dificuldades e concluir a presente dissertação com sucesso.

À minha filha, mãe e avós, pela compreensão e apoio, ao longo da minha vida académica, que motivou por muitas vezes a minha ausência.

Ao meu amigo Armando Sousa, pelo companheirismo, entreaajuda, espírito de sacrifício e suporte, que permitiu aos dois ultrapassar diversas dificuldades e concluir todas as unidades curriculares do ciclo de estudos com sucesso.

Aos meus colegas de trabalho na Navigator Pulp Aveiro, das áreas de operação, instrumentação e mecânica, pela disponibilidade, partilha de conhecimento e suporte ao longo de 9 anos de laboração, que permitiu enriquecer a investigação, com o conhecimento e experiência adquirido no meio industrial.

Às entidades nacionais, que se mostraram disponíveis para colaborar com a investigação, respondendo ao questionário submetido.

A todos vós, o meu obrigado.

Resumo

Com a evolução da Indústria 4.0, o desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos, bem como a necessidade de ações de manutenção, tem estado simultaneamente em constante evolução. A segurança ocupacional ao nível das empresas e organizações tem impactos no cenário imediato e a longo prazo, sendo fundamental para o seu sucesso e desenvolvimento sustentado. As medidas de segurança ocupacional têm ganho cada vez maior relevância, tornando-se uma prioridade para as organizações, promovendo a segurança dos seus recursos humanos, sendo este o ativo mais valioso. A presente investigação tem como objetivo o estudo dos procedimentos LOTO utilizados para a consignação de máquinas e equipamentos na indústria e a digitalização dos procedimentos associados com recurso às novas tecnologias decorrentes da Indústria 4.0. A investigação da temática em estudo foi alicerçada na legislação existente, nas práticas atuais utilizadas pelas empresas e organizações, bem como com recurso à normalização dos processos de trabalho e uso de tecnologias emergentes. No sentido de aferir sobre a pertinência, práticas e necessidade de haver melhorias nos procedimentos de consignação foi elaborado um questionário dirigido às empresas com práticas de consignação. Tendo por referência os procedimentos de consignação documentados e a prática industrial, procedeu-se à criação de sistemáticas e de um modelo de gestão digital, para o qual foi proposta uma interface para a aquisição e processamento de dados. O modelo conceptual desenvolvido para a gestão digital de procedimentos LOTO contribui para o aumento da produtividade, a resolução de problemáticas existentes nos processos de consignação e a melhoria dos procedimentos LOTO atualmente utilizados. A digitalização destes procedimentos contribui para uma gestão mais eficaz, fiável, e, sobretudo, promove a segurança, saúde e bem-estar dos recursos humanos das empresas.

Palavras-chave: Consignação de Máquinas; Procedimento LOTO; Indústria 4.0; *Lean Maintenance*; Segurança Ocupacional; Digitalização de Processos.

Abstract

With the evolution of Industry 4.0, the development of new machines and equipment, as well as the need for maintenance actions, has simultaneously been in constant evolution. Occupational safety at the level of companies and organizations has impacts on the immediate and long-term scenario, being fundamental for their success and sustained development. Occupational safety measures have gained increasing relevance, becoming a priority for organizations, promoting the safety of their human resources, which is their most valuable asset. The present investigation aims to study the LOTO procedures used for the consignment of machinery and equipment in the industry and the digitization of associated procedures using new technologies arising from Industry 4.0. The investigation of the subject under study was based on existing legislation, current practices used by companies and organizations, as well as using the standard work tool and new technologies. In order to assess the pertinence, practices and need for improvements in consignment procedures, a questionnaire was created for companies with consignment practices. Based on documented consignment procedures and industrial practice, systematic creation and a digital management model were created, as well as the development of an interface for data acquisition and processing. The conceptual model was developed for the digital management of LOTO procedures, to support companies and organizations that accept to adopt and develop this solution in the future, contributing to the increase of productivity, the resolution of existing problems and to the improvement of the LOTO procedures currently used. The digitization of procedures contributes to a more effective and reliable management and, above all, promotes the safety, health and well-being of the companies' human resources.

Keywords: Machines Consignment; LOTO procedure; Industry 4.0; Lean Maintenance; Occupational Safety; Process Digitization.

Índice geral

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de figuras	vii
Índice de tabelas	ix
Lista de abreviaturas	x
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento e motivação	1
1.2 Objetivos propostos.....	4
1.3 Metodologia de investigação	4
1.3.1 Análise de literatura.....	5
1.3.2 Inquérito por questionário.....	7
1.4 Organização da dissertação	8
2. Fundamentação teórica	9
2.1 A Manutenção industrial.....	9
2.1.1 A Manutenção 4.0.....	11
2.1.2 Sistema de gestão da qualidade	12
2.1.3 Normalização de processos de trabalho e sistemáticas.....	12
2.1.4 A Segurança ocupacional	13
2.2 Transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0	14
2.3 Procedimentos LOTO	16
2.3.1 A sinistralidade laboral na adoção de procedimentos LOTO.....	18
2.3.2 A digitalização de procedimentos LOTO	18
2.3.3 Comparação das soluções digitais LOTO.....	20
3. Procedimentos LOTO na indústria: inquérito às empresas	22
3.1 Método de seleção da amostra, recolha e tratamento de dados	22
3.2 Identificação de requisitos na elaboração do questionário.....	23
3.3 Análise dos resultados do questionário.....	26
4. Parametrização dos procedimentos de consignação	34
4.1 Considerações iniciais.....	34
4.2 Sequência dos procedimentos nas ações de consignação	35

4.3 Funcionamento e consignação elétrica em sistemas DCS	35
4.4 Procedimento de consignação em circuitos pneumáticos e hidráulicos	39
5. Proposta de modelo de gestão digital de procedimento LOTO	41
5.1 Criação de sistemáticas para a definição do modelo.....	41
5.1.1 Consignação exclusivamente elétrica	42
5.1.2 Consignação elétrica a circuitos pneumáticos e hidráulicos.....	45
5.1.3 Consignação de casos específicos	47
5.1.4 Análise crítica das sistemáticas	50
5.2. Modelo conceptual de gestão digital.....	50
5.2.1 Identificação dos dados da ficha de registo de consignação.....	52
5.2.2 Diagrama do processamento de registos.....	53
5.2.3 Diagrama de atividades da aplicação digital	54
5.2.4 Base de dados do modelo de gestão digital LOTO.....	56
5.2.5 Formulário para o processamento de dados.....	58
6. Principais conclusões e propostas de trabalho futuro	60
6.1 Conclusões.....	60
6.2 Aspetos limitadores da investigação	62
6.3 Propostas de trabalho futuro	62
Referências bibliográficas	64
Apêndices	69
Apêndice I - Questionário sobre procedimentos de consignação	69
Apêndice II - Folheto do <i>software</i> ScanESC	73
Apêndice III - Folheto do <i>software</i> Digital Lock.....	75

Índice de figuras

Figura 1 - As 10 principais violações de segurança citadas com mais frequência pela OSHA. Adaptado de OSHA, (2021).	3
Figura 2 – Classificação das fontes de consulta para realização de revisão da literatura de acordo com Saunders et al., (2007).	6
Figura 3 - Tipologias de manutenção planeada e não planeada.	10
Figura 4 - Padronização dos procedimentos LOTO (OSHA, 2002).....	17
Figura 5 - Análise das respostas das empresas em relação ao tempo de atividade laboral.	27
Figura 6 - Análise das respostas das empresas em relação ao setor de atividade.....	27
Figura 7 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de processos de consignação de máquinas e equipamentos em contexto de manutenção.....	28
Figura 8 - Análise das respostas das empresas referente à periodicidade de manutenção. .	29
Figura 9 - Análise das respostas das empresas referente à sinistralidade laboral.....	29
Figura 10 - Análise das respostas das empresas referente aos sinistros resultantes do arranque de máquinas e equipamentos.	30
Figura 11 - Análise das respostas das empresas referente ao: <i>a)</i> conhecimento dos procedimentos LOTO; <i>b)</i> utilização dos procedimentos LOTO na empresa na consignação de máquinas e equipamentos.	31
Figura 12 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de software para auxílio na implementação e gestão dos procedimentos LOTO.	31
Figura 13 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de sistemas DCS para operação e controlo de máquinas e equipamentos.....	32
Figura 14 - Equipamento consignado eletricamente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	36
Figura 15 - Drives eletrónicas com variador (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	37
Figura 16 - Interfaces DCS (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	37
Figura 17 - Equipamento desconsignado/consignado (Navigator Pulp Aveiro, 2023). ...	38
Figura 18 - Válvula manual de alimentação pneumática (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	39
Figura 19 - Regulador de pressão pneumática com patilha de despressurização (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	39
Figura 20 - Unidade hidráulica para máquinas e equipamentos hidráulicos (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	40

Figura 21 - Válvulas para regulação de pressão hidráulica (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	40
Figura 22 - Transportador acionado eletricamente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).....	42
Figura 23 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO para consignação exclusivamente elétrica.....	43
Figura 24 - Motor elétrico acoplado a bomba industrial (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	45
Figura 25 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO para a consignação elétrica associada a circuitos pneumáticos e hidráulicos.....	46
Figura 26 - Válvula de alimentação de água para rede de incêndios (Navigator Pulp Aveiro, 2023).....	48
Figura 27 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO de processo de consignação e desconsignação mecânico (processo especial).....	48
Figura 28 - Diagrama de processos para o modelo de gestão digital LOTO proposto.....	51
Figura 29 - Modelo de ficha de consignaões (Navigator Pulp Aveiro, 2023).....	52
Figura 30 - Diagrama do processamento de registos.....	54
Figura 31 - Diagrama de atividades da aplicação digital.....	55
Figura 32 - Equipamento consignado localmente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).	56
Figura 33 - Base de dados do modelo de gestão digital LOTO.....	57
Figura 34 - Formulário de submissão de registos.....	58

Índice de tabelas

Tabela 1 – Requisitos para cadeado e dispositivos (Master Lock Safety Solutions, 2023)	17
Tabela 2 – Análise comparativa das soluções digitais LOTO (Logical Safety, 2022; Rockwell Automation, 2022)	21
Tabela 3 - Requisitos de dados na elaboração do questionário	24
Tabela 4 - Caracterização das questões em função da tipologia e forma	25
Tabela 5 - Alteração efetuada na questão relativa ao setor de atividade	26
Tabela 6 - Tempos das operações do ciclo de consignação exclusivamente elétrica	44
Tabela 7 - Tempos das operações do ciclo de consignação elétrica a circuitos pneumáticos e hidráulicos.....	47
Tabela 8 - Tempos das operações do ciclo de consignação especial	49
Tabela 9 - Tempos das operações do ciclo de desconsignação especial	49

Lista de abreviaturas

APM – Asset Performace Management

DCS – Distributed Control Systems

EAM – Enterprise Asset Management

EPI - Equipamento de Proteção Individual

HSE – Health and Safety Executive

IoT – Internet of Things

LOTO – Lock Out / Tag Out

ML – Machine Learning

MSHA – Mine Safety and Health Administration

OSHA – Occupational Safety ante Health Administration

RCM – Reliability Centered Maintenance

RFID – Radio-Frequency Identification

UML – Unified Modeling Language

1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se o tema de dissertação, identificando o enquadramento e motivação para o desenvolvimento do tema. São apresentadas e definidas as metodologias de investigação que foram aplicadas no desenvolvimento do trabalho, assim como os principais objetivos. Por último, é identificada a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento e motivação

A prática de ações de manutenção industrial sempre teve uma elevada relevância para as empresas desde o início da revolução industrial até à atualidade. As ações de manutenção, sejam estas de ação planeada ou não planeada, garantem o correto funcionamento de máquinas e equipamentos industriais, tornando-se indispensáveis para a fiabilidade de processos produtivos e para a garantia do máximo de tempo de vida útil dos sistemas. Para realizar todo o tipo de ações em contexto de manutenção industrial, a legislação existente no contexto de segurança ocupacional estipula que estas devem ser realizadas em segurança pelos intervenientes, adotando procedimentos como a consignação de máquinas e equipamentos.

Nos últimos anos, tem-se verificado a redução da sinistralidade laboral e os resultados evidenciam o esforço por parte das organizações na adoção de políticas de segurança que têm como objetivo a redução de sinistros (Health and Safety Executive, 2022). A utilização de procedimentos de consignação de máquinas e equipamentos, é de elevada importância, pois permite que as intervenções de manutenção sejam efetuadas em segurança por parte dos técnicos afetos à função, protegendo-os do arranque inesperado de equipamentos e da exposição a situações de risco. Algumas organizações ainda não fazem uso deste tipo de práticas, ou se as utilizam, não são aplicadas corretamente, de acordo com a sequência de procedimentos *Lock Out / Tag Out* (LOTO) (OSHA, 2002). É fundamental entender a forma como estes procedimentos estão implementados para que, após a sua análise, sejam efetuadas melhorias dos mesmos, com recurso às novas tecnologias, a criação de sistemáticas e à digitalização de processos.

Assim, é essencial definir e enquadrar a que corresponde um procedimento LOTO. O procedimento LOTO corresponde a todos os procedimentos que garantem que os equipamentos e máquinas são colocados e mantidos em situação segura para impedir a sua ativação e ainda à obrigação de se proceder à sua etiquetagem com indicação inequívoca que os equipamentos não devem ser operados.

A maioria das indústrias afirma utilizar procedimentos de consignação nas intervenções de manutenção, contudo, uma parte desta não aplica sequencialmente todos os procedimentos LOTO referenciados pela norma 29 CFR 1910.147 “*The Control of Hazardous Energy*”. Por esta razão é necessário desenvolver novos modelos de gestão para estes procedimentos, fazendo uso das tecnologias que surgiram com a Indústria 4.0. Estes procedimentos devem ser mais fiáveis, ágeis e eficazes, procurando também envolver todos os intervenientes que atuam na sua realização e que, desta forma, determinam o sucesso da implementação dos procedimentos LOTO, para a consignação de máquinas e equipamentos.

Embora não exista investigação científica muito extensa sobre a utilização de modelos de gestão digitais LOTO, alguns autores como Buffi et al. (2021), Kumar e Tauseef (2021a) e Mohon (2021), desenvolveram soluções e modelos de gestão digital LOTO com base em tecnologias *Internet of Things* (IoT), sendo que o seu objetivo é eliminar ou reduzir a sinistralidade associada ao incumprimento dos procedimentos LOTO. Em alguns casos, graças a estes modelos de gestão, foi possível eliminar por completo a sinistralidade associada ao arranque inesperado de máquinas e equipamentos, e a libertação de energias perigosas.

Estas indústrias carecem deste tipo de soluções, dado os procedimentos de consignação serem geridos atualmente pela maioria das indústrias a nível nacional em formato de registo físico, ou seja, “em papel”, e que associado a fatores de risco, representam uma maior possibilidade de ocorrência de sinistros. Estes fatores de risco incluem, entre outros referenciados pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), o erro humano e a ineficaz troca de informação sobre os processos de manutenção na troca de turnos laborais (OSHA, 2021). A Figura 1 ilustra as 10 principais violações de segurança citadas com mais frequência.



Figura 1 - As 10 principais violações de segurança citadas com mais frequência pela OSHA. Adaptado de OSHA, (2021).

Com a nova revolução industrial impulsionada pelo surgimento da Indústria 5.0, este conceito apresenta-se como a evolução do termo Indústria 4.0, baseando-se numa transição assente na sustentabilidade, economia circular e valorização dos ativos humanos. Neste sentido, é dada prioridade à conservação do meio ambiente e à melhor gestão de recursos, como também às pessoas e ao desenvolvimento de soluções apoiadas por tecnologias em desenvolvimento, que correspondam às suas necessidades e benefícios (Chaves, 2021). Dadas as evoluções tecnológicas recentes, é oportuno explorar novas abordagens que promovam a preservação do ativo humano nas organizações, sendo de elevada importância efetuar investigação neste tipo de temáticas, que beneficiam a segurança e saúde dos colaboradores no exercício da sua atividade profissional. O desenvolvido de modelos de gestão digital LOTO que fazem recurso a sistemas *Distributed Control System* (DCS) para operação remota de máquinas e equipamentos.

1.2 Objetivos propostos

O principal foco deste trabalho prende-se com o estudo dos procedimentos de consignação de máquinas e equipamentos na indústria. Com base nas decorrentes evoluções da Indústria 4.0, e nas mais recentes tendências que surgem como pilares do que configurará a Indústria 5.0, é possível aperfeiçoar os procedimentos de consignação digitalmente para melhorar a gestão e intervenção das ações de manutenção industrial, promovendo a segurança dos recursos humanos.

Neste sentido, pode destacar-se como objetivo principal a criação de um modelo de digitalização do procedimento LOTO para melhorar o processo de consignação e desconsignação e, conseqüente, as ações de manutenção industrial. Desta forma, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender as práticas atuais nos processos de consignação de equipamentos e identificar a legislação aplicada;
- Analisar as práticas aplicadas nas empresas nacionais no que diz respeito à implementação dos processos de consignação e manutenção, bem como a articulação da informação entre processos;
- Definir um conjunto de sistemáticas para os processos de consignação de máquinas e equipamentos, com vista à padronização desta operação;
- Definir um modelo conceptual de gestão digital de procedimentos LOTO, com base nos processos de consignação, propondo o desenvolvimento de uma interface para a aquisição e processamento de dados.

1.3 Metodologia de investigação

No desenvolvimento da dissertação foram aplicadas duas metodologias de investigação. Primeiramente foi realizada uma pesquisa de artigos científicos (análise da literatura) sobre os modelos e procedimentos de consignação em processos de manutenção, considerando as inovações originadas pela Indústria 4.0, as influências da Indústria 5.0, a conceção de melhorias a adotar através de novas tecnologias e o uso de ferramentas *Lean Maintenance*. Adicionalmente, efetuou-se a análise da legislação existente, para enquadrar a prática da consignação de equipamentos. Foi também realizado um questionário direcionado a empresas da indústria portuguesa para perceber os requisitos e limitações dos atuais procedimentos de consignação utilizados.

1.3.1 Análise de literatura

Com recurso à análise da literatura é possível desenvolver uma base sustentada de conhecimento sobre a qual a investigação e desenvolvimento neste trabalho é construída. Com recurso a diferentes fontes de informação é efetuada a análise de estudos e trabalhos de investigação publicados, usando uma abordagem dedutiva e identificando teorias e práticas existentes (Bell, 2005).

De acordo com Strauss e Corbin (1998), com esta metodologia podem ser elaborados novos desenvolvimentos científicos devidamente fundamentados. As ações que contribuem para a identificação das teorias mais relevantes são as seguintes (Dees, 2003):

- Consulta e avaliação da investigação efetuada por especialistas reconhecidos na área de conhecimento de interesse;
- Considerar e discutir quer a investigação que apoia como a que se opõe às ideias defendidas;
- Fazer julgamentos fundamentados sobre o valor da investigação de outros, mostrando claramente como se relaciona com a investigação em desenvolvimento;
- Justificar os argumentos com evidências válidas e lógicas;
- Distinguir claramente o que são factos e opiniões.

Neste sentido, a análise da literatura deve assentar numa descrição e observação crítica do que outros autores estudaram sobre um determinado tópico (Jankowicz, 2005). A pesquisa utilizada para reunir as informações necessárias deve ser efetuada com palavras-chave definidas, através de diversas fontes de informação. De acordo com o sistema de classificação de Saunders et al., (2007), apresentado na Figura 2, a revisão da literatura deve ser efetuada com base em documentos classificados como fontes secundárias e terciárias. Segundo o autor, as fontes primárias correspondem a documentos nos quais a informação ainda não foi devidamente validada por um processo de *peer review*. Nesse sentido, devem ser consultados artigos científicos, livros e capítulos de livros relacionadas com a temática da investigação (Saunders et al., 2007).

Depois de selecionadas as publicações no processo de consulta da literatura, procedeu-se com a análise de conteúdo desses documentos. Relativamente à análise de conteúdo, esta é uma metodologia de análise qualitativa. O objetivo é obter conhecimento e compreensão da temática em estudo, podendo esta ser definida como um método de pesquisa para a interpretação subjetiva do conteúdo dos dados por meio do processo de classificação sistemática de codificação e identificação de temas ou padrões (Hsieh e Shannon, 2005).

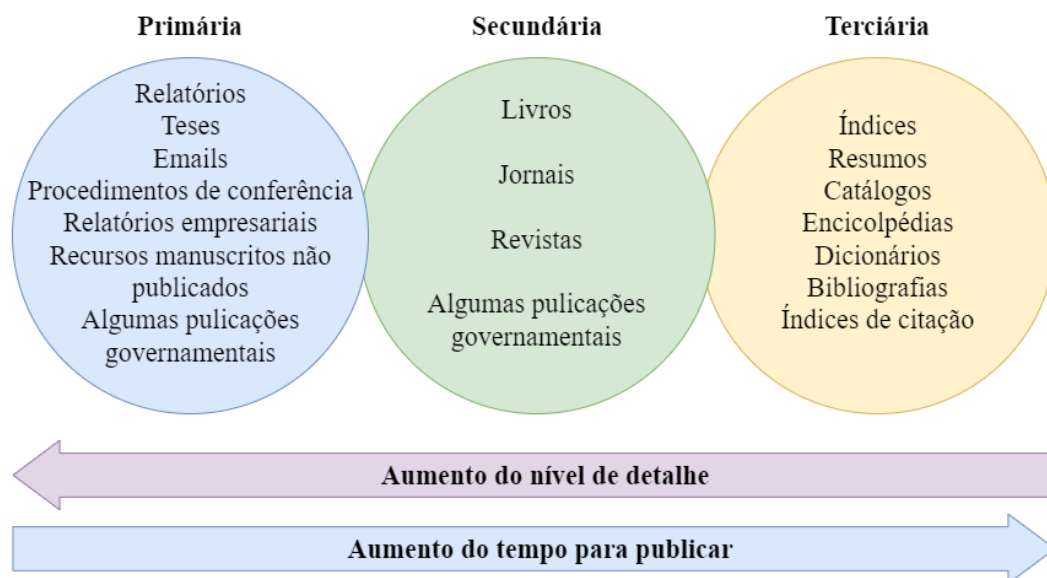


Figura 2 – Classificação das fontes de consulta para realização de revisão da literatura de acordo com Saunders et al., (2007).

Todas as metodologias para a análise de conteúdo qualitativa requerem um processo analítico semelhante, com diversas etapas, incluindo a definição das questões de investigação a serem respondidas, a seleção da amostra a ser analisada, a definição das categorias a serem aplicadas, o delineamento e a implementação do processo de codificação da informação, determinando assim a confiabilidade da análise (Kaid, 1989).

Na presente investigação para a análise de conteúdo, foram definidas e identificadas palavras-chave antes e durante a análise dos dados recolhidos, para considerar a informação mais relevante, necessária ao suporte e desenvolvimento da investigação. Para definir corretamente os parâmetros de pesquisa a utilizar, em conformidade com o referido por Bell (2005), foram considerados os seguintes atributos:

- Idioma: português e inglês;
- Áreas temáticas: segurança ocupacional, indústria, manutenção, procedimentos LOTO;
- Área/setor de atividade: indústria de transformação;
- Área geográfica: mundial;
- Período de publicação: Desde 1989 até dezembro 2022;
- Tipos de literatura: Artigos científicos, legislação existente, livros e capítulos de livros, páginas *web* governamentais e relatórios de entidades certificadoras.

Com as pesquisas efetuadas, tendo em consideração os atributos definidos, foi possível identificar o conteúdo relevante, que satisfaz os objetivos e requisitos da presente investigação, sendo fundamental para a sustentação da mesma e para a definição do modelo conceptual de gestão digital de procedimento LOTO.

1.3.2 Inquérito por questionário

A realização de inquéritos através de questionário, é uma técnica de pesquisa destinada à recolha de informação, na qual é solicitado a cada inquirido responder ao mesmo conjunto de perguntas, numa determinada ordem (De Vaus, 2002). Este mostra-se um método bastante eficaz, visto que é uma forma de recolha de respostas através de uma amostra, antes de proceder à sua análise quantitativa. Vários autores, tais como Bell (2005) e Oppenheim (2000), argumentam que é difícil elaborar um bom questionário, visto que o mesmo terá de garantir que as respostas recolhidas conseguem responder às perguntas de investigação. Neste sentido, a construção do questionário influencia a confiabilidade e validade dos dados obtidos, sendo que estas podem ser melhoradas através dos seguintes fatores (De Vaus, 2002):

- Elaboração cuidadosa das questões;
- Definição de um *layout* claro do formulário do questionário;
- Explicação clara da finalidade do questionário;
- Teste piloto para validação do questionário;

Além disso, as questões do questionário devem ser padronizadas para que sejam interpretadas da mesma forma por todos os inquiridos (Robson, 2002).

A elaboração do questionário e a definição das alternativas de resposta pode ser baseada na fundamentação e conhecimento proveniente da revisão da literatura (Ghauri e Grønhaug, 2005). O *layout* do questionário deve estimular o inquirido a preenchê-lo e devolvê-lo, sem que este pareça muito longo. Vale a pena notar que a melhor forma de obter respostas válidas para as perguntas é manter a aparência visual do questionário, e a redação de cada pergunta deve ser simples (Dillman, 2000). Por norma, questionários mais extensos reduzem as taxas de resposta em relação a questionários mais curtos (Edwards et al., 2002). O questionário é acompanhado por uma nota de apresentação, que explica o objetivo da pesquisa. Esta é a primeira parte do questionário que um inquirido deve ter acesso. Dillman (2000) argumenta que, para alcançar uma taxa de resposta tão alta quanto possível, deve ser indicada a estimativa de tempo para o preenchimento do questionário.

Como parte do teste piloto, deve ser verificado cada questionário piloto preenchido, para garantir que os inquiridos não têm problemas para entender ou responder às perguntas e que todas as instruções são claras. Assim, na aplicação do teste piloto de um questionário deve-se ter em conta os seguintes aspetos (Fink, 2003):

- Estimativa do tempo que o questionário leva para ser concluído;
- A clareza das instruções;
- Quais, se houver, as perguntas que não são claras ou ambíguas;
- Se houve alguma omissão de tópicos importantes, ou se o *layout* era claro;

O questionário tem por objetivo caracterizar o estado atual das práticas dos processos de consignação implementados pelas empresas incluídas na amostra por conveniência considerada no estudo. O questionário é disponibilizado via *Google Forms*, para que as empresas inquiridas pudessem responder eletronicamente. No questionário são utilizadas perguntas de resposta fechada para reduzir a margem de erro ou redundância da análise das respostas. As perguntas de resposta fechada fornecem alternativas de resposta, entre as quais o inquirido é instruído a escolher. Este tipo de perguntas geralmente é mais rápido e fácil de responder.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos. No primeiro capítulo é efetuada a introdução ao tema e são definidos os objetivos. No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica de suporte ao desenvolvimento da dissertação.

A partir do terceiro capítulo é apresentado o percurso prático da dissertação. Assim, no capítulo 3, apresenta-se o questionário e respetiva análise de respostas relativamente ao inquérito submetido às empresas sobre a implementação de procedimentos LOTO. Com base na recolha de informação, no capítulo 4, apresenta-se a parametrização dos procedimentos de consignação de máquinas e equipamentos. No capítulo 5 apresenta-se a proposta do modelo conceptual de gestão digital LOTO. Por último, no capítulo 6 são resumidas as principais conclusões, limitações do estudo e são ainda apresentadas as propostas de trabalho futuro.

2. Fundamentação teórica

Neste capítulo, é apresentada a síntese da análise de conteúdo às fontes de literatura consultadas, referente a todos os conceitos que abordam a temática da dissertação. No primeiro subcapítulo referente à manutenção industrial, são abordados conceitos como a Manutenção 4.0, sistemas de gestão da qualidade, normalização de processos de trabalho, bem como a segurança ocupacional. Nos dois subcapítulos seguintes, são referidos os conceitos sobre a Indústria 4.0, a análise da legislação vigente e o estado atual dos procedimentos LOTO.

2.1 A Manutenção industrial

A gestão de ativos, abrangida pela família de normas ISO 55000, tem ganho relevância em topo o tipo de organizações. As condições para que seja possível o incremento de valor, eficiência e fiabilidade operacional estão dependentes de uma correta gestão e manutenção dos ativos existentes. As ações de manutenção, sejam estas planeadas ou não planeadas, integram a gestão de ativos, e são imprescindíveis para garantir a boa condição e operacionalidade de todas as máquinas e equipamentos, e conseqüentemente, a excelência no desempenho industrial (Cabrita e Machado, 2015).

De acordo com Smith e Glenn (2003), o foco da manutenção é “preservar as capacidades funcionais dos equipamentos e sistemas em operação”. Segundo Moubrey (1997), tem como objetivo “garantir que os itens físicos continuem a fazer o que os utilizadores desejam que eles façam”. A manutenção é de grande importância na disponibilidade de ativos e instalações, na melhoria da confiabilidade, na segurança e respetivos custos associados.

É possível incrementar a produtividade e eficiência de uma organização, bem como dos seus ativos, se as empresas implementarem estratégias de gestão da manutenção ajustadas às suas necessidades (Pinto et al., 2019). Na Figura 3, podem-se observar os tipos de ações de manutenção existentes, tendo em consideração a sua classificação como: ações de manutenção planeadas, e as ações de manutenção não planeadas.

A manutenção preventiva refere-se à manutenção realizada periodicamente nos ativos físicos, para reduzir o risco de falhas e o tempo de inatividade não planeada. A manutenção preventiva é muito importante uma vez que contribui para o aumento do tempo de vida útil dos equipamentos e reduzem a necessidade de investir em novos ativos.

A manutenção corretiva é a manutenção realizada com a finalidade de corrigir problemas que podem surgir inesperadamente mediante uma falha ou quebra na operação do equipamento.

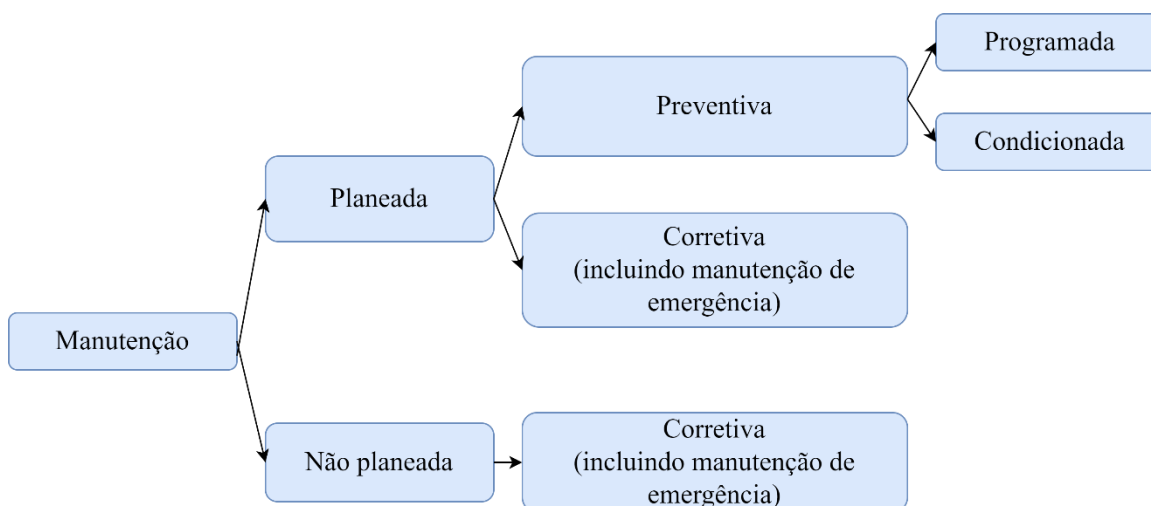


Figura 3 - Tipologias de manutenção planeada e não planeada.

Com o aumento da competitividade a nível global, novos desafios surgem associados à gestão da manutenção, como por exemplo, a demonstração de resultados, a precisão na medição, a gestão de riscos e a própria confiabilidade humana. Os indicadores de desempenho na área de manutenção medem o resultado das ações efetuadas, recorrendo a recursos para manter um ativo, ou melhorar o mesmo, para que este tenha um estado de prontidão e eficiência desejado à sua função. Os indicadores devem ter a capacidade de mostrar hipóteses de melhoria, e possibilitar análises para detetar o problema que pode causar ineficiência e auxiliar na resolução de problemas existentes (Martins et al., 2020).

Nos últimos anos, cerca de 25 a 30% das fatalidades da indústria na Grã-Bretanha estavam relacionadas com a atividade de manutenção. Por este motivo, a implementação e cumprimento de normas relativas às atividades de manutenção, segurança e saúde ocupacional revela-se fundamental para conseguir reduzir os sinistros neste tipo de atividade (Health and Safety Executive, 2022).

Quanto à legislação existente nas ações de manutenção em Portugal, podem-se referir como as principais normas Portuguesas: a NP EN 13306:2007 que define os termos genéricos usados em todos os tipos de manutenção e de organização da manutenção, independente do tipo de bem; a NP EN 15341:2009 com os seus indicadores; e a NP EN 4492, que estabelece os requisitos para a prestação de serviços de manutenção nas ações de manutenção da indústria para garantir a qualidade e sucesso das mesmas (Cabrita e Machado, 2015).

2.1.1 A Manutenção 4.0

As estratégias de manutenção desempenham um papel importante na Indústria 4.0, pois têm implicação no desenvolvimento dos processos de tomada de decisão existentes na indústria. A quarta revolução industrial implica assim a digitalização completa e um alto nível de automação de processos, sem a necessidade de uma intervenção humana direta. Dos nove “pilares” que compõem a evolução tecnológica, destacam-se as tecnologias de IoT, a análise de “BigData”, e a aprendizagem de máquina (*Machine Learning* (ML)), de acordo com Bona et al., (2021) e Gallo e Santolamazza (2021). Deste modo, a Manutenção 4.0, influenciada pela quarta revolução industrial, envolve não só a digitalização dos processos de manutenção preventiva e corretiva, como também a recolha de dados dos equipamentos para utilizá-los posteriormente para prevenir falhas e eventuais emergências.

A Manutenção 4.0 leva à evolução e automação dos processos de fabricação, aumentando a quantidade de dados recolhidos e processados, minimizando a influência do fator humano, expandindo os recursos dos sistemas computacionais de gestão da manutenção. Esta abordagem fomenta soluções clássicas para a gestão de ativos, *Enterprise Asset Management* (EAM); adicionando ferramentas modernas para a gestão de desempenho de ativos *Asset Performance Management* (APM). O APM inclui funções para recolher, integrar, visualizar e analisar dados para melhorar a confiabilidade, e a vida útil dos seus ativos. O conceito de APM é baseado na monitorização do estado atual do equipamento, previsão e manutenção orientada para a fiabilidade através da metodologia *Reliability Centered Maintenance* (RCM). O primeiro passo para a implementação da Manutenção 4.0 em muitas empresas é a implementação de soluções EAM, que mudam radicalmente a qualidade da gestão dos fundos. As soluções EAM monitorizam a integridade de equipamentos críticos (Korchagin et al., 2022). Como referido, a Manutenção 4.0 depende muito da utilização de algoritmos de análise “Big Data” e modelos de aprendizagem de máquina. A recolha de dados através de tecnologia IoT, permite o armazenamento de leituras através de sensores por longos períodos de tempo e em bases de dados.

O principal objetivo da Manutenção 4.0 é prever e prevenir possíveis falhas nos equipamentos, para evitar que uma operação de produção seja totalmente interrompida. Podem ser alcançadas as seguintes vantagens decorrentes da implementação das tecnologias da Manutenção 4.0, através de soluções APM:

- Melhoria de gestão de recursos humanos;

- Melhoria da fiabilidade e segurança;
- Melhoria de gestão do *stock* em armazém;
- Planeamento de orçamentos precisos;
- Planeamento de investimentos.

Das vantagens citadas, pode ser concluído que a transição para a Manutenção 4.0 pode proporcionar uma redução adicional na frequência de paragens não planeadas de equipamentos em 50%, comparativamente com a Manutenção 3.0 que não fazia uso deste tipo de metodologias. Adicionalmente, nesta transição, pode obter-se uma redução nos custos de manutenção entre 30% a 40% (Korchagin et al., 2022).

2.1.2 Sistema de gestão da qualidade

Para que uma organização consiga ter sucesso e manter-se competitiva no mercado de atuação em que se encontra inserida, esta deve adaptar-se e responder de forma flexível, com uma orientação para as necessidades e requisitos dos clientes, como também às instabilidades e mudanças do mercado. O seu principal foco deve garantir produtos e serviços de elevada qualidade, através do cumprimento das normas do sistema de gestão da qualidade. Em Portugal, os sistemas de gestão da qualidade encontram-se implementados pela NP ISO 9001:2015 (APCER, 2022a). Através dos sistemas de gestão da qualidade, fazendo recurso às suas ferramentas e métodos, é possível melhorar produtos e serviços fornecidos pelas organizações, criando assim padrões de qualidade que satisfaçam as necessidades e requisitos dos clientes, promovendo a melhoria contínua, e o sucesso das soluções disponibilizadas pelas entidades que as desenvolvem. Os ganhos resultantes da padronização de processos incluem a documentação de um determinado processo a todos os colaboradores afetos à tarefa, considerando todos os seus diversos horários laborais e equipas, reduções na variabilidade, fácil acolhimento e formação de novos colaboradores, redução de lesões e conseqüente sinistralidade, constituindo-se como uma linha de orientação, para o posterior desenvolvimento de oportunidades de melhoria, promovendo a resolução de problemas, apoio às auditorias e envolvendo todos os colaboradores (Míkva et al., 2016a).

2.1.3 Normalização de processos de trabalho e sistemáticas

O *standard work* é uma ferramenta associada à melhoria contínua, utilizada para especificar padrões e estabelecer os melhores métodos e sequências de funções/atividades para cada

processo. Como benefícios decorrentes da sua correta aplicação, podem-se referir os seguintes: a melhoria da qualidade, estabelecimento de pontos de referência, nos quais é possível desenvolver melhorias, um controlo e estabilidade do processo eficazes, a redução da variabilidade, a melhoria da qualidade e flexibilidade (Emiliani, 2008). Com o recurso à padronização, é possível reduzir custos e tempos de execução, garantindo um ambiente de trabalho claro, seguro e visualizado, evitando anomalias e erros. A sua implementação inicialmente nem sempre é bem aceite, porque desenvolver e implementar processos com recurso à padronização, acaba por desenvolver alterações na própria cultura das organizações (Duggan, 2012).

As melhorias e mudanças nos processos são completadas pelo desenvolvimento de padrões. O principal objetivo da normalização é executar o processo corretamente na primeira vez, sem erros, sem efeitos negativos sobre os recursos humanos e o ambiente. Através das normas, é possível melhorar os padrões de segurança, facilitar a comunicação, dar suporte às iniciativas de formação, aumentar a disciplina do trabalho, facilitar a resposta aos desafios e esclarecimento dos procedimentos do trabalho (Ml̄kva et al., 2016).

2.1.4 A Segurança ocupacional

A segurança e saúde no trabalho constitui-se como um requisito obrigatório por parte de todas as organizações. Atualmente, as empresas certificadas com a implementação de um sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho, encontram-se abrangidas pela norma ISO 45001:2018. Os sistemas de gestão de segurança no trabalho, quando bem implementados e executados, resultam em grandes benefícios, dos quais são destacados (APCER, 2022b):

- Redução de riscos de acidentes e de doenças profissionais;
- Redução de custos (indenizações, prémios de seguro, prejuízos resultantes de acidentes, dias de trabalho perdidos);
- Melhoria da satisfação e motivação dos colaboradores pela promoção e garantia de um ambiente de trabalho seguro e saudável;
- Abrangência das atividades de prevenção a toda a organização;
- Redução das taxas de absentismo;
- Maior eficácia e proatividade ao nível do planeamento operacional.
- Melhoria da imagem da organização;
- Evidência do compromisso para o cumprimento da legislação aplicável.

Relativamente à legislação nacional relacionada com a segurança de máquinas e equipamentos, encontra-se em vigor o Decreto-Lei n.º 75/2011, que procede à alteração do Decreto-Lei n.º 103/2008, estabelecendo as regras relativas à colocação no mercado e entrada em serviço das máquinas e respetivos acessórios. Quanto às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho, estas prescrições são contempladas pelo Decreto-Lei n.º 50/2005.

2.2 Transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0

A Indústria 4.0, teve as suas origens na Alemanha em 2013, associada à capacitação tecnológica relacionada com a manipulação de dados, através de sistemas IoT, bem como outros geradores de dados, com a integração automatizada de processos digitais com processos físicos. Nessa altura, a inteligência artificial começava a desenvolver-se através de processos de recolha de dados, tratamento e modelação dos mesmos, utilizados na resolução de problemas, garantia da qualidade do produto, ações de manutenção preditiva, melhoria de processos de produção entre outros (Chaves, 2021).

Com o surgimento da Indústria 4.0, assistiu-se ao aparecimento de novos conceitos que foram responsáveis por melhorias na área de manutenção, tais como a aprendizagem de máquina que, segundo Reis e Campos (2020), é um subconjunto e a forma eficaz de implementar a inteligência artificial. Esta abordagem permite que sistemas e ferramentas computacionais identifiquem padrões por intermédio de dados armazenados para realizar diversas ações, incluindo a previsão de falhas. Através de ML, é possível planear e implementar ações de manutenção preditiva com a periodicidade mais adequada.

Ao nível dos sistemas, foram desenvolvidos os sistemas “ciber-físicos”, sendo estes sistemas integrados de computação, comunicação e controlo (Bakhtari et al., 2020). De acordo com Li e Lau (2019), os sistemas “ciber-físicos” são tecnologias emergentes para troca de informações com as máquinas e *software* na Indústria 4.0. Estes sistemas são também aplicados na manutenção produtiva total, para prever o desempenho instável de máquinas e equipamentos.

Na análise de dados, surge a tecnologia de “*Big Data*”, que usa novos modelos de processamento para obter informações válidas e de qualidade, agregando vários tipos de dados, com o objetivo de obter uma análise profunda das problemáticas, obter perceções e fazer novas descobertas para um apoio à tomada de decisão precisa (Zhou et al., 2015).

Sistemas “*Big Data*” referem-se a variedade, velocidade, volume, valor da disponibilidade e busca de dados, exigindo formas inovadoras e económicas para o processamento de informações para melhor perceção e tomada de decisão. Por exemplo, Zhang et al. (2017), propôs um método de produção melhorado, através da integração sistemática da gestão do ciclo de vida do produto e da análise de “*Big Data*”. A investigação trata de aplicações produtivas baseadas em *Big Data*, especificamente em processos de produção e manutenção do ciclo de vida do produto. Em todas estas inovações, a padronização e digitalização dos processos esteve presente, de modo a compatibilizar a integração de diversos sistemas, máquinas e equipamentos, promovendo simultaneamente o seu automatismo, comunicação e interação. Só desta forma, é possível a comunicação e trabalho autónomo dos mais diversos intervenientes numa solução dimensionada para a Indústria 4.0.

Os novos sistemas, no âmbito da Indústria 4.0, estão focados na rentabilidade e eficiência das empresas, contudo, não foram colocadas questões como a justiça social, ou até mesmo o fator da sustentabilidade, que cada vez mais é valorizado nas organizações, e pela própria sociedade. Na verdade, sem o aumento da rentabilidade e eficiência das empresas com as soluções decorrentes da Indústria 4.0, também dificilmente é possível gerar riqueza, que permita criar o investimento necessário para os pilares da Indústria 5.0, centrada na utilização da tecnologia para a criação de soluções sustentáveis.

A Indústria 5.0 teve as suas origens durante o evento CeBIT 2017, no Japão, tendo sido referido pelo Primeiro-Ministro do Japão na época, Shinzo Abe, com a expressão: "a sociedade deve perceber e acolher a tecnologia como uma ajuda, e não a encarar como uma ameaça. Esta foi a origem do conceito de "Sociedade 5.0", do qual deriva o conceito de Indústria 5.0, e com o qual a União Europeia está fortemente comprometida (TechEdge, 2022). Só desta forma, poderá ser valorizado o recurso mais precioso de uma organização, os seus colaboradores. O trabalhador será visto nesta abordagem como um investimento, envolvendo o mesmo no projeto e implementação de novas tecnologias, obrigando a gestão a estar disposta a investir em formação e conhecimento. Em suma, a Indústria 5.0 apresenta-se como uma evolução natural, com recurso às mesmas tecnologias da Indústria 4.0, fazendo da indústria um fornecedor resiliente e responsável, respeitando os limites dos recursos do planeta, e colocando também o bem-estar dos colaboradores no centro do processo de produção (Chaves, 2021).

2.3 Procedimentos LOTO

Os procedimentos de consignação resultam da transferência de responsabilidade de um equipamento, máquina ou instalação, e dos indivíduos que as utilizam, para uma equipa de trabalho que irá proceder a ações de manutenção, durante um determinado período de tempo, nas condições físicas e de segurança acordadas. Este tipo de procedimentos é utilizado para colocar um equipamento, máquina ou instalação fora de serviço, para efetuar ações de manutenção sem que estas ações coloquem nenhum dos elementos afetos às respetivas intervenções em risco de segurança (Pinto, 2016).

Em 1989, a OSHA apresentou a norma 29 CFR 1910.147 “*The Control of Hazardous Energy*”, tendo como objetivo estabelecer os requisitos de conformidade necessários para a sinalização das consignações, e a área industrial como o seu principal foco. Mais tarde, esta norma levou à criação do procedimento LOTO para o controlo do acionamento de energia durante a intervenção em máquinas e equipamentos (Occupational Safety and Health Administration, 1990). O bloqueio/identificação para o controlo de energia, está no *ranking* das 10 normas da OSHA mais referenciadas. O não cumprimento ou ausência desta norma, resultou em milhares de situações de acidentes profissionais, levando os colaboradores a sofrer ferimentos, e em casos mais graves, levando mesmo ao óbito do sinistrado. A norma 29 CFR 1910.147, define os requisitos que devem ser implementados nas instalações e seguidos pelos colaboradores (Master Lock Safety Solutions, 2023). Para manter os intervenientes seguros e para cumprir com a norma OSHA, as instalações devem:

- Desenvolver: um programa de bloqueio/identificação específico para a maquinaria das suas instalações;
- Implementar: dispositivos de bloqueio para o equipamento a ser bloqueado e dispositivos de identificação para indicar quem está a realizar manutenção;
- Formar os colaboradores em relação aos procedimentos de bloqueio/identificação e garantir que os colaboradores autorizados podem realizar os procedimentos de modo adequado;
- Executar, controlar e garantir que os procedimentos implementados estão a ser cumpridos;
- Inspeccionar os procedimentos de bloqueio/identificação bem como os colaboradores devem ser auditados, pelo menos, uma vez por ano.

A norma de bloqueio/identificação da OSHA destaca os 5 requisitos que devem ser cumpridos por todos os cadeados e dispositivos, sendo estes descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos físicos para cadeado e dispositivos (Master Lock Safety Solutions, 2023)

Requisito	Descrição
Durável	Fabricado com materiais que suportam ambientes de utilização.
Substancial	Não pode ser removido, exceto quando aplicada uma força considerável.
Normalizado	Facilmente diferenciados dos outros dispositivos pela cor, formato ou tamanho.
Identificável	Identifica o funcionário autorizado que aplicou o dispositivo.
Exclusivo para segurança	Para ser utilizado apenas em controlo de energia.

Os procedimentos LOTO, de acordo com a norma 29 CFR 1910.147, para o controlo de energias, devem obedecer a uma sequência padronizada e a assegurar que esta é executada de forma correta, garantindo a segurança de todos os intervenientes (Figura 4).

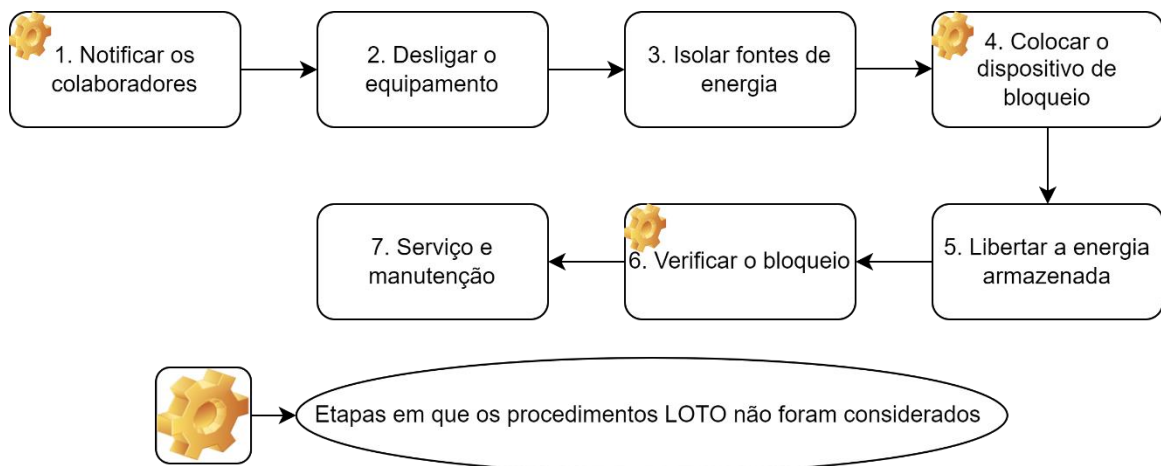


Figura 4 - Padronização dos procedimentos LOTO (OSHA, 2002).

Para além da sequência padronizada, para que a consignação seja efetuada corretamente, a OSHA refere que os procedimentos de notificação a colaboradores, verificação do equipamento consignado e aplicação dos dispositivos de segurança, são de extrema importância. Se estes não forem considerados, incorre-se no risco de um sinistro por parte dos intervenientes, colocando em causa a eficácia do procedimento de consignação LOTO. Na grande maioria dos sinistros, decorrentes do arranque inesperado de máquinas, a principal causa relaciona-se com a aplicação incorreta da sequência dos procedimentos LOTO padronizada pela OSHA (Kumar e Tauseef, 2021b).

2.3.1 A sinistralidade laboral na adoção de procedimentos LOTO

Desde que começaram a ser implementados os procedimentos LOTO, principalmente na indústria, a sinistralidade laboral tem verificado uma redução ao longo dos anos. Contudo, ainda é comum a existência de sinistros, resultantes da inconformidade dos procedimentos aplicados, ou ignorados pelos intervenientes. Como exemplo, na Índia, de acordo com o *National Crime Record Bureau*, ocorreram 411.824 mortes acidentais em 2018, e 421.104 mortes acidentais, no ano de 2019. Destes sinistros ocorridos em 2019, o registo de 13.432 mortes devem-se a electrocução e 1.001 mortes acidentais estiveram relacionadas com o arranque inesperado de máquinas e equipamentos. Dados similares foram obtidos pela *Mine Safety and Health Administration* (MSHA), tendo sido efetuada a análise dos mesmos por Ruff et al., (2011), da agência federal *National Institute for Occupational Safety and Health*, dos Estados Unidos da América. Com base na análise de dados, concluiu-se que um terço dos acidentes ocorridos resultaram do incumprimento dos procedimentos LOTO, tendo este sido considerado como o principal fator contributivo (Ruff et al., 2011).

Esta problemática, foi igualmente reconhecida pela MSHA, no relatório RIN 1219-AB 91. Foi observado neste que 76% das fatalidades estão associadas com atividades laborais próximas ou em redor de transportadores de correias, onde os colaboradores acabaram “presos”, por máquinas ou equipamento que funcionavam com recurso a correias, rolos de correias e pontos de descarga acionado eletricamente. Dos vários fatores identificados, que foram responsáveis pela ocorrência destes sinistros, destacou-se o número de proteções insuficientes, inadequada ou até mesmo a ausência de proteções nas máquinas e equipamentos, em pontos de risco estratégicos e a inadequada execução dos procedimentos LOTO (Kumar e Tauseef, 2021b).

Por este motivo, revela-se pertinente a procura de novas soluções, que visam solucionar a problemática existente, associada ao incumprimento dos procedimentos LOTO.

2.3.2 A digitalização de procedimentos LOTO

Na tentativa de solucionar a problemática de execução inadequada dos procedimentos LOTO durante os processo de consignação de máquinas e equipamentos, vários investigadores exploraram diversas soluções, tais como: o sensor de campo elétrico usado pelo colaborador operacional (Zeng et al., 2010); a aplicação potencial de sistemas inteligentes para a monitorização de máquinas, de equipamentos e das condições de segurança do colaborador baseada em tecnologias IoT; e ainda a conceção de dispositivos relacionados com a segurança de sistemas de controlo de máquinas e equipamentos

(Porras-Vázquez e Romero-Pérez, 2018). Contudo, as soluções apresentadas são limitadas, não sendo integradas com dispositivos LOTO (Gnoni et al., 2020).

Atualmente, encontram-se no mercado algumas soluções baseadas em IoT, que visam solucionar a problemática da integração da informação e dos procedimentos. No decorrer da pesquisa, destacaram-se pelo seu avanço tecnológico e funcional, as seguintes soluções: (1) *Logical Lock*, da empresa nacional *Logical Safety*; e (2) *ScanESC*, da *Rockwell Automation*. Estes *softwares* mostram-se bastante completos, fazendo recurso a dispositivos móveis, transmissão remotamente de informação, bases de dados com sincronização da informação em tempo real, e a integração de tecnologia *QR Code* e *Radio Frequency Identification* (RFID), para a identificação e gestão dos dispositivos de bloqueio utilizados nos procedimentos LOTO. Como funcionalidades destes, de acordo com a *Logical Safety* (2022) e a *Rockwell Automation* (2022) pode referir-se:

- Gestão documental e operacional;
- Avaliações de risco e medidas de controlo;
- Monitorização de consignações em tempo real;
- Controlo de conformidades com pontos de verificação;
- Consignações fiáveis com assistência móvel;
- Suporte de dados para a realização de auditorias;
- Disponibilização e passagem da informação entre turnos e colaboradores.

Segundo as informações disponibilizadas pela *Logical Safety* (2022), várias indústrias nas áreas da petroquímica, cimenteiras e metalúrgicas, já adotaram esta tecnologia, tendo resultado em diversas vantagens da adoção desta tecnologia. Exemplos dessas vantagens são: a redução de incidentes com perdas de tempo, redução do tempo necessário para a realização dos procedimentos LOTO, aumento do tempo para o uso de equipamentos, a redução das responsabilidades das empresas e conseqüente redução da sinistralidade resultante da exposição a riscos ocupacionais. Por esta razão, o caminho a seguir para o aprimoramento dos procedimentos LOTO passa pela inclusão de modelos digitais para o auxílio na sua gestão. Dadas as vantagens já mencionadas, diversas empresas adotaram esta tecnologia, tais como a Poliversal, EDP, SubSea 7, Mocapor, Tecpomte, Chroma Capital, reconhecendo assim os benefícios e necessidades da adoção e implementação deste tipo de tecnologia e inovação (*Logical Safety*, 2022). Os *softwares* guardam a informação numa base de dados em nuvem, que é sincronizada e gerida em tempo real.

Embora estas aplicações sejam versáteis, a problemática que se pretende solucionar é a integração deste tipo de aplicativos com os sistemas DCS, sistemas utilizados para o controlo remoto de máquinas e equipamentos industriais de processos contínuos. Deste modo, a utilização destes modelos gestão para procedimentos LOTO, em conjunto com os sistemas DCS citados anteriormente, possibilita o aumento da produtividade das empresas, como também a redução/ausência dos sinistros associados a máquinas e equipamentos durante ações de manutenção.

2.3.3 Comparação de soluções digitais LOTO

Para uma melhor compreensão das capacidades e limitações das soluções digitais LOTO baseadas em IoT apresentadas no subcapítulo anterior, foi efetuada uma análise comparativa das mesmas. Pretende-se explorar as suas funcionalidades e especificações individuais, conforme descrito na Tabela 2.

Após efetuada a análise comparativa das duas soluções apresentadas, verifica-se que embora as soluções apresentadas cumpram os requisitos da norma da OSHA destinada aos procedimentos necessários para o controlo de energias perigosas, estas também permitem o controlo e gestão de consignações em tempo real. Desta forma, é necessário usar o armazenamento de dados em nuvem, serviço disponibilizado pelo fornecedor do próprio *software*, baseado em tecnologia IoT. Relativamente às diferenças apresentadas, a solução *Logical Lock* destaca-se positivamente por funcionalidades adicionais, oferecendo um maior controlo na execução dos procedimentos de consignação em tempo real, como também na validação dos equipamentos a utilizar através de tecnologia por RFID.

O sistema *Logical Lock* mostrou-se ser a solução mais completa, mas como desvantagem faz uso de um *hardware* específico para a leitura de QR Code / RFID em tempo real, não o tornando tão acessível a todos os colaboradores da organização. Por sua vez, a solução da *ScanEsc* fornecida pela *Rockwell Automation* pode ser utilizada por qualquer colaborador da empresa cliente através de um *smartphone* ou *tablet*, com a devida autorização por parte da entidade empregadora.

Tabela 2 – Análise comparativa das soluções digitais LOTO (Logical Safety, 2022; Rockwell Automation, 2022)

Características	<i>ScanESC da Rockwell Automation</i>	<i>Logical Lock da Logical Safety</i>
Gestão documental e operacional	Permite	Permite
Notifica e informa os funcionários	Permite	Permite
Tecnologia sem fios utilizada para leitura de cadeados/etiquetas	QR Code	RFID / QR Code
Avaliação de riscos por tarefa	Não permite	Permite
Medidas de controlo por tarefa	Permite	Permite
Monitorização em tempo real	Permite	Permite
Controlo e auditoria de conformidades por tarefa	Permite	Permite
Consignações fiáveis por assistência móvel	Permite	Permite
Validação dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) adequados por tarefa	Não permite	Permite
Suporte de dados para auditorias	Permite	Permite
Disponibilidade e transmissão de informação entre turnos laborais	Permite	Permite
Gerir permissões e formações dos funcionários	Permite	Permite
Armazenamento de dados em nuvem disponibilizado pelo fornecedor do <i>software</i>	Permite	Permite
<i>Hardware</i> móvel utilizado para leitura e submissão de dados locais	<i>Smartphone</i> e/ou <i>tablet</i>	<i>Hardware</i> específico do fornecedor de <i>software</i>

Desta forma, as duas soluções mostram-se bastante completas, apesar de não ser possível integrá-las em tempo real com outros *softwares* de operação industrial, como por exemplo os sistemas DCS, dado que estas soluções digitais LOTO utilizam o armazenamento de dados em nuvem, e não foram concebidas para permitir a integração posterior com outros tipos de *software*.

3. Procedimentos LOTO na indústria: inquérito às empresas

Neste capítulo descreve-se o processo de estruturação e implementação do questionário que foi elaborado com o intuito de compreender o estado atual das práticas de consignação de equipamentos e sinistralidade laboral de empresas nacionais com processos produtivos contínuos. Com este questionário pretende-se identificar as problemáticas existentes associadas aos procedimentos LOTO e obter informações relevantes que suportem o desenvolvimento do modelo conceptual de gestão digital de processos de consignação.

3.1 Método de seleção da amostra, recolha e tratamento de dados

Não sendo viável inquirir todos os elementos da indústria a nível nacional, foi selecionado um subgrupo de empresas. Assim, o universo do estudo é constituído por empresas do setor da metalomecânica que prestam serviços na área de manutenção industrial e por indústrias com diversos setores de atividade, tais como, siderúrgica, química, papelreira/celulose, petroquímica, sanitários, cimenteira, automóvel, mármore, abrasivos, cerâmica e farmacêutica, que fazem recurso a máquinas e equipamentos em processos contínuos, com sistemas produtivos em série, e que por este motivo, necessitam de ações de manutenção frequentes, sistemas automatizados e equipamentos eletrónicos com recurso a tecnologias para o controlo e gestão do sistema produtivo. Para proceder à seleção das empresas a incluir no estudo, foi considerada uma amostra por conveniência, tendo como critérios de seleção, a prestação e necessidade de ações de manutenção em máquinas e equipamentos industriais. Assim, do total de 12 571 empresas nos setores de atividade selecionados, foram identificadas 100 empresas para envio do questionário. Esta amostra, tem uma margem de erro de 8%, admitindo um nível de confiança de 90%.

A recolha de informação foi realizada através de um questionário disponibilizado *online*, constituído por perguntas de resposta fechada. Os dados obtidos através da realização do questionário foram tratados confidencialmente e posteriormente utilizados apenas para fins de investigação.

As questões focam-se na sinistralidade laboral, no conhecimento e na prática de procedimentos de consignação em máquinas e equipamentos, necessários nas ações de manutenção e no uso de modelos de gestão digitais baseados em tecnologias emergentes. O processo de análise de dados foi realizado em 4 etapas fundamentais, todas estas de grande relevância, para o cumprimento dos objetivos do estudo:

1 – Definição das questões de investigação: nesta fase foi considerado o tipo de questões (fechadas) e as características dos inquiridos (empresas que efetuam ações de manutenção com processos contínuos e que impliquem a consignação dos equipamentos).

2 – Elaboração da tabela de requisitos de dados: tem como função definir as questões e consequentes variáveis que serão realmente precisas assim como o seu nível de detalhe.

3 – Construção do questionário: dividido em 2 partes tendo-se definido questões com base no princípio da clareza, da coerência e da neutralidade, sendo composto por perguntas concisas, com uma intenção clara e não devem induzir a uma determinada resposta.

4 – Análise de dados: a análise dos dados recolhidos com base nas ferramentas de estatística descritiva. A salientar que a análise da estatística descritiva aplicou-se ao conhecimento da metodologia LOTO, à prática de procedimentos de consignação em máquinas e equipamentos nas ações de manutenção, bem como à adoção e uso de modelos de gestão digitais por parte dos inquiridos.

3.2 Identificação de requisitos na elaboração do questionário

Como já referido, o questionário destinou-se a empresas que prestam serviços de manutenção industrial, sendo estas metalomecânicas e industriais nacionais que requerem intervenções de manutenção nas suas máquinas e equipamentos. Estimou-se que cada questionário demore aproximadamente 5 minutos a ser respondido.

Na Tabela 3 podem observar-se os requisitos que apresentam o objetivo da investigação, o tipo de investigação realizada e as questões de investigação, identificando a variável necessária e o detalhe requerido. Como objetivo da investigação pretende-se analisar o estado atual da sinistralidade laboral, os procedimentos de consignação adotados pelas entidades, para que estas sejam realizadas em segurança e o uso de modelos de gestão digitais LOTO. O tipo de análise efetuado é a análise de estatística descritiva.

O questionário foi dividido em 2 partes, sendo que para poder proceder à realização da 2ª parte, foi necessário recorrer a questões com dependência da 1ª parte do questionário. Por essa razão, todas as questões da 2ª parte serão consideradas como dependentes. A aplicação do questionário possibilitou a obtenção de informações referentes às questões que constam na Tabela 4. As questões foram classificadas quanto ao tipo de pergunta e quanto à sua forma. No Apêndice I, é apresentado o questionário submetido às empresas.

Tabela 3 - Requisitos de dados na elaboração do questionário

Questões de investigação	Variável necessária	Detalhe requerido
1. Há quantos anos iniciou a atividade?	Tempo de atividade	Variável quantitativa discreta
2. Qual o setor de atividade no qual se integra a sua empresa/indústria?	Setor de atividade	Variável qualitativa nominal
3. São realizadas intervenções, em contexto da manutenção de máquinas ou equipamentos?	Realiza ações de manutenção	Variável qualitativa nominal
4. Se sim, são utilizados procedimentos de consignação para as máquinas ou equipamentos, antes de cada intervenção?	Utiliza procedimentos de consignação	Variável qualitativa nominal
5. Com que frequência são efetuadas ações de manutenção?	Frequências das ações de manutenção	Variável qualitativa ordinal
6. Qual o nível de sinistralidade anual considerado pela empresa, nas intervenções de manutenção?	Número de sinistros por ano	Variável quantitativa discreta
7. Relativamente ao arranque inesperado de máquinas ou equipamentos ocorridos durante ações de manutenção industrial, já resultaram destes sinistros?	Ocorrência de sinistros resultantes do arranque inesperado de máquinas e equipamentos	Variável qualitativa nominal
8. São efetuados procedimentos de segurança, antes de proceder a uma intervenção de manutenção em máquinas ou equipamentos, como por exemplo, o corte da alimentação de eletricidade ou outras matérias (elétrica, pneumática ou fluidos)?	Realização de procedimentos de segurança	Variável qualitativa nominal
9. Tem conhecimento dos procedimentos LOTO, utilizados para a consignação de máquinas ou equipamentos?	Conhecimento de procedimentos LOTO	Variável qualitativa nominal
10. Utiliza atualmente procedimento LOTO, na consignação de máquinas ou equipamentos?	Realização de procedimentos LOTO	Variável qualitativa nominal
11. Se sim, os procedimentos LOTO são executados com o suporte de algum software/aplicativo, para auxílio na sua implementação e gestão?	Realização de procedimentos LOTO com recurso a modelos de gestão digital	Variável qualitativa nominal
12. Utiliza um sistema "DCS" para operação e controlo remoto de máquinas e equipamentos?	Utilização de sistemas "DCS"	Variável qualitativa nominal

Tabela 4 - Caracterização das questões em função da tipologia e forma

Questões de investigação	Classificação quanto ao tipo de pergunta	Classificação quanto à sua forma
1. Há quantos anos iniciou a atividade?	Direta específica	Fechada
2. Qual o setor de atividade no qual se integra a sua empresa/indústria?	Direta específica	Fechada
3. São realizadas intervenções, em contexto da manutenção de máquinas ou equipamentos?	Direta específica	Fechada
4. Se sim, são utilizados procedimentos de consignação para as máquinas ou equipamentos, antes de cada intervenção?	Direta específica	Fechada
5. Com que frequência são efetuadas ações de manutenção?	Direta específica	Dependente
6. Qual o nível de sinistralidade anual considerado pela empresa, nas intervenções de manutenção?	Direta específica	Dependente
7. Relativamente ao arranque inesperado de máquinas ou equipamentos ocorridos durante ações de manutenção industrial, já resultaram destes sinistros?	Direta específica	Dependente
8. São efetuados procedimentos de segurança, antes de proceder a uma intervenção de manutenção em máquinas ou equipamentos, como por exemplo, o corte da alimentação de eletricidade ou outras matérias (elétrica, pneumática ou fluidos)?	Direta específica	Dependente
9. Tem conhecimento dos procedimentos LOTO, utilizados para a consignação de máquinas ou equipamentos?	Direta específica	Dependente
10. Utiliza atualmente procedimento LOTO, na consignação de máquinas ou equipamentos?	Direta específica	Dependente
11. Se sim, os procedimentos LOTO são executados com o suporte de algum software/aplicativo, para auxílio na sua implementação e gestão?	Direta específica	Dependente
12. Utiliza um sistema "DCS" para operação e controlo remoto de máquinas e equipamentos?	Direta específica	Dependente

O questionário foi enviado e disponibilizado às empresas inquiridas através da plataforma *Google Forms*. O formulário encontra-se disponível e pode ser consultado através de hiperligação (<https://forms.gle/PQmnEDREpagqibQ6>).

Após a sua conceção, foram realizados testes piloto para validação do questionário. Neste processo, alguns elementos foram alterados e corrigidos, como por exemplo, a questão número 2, referente aos setores de atividade. Alguns tipos considerados numa fase inicial, não se adequavam ao estudo da amostra de empresas selecionada para a decorrente investigação, devido ao tipo de processo produtivo das mesmas. Nesse sentido, foram efetuadas alterações nas alternativas de resposta por parte dos inquiridos para adequar as mesmas à amostra selecionada (Tabela 5).

Tabela 5 - Alteração efetuada na questão relativa ao setor de atividade

Setores de atividade antes da validação do questionário	Setores de atividade após a validação do questionário
- Bens de consumo;	- Farmacêutica;
- Mineira / Extrativa;	- Petroquímica;
- Têxtil;	- Cimenteira;
- Calçado;	- Metalomecânica;
- Papeleira / Celulose;	- Papeleira / Celulose;
- Siderúrgica;	- Siderúrgica;
- Alimentar;	- Cerâmica;
- Química;	- Química;
- Outra.	- Plásticos;
	- Outra.

3.3 Análise dos resultados do questionário

Tendo o questionário sido submetido a uma amostra de 100 empresas nacionais, foi obtida uma taxa de resposta de 23%. Esta percentagem de respostas ao questionário é relativamente baixa, limitando, em certa medida, as conclusões que possam ser retiradas sobre questões de investigação elaboradas. Não obstante, importa assim salientar que foram realizados vários reforços via correio eletrónico e telefonicamente para que as empresas colaborassem no preenchimento do questionário.

As duas primeiras perguntas do questionário correspondem a uma breve caracterização das empresas. Em relação ao tempo de atividade laboral, das 23 empresas respondentes, 21,7% laboram há menos de 10 anos, 43,5% laboram entre 10 a 20 anos, e 34,8% laboram há mais de 20 anos, conforme apresentado na Figura 5.

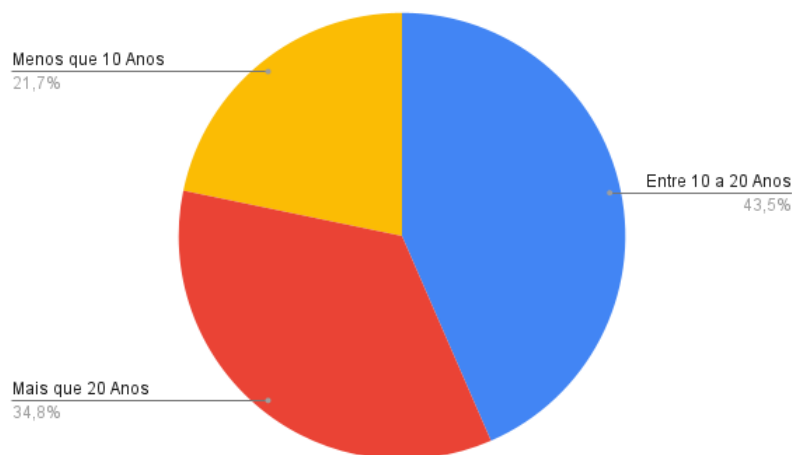


Figura 5 - Análise das respostas das empresas em relação ao tempo de atividade laboral.

Quanto ao setor de atividade no qual se integram as empresas, conforme apresentado na Figura 6, verificou-se que 26,1% (6 das 23 empresas) são empresas do setor da celulose (papel), 17,4% (4 das 23 empresas) pertencem indústrias químicas e com a mesma percentagem de resposta identificam-se as empresas prestadoras de serviços na área metalomecânica. As empresas da indústria cerâmica e indústrias cimenteiras representam 8,7% (2 das 23 empresas), respetivamente. Foi obtida resposta de apenas uma empresa do setor alimentar, uma empresa do setor da energia e uma empresa do setor da fundição.

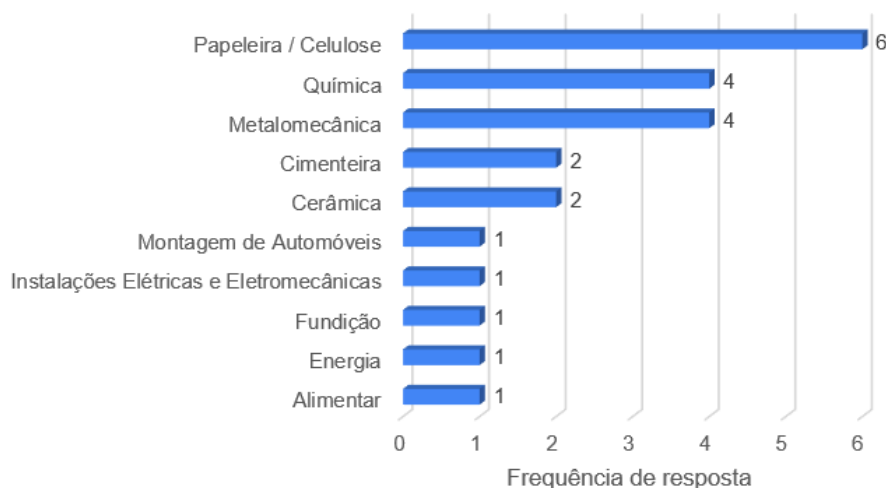


Figura 6 - Análise das respostas das empresas em relação ao setor de atividade.

Quando inquiridas sobre a realização de intervenções mecânicas, em contexto de manutenção de máquinas ou equipamentos, todas as empresas responderam afirmativamente, ou seja, 100% das empresas executam intervenções (questão nº 3).

Já quando questionados se são utilizados procedimentos de consignação para as máquinas ou equipamentos antes de cada intervenção (questão nº 4), das 23 empresas, 21,7% respondeu não utilizar procedimentos de consignação antes de cada intervenção, conforme demonstrado na Figura 7.

Estas empresas não serão consideradas nas questões seguintes, uma vez que não fazem uso dos procedimentos de consignação. Desta forma, doravante, as percentagens apresentadas representam um total de 18 empresas que efetivamente usam procedimentos de consignação de máquinas e equipamentos.

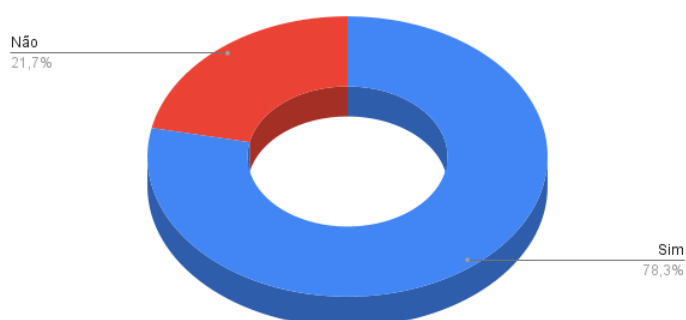


Figura 7 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de processos de consignação de máquinas e equipamentos em contexto de manutenção.

Relativa à frequência com que são executadas ações de manutenção em máquinas e equipamentos (questão nº 5), a maioria das empresas, 77,8%, respondeu que as ações de manutenção são executadas com uma periodicidade diária. As empresas que efetuam as ações de manutenção em paragens programadas representam 16,7% e as empresas que executam as ações de manutenção em máquinas e equipamentos com uma periodicidade mensal representam 5,6%. Nenhuma das empresas respondeu que efetua as ações de manutenção semanalmente, nem em paragens não programadas.

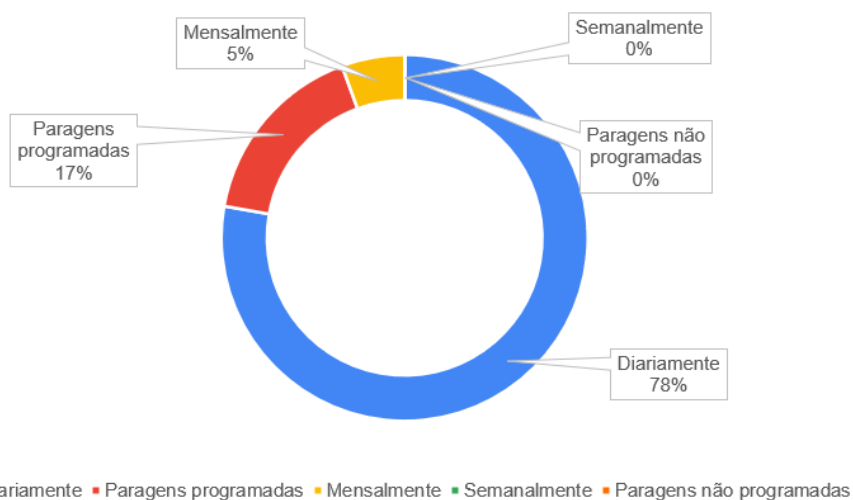


Figura 8 - Análise das respostas das empresas referente à periodicidade de manutenção.

Sobre o nível de sinistralidade laboral nas intervenções de manutenção (questão nº 6), 38,9% das empresas que usam procedimentos de consignação de máquinas e equipamentos respondeu não ter nenhum acidente há menos de um ano. Com a mesma percentagem, ou seja, 7 das 18 empresas responderam ter mais do que três acidentes por ano. Duas empresas responderam ter pelo menos 1 acidente de trabalho no período de um ano e outras das empresas responderam ter entre 2 e 3 acidentes de trabalho no período de um ano. A análise das respostas das empresas referente à sinistralidade laboral é apresentada na Figura 9.

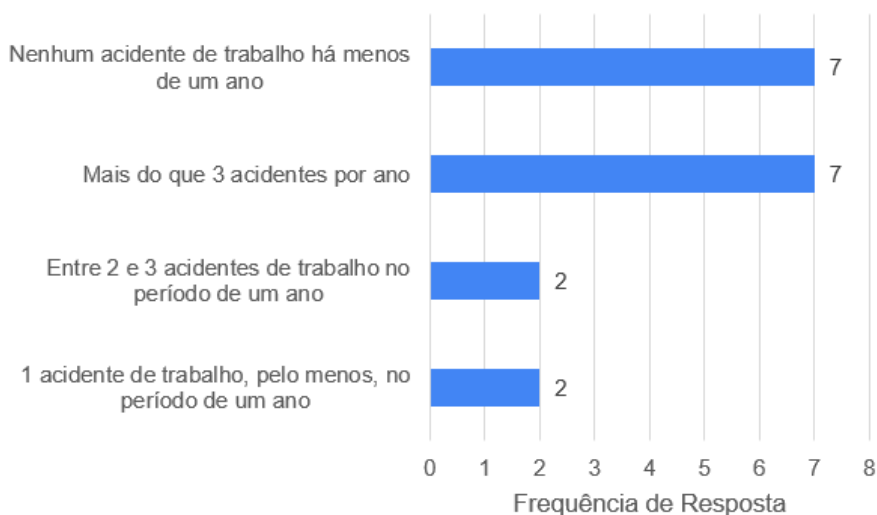


Figura 9 - Análise das respostas das empresas referente à sinistralidade laboral.

Quando questionadas sobre a ocorrência de sinistros no arranque inesperado de máquinas e equipamentos (questão nº 7), durante ações de manutenção (procedimentos de consignação), 33,3% das empresas respondeu afirmativamente, ou seja, já resultaram sinistros decorrentes dos arranques inesperados de máquinas e equipamentos durante ações de manutenção (Figura 10).

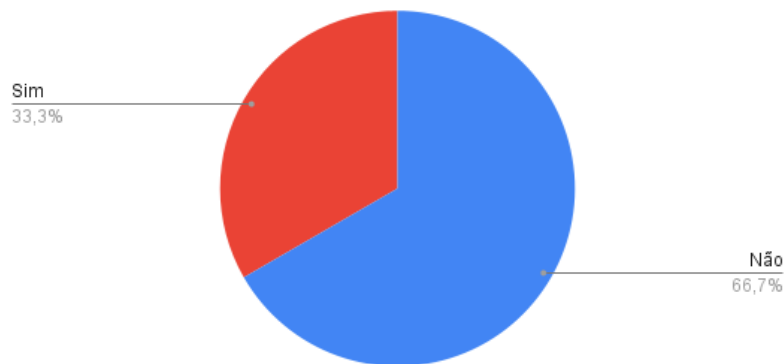


Figura 10 - Análise das respostas das empresas referente aos sinistros resultantes do arranque de máquinas e equipamentos.

Considerando as possíveis consequências e gravidade dos acidentes de trabalho para as equipas de manutenção, estas ocorrências devem ser minimizadas através da adoção de procedimentos de segurança. Assim, foi questionado (questão nº 8), se são efetuados procedimentos de segurança, antes de proceder a uma intervenção de manutenção em máquinas ou equipamentos, como por exemplo, o corte da alimentação de eletricidade ou outras matérias (elétrica, pneumática ou fluidos). Todas as empresas responderam efetuar procedimentos de segurança (100% de respostas afirmativas).

Relativamente aos procedimentos LOTO, foram primeiramente colocadas as questões nº9 e nº10: “*Tem conhecimento dos procedimentos LOTO, utilizados para a consignação de máquinas ou equipamentos?*” e se “*Utiliza atualmente procedimento LOTO, na consignação de máquinas ou equipamentos?*”. Uma percentagem de 66,7% das empresas responderam ter conhecimento dos procedimentos LOTO para a consignação de máquinas e equipamentos, conforme demonstrado na Figura 11.a).

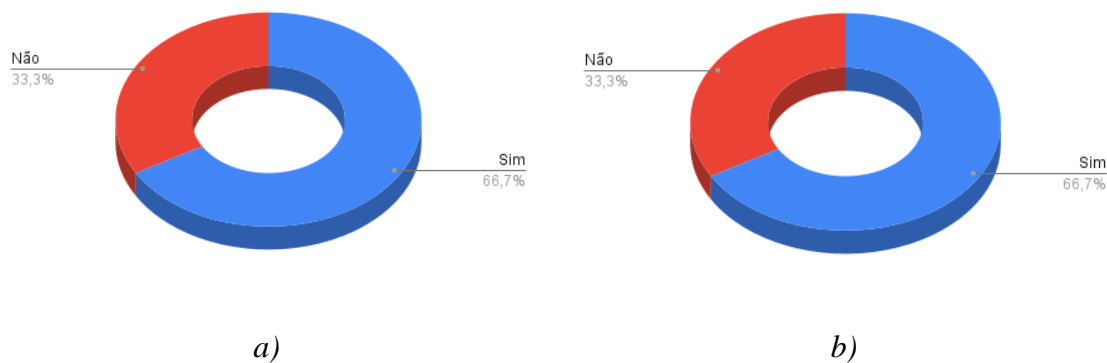


Figura 11 - Análise das respostas das empresas referente ao: a) conhecimento dos procedimentos LOTO; b) utilização dos procedimentos LOTO na empresa na consignação de máquinas e equipamentos.

Por sua vez, todas as empresas que afirmaram ter conhecimento das práticas LOTO responderam que as usam nas suas práticas de consignação de equipamentos (Figura 11.b). Desta forma, as questões subsequentes só foram respondidas por um total de 12 empresas, ou seja, as empresas que usam procedimentos LOTO.

Conforme apresentado na Figura 12, verificou-se que apenas 20% afirma que os procedimentos LOTO são executados com o suporte de algum *software* e/ou aplicação, para auxílio na sua implementação e gestão. Ou seja, apesar de reduzido o número de empresas incluídas no estudo, é representativo pela amostra envolvida no estudo que a maioria das empresas executados procedimentos LOTO sem recurso a ferramentas digitais. Embora a maior parte das empresas recorra ainda ao registo e gestão manual das consignações, estas acabam por reconhecer os benefícios da sua prática.

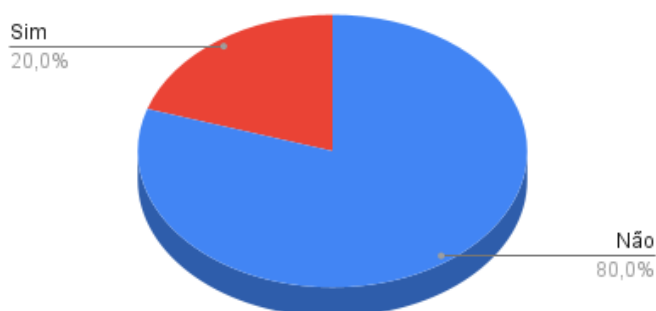


Figura 12 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de *software* para auxílio na implementação e gestão dos procedimentos LOTO.

Relativa ao uso de sistemas DCS para operação e controlo remoto de máquinas e equipamentos, verificou-se que 50,0% das empresas não recorre a este tipo de sistemas, conforme demonstrado na Figura 13.

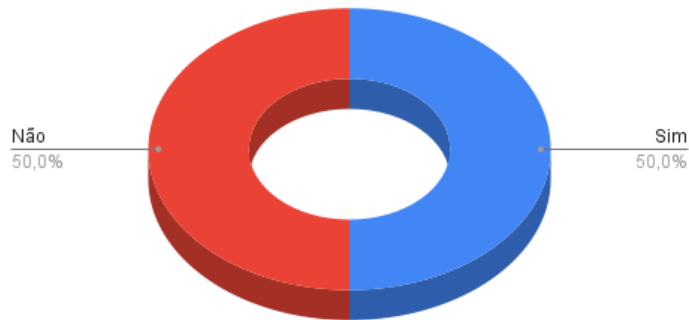


Figura 13 - Análise das respostas das empresas referente à utilização de sistemas DCS para operação e controlo de máquinas e equipamentos.

Com base na análise das respostas ao questionário, destacam-se as seguintes constatações:

- A maior parte das empresas que responderam ao questionário, contam com mais de 10 ou 20 anos de laboração e pertencem ao setor da celulose (pasta de papel), da indústria química e dos serviços da metalomecânica;
- Nem sempre são executados os procedimentos de consignação em cada intervenção;
- A maioria das ações de manutenção industrial são executadas com uma frequência diária, ou em paragens programadas;
- Relativamente ao nível de sinistralidade anual das empresas, nas intervenções de manutenção, duas situações distintas ocorrem com maior frequência: (1) empresas que utilizam os procedimentos de consignação não têm acidentes há menos de um ano; (2) empresas que não fazem uso dos procedimentos de consignação, incorrem em mais de 3 sinistros por ano;
- Mesmo fazendo recurso aos procedimentos LOTO na consignação de máquinas e equipamentos, podem ocorrer sinistros dado o registo de consignaões ser efetuado manualmente na maioria das empresas, sem o suporte de um *software* ou ferramenta digital;
- As empresas que responderam conhecer os procedimentos LOTO, utilizam-nas. O desconhecimento por parte das restantes empresas, pode resultar incorreta execução dos procedimentos de consignação;

- Metade das organizações inquiridas não recorre a sistemas DCS para a operação de máquinas e equipamentos;
- A falta de digitalização dos procedimentos LOTO e a não integração de monitorização dos sistemas através de sistemas DCS pode assim dificultar a execução e o controlo dos processos de manutenção industrial, sem que a informação possa ser veiculada em tempo real.

4. Parametrização dos procedimentos de consignação

Para poder intervir com segurança, é necessário adotar procedimentos de consignação em máquinas e equipamentos, isolando todas as fontes energéticas, que são responsáveis por provocar o seu arranque inesperado, como também o acionamento de fontes de energia de diversas tipologias, suscetíveis de causar acidentes de trabalho. Neste capítulo são abordados os procedimentos mais comuns, referente aos procedimentos de consignação em fontes elétricas, e os procedimentos mais comuns a adotar, quando as máquinas e equipamentos intervencionados são alimentados por circuitos hidráulicos e pneumáticos.

4.1 Considerações iniciais

Em conformidade com os procedimentos abrangidos pela norma da OSHA, e com vista à melhor definição da proposta do modelo de gestão digital de procedimentos LOTO, foram considerados os mesmos requisitos, estando os mesmos procedimentos presentes no dia-a-dia das indústrias portuguesas.

Embora o procedimento LOTO seja considerado eficaz, a sinistralidade continua a ocorrer nas empresas dado o incumprimento dos procedimentos definidos na consignação de máquinas ou equipamentos. A principal razão deste incumprimento prende-se com o elevado volume de intervenções necessárias em simultâneo e a existência de regimes de laboração em jornada contínua, aplicados em indústrias com produção em massa (com laboração de 24 horas diárias, 7 dias por semana).

O elevado número de consignações efetuadas simultaneamente durante as paragens programadas para manutenção depende da sua duração e abrangência, tornando difícil a sua gestão em simultâneo. A análise deste problema é agravada pelo facto de o horário de laboração de um colaborador operacional ser de 8 horas, na generalidade da indústria. Por esse motivo, a desconsignação de um equipamento pode ser efetuada por outro colega de trabalho em intervenções mais demoradas, num turno subsequente. Este problema, associado ao incumprimento dos passos de registo documental, pode resultar no arranque inesperado de máquinas e equipamentos, ocorrendo acidentes de trabalho, podendo estes serem fatais para os intervenientes.

Neste sentido, é necessário o planeamento e conceção de modelos de gestão digital LOTO, que sejam compatíveis com a integração dos sistemas DCS existentes na indústria.

4.2 Sequência dos procedimentos nas ações de consignação

De uma forma genérica, para poder proceder à consignação de máquinas e equipamentos, é necessário seguir rigorosamente uma determinada ordem de procedimentos, para que todas as intervenções de manutenção sejam efetuadas em segurança. O procedimento LOTO, já é utilizado há várias décadas, continuando a estar presente nas ações de consignação para manutenção de equipamentos. Portanto, a sequência dos procedimentos de consignação deverá obedecer a uma ordem lógica, depois de os colaboradores serem notificados das ações que vão decorrer:

- 1- Paragem de funcionamento do equipamento a intervir;
- 2- Isolamento das fontes de energia do equipamento (*i.e.*, corte de energia elétrica; remoção de fusíveis; fecho manual de válvulas, corte de alimentação hidráulica ou pneumática, purga de condutas de fluidos, alívio de pressão do equipamento);
- 3- Teste de arranque ao equipamento consignado, de modo a verificar a segurança para intervenção no mesmo, após o passo anterior;
- 4- Colocar cadeados e etiquetas em válvulas, disjuntores, interruptores elétricos, e potenciais fontes de fugas. Os cadeados devem ser codificados e as etiquetas devem ser fixadas de forma segura e visível, como também é efetuado o registo documental do equipamento consignado;
- 5- Efetuar as ações de manutenção planeadas em segurança (intervenção);
- 6- Efetuar o registo de desconsignação (término do trabalho realizado), assim que todos os intervenientes tenham saído do local;
- 7- Remoção de cadeados e etiquetas;
- 8- Reposição das condições para o funcionamento do equipamento.

4.3 Funcionamento e consignação elétrica em sistemas DCS

Na indústria, o fornecimento de energia elétrica a máquinas e equipamentos, é acionado através de quadros elétricos, localizados em salas destinadas a esse efeito. Estas reúnem condições de segurança específicas, tais como sistemas de refrigeração, deteção de fumo e extinção de incêndios.

Os quadros elétricos, são responsáveis por fornecer energia às *drives* que controlam as máquinas e equipamentos destinados a cada um destes. Cada máquina ou equipamento, tem individualmente uma *drive* atribuída. Nos quadros elétricos, é efetuada a consignação e desconsignação das máquinas e equipamentos, realizando o corte ou ligação de energia elétrica à *drive* associada. Ao realizar a ação de consignação, é efetuado o corte de energia, impedindo desta forma o seu funcionamento ou arranque inesperado. A Figura 14 ilustra uma situação de consignação elétrica de equipamento.



Figura 14 - Equipamento consignado eletricamente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

As *drives* eletrónicas são responsáveis pelo controlo de máquinas e equipamentos. Estas têm variadas funções, tais como ligar e desligar, assumindo tipologias mais complexas, como por exemplo, *drives* com variador que, tal como o nome indica, possuem a capacidade de regular o funcionamento da máquina ou equipamento, considerando requisitos como a velocidade, carga elétrica ou abertura (ver exemplo da Figura 15). As *drives* eletrónicas são alimentadas eletricamente por quadros elétricos, e o controlo do dispositivo associado pode ser feito localmente ou então remotamente, através do sistema DCS.



Figura 15 - *Drives* eletrónicas com variador (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

As *drives* eletrónicas quando ligadas, indicam ao sistema DCS o seu estado de prontidão. O utilizador do sistema operativo pode remotamente controlar o mesmo, e em caso de este estar desligado ou consignado, receberá a informação do seu estado em tempo real. Para conseguir monitorizar e operar em tempo real as máquinas ou equipamentos remotamente, a informação do sistema é sincronizada através de interfaces eletrónicas. Estas recebem e transmitem sinais eletrónicos/digitais das *drives* e respetivo sistema DCS, interpretando a informação recolhida dos dispositivos eletrónicos, e emitindo-a em tempo real para o sistema informático ou drive associado. Para cada *drive*, é associada uma interface específica, que costumam estar armazenadas no interior de quadros elétricos destinados às mesmas.

No interior dos quadros de controlo DCS, pode encontrar-se a alimentação elétrica, disjuntores, as interfaces responsáveis pela comunicação com as *drives* (Figura 16), entre outros componentes.



Figura 16 - Interfaces DCS (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Como já referido, se o dispositivo estiver com um estado de prontidão de arranque, a interface dará a indicação com o dígito “1” ao sistema de operação DCS. Caso contrário, se a *drive* a que a interface está conectada se encontrar desligada ou consignada, dará a indicação com o dígito “0” ao sistema de operação DCS, interpretando que a mesma se encontra consignada ou parada para intervenção de manutenção.

A título de exemplo, considerando os atuais sistemas de controlo centralizado, onde os diferentes equipamentos podem ser remotamente controlados, é possível a integração dos LOTO com o sistema DCS. Se a informação estiver sincronizada em tempo real, será possível controlar o funcionamento de máquinas e equipamentos, dependendo do estado de consignação que se encontra no quadro elétrico que fornece energia a determinado equipamento. Se este estiver como consignado, este deverá impedir o funcionamento da máquina ou equipamento designado. Por sua vez, se o equipamento estiver como desconsignado, deverá funcionar normalmente conforme a informação disponibilizada pelo sinal elétrico da máquina ou equipamento emitido pela interface. Na Figura 17, pode observar-se um exemplo de controlo centralizado existente na indústria, que mostra o estado de um equipamento consignado e outro desconsignado, de modo a ter a perceção da sua aplicabilidade tirando partido dos sistemas de controlo já existentes.

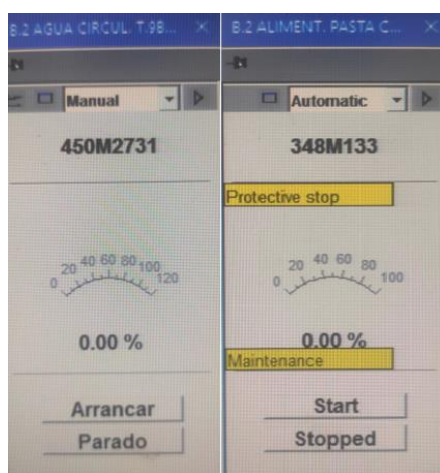


Figura 17 - Equipamento desconsignado/consignado (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Deste modo, é possível impedir o arranque não autorizado de máquinas e equipamentos durante as ações de manutenção, incrementando um aumento de produtividade pela empresa, gerindo mais facilmente todos os procedimentos de consignação, e consequentemente, reduzir a sinistralidade que é afetada por esta atividade.

4.4 Procedimento de consignação em circuitos pneumáticos e hidráulicos

Embora sejam efetuadas as consignações de fontes de energia elétrica em máquinas e equipamentos, estas não são suficientes, quando utilizadas fontes de energia hidráulica e pneumática nas suas operações. Após a paragem e consignação elétrica do equipamento, é necessário retirar fluidos ou despressurizar circuitos no caso de circuitos hidráulicos; e despressurizar pressões gasosas, no caso dos circuitos pneumáticos. Isto deve-se ao facto de estes funcionarem em circuitos fechados com uma pressão definida, para exercer uma determinada força/pressão nas suas funções.

Na Figura 18, pode observar-se uma válvula manual, onde é possível isolar ou alimentar circuitos pneumáticos alimentados a “ar”, sendo esta a composição gasosa mais comum utilizada neste tipo de circuitos. Embora estes sejam isolados, é necessário despressurizar o circuito, através de válvulas de segurança.

Na Figura 19, é apresentado um exemplo de regulador de pressão pneumática, geralmente implementado na entrada de um circuito pneumático fechado. Neste dispositivo, é possível ajustar a pressão de trabalho desejável e, em caso de paragem para intervenção mecânica, saber a pressão do circuito, através do manómetro de pressão. Do lado direito do regulador, pode observar-se uma patilha de segurança de cor vermelha, utilizada para realizar a despressurização do circuito. O fecho de válvulas manuais de alimentação pretende garantir a condição de segurança na ação de manutenção a efetuar. Quando o manómetro indicar uma pressão nula (pressão de 0 bar), confirma-se que o equipamento se encontra em conformidade para ser intervencionado.



Figura 18 - Válvula manual de alimentação pneumática (Navigator Pulp Aveiro, 2023).



Figura 19 - Regulador de pressão pneumática com patilha de despressurização (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

No caso de realizar intervenções em máquinas ou equipamentos que são alimentados por circuitos hidráulicos, estes carecem de cuidados mais específicos. Genericamente, estes possuem a capacidade de exercer pressões superiores àquelas que geralmente são utilizadas em circuitos pneumáticos, podendo originar sinistros mais graves, resultantes do seu arranque inesperado ou da despressurização destes circuitos.

Na Figura 20, é exemplificada uma unidade hidráulica utilizada em contexto industrial.

Para que as ações de manutenção sejam efetuadas em segurança após a consignação de fontes de energia elétrica, é necessário despressurizar os sistemas e efetuar a purga das condutas dos fluidos (por exemplo, óleo lubrificante) utilizados nestes circuitos fechados. Após terem sido efetuados estes procedimentos, são isoladas as válvulas manuais responsáveis pela alimentação do circuito hidráulico nas máquinas e equipamentos. O isolamento destas válvulas deve ser efetuado após a paragem elétrica de motores e a despressurização dos circuitos, para obter a garantia de segurança de que estes não voltam a estar pressurizados, devido ao arranque involuntário de motores ou outras condicionantes. Estando assegurados os procedimentos de segurança referenciados, e verificada a ausência de pressão nos manómetros de pressão hidráulica, é possível intervir em segurança nas máquinas e equipamentos, evitando assim a libertação inesperada de energia proveniente dos circuitos hidráulicos, bem como dos seus respetivos componentes integrados alimentados pelo mesmo circuito. A Figura 21 ilustra uma válvula para regulação de pressão hidráulica.



Figura 20 - Unidade hidráulica para máquinas e equipamentos hidráulicos (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

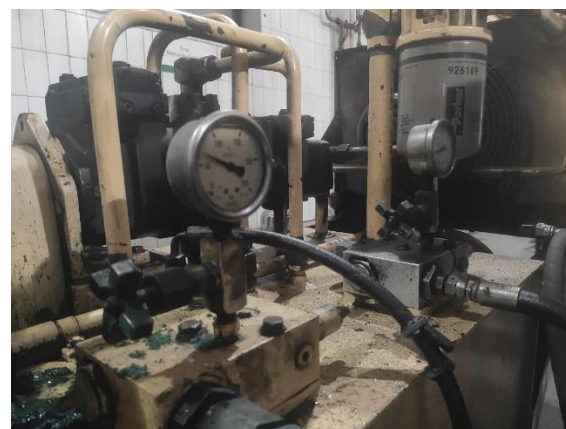


Figura 21 - Válvulas para regulação de pressão hidráulica (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

5. Proposta de modelo de gestão digital de procedimento LOTO

Neste capítulo é apresentada a proposta de modelo de gestão digital de procedimento LOTO. O modelo visa também cumprir alguns dos objetivos definidos, nomeadamente dos sistemas de gestão da qualidade, segurança e saúde ocupacional, bem como dos normativos de manutenção industrial referenciados no enquadramento teórico. O modelo foi projetado para sistemas baseados em IoT, na comunicação e processamento dos dados, e a integração de sistemas DCS usados na operação industrial. Com a proposta de modelo de gestão digital, apresentam-se as sistemáticas e os requisitos abrangidos pela norma da OSHA.

5.1 Criação de sistemáticas para a definição do modelo

Para o modelo de gestão digital de procedimentos de consignação, revela-se fundamental padronizar a sequência dos procedimentos LOTO. A padronização a desenvolver é baseada nos requisitos regulamentados pela norma 29 CFR 1910.147 da OSHA e nas ações a realizar através da aplicação que permitem a criação e submissão dos registos para a base de dados das consignações efetuadas. Desta forma, é possível padronizar os processos de consignação para serem digitalizados adequadamente, respeitando todos os cuidados a ter em cada ação de manutenção.

São apresentados três casos distintos de sistemáticas com diferentes cenários de consignação. Na primeira sistemática é definida a sequência de procedimentos para uma ação de manutenção, com a necessidade exclusiva de consignação elétrica; na segunda sistemática, é apresentado um caso em que para além da consignação elétrica, é necessário a consignação mecânica de válvulas, sendo mais comum este tipo de consignação em equipamentos que fazem recurso a circuitos hidráulicos e pneumáticos, ou outro tipo de fluidos na sua operação. Por último, é apresentado um caso de consignação excepcional, em que é realizada exclusivamente uma consignação mecânica.

Como atores a intervir nos diversos procedimentos, podem-se identificar: os responsáveis da área de produção, os responsáveis e colaboradores pela execução da manutenção, técnicos de segurança, e técnicos de controlo e potência. Antes de qualquer ação de manutenção, destaca-se a obrigatoriedade de todos os colaboradores das respetivas áreas serem notificados para o devido efeito, sejam intervenientes ou não nas ações a efetuar. Independentemente dos diferentes cenários de consignação, é necessário o cumprimento dos seguintes procedimentos:

- Notificação dos colaboradores;

- Paragem do equipamento;
- Isolamento das fontes de energia;
- Aplicação do dispositivo de bloqueio;
- Libertação das fontes de energia armazenadas;
- Verificação da consignação.

5.1.1 Consignação exclusivamente elétrica

Nesta primeira sistemática são apresentados os procedimentos de consignação para uma ação de manutenção, com consignação exclusivamente elétrica. No meio industrial, este é o procedimento de consignação executado com maior frequência no dia-a-dia das empresas. Na Figura 22, pode observar-se um equipamento acionado eletricamente, que para realizar uma ação de manutenção é exclusivamente consignado eletricamente.



Figura 22 - Transportador acionado eletricamente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Para poder realizar em segurança a ação de manutenção, devem ser respeitados todos os procedimentos de consignação, de acordo com a sua sequência. No diagrama de processos para o procedimento LOTO apresentado na Figura 23, encontram-se os 12 procedimentos definidos para esta sistemática.

Embora os procedimentos de consignação tenham uma ordem obrigatória de execução, algumas das tarefas têm tempos de execução variáveis, uma vez que as ações de manutenção dependem da sua especificidade, bem como o facto de a consignação elétrica dos próprios equipamentos poder ser realizada com diferentes níveis de complexidade.

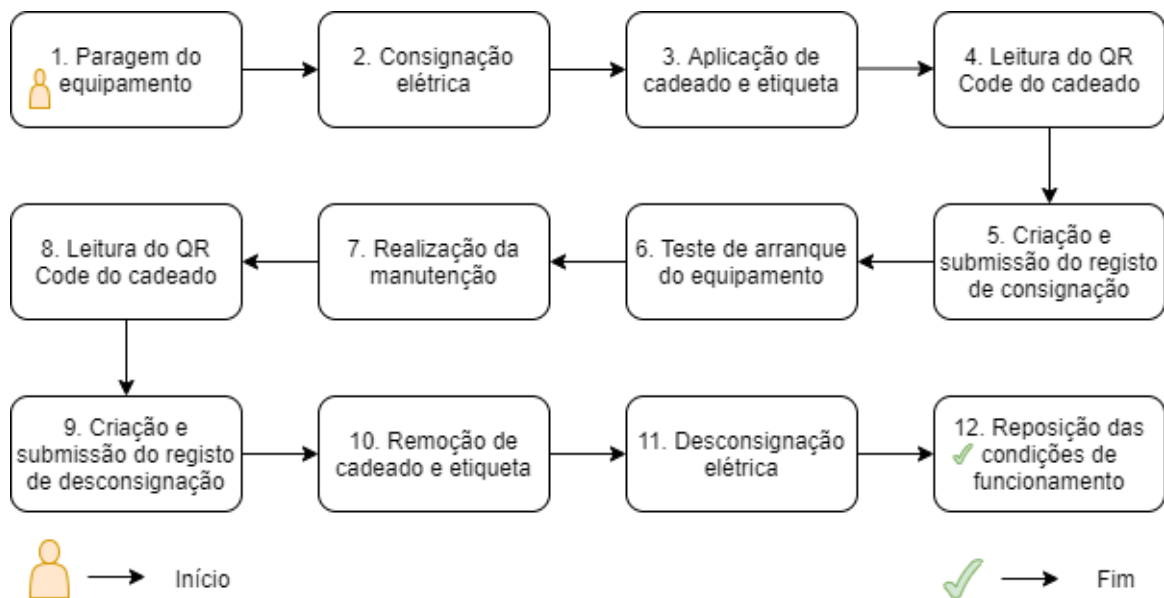


Figura 23 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO para consignação exclusivamente elétrica.

Para estimar os tempos de ciclo de execução das operações, foi adotada a técnica de estudo dos tempos por amostragem. Para os diferentes tipos de procedimento de consignação, foram realizadas 5 observações destes procedimentos em contexto de trabalho e sem ocorrência de incidentes. As observações e dados foram recolhidos com a devida autorização, em processos de consignação no contexto da empresa Navigator Pulp.

Assim, foram considerados os tempos de acordo com a divisão do processo de consignação nos procedimentos da respetiva sistemática. Com base nos tempos observados, calculou-se a média dos tempos.

Contudo, para estes corresponderem a tempos de ciclo de referência, foram ponderados fatores de flutuação (margem temporal), considerando a experiência dos executantes, as ferramentas utilizadas e a condição física dos equipamentos a intervir. Assim, foi considerada uma margem de segurança entre 5 a 15 segundos por operação, adequando deste modo os tempos de execução à maioria dos intervenientes. Saliente-se que o mesmo procedimento foi aplicado à estimativa de tempo de ciclo das operações das restantes tipologias de consignação.

No caso específico da criação e submissão dos registos de consignação/desconsignação, foi cronometrado o tempo necessário para preencher o formulário de submissão de dados criado para o modelo conceptual, acrescentando ao mesmo uma margem de segurança de 20 segundos para a sua realização.

Na Tabela 6 encontram-se expostas as operações a executar, os respetivos intervenientes e tempos de execução. Com a execução da sequência de operações padronizáveis, o tempo total de ciclo estimado para o procedimento de consignação exclusivamente elétrica tem uma duração aproximada de 7 minutos e 40 segundos, decorrendo sem incidentes.

As operações de “7. realização da manutenção” e de “12. reposição das condições de funcionamento” não podem ser padronizadas, uma vez que dependem das especificidades dos sistemas, dependendo das ações de manutenção a executar, das especificações e tipologia do equipamento a ser intervencionado. Nesta análise, não foram consideradas as deslocamentos entre o espaço de trabalho e a sala de quadros para proceder à consignação/desconsignação elétrica.

Tabela 6 - Tempos das operações do ciclo de consignação exclusivamente elétrica

Tarefa	Interveniente	Tempo de ciclo estimado
1.Paragem do equipamento	Resp. Área de Produção	10 seg.
2.Consignação elétrica	Téc. Controlo e Potência	40 seg.
3.Aplicação de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
4.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
5.Criação e submissão do registo de consignação	Resp. Área de Produção, Resp. de Execução, Téc. de Segurança	120 seg.
6.Teste de arranque	Resp. Área de Produção	10 seg.
7.Realização da manutenção	Resp. e Colaboradores de Execução	Variável
8.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
9.Criação e submissão do registo de desconsignação	Resp. Área de Produção, Resp. de Execução, Téc. de Segurança	120 seg.
10.Remoção de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
11.Desconsignação elétrica	Téc. Controlo e Potência	40 seg.
12.Reposição das condições de funcionamento	Resp. Área de Produção	Variável
Tempo de ciclo estimado das operações padronizáveis		460 seg. (7min:40s)

5.1.2 Consignação elétrica de circuitos pneumáticos e hidráulicos

Na segunda sistemática são apresentados os procedimentos de consignação para uma ação de manutenção, recorrendo a consignações de tipologia elétrica e mecânica. Este procedimento de consignação é executado em equipamentos que integram circuitos hidráulicos, pneumáticos ou outro tipo de fluidos, como por exemplo água ou outras soluções químicas. Na Figura 24, pode ser observado um equipamento acionado eletricamente que requer uma consignação elétrica e outra mecânica para a realização de ações de manutenção. Para tal, efetua-se a remoção de fluidos através da válvula de purga existente e é realizado o isolamento das válvulas de admissão e compressão à entrada e saída da bomba.



Figura 24 - Motor elétrico acoplado a bomba industrial (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Para se realizar a ação de manutenção, devem ser respeitados todos os procedimentos de consignação de acordo com a sua sequência, tendo neste caso específico, a obrigatoriedade da remoção de fluidos e o isolamento de circuitos com o fecho de válvulas. No diagrama de processos para o procedimento LOTO apresentado na Figura 25, encontram-se os 14 passos que devem ser executados e cumpridos de acordo com a sequência disposta.

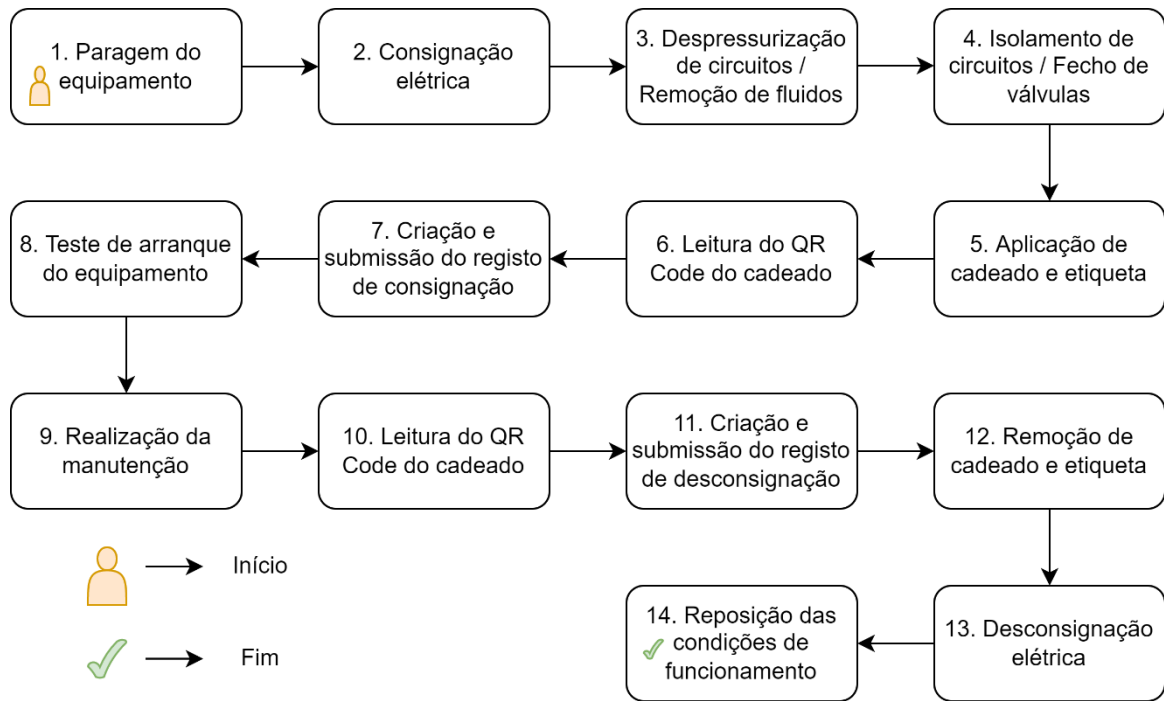


Figura 25 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO para a consignação elétrica associada a circuitos pneumáticos e hidráulicos.

O cumprimento desta sequência de procedimentos de consignação permite evitar a exposição a fluidos suscetíveis de causar danos, tais como queimaduras ou afogamento em espaços confinados, prevenindo a libertação de energias existentes em circuitos fechados, que podem resultar em diversos tipos de lesões.

Na Tabela 7, encontram-se expostas as operações a executar, bem como os respetivos intervenientes e tempos de execução. Com a execução da sequência de operações padronizáveis, o tempo total de ciclo estimado para o procedimento de consignação tem uma duração aproximada de 8 minutos e 40 segundos decorrendo sem incidentes.

As operações de remoção de fluidos, realização da manutenção e a de reposição das condições de funcionamento não foram contabilizadas dado estas sofrerem variações do tempo necessárias à sua execução. Estas dependem das ações de manutenção a executar, bem como das especificações e tipologia do equipamento a ser intervencionado. Não foram consideradas as deslocamentos entre o espaço de trabalho e a sala de quadros para proceder à consignação/desconsignação elétrica.

Tabela 7 - Tempos das operações do ciclo de consignação elétrica a circuitos pneumáticos e hidráulicos

Tarefa	Interveniente	Tempo de ciclo
1.Paragem do equipamento	Resp. Área de Produção	10 seg.
2.Consignação elétrica	Téc. Controlo e Potência	40 seg.
3.Remoção de fluidos	Resp. e Colaboradores de Execução	Variável
4.Isolamento de circuitos / Fecho de válvulas	Resp. Área de Produção	60 seg.
5.Aplicação de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
6.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
7.Criação e submissão do registo de consignação	Resp. Área de Produção, Resp. de Execução, Téc. de Segurança	120 seg.
8.Teste de arranque	Resp. Área de Produção	10 seg.
9.Realização da manutenção	Resp. e Colaboradores de Execução	Variável
10.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
11.Criação e submissão do registo de desconsignação	Resp. Área de Produção, Resp. de Execução, Téc. de Segurança	120 seg.
12.Remoção de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
13.Desconsignação elétrica	Téc. Controlo e Potência	40 seg.
14.Reposição das condições de funcionamento	Resp. Área de Produção	Variável
Tempo de ciclo estimado das operações padronizáveis		520 seg. (8min:40s)

5.1.3 Consignação de casos específicos

Na terceira sistemática são apresentados os procedimentos para uma ação de manutenção, onde são apenas necessárias consignações de tipologia mecânica. Este procedimento de consignação é executado em equipamentos, mecanismos e circuitos, onde existe a probabilidade da alteração de uma determinada condição de abertura, fecho ou outra alteração do seu estado físico, suscetível de comprometer a segurança e fiabilidade de processos e dos colaboradores na área circundante.

Na Figura 26, pode observar-se uma válvula que integra um circuito de água de uma rede de incêndios, a qual não deve ser isolada, por ser considerada um ponto crítico de segurança que pode comprometer a alimentação de água ao sistema de extinção de incêndios. Para realizar as ações de consignação e desconsignação nestes casos específicos, devem ser respeitados todos os procedimentos de acordo com a sua sequência, tendo esta tipologia de consignação uma grande variedade de aplicações.



Figura 26 - Válvula de alimentação de água para rede de incêndios (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

No diagrama de processo apresenta-se o procedimento LOTO da Figura 27. São representados os 11 procedimentos que devem ser executados e cumpridos de acordo com a sequência disposta.

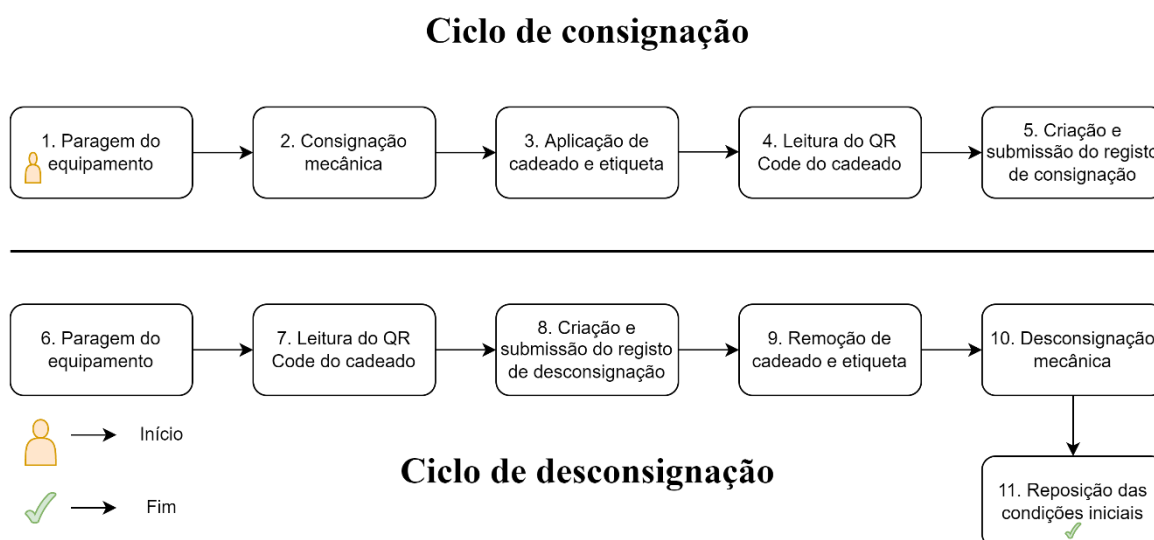


Figura 27 - Diagrama de processos para o procedimento LOTO de processo de consignação e desconsignação mecânica (processo especial).

O cumprimento desta sequência de operações é utilizado nestes casos individualmente, ou seja, os equipamentos podem laborar com uma determinada consignação. Caso seja necessário realizar a alteração da manobra, esta é efetuada num momento subsequente, com um ciclo de desconsignação revertendo as alterações da consignação inicialmente efetuadas. Ao contrário das outras sistemáticas, a consignação mecânica é efetuada normalmente pelo responsável de produção. Na Tabela 8 e Tabela 9, encontram-se expostas as tarefas a executar, os respetivos intervenientes e tempos de execução.

Tabela 8 - Tempos das operações do ciclo de consignação especial

Tarefa	Interveniente	Tempo de ciclo
1.Paragem do equipamento	Resp. Área de Produção	10 seg.
2.Consignação mecânica	Resp. Área de Produção	40 seg.
3.Aplicação de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
4.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
5.Criação e submissão do registo de consignação	Resp. Área de Produção, Téc. de Segurança	120 seg.
Tempo de ciclo estimado das operações padronizáveis		230 seg. (3min:50s)

Tabela 9 - Tempos das operações do ciclo de desconsignação especial

Tarefa	Interveniente	Tempo de ciclo
6.Paragem do equipamento	Resp. Área de Produção	10 seg.
7.Leitura do QR Code	Resp. Área de Produção	30 seg.
8.Criação e submissão do registo de desconsignação	Resp. Área de Produção, Téc. de Segurança	120 seg.
9.Remoção de cadeado e etiqueta	Resp. Área de Produção	30 seg.
10.Desconsignação mecânica	Resp. Área de Produção	40 seg.
11.Reposição das condições iniciais	Resp. Área de Produção	Variável
Tempo de ciclo estimado das operações padronizáveis		230 seg. (3min:50s)

Com a execução da sequência de tarefas, o tempo total de ciclo para o procedimento de consignação, como também para o procedimento de desconsignação, tem uma duração aproximada de 3 minutos e 50 segundos decorrendo sem incidentes. Nestes casos, as consignações mecânicas costumam ser executadas pelos responsáveis de área de produção, pois estas ações visam uma alteração da condição processual e não a manutenção dos equipamentos existentes.

5.1.4 Análise crítica das sistemáticas

Realizando a análise das sistemáticas apresentadas, foi possível obter vários elementos comparativos com a metodologia utilizada atualmente pelas empresas que não fazem recurso a um modelo de gestão digital para os procedimentos de consignação. Por exemplo, para executar a leitura do *QR Code* de um cadeado e efetuar a submissão de um registo de consignação/desconsignação, acresce um aumento no tempo de ciclo de 150 segundos. Contudo, se for comparada com a necessidade de deslocações entre as áreas de consignação e o registo de documental realizado em gabinetes e salas de operação, o tempo de deslocação geralmente é superior aos tempos pré-definidos. Exposto isto, o tempo despendido se for usado um modelo de gestão digital acaba por ser absorvido, traduzindo-se num ganho de produtividade nas operações da empresa que adota esta metodologia. Assim, os técnicos de controlo e potência e responsáveis de manutenção podem ser mais autónomos e produtivos com a redução de deslocações sistemáticas entre áreas de trabalho. A título exemplificativo, numa empresa que tenha de efetuar 400 consignações numa paragem geral, se cada deslocação tiver uma duração de 5 minutos entre áreas, é necessário utilizar 2000 minutos para deslocações. Com o uso do modelo de gestão digital para consignações, é possível reduzir o tempo de ciclo para metade, sendo que para efetuar as mesmas consignações seria apenas necessário despende 1000 minutos para efetuar os registos, traduzindo-se num ganho de produtividade de 50%. A sua gestão revela-se também mais simplificada, com ganhos ao nível da segurança e fiabilidade dos procedimentos de consignação.

5.2. Modelo conceptual de gestão digital

O modelo de gestão digital de consignação proposto, baseia-se no ciclo de procedimentos existente e tira partido das novas tecnologias para garantir o seu funcionamento e eficácia. O modelo de gestão digital para o seu funcionamento, necessitará dos seguintes requisitos:

- Cadeados com QR *Code* impresso, etiquetas, e outros dispositivos já utilizados pelo procedimento LOTO;
- Dispositivos móveis com câmara fotográfica, tais como *smartphones* e *tablets* (Saliente-se que estes equipamentos deverão ser ATEX, quando as intervenções sejam em locais desta tipologia);
- *Software* para gestão dos registos, nas versões móvel e *desktop*, tendo estes uma base de dados associada;
- Rede interna da própria empresa e respetivo software DCS utilizado para a operação remota de máquinas e equipamentos.

O modo de operação da aplicação a desenvolver para a consignação de equipamentos, deve ter por base os passos apresentados na Figura 28, sendo que o registo documental passa a ser realizado através de um registo na aplicação a desenvolver, e os colaboradores notificados das respetivas consignações.

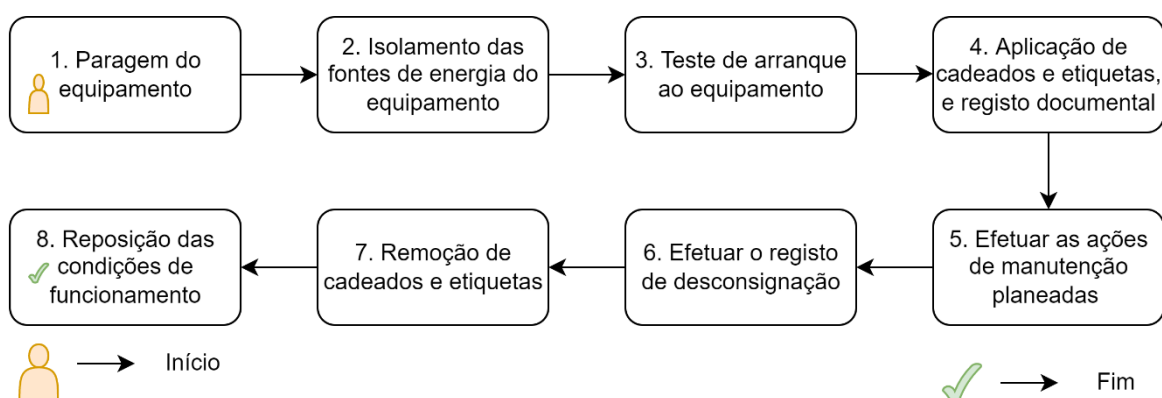


Figura 28 - Diagrama de processos para o modelo de gestão digital LOTO proposto.

O registo de consignação e desconsignação pode ser executado em qualquer dispositivo móvel com a aplicação instalada, realizando a leitura do QR *Code* impresso no cadeado, e submetendo uma entrada de dados através do dispositivo ligado à rede interna da entidade. Alternativamente, também pode ser ligado remotamente pela versão *Desktop* da aplicação através da referência de cadeado, de igual modo submetendo uma entrada de dados. Esta informação será sincronizada em tempo real com a base de dados da aplicação.

5.2.1 Identificação dos dados da ficha de registo de consignação

O *software* existente deve ser desenvolvido com o intuito de gerir os procedimentos de consignação, tendo por foco a gestão processual e documental. Como referido anteriormente, após pesquisa de mercado, destacaram-se pela positiva as soluções da *Logical Safety* e da *Rockwell Automation*, contudo estas não permitem a integração com os sistemas operacionais DCS. No entanto, ambos modelos incluem características interessantes e que podem ser incluídas no modelo em proposta. Tal como as aplicações referidas, o modelo de gestão digital a ser desenvolvido deve ter como base a gestão documental e processual, acrescentando a sincronização do estado de arranque para os equipamentos designados na base de dados da aplicação. As entradas de dados são geridas pela aplicação têm como modelo a documentação que atualmente é utilizada pela indústria em formato físico, conforme demonstrado na Figura 29. As informações são divididas entre o processo de consignação e o processo de desconsignação. Neste processo de documentação física é identificado o responsável autorizado pela execução do trabalho, a data e hora, os responsáveis da área de produção e o número de identificação das etiquetas da máquina e equipamento em processo de manutenção.

CONSIGNAÇÃO				DESCONSIGNAÇÃO			
Responsável autorizado para execução do trabalho	Data	Hora	Responsável da Área de Produção	MÁQUINA / EQUIPAMENTO N.º de identificação dos dispositivos	Responsável autorizado pela execução do trabalho	Data	Hora
Paulo 6569	10/04/2022	9:24	Paulo 6569	Unid. extrator de Arvo. 430 # 2.7.5 Arvo. 430			
João 5044	18/04/2022	14	João 2181	Tupela 020	João 6569	18/04/2022	14:30
Armando 6569	26/04/2022	7h	Armando 6569	M2931	Armando 6569	30/04/2022	13h
Sérgio 3253			Sérgio 3253	Reserva/Modos especiais de funcionamento - conservação no final.	Sérgio 3253	30/04/2022	11h

Figura 29 - Modelo de ficha de consignações (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Assim, para o uso do modelo de gestão digital, deverão ser considerados os seguintes dados na entrada de cada registo:

- Número de cadeado;
- Designação da máquina/equipamento;
- Data e hora;
- Responsável autorizado pela execução do trabalho;
- Responsável da área de produção;
- Nível de risco (baixo, médio ou elevado);
- Técnico de segurança (incluir se o risco elevado, considerado em atos de foguear e outros de risco especial acrescido);
- Assinaturas dos intervenientes (digitais);
- Fotografia do local (opcional);
- Estado da consignação (consignado/desconsignado);
- Notas (descrição da consignação).

Para cada sincronização de dados, seja esta de criação (consignação), alteração, encerramento (desconsignação), ou eliminação, deverá ser criado um registo de atividade na base de dados da aplicação.

A cada número de cadeado atribuído deverá estar associado um *QR Code* específico, para que este seja identificável pelo seu número de cadeado ou *QR Code* no aplicativo. Quanto aos utilizadores autorizados a manusear esta aplicação, serão permitidos no acesso à plataforma os colaboradores internos da organização.

5.2.2 Diagrama do processamento de registos

A recolha de dados para consignação/desconsignação através da aplicação, deverá considerar a ordem de ações de acordo com o diagrama da Figura 30. Nas restantes operações, de alteração ou eliminação do registo, em caso de erro nos dados submetidos, poderá ser realizada qualquer ação. Contudo será sempre registada toda a atividade na aplicação por segurança.

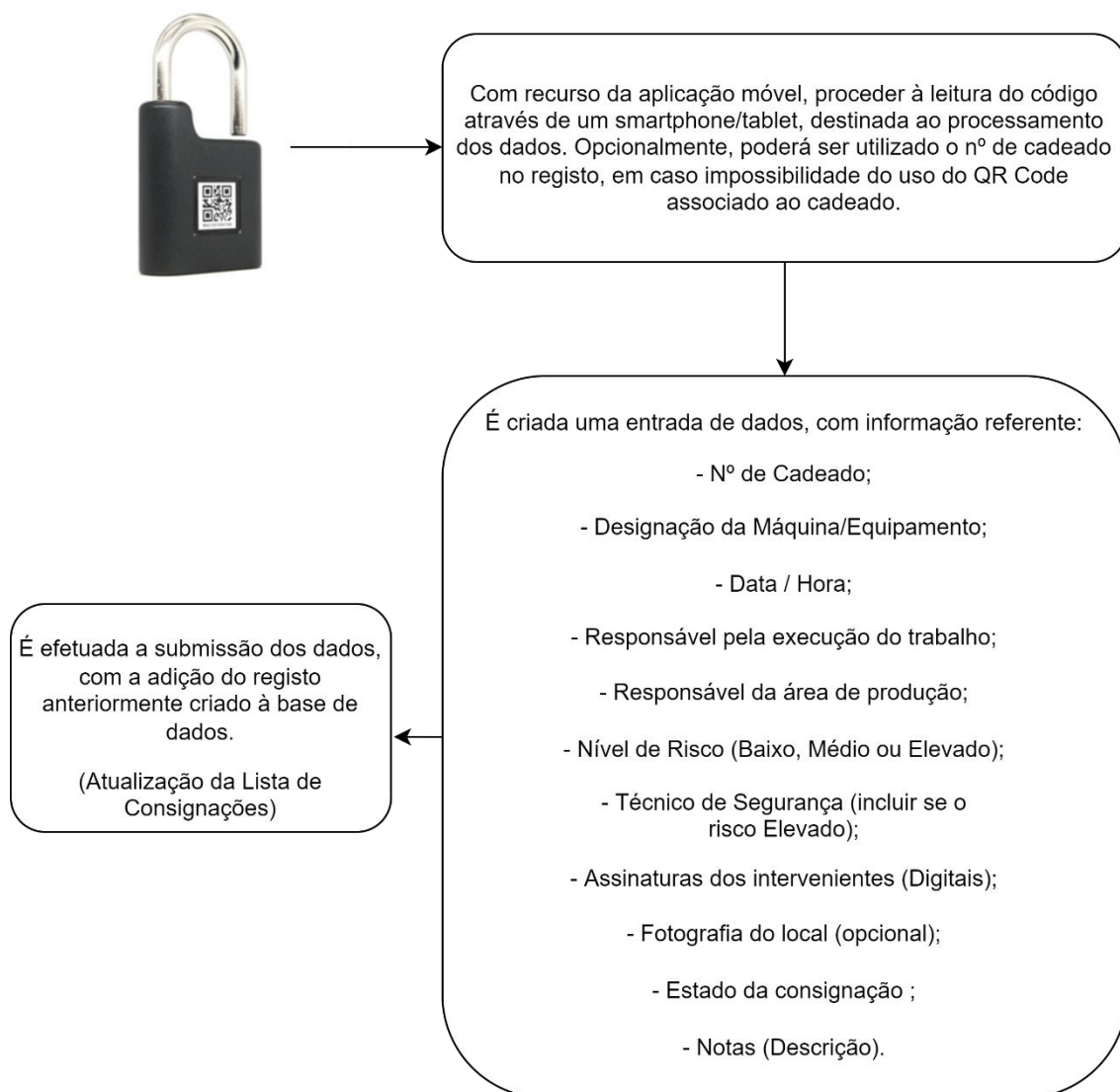


Figura 30 - Diagrama do processamento de registos.

5.2.3 Diagrama de atividades da aplicação digital

Para exemplificar a forma de como a gestão de operações será efetuada através da aplicação digital, foi elaborado um diagrama de atividades *Unified Modeling Language* (UML) conforme a Figura 31. Neste diagrama é possível identificar a sequência das atividades a efetuar para o funcionamento da aplicação que suporta o modelo de gestão digital, e a forma como a aplicação sincroniza em tempo real a informação com a base de dados.

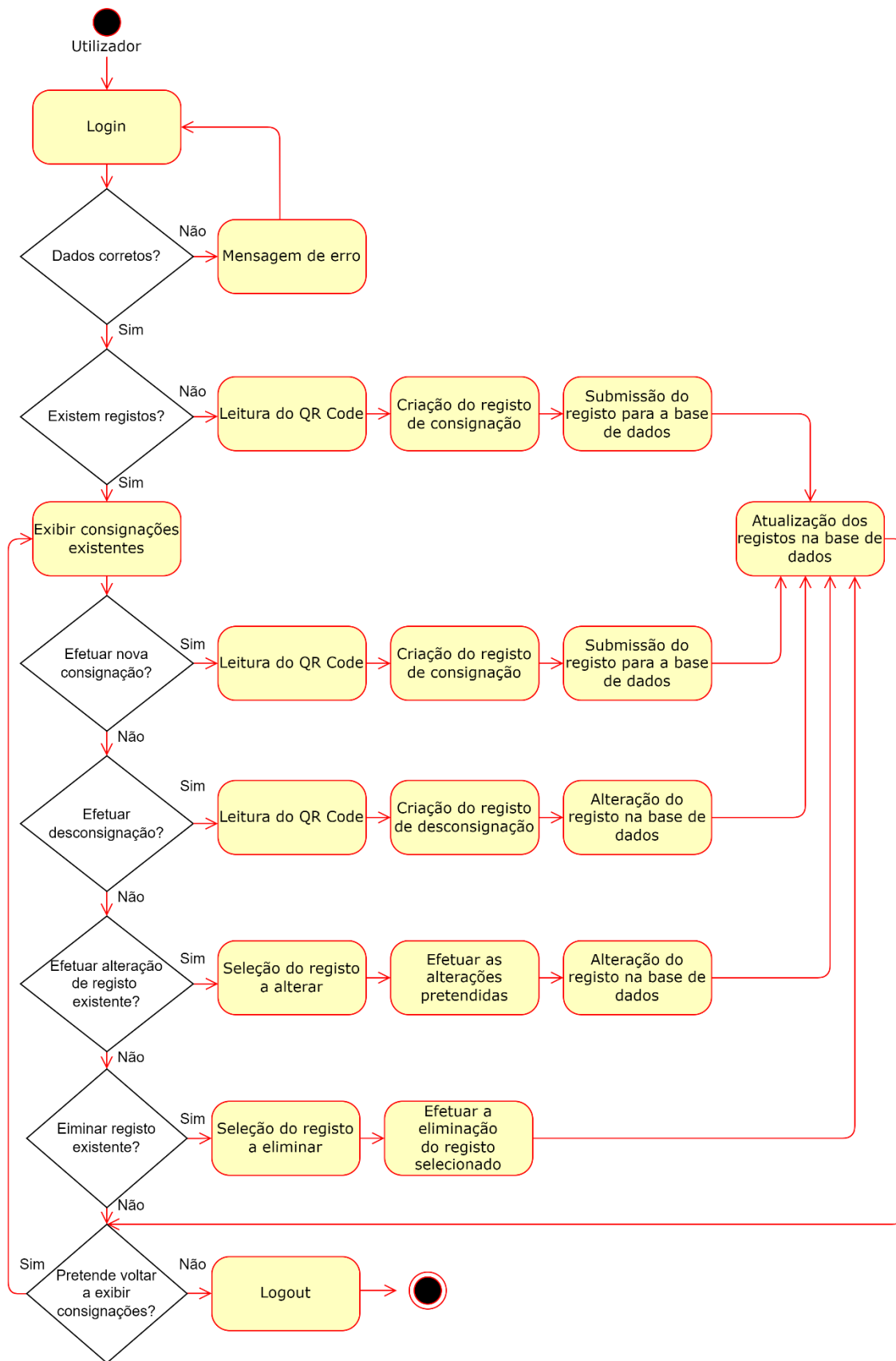


Figura 31 - Diagrama de atividades da aplicação digital.

O utilizador terá de efetuar o *login* para obter acesso à aplicação, sendo efetuada uma validação dos dados inseridos. Efetuado o acesso, é realizada a verificação de registos existentes, sendo que estes serão exibidos caso a base de dados os tenha armazenado.

No caso de estes ainda não existirem, o utilizador será encaminhado para a criação de um novo registo, para posteriormente ser reencaminhado para o passo da listagem de registos existentes, caso pretenda efetuar novas operações. A partir do passo da listagem de consignações, será possível ao utilizador efetuar as operações de registo de consignação e desconsignação, bem como proceder à alteração ou eliminação de registos existentes, sendo que, no fim de cada um destes passos, será atualizado o registo pretendido em base de dados. Após efetuar uma das operações possíveis, ou em caso de não efetuar nenhuma destas, o utilizador será questionado se é pretendido voltar a exibir a listagem de consignações, podendo voltar a efetuar novas operações a partir deste passo. Se não for necessário efetuar mais nenhuma operação, o utilizador será encaminhado para a página de *logout*, saindo da aplicação digital.

5.2.4 Base de dados do modelo de gestão digital LOTO

A base de dados que suporta o modelo de gestão digital deverá considerar o suporte de caracteres alfabéticos e numéricos, o *upload* de fotografias tiradas localmente, as assinaturas digitais dos intervenientes, e o estado de prontidão para arranque do equipamento em cada registo de dados. As fotos locais recolhidas pela aplicação deverão ser semelhantes às representadas na Figura 32. A foto deve mostrar o QR Code para leitura no cadeado, bem como o seu respetivo número associado.



Figura 32 - Equipamento consignado localmente (Navigator Pulp Aveiro, 2023).

Relativamente à base de dados, considerando a estrutura necessária para armazenar os dados referidos na criação de cada registo, foi criado um modelo proposto conforme a apresentada na Figura 33.

A base de dados é constituída por sete tabelas, sendo definida a “Tabela Cadeado” para a identificação dos cadeados; a “Tabela Utilizador” para armazenar a informação dos utilizadores da aplicação, referente aos colaboradores internos da organização; a “Tabela Risco” para identificar o nível de risco da intervenção a efetuar; a “Tabela Empreiteiro” para armazenar a informação dos prestadores de serviços externos à organização; a “Tabela Máquina Equipamento” onde se encontra registada a informação dos equipamentos existentes; a “Tabela Assinaturas” onde serão armazenadas as assinaturas dos intervenientes da tarefa; e por fim, a “Tabela Registo” onde serão armazenadas todas os registos relacionados com as operações de consignação/desconsignação.

Na “Tabela Máquina Equipamento” encontra-se definido o campo “Estado Consignação” onde os valores atribuídos no registo serão binários, à semelhança dos valores emitidos pelos sistemas físicos que fornecem energia eléctrica às máquinas e equipamentos, para mais facilmente ser adaptado o modelo de gestão digital aos sistemas DCS existentes.

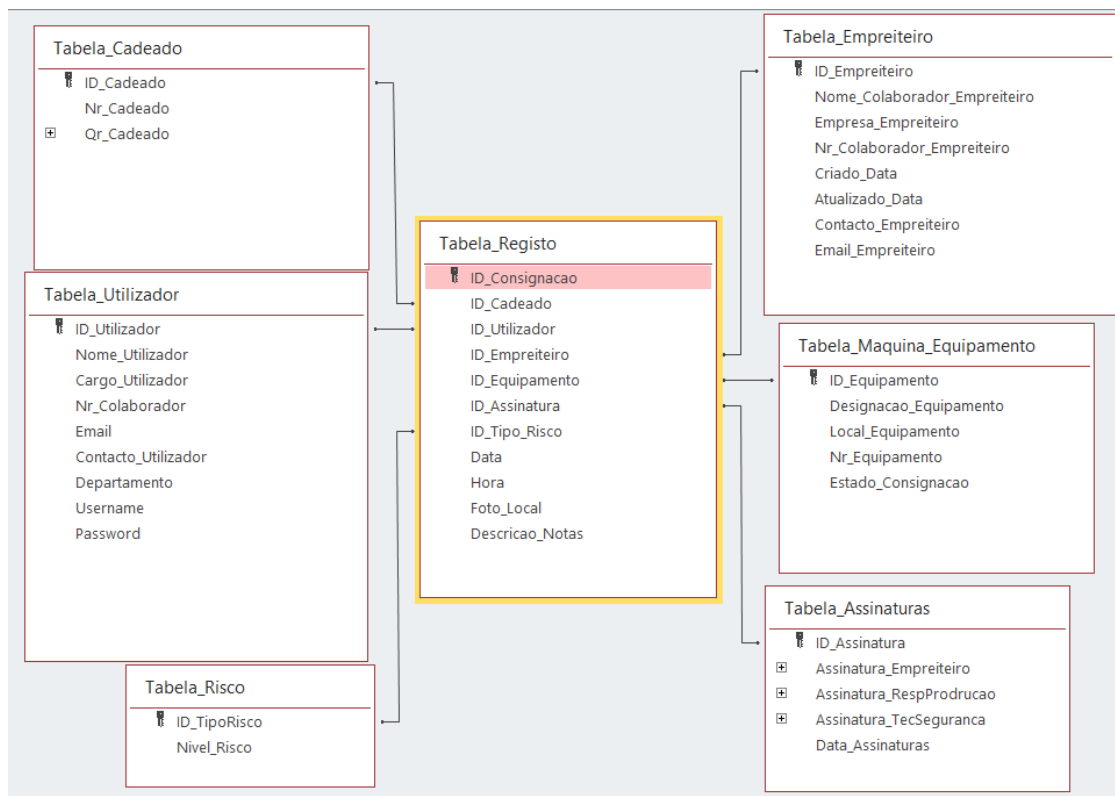


Figura 33 - Base de dados do modelo de gestão digital LOTO.

A atribuição dos dígitos na base de dados deverá respeitar a seguinte atribuição:

- Se o equipamento estiver consignado, é atribuído o valor “0” ao respetivo campo;
- Se o equipamento estiver desconsignado, é atribuído o valor “1” ao respetivo campo.

Desta forma, será possível a programação nos sistemas, criando uma condição de arranque que considera simultaneamente a informação contida na base de dados e o sinal elétrico emitido pelos dispositivos referente ao seu estado de prontidão no sistema DCS.

5.2.5 Formulário para o processamento de dados

Para poder submeter e atualizar os registos de consignação/designação na base de dados destinada à recolha e armazenamento das informações referidas no subcapítulo 5.2.1, deverá ser conceptualizado uma interface gráfica para o processamento de dados.

Esta interface estará disponível para dispositivos móveis (*smartphones ou tablets*), e dispositivos *Desktop*. Com recurso ao *Google Forms* foi elaborado um modelo exemplificativo do formulário, no qual os dados serão submetidos à base de dados do modelo de gestão digital LOTO elaborado (Figura 34).

The image shows a Google Forms interface for data submission. It consists of two columns of form fields. The left column contains six text input fields, each with a label and a red asterisk indicating it is required. The right column contains five dropdown menus, each with a label and a red asterisk, and three file upload buttons labeled 'Adicionar ficheiro'. At the bottom, there is a green 'Enviar' button and a 'Limpar formulário' link.

Field Label	Field Type
Número de Cadeado *	Text Input
Descrição da Tarefa *	Text Input
Designação do Equipamento *	Dropdown
Nível de Risco *	Dropdown
Responsável da Área de Produção *	Dropdown
Responsável pela Execução do Trabalho *	Dropdown
Técnico de Segurança	Dropdown
Foto Local (Opcional)	File Upload
Assinatura do Responsável da área de Produção *	File Upload
Assinatura do Responsável pela Execução do Trabalho *	File Upload
Assinatura do Técnico de Segurança *	File Upload
Estado da Consignação *	Dropdown

Figura 34 - Formulário de submissão de registos.

Sempre que seja necessário iniciar ou dar por finalizada uma intervenção de manutenção, será de carácter obrigatório fazer a submissão de formulário similar ao exemplificado, cumprindo assim os requisitos regulamentados pela norma 29 CFR 1910.147 da OSHA. A diferenciação de início ou fim de intervenção, estará definida no último campo do formulário apresentado “Estado da Consignação”, onde o equipamento deverá estar consignado para início da intervenção, ou desconsignado quando a intervenção for dada como finalizada.

6. Principais conclusões e propostas de trabalho futuro

A dissertação foi desenvolvida na área de investigação de gestão tecnológica. A investigação objetivou o levantamento das práticas de consignação com recurso ao questionário a indústrias nacionais, estudar a criação de procedimentos sistematizados, e de um modelo de gestão digital para os processos de manutenção industrial. Neste capítulo, são apresentadas as conclusões e aspetos limitadores decorrentes da investigação, assim como as propostas de trabalho futuro com base na dissertação realizada.

6.1 Conclusões

A presente dissertação apresenta uma proposta de um modelo de gestão digital de procedimento LOTO, passível de ser integrado com sistemas de operação industrial DCS. Os procedimentos LOTO representam uma metodologia eficaz e efetiva de reduzir a sinistralidade laboral resultante do arranque inesperado de máquinas e equipamentos em indústrias com sistemas de laboração contínua. A proposta de modelo de gestão digital visa a criação de procedimentos com uma maior automatização, contribuindo não só para a melhoria da gestão dos processos como na preservação da segurança ocupacional do ativo mais preciso de uma organização, os colaboradores. Este é um dos pilares que configura a preconizada Indústria 5.0.

Relativamente ao percurso prático, elaborou-se e submeteu-se um questionário a 100 empresas da indústria transformadora e energia, incluindo setores de atividade cujos processos produtivos são contínuos. Nestes setores, as ações de manutenção implicam um conjunto de procedimentos de consignação e desconsignação para garantir a segurança de todos os intervenientes no processo. Foram obtidas 23 respostas de empresas, maioritariamente dos setores da celulose, da indústria química e do setor da metalomecânica.

A maioria das empresas mostrou ter desenvolvida uma cultura de segurança interna, revelando comprometimento para com os procedimentos de consignação, e uma percentagem das empresas respondentes já implementa procedimentos LOTO para apoiar a gestão de consignações. Das conclusões obtidas através das respostas dos questionários, destacou-se também o facto de os procedimentos de consignação nem sempre serem executados em todas as intervenções de manutenção. As empresas que utilizam os procedimentos de consignação, tendencialmente não têm acidentes há menos de um ano.

Uma parte substancial das empresas que não fazem uso dos procedimentos de consignação incorrem em mais de 3 acidentes por ano, podendo concluir que a prática destes procedimentos tem um grande impacto na sinistralidade das empresas. Embora algumas empresas utilizem procedimentos LOTO na consignação de máquinas e equipamentos, vários sinistros ocorreram pelo facto de o registo de consignações ser efetuado manualmente, sem o suporte de um modelo digital para a gestão das mesmas. Apenas uma minoria das empresas implementa procedimentos de gestão digital. Por fim, como metade das organizações tem a necessidade de recorrer a sistemas DCS para a operação de máquinas e equipamentos, o risco de ocorrer um sinistro durante ações de manutenção mostra-se considerável, confirmando assim a problemática existente que a investigação pretendeu solucionar.

Os dados referentes à sinistralidade anual durante ações de manutenção e os de sinistros causados pelo arranque inesperado de máquinas e equipamentos, levam a concluir que é necessário adotar modelos de gestão digital, tendo a finalidade de comprometer todos os intervenientes nos procedimentos de consignação efetuados e reduzir os erros suscetíveis de causar a ocorrência de sinistros laborais.

No desenvolvimento da proposta de modelo de gestão digital de procedimento LOTO, foram propostas 3 sistemáticas: (1) consignação exclusivamente elétrica; (2) consignação elétrica a circuitos pneumáticos e hidráulicos; e (3) consignação de casos específicos (consignação e desconsignação mecânica). Com a criação de sistemáticas caso-a-caso, foi possível definir através de diagramas de processo a predeterminação de tempos de ciclo das operações padronizáveis e que o modelo de gestão digital propõe implementar, cumprindo todos os procedimentos de consignação que estão estipulados com os requisitos da norma da OSHA.

A proposta de modelo conceptual de gestão digital de procedimento LOTO apresentada identifica os dados da ficha de registo de consignação, propõe o fluxograma do processamento de registos, define uma estrutura para a base de dados do modelo de gestão digital LOTO, apresenta um potencial formulário para o processamento de dados e explica o funcionamento da consignação digital.

Desta forma, o modelo de gestão digital evidencia um elevado potencial de desenvolvimento. Num futuro próximo, graças à digitalização e padronização de processos, será possível que este modelo seja desenvolvido e implementado por várias empresas da área industrial.

6.2 Aspetos limitadores da investigação

Tendo a presente dissertação um carácter inovador e o modelo de gestão digital LOTO sido conceptualizado, bem como a base de dados associada ao mesmo, não foi possível dar continuidade ao seu desenvolvimento prático dadas as limitações de conhecimentos de programação da aplicação a ser integrada com sistemas DCS, como também a dificuldade de estabelecer parcerias interessadas para o seu desenvolvimento. Para a concretização prática do modelo proposto, será necessário um longo período de implementação, testes e validação das várias fases que compõem o projeto. Esse período seria muito superior ao tempo de realização da dissertação. Contudo, é expectável que com a realização desta dissertação, algumas entidades se mostrem interessadas em estabelecer parcerias, com o intuito de promover e implementar o modelo de gestão digital LOTO proposto no decorrer desta investigação, visto que ainda não surgiu no mercado nenhuma solução digital LOTO com estas especificidades para sistemas DCS.

Uma outra limitação no desenvolvimento da dissertação remete para a dificuldade de obtenção de respostas ao questionário por parte das empresas definidas na amostra por conveniência. Uma percentagem de 23% de respostas resulta na limitação da análise baseada na estatística descritiva.

6.3 Propostas de trabalho futuro

É expectável que este tipo de modelo de gestão digital LOTO venha a ser desenvolvido e implementado por empresas que comercializam soluções de sistemas DCS para a indústria. Estas soluções ainda não foram sendo implementadas, porque os modelos de gestão digital de procedimentos LOTO abordados na investigação, foram concebidos a pensar na sua utilização singular, e não com o intuito de integrá-los como soluções de sistemas DCS existentes. A sincronização da base de dados do respetivo *software* com as máquinas e equipamentos disponíveis nos sistemas DCS deve ser considerada como um trabalho futuro. Outra situação suscetível de vir a ser desenvolvida no futuro, é a consignação elétrica de máquinas e equipamentos remotamente, sem que exista a necessidade de a consignação elétrica ser efetuada fisicamente. Para que isto seja possível, deverão ser desenvolvidos mecanismos que garantam a consignação física de componentes elétricos à distância, sendo possível cumprir com os requisitos de segurança referidos pela norma da

OSHA. Estas melhorias podem ser traduzidas em ganhos de produtividade, eficiência e segurança para as organizações.

Quanto às empresas nacionais, cada vez mais a cultura de segurança organizacional é encarada com maior responsabilidade e comprometimento. Desta forma, existe a necessidade de desenvolver melhores soluções e condições de trabalho para os colaboradores. A longo prazo, novos investimentos e investigações nesta temática serão expectáveis, sobretudo com o impulso e implementação de novas tecnologias associadas à Indústria 5.0.

Referências bibliográficas

- APCER. (2022a). *ISO 9001, Sistema de Gestão da Qualidade*.
<https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/81/iso-9001>
- APCER. (2022b). *Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho*.
<https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/177/iso-45001>
- Bakhtari, A. R., Kumar, V., Waris, M. M., Sanin, C., & Szczerbicki, E. (2020). Industry 4.0 Implementation Challenges in Manufacturing Industries: an Interpretive Structural Modelling Approach. *Procedia Computer Science*, 176, 2384–2393.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.306>
- Bell, J. (2005). *Doing Your Research Project* (4th ed.). Open University Press.
- Bona, G. di, Cesarotti, V., Arcese, G., & Gallo, T. (2021). Implementation of Industry 4.0 technology: New opportunities and challenges for maintenance strategy. *Procedia Computer Science*, 180, 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.258>
- Buffi, A., Catarinucci, L., di Donato, L., Gabbrilli, R., Landi, L., Melloni, R., & Patrono, L. (2021). An Innovative Integrated Smart System for the Safe Management of De-Energization in Maintenance Activities of Assemblies of Machinery. *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL 2021)*, 1000–1007.
https://doi.org/10.3850/978-981-18-2016-8_268-cd
- Cabrita, C. P., & Machado, A. J. M. (2015). Conceitos e definições de falha e avaria nas normas portuguesas de manutenção NP EN 13306:2007 e NP EN 15341:2009. *Revista Manutenção*, 4–9. www.apmi.pt
- Chaves, P. (2021). Indústria 5.0, o novo paradigma de transformação digital do setor de manufacturing. *Público*.
<https://www.publico.pt/2021/06/18/estudiop/noticia/industria-50-novo-paradigma-transformacao-digital-sector-manufacturing-1966918>
- De Vaus, D. (2002). *Surveys in Social Research* (5th ed.). Routledge.
- Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro do Ministério das Atividades Económicas e do Trabalho, Pub. L. No. Diário da República n.º 40/2005, Série I-A, 1766 (2005). www.dre.pt
- Decreto-Lei n.º 75/2011, de 20 de junho do Ministério da Economia e da Inovação, Pub. L. No. Diário da República n.º 117/2011, Série I, 3311 (2011). www.dre.pt
- Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho do Ministério da Economia e da Inovação, Pub. L. No. Diário da República n.º 120/2008, Série I, 3765 (2008). www.dre.pt

- Dees, R. (2003). *Writing the Modern Research Paper* (4.^a ed.). Allyn & Bacon.
- Dillman, D. A. (2000). *Mail and Internet Surveys: The Tailored Design Method* (2.^a ed.). Wiley.
- Duggan, K. J. (2012). *Creating Mixed Model Value Streams: Practical Lean Techniques for Building to Demand* (K. J. Duggan, Ed.; 2.^a ed.). Productivity Press.
- Edwards, P., Roberts, I., Clarke, M., DiGiuseppi, C., Pratap, S., Wentz, R., & Kwan, I. (2002). 'Increasing response rates to postal questionnaires: systematic review'. *British Medical Journal*, 324, 1183–1191.
- Emiliani, M. (2008). Trabalho Padronizado para Liderança Executiva. *Jornal de Desenvolvimento de Liderança e Organização*, 29, 24–46.
- Fink, A. (2003). *The Survey Handbook*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412986328>
- Gallo, T., & Santolamazza, A. (2021). Industry 4.0 and human factor: How is technology changing the role of the maintenance operator? *Procedia Computer Science*, 180, 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.364>
- Ghauri, P., & Grønhaug, K. (2005). *Research Methods in Business Studies: A Practical Guide*. Financial Times Prentice Hall.
- Gnoni, M. G., Bragatto, P. A., Milazzo, M. F., & Setola, R. (2020). Integrating IoT technologies for an “intelligent” safety management in the process industry. *Procedia Manufacturing*, 42, 511–515. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.040>
- Health and Safety Executive. (2022). *Hazards during maintenance*. <https://www.hse.gov.uk/safemaintenance/hazards.htm>
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288. <https://doi.org/10.1177/1049732305276687>
- Jankowicz, A. D. (2005). *Business Research Projects* (4.^a ed.). Thomson Learning.
- Kaid, L. L. (1989). *Content Analysis* (P. Emmert & L. L. Barker, Eds.). Longman.
- Korchagin, A., Deniskin, Y., Pocebneva, I., & Vasilyeva, O. (2022). Lean Maintenance 4.0: implementation for aviation industry. *Transportation Research Procedia*, 63, 1521–1533. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.164>
- Kumar, S., & Tauseef, S. M. (2021a). Development of an Internet of Things (IoT) based Lockout/Tagout (LOTO) device for Accident Prevention in Manufacturing Industries.

- IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1017(1), 012017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1017/1/012017>
- Kumar, S., & Tauseef, S. M. (2021b). Development of an Internet of Things (IoT) based Lockout/Tagout (LOTO) device for Accident Prevention in Manufacturing Industries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1017(1), 012017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1017/1/012017>
- Li, C. H., & Lau, H. K. (2019). Embedding CSPC database with CPS to enhance toy product safety. *2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 1580–1584. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2019.8755069>
- Logical Safety. (2022). *Logical Lock*. <https://www.lsfactory.com/logicallock/>
- M. Smith., A., & Hinchcliffe Glenn. (2003). *RCM - Gateway to World Class Maintenance* (Butterworth-Heinemann, Ed.; 1.^a ed.).
- Martins, L., Silva, F. J. G., Pimentel, C., Casais, R. B., & Campilho, R. D. S. G. (2020). Improving preventive maintenance management in an energy solutions company. *Procedia Manufacturing*, 51, 1551–1558.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>
- Master Lock Safety Solutions. (2023). *Bloqueio/Identificação e Conformidade OSHA*. <https://pt.masterlock.eu/empresas-ind%C3%BAstria-foql/bloqueio-etiquetagem-de-seguran%C3%A7a>
- Ml̄kva, M., Prajová, V., Yakimovich, B., Korshunov, A., & Tyurin, I. (2016a). Standardization – One of the Tools of Continuous Improvement. *Procedia Engineering*, 149, 329–332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.674>
- Ml̄kva, M., Prajová, V., Yakimovich, B., Korshunov, A., & Tyurin, I. (2016b). Standardization – One of the Tools of Continuous Improvement. *Procedia Engineering*, 149, 329–332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.674>
- Mohon, J. (2021). *Dynamic Instructions for Lock-Out Tag-Out* (pp. 542–549). https://doi.org/10.1007/978-3-030-51328-3_74
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance Second Edition* (2.^a ed., Vol. 1). Industrial Press.
- Occupational Safety and Health Administration. (1990, Janeiro 2). *NP 29 CFR 1910.147, The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout) - Inspection Procedures and Interpretive Guidance*.

- Oppenheim, A. N. (2000). *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement* (2th ed.). Continuum International.
- OSHA. (2002). *Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)* (U. S. Department of Labor, Ed.). Occupational Safety and Health Administration.
- OSHA. (2021). *Top 10 Most Frequently Cited Standards*.
<https://www.osha.gov/top10citedstandards>
- Pinto, A. (2016). *Manual de Segurança na Manutenção* (A. Pinto, Ed.; 1^a). Sílabo.
- Pinto, Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Casais, R. B., Fernandes, A. J., & Baptista, A. (2019). Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>
- Porrás-Vázquez, A., & Romero-Pérez, J.-A. (2018). A new methodology for facilitating the design of safety-related parts of control systems in machines according to ISO 13849:2006 standard. *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 60–70.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.02.018>
- Reis, T. A. S., & Campos, F. C. (2020). Industry 4.0 influences on maintenance operation: a bibliometric analysis. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 10633–10638.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2823>
- Robson, C. (2002). *Real World Research: A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Rockwell Automation. (2022, Novembro 22). *ScanESC*.
<https://www.rockwellautomation.com/en-us/capabilities/industrial-safety-solutions/lockout-tagout-program-services/scanesc-software.html>
- Ruff, T., Coleman, P., & Martini, L. (2011). Machine-related injuries in the US mining industry and priorities for safety research. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 18(1), 11–20. <https://doi.org/10.1080/17457300.2010.487154>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research Methods for Business Students* (4th ed.). Pearson College Div.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of Qualitative Research* (Inc. Sage Publications, Ed.; 2.^a ed.). Sage Publications, Inc.
- TechEdge. (2022). *Indústria 5.0: O que a torna diferente da Indústria 4.0?* .
<https://www.techedgegroup.com/pt/blog/o-que-e-industria-5-0>

- Zeng, S., Powers, J. R., & Newbraugh, B. H. (2010). Effectiveness of a worker-worn electric-field sensor to detect power-line proximity and electrical-contact. *Journal of Safety Research*, 41(3), 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2010.02.011>
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626–641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.123>
- Zhou, K., Taigang Liu, & Lifeng Zhou. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>


Apêndices

Apêndice I - Questionário sobre procedimentos de consignação

Questionário a Industrias Nacionais, relativo a procedimentos de consignação.

O presente questionário, foi elaborado no âmbito de um estudo académico de dissertação de mestrado, tendo como tema de investigação os procedimentos de consignação. Pretende-se averiguar a situação presente das empresas a nível nacional, relativamente ao uso de procedimentos para a consignação de máquinas e equipamentos, bem como os meios utilizados para a execução dos mesmos.

O questionário terá uma duração aproximada de 5 minutos, e os dados serão tratados confidencialmente para posteriormente ser utilizados em fins de investigação.

hst@contracta.pt [Mudar de conta](#) 

***Obrigatório**

Email *

1. Há quantos anos iniciou a atividade? *

Menos que 10 Anos

Entre 10 a 20 Anos

Mais que 20 Anos

2. Qual o setor de atividade no qual se integra a sua empresa/indústria? *

Farmacêutica

Petroquímica

Cimenteira

Metalomecânica

Papelreira / Celulose

Siderúrgica

Cerâmica

Química

Plásticos

Outra:

3. São realizadas intervenções, em contexto da manutenção de máquinas ou equipamentos? *

- Sim
 Não

4. Se sim, são utilizados procedimentos de consignação para as máquinas ou equipamentos, antes de cada intervenção?

- Sim
 Não

Seguinte

Página 1 de 3

Limpar formulário

Questionário a Industrias Nacionais, relativo a procedimentos de consignação.

hst@contracta.pt [Mudar de conta](#)



*Obrigatório

Parte 2 - Questionário a Indústrias

5. Com que frequência são efetuadas ações de manutenção? *

- Diariamente
 Semanalmente
 Mensalmente
 Em paragens programadas
 Em paragens não programadas

6. Qual o nível de sinistralidade anual considerado pela empresa, nas intervenções de manutenção? *

- Nenhum acidente de trabalho há menos de um ano
 1 acidente de trabalho, pelo menos, no período de um ano
 Entre 2 e 3 acidentes de trabalho no período de um ano
 Mais do que 3 acidentes por ano

7. Relativamente ao arranque inesperado de máquinas ou equipamentos ocorridos durante ações de manutenção industrial, já resultaram destes sinistros? *

- Sim
 Não

8. São efetuados procedimentos de segurança, antes de proceder a uma intervenção de manutenção em máquinas ou equipamentos, como por exemplo, o corte da alimentação de eletricidade ou outras matérias (elétrica, pneumática ou fluidos)? *

- Sim
 Não

9. Tem conhecimento dos procedimentos LOTO, utilizados para a consignação de máquinas ou equipamentos? *

- Sim
 Não

10. Utiliza atualmente procedimento LOTO, na consignação de máquinas ou equipamentos? *

- Sim
 Não

11. Se sim, os procedimentos LOTO são executados com o suporte de algum software/aplicativo, para auxílio na sua implementação e gestão?

- Sim
 Não

12. Utiliza um sistema "DCS" para operação e controlo remoto de máquinas e equipamentos? *

- Sim
 Não

Anterior

Seguinte

 Página 2 de 3

Limpar
formulário

Questionário a Industrias Nacionais, relativo a procedimentos de consignação.

hst@contracta.pt [Mudar de conta](#)

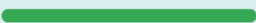


Parte 3 - Questionário a Indústrias

Obrigado pela sua disponibilidade e participação.
As suas respostas serão submetidas, e os dados contidos serão tratados confidencialmente para os fins da investigação.

[Anterior](#)

[Enviar](#)

 Página 3 de 3

[Limpar formulário](#)

Apêndice II - Folheto do software ScanESC



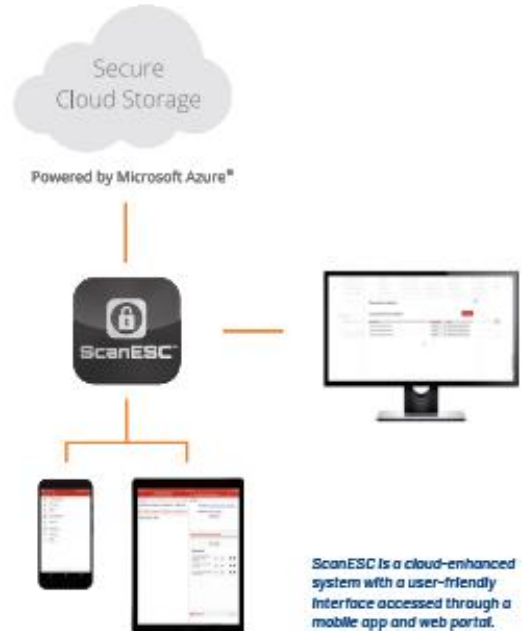
ScanESC™ Lockout/Tagout Software

Reach the full potential of your lockout/tagout program

ScanESC software helps you digitize your entire lockout/tagout (LOTO) program so that employees have access to up-to-date information through the user-friendly interface. As a cloud-enhanced system, ScanESC allows you to collect data and track activities even if offline, synchronizing all the necessary information once connectivity is restored.

We Make Lockout/Tagout Easy
Simplify your life with our fully electronic LOTO program.

- Access your LOTO procedures anywhere with your iOS, Android or Windows mobile devices
- Access supporting documentation and policies for your machines and facilities
- Electronically audit procedures and employees
- Track LOTO usage and downtime
- Assign audits to individuals
- Manage and access all LOTO audit data through a standard web browser



A lockout/tagout program is not only a way of achieving safety compliance, it is also a powerful tool to reduce your overall risk and maximize the utilization of your assets to improve productivity. ScanESC provides you with the tools and resources to modernize and digitize your entire LOTO program with enough adaptability to be useful to large corporations, small businesses and anyone in between.

You can expect savings over your current audit and lockout processes, and you will have the ability to make real-time decisions to proactively and simultaneously achieve employee safety and compliance with company policy and government regulations.

With ScanESC – a modern software solution to help manage your LOTO program – your company will benefit from real-time synchronizing of data between your authorized employees and a cloud-based secure portal.



ScanESC Main Features



Mobile App

- Audit procedures and authorized employees
- Access LOTO procedures and supporting documents
- Locate related documentation by using QR code tags installed on the machines



Web Portal

- Access dashboards with statistics for LOTO status, duration and total downtime
- Manage users, locations and procedures
- Access historical data regarding equipment status
- Manage your procedure documents to enable real-time updates to your procedures



How To Order

ScanESC software is provided as a yearly subscription. Optional one time add-ons include a procedure creation project, ScanESC setup, or purchase of an iPad to run the ScanESC mobile app. Please contact your Rockwell Automation sales representative or Allen-Bradley® authorized distributor to obtain a quote.



Hazardous Energy Control



Machine Safety

Rockwell Automation Safety Services

Are you tapping into safety's potential? Industrial safety is an opportunity to meet compliance requirements, reduce risk and maximize productivity.

Bolstered by the emergence of seamless connectivity and modern control technologies, industrial safety can be a powerful tool that benefits your workers, your operations, and your bottom line.

Our People and Asset Safety Services meet your needs, with a focus on hazardous energy control and machine safety services. We can help you protect employees and comply with the latest standards. And we can work with you to improve safety and reduce risk while optimizing worker and asset productivity.

To learn more about safety services or order a ScanESC subscription,

visit

[ROK.AUTO/SAFETYSERVICES](https://www.rockwellautomation.com/ROK.AUTO/SAFETYSERVICES)

and complete the form.

Connect with us.    

[rockwellautomation.com](https://www.rockwellautomation.com)

expanding human possibility™

AMERICAS: Rockwell Automation, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204-2496 USA. Tel: (1) 414.382.2000, Fax: (1) 414.382.4444

EUROPE/MIDDLE EAST/AFRICA: Rockwell Automation NV, Pegasus Park, De Kleetlaan 12a, 1831 Diegem, Belgium. Tel: (32) 2 883 0800, Fax: (32) 2 883 0840

ASIA PACIFIC: Rockwell Automation, Level 14, Core F, Cyberport 3, 100 Cyberport Road, Hong Kong. Tel: (852) 2887 4788, Fax: (852) 2508 1846

Allen-Bradley, ScanESC and Rockwell Automation are trademarks of Rockwell Automation, Inc.
All other trademarks are property of their respective companies.

Publication 6150-PP01E-EN-P - December 2022 | Supersedes publication 6150-SP01B-EN-P - May 2022

Copyright © 2022 Rockwell Automation, Inc. All Rights Reserved. Printed in USA.

Apêndice III - Folheto do *software* Digital Lock



LOTO gone digital

Few moments are as critical to operational safety as plant isolation.

With no room for error in Lockout/Tagout, you need to ensure isolations are performed to the highest standard, every single time. Not only does staff safety depend on it, but so does plant uptime, therefore your production.

Logical Lock digitalizes your LOTO workflow for real-time management, ensuring staff is safe and compliant at every step, by combining a suite of connected technologies that make LOTO failure a thing of the past.



Safety as standard

Logical Lock was built from the ground up, with regulated safety standards in mind, incorporating general compliance guidelines for isolation procedures, as established by major international Health and Environmental Safety regulatory entities:



Shutdown announcement



Affected staff notification



Safe Operating Procedures



Detailed Risk Assessments



Energy source identification



Energy source isolation



Energy source Lock and tag



Proof of effective isolation



Keep isolation in force during shift changes



Keep procedures up-to-date



Documentation and operating procedures

Logical Lock makes it easy to manage process documentation.

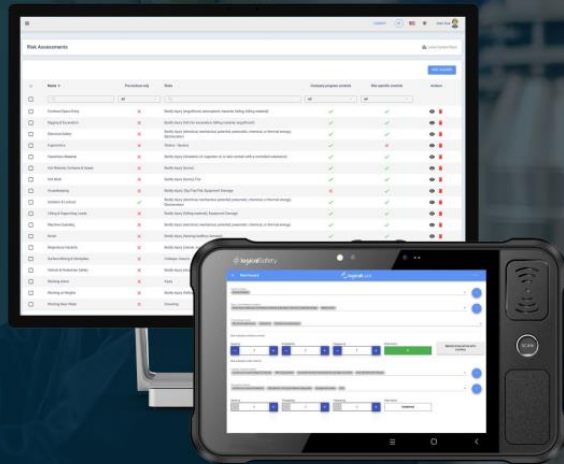
Create best practice documentation in just a few clicks with the inbuilt form builder and publish task data to the cloud, granting staff prompt access to up-to-date safe operating procedures through the digital lockbox and mobile assistant.



Risk assessments and control measures

Intuitively perform detailed risk assessments and apply preventive control measures, automatically notifying those affected about identified hazards, associated risk factors and operational activity.

Iteratively improve best practice, building on past risk assessments with new observations as Logical Lock draws on task history to help you identify related hazards.




The Game Changer

Real-time isolation status monitoring

Simplify Lock management with real-time isolation monitoring, by integrating the smart digital lockbox in your LOTO workflow.

Upon closing isolation lock keys inside the digital lockbox, RFID chips on personal lock devices are scanned, informing operators in real-time about machinery isolation status and actively locked on staff members, efficiently preventing unwanted third party Tagout or unexpected equipment energization.




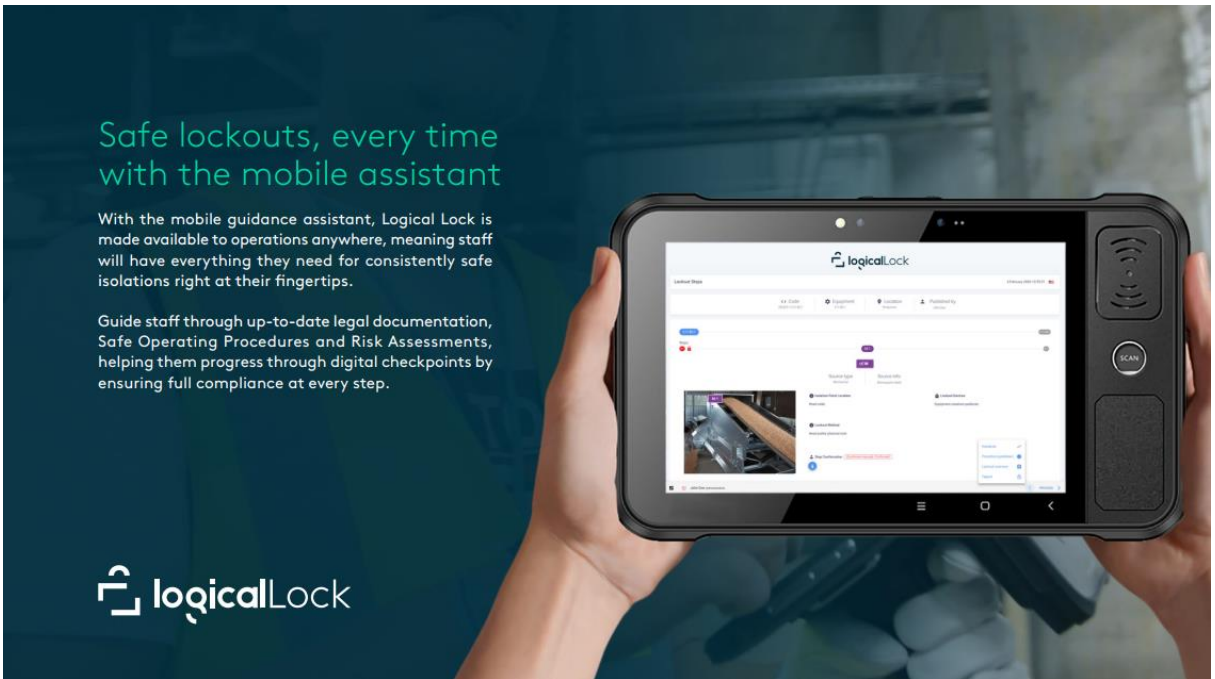


Permit To Work: Control compliance with digital checkpoints

RFID tags on PPE and lock devices alongside QR codes on isolation points allow cross-checking compliance status against isolation permit requirements in real-time.

Through RFID user login and smart PPE scanning, the digital Lockbox not only ensures staff is fully trained for the task at hand but also properly protected with the required PPE.


If at any given moment Logical Lock detects non-compliance it immediately revokes permit to work, blocking task progression.

Safe lockouts, every time with the mobile assistant

With the mobile guidance assistant, Logical Lock is made available to operations anywhere, meaning staff will have everything they need for consistently safe isolations right at their fingertips.

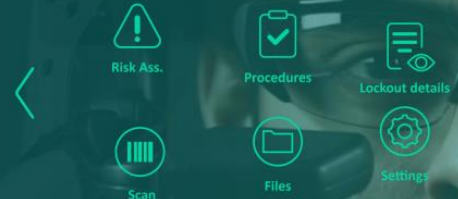
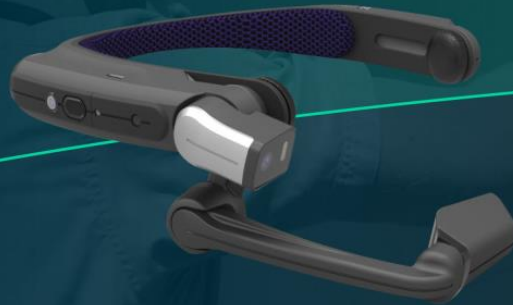
Guide staff through up-to-date legal documentation, Safe Operating Procedures and Risk Assessments, helping them progress through digital checkpoints by ensuring full compliance at every step.



Hands-free Isolations

Logical Lock's mobile assistant is also available on hands-free interface, making all of its features accessible through voice input.

This way operators can keep both hands free to carry out safer and even more efficient isolations and maintenance interventions.



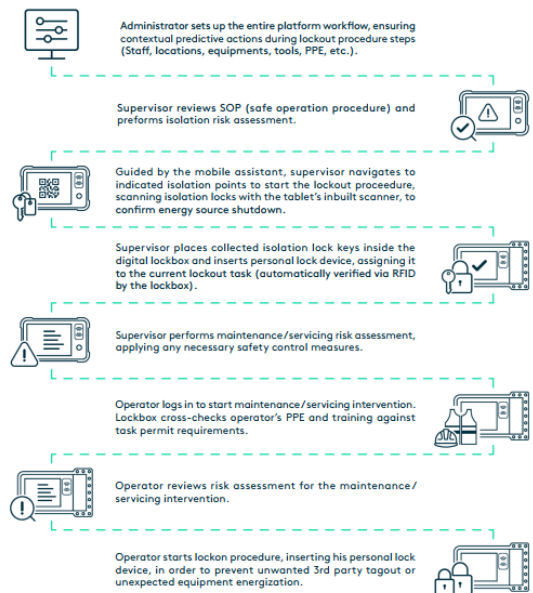
 logicalLock

 logicalLock

Automated Control Of Work

No more delays issuing/pursuing time consuming Permit To Work

Reversing the traditional approach to PTW, our digital checkpoint system ensures an uninterrupted workflow, by assuming permit to work from the get go, revoking it on a step-by-step basis as soon as non-compliance is detected, immediately blocking progress until any pending compliance requirements are met.



Keep up with detailed analytics

Check monthly lockout activity, keeping track of expired equipment inspections and training, all at a glance in a single screen.

Keep up with all notifications through the onboard notification center, monitoring risk and safety related events from every Lockout procedure throughout your organization.



The Results

Transforming LOTO

Already deployed in the Oil and Gas, Cement and Metal industries the results are proven to be game changing:

82%

Reduction in Lost Time Incidents

76%

Reduction in LOTO duration

62%

Hands on Tools time increase

100%

Company liability reduction

98%

Staff who prefer digital LOTO

