

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

**GUSTAVO CAMPANA MENDES**

**ANÁLISE DO NÍVEL DE PERFORMANCE DAS ARQUITETURAS DOS  
DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA EMPREGADOS NOS SISTEMAS  
DE ACESSO DE ILHA ROBOTIZADA PARA COLAGEM DE VIDROS  
NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**GUSTAVO CAMPANA MENDES**

**ANÁLISE DO NÍVEL DE PERFORMANCE DAS ARQUITETURAS DE  
DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA EMPREGADOS NOS SISTEMAS  
DE ACESSO DE ILHA ROBOTIZADA PARA COLAGEM DE VIDROS  
NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Rodrigo Eduardo Catai,  
Dr.

**CURITIBA**

**2017**

**GUSTAVO CAMPANA MENDES**

**ANÁLISE DO NÍVEL DE PERFORMANCE DAS ARQUITETURAS DOS  
DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA EMPREGADOS NOS SISTEMAS  
DE ACESSO DE ILHA ROBOTIZADA PARA COLAGEM DE VIDROS  
NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Banca:

---

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai (orientador)  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba  
2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

In highly automated systems, the operator  
is often at the mercy of the system design  
and operational procedures.  
(LEVESON, Nancy G., 2012)

## RESUMO

A automação é historicamente sinônimo de desenvolvimento, a qual nos últimos anos alterou drasticamente os processos de manufatura existentes, viabilizando que linhas de produção se tornem mais consistentes, precisas, confiáveis e robustas, realizando tarefas de modo mais veloz e barato. A presença cada vez maior de máquinas e equipamentos automatizados na manufatura, implicam na necessidade de regulamentações no que se diz a respeito da segurança dos trabalhadores. Além de questões morais, existem vieses econômicos e legais para se evitar acidentes. Existem referências técnicas nacionais para estabelecimento dos princípios fundamentais e medidas mínimas para garantia da saúde e integridade física dos trabalhadores, contudo, quando se trata de definições com respeito a efetividade, resistência e confiabilidade dos sistemas de segurança, ainda se tem como base normas internacionais já em desuso. Neste trabalho foram analisados e mensurados os níveis de performance dos sistemas de acesso de uma célula de manufatura robotizada para a colagem automatizada de vidros, de acordo com os conceitos e métodos apresentados na norma ISO 13849-1 (2006). A norma é considerada como solução mais robusta por levar em consideração além da arquitetura utilizada, aspectos como probabilidades de ocorrência de falhas dos componentes empregados no sistema, além da arquitetura de ligação elétrica utilizada.

**Palavras-chave:** Nível de performance. Sistemas de acesso. Dispositivos de Segurança. Ilha robotizada. ISO 13849-1.

## ABSTRACT

Automation is historically a synonym of development, affecting drastically in the last years on the existing manufacture process, enabling production lines to become more consistent, accurate, reliable and robust, performing tasks faster and cheaper. The increasing presence of automatized machines and equipment in manufacture, imply in the necessity of regulations on the safety of workers. Beyond moral issues, there are economical and legal reasons to avoid accidents. There are national technical references for the establishment of basic principles and minimum measures to guarantee the health and physical integrity of the workers, however, in definitions of effectiveness, resistance and reliability of safety systems, they consider as principle international standards that are no longer in use. In this work, the performance level of access system of a robotic manufacturing cell for automated placement of windshields will be analyzed and measured, according to concepts and methods presented in the standard ISO 13849-1 (2006). The standard is considered, as more robust solution, for taking into consideration aspects as probabilities of occurrence of failures of the components used in the system, in addition to the electrical connection architecture used.

**Keywords:** Performance Level. Access systems. Safety devices. Robotized cell. ISO 13849-1.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico de riscos para determinação do $PL_r$ para a função de segurança	19
Figura 2 - Relação entre categorias, $DC_{avg}$ , $MTTF_D$ e $PL$ .....	26
Figura 3 - Diagrama Categorias B e 1 .....	29
Figura 4 - Diagrama Categoria 2 .....	30
Figura 5 - Diagrama Categorias 3 e 4 .....	31
Figura 6 - Visão geral da Ilha robotizada para colagem de vidros <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 7 - Sinóptico geral .....	36
Figura 8 - Diagrama simplificado do processo .....	37
Figura 9 - Sinóptico Zona 1 .....	38
Figura 10 - Sinóptico Zona 2 .....	39
Figura 11 - Sinóptico Zona 3 .....	40
Figura 12 - Porta de acesso de manutenção Zona 3 .....	41
Figura 13 - Diagrama de blocos das portas de acesso de manutenção.....	42
Figura 14 - Diagrama de ligação elétrica chave de segurança XCSA5.....	42
Figura 15 - Diagrama de ligação elétrica entrada digital 4/8 F-DI 24V PROFISafe...	43
Figura 16 - Acessos da carroceria.....	46
Figura 17 - Acessos dos robôs.....	46
Figura 18 - Diagrama de blocos dos acessos da carroceria .....	47
Figura 19 - Acesso de vidros – Lunete.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conceitos, Termos e Definições.....	16
Tabela 2 - Níveis de performance (PL) .....	18
Tabela 3 - Relação entre Nível de Performance (PL) e Nível de Integridade do Sistema (SIL).....	21
Tabela 4 - Tempo médio para falha perigosa (MTTFd).....	22
Tabela 5 - Cobertura de diagnóstico (DC).....	24
Tabela 6 - Medidas de avaliação e quantificação de medidas contra CCF .....	25
Tabela 7 - Sistema simplificado de avaliação do Nível de Performance (PL) alcançado pelo SRP/CS .....	27
Tabela 8 - Cálculo do PL resultante da combinação de SRP/CS.....	27



## LISTA DE ABREVIATURAS

Cat. B	Categoria B
Cat. 1	Categoria 1
Cat. 2	Categoria 2
Cat. 3	Categoria 3
Cat. 4	Categoria 4

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EMC	Compatibilidade eletromagnética (Electromagnetic compatibility)
B <sub>10d</sub>	Valor médio de ciclos até 10% dos componentes falhem perigosamente
CCF	Causa Comum de Falha (Common Cause Failure)
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade central de processamento (Central Processing Unit)
DC	Cobertura de diagnóstico (Diagnostic Coverage)
IEC	Comissão Internacional de Eletrotécnica (International Electrotechnica Commission)
ISO	Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization)
MTTF <sub>d</sub>	Tempo médio para falha perigosa (Mean Time to Dangerous Failure)
NBR	Normas Brasileiras de Regulamentação
NR	Normas Regulamentadoras
PL	Nível de performance (Performance Level)
SRP/CS	Partes Relacionadas à Segurança do Sistema de Controle (Safety Related Parts of a Control System)

## LISTA DE ACRÔNIMOS

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
SIL	Nível de integridade do Sistema (Safety Integrity Level)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 CONCEITOS TERMOS E DEFINIÇÕES .....	16
2.2 ISO 13849-1 (2006) .....	17
2.2.1 Cálculo do Nível de performance requerido (PL <sub>r</sub> ) .....	18
2.2.2 SRP/SC (Partes Relacionadas à Segurança do Sistema de Controle).....	20
2.2.3 Nível de performance (PL).....	20
2.2.4 Tempo médio para falha perigosa (MTTF <sub>d</sub> ) .....	21
2.2.5 Cobertura de diagnóstico (DC) .....	23
2.2.6 Causa comum de falha (CCF) .....	24
2.2.7 Método simplificado para análise o nível de performance (PL) .....	25
2.2.8 Combinação de níveis de performance (PL) de diferentes SRP/CS.....	27
2.2.9 Arquiteturas das categorias .....	28
2.2.9.1 Categoria B.....	28
2.2.9.2 Categoria 1 .....	29
2.2.9.3 Categoria 2 .....	29
2.2.9.4 Categoria 3 .....	31
2.2.9.5 Categoria 4 .....	32
2.3 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA.....	32
2.3.1 Interfaces de segurança .....	32
2.3.2 Dispositivos de intertravamento.....	33
2.3.3 Sensores de segurança .....	33
2.3.4 Dispositivos mecânicos.....	33
2.3.5 Dispositivos de validação.....	33
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1 ILHA ROBOTIZADA PARA COLAGEM DE VIDROS .....	34
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO .....	36
3.2.1 ZONA 1 .....	37
3.2.2 ZONA 2.....	38
3.2.3 ZONA 3.....	39
3.3 SISTEMAS DE ACESSO.....	40
3.3.1 Portas de acesso de manutenção.....	41

3.3.1.1 Esquemático de ligação elétrica.....	41
3.3.1.2 Cálculo $MTTF_d$ .....	43
3.3.1.3 Cálculo DC .....	44
3.3.1.4 Cálculo PL.....	45
3.3.2 Acessos da carroceria e Acesso dos robôs .....	45
3.3.2.1 Esquemático de ligação elétrica.....	47
3.3.2.2 Cálculo $MTTF_d$ .....	48
3.3.2.3 Cálculo DC .....	48
3.3.2.4 Cálculo do PL.....	49
3.3.3 Acessos de vidros .....	49
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A automação é historicamente sinônimo de desenvolvimento, a qual nos últimos anos alterou drasticamente os processos de manufatura existentes, viabilizando que linhas de produção se tornem mais consistentes, precisas, confiáveis e robustas, realizando tarefas de modo mais veloz e barato.

A presença cada vez maior de máquinas e equipamentos automatizados na manufatura, implicam na necessidade de regulamentações no que se diz a respeito da segurança dos trabalhadores. Além de obrigação moral, evitar prejuízos a saúde do trabalhador, existem razões econômicas para evitar acidentes. A segurança deve ser levada em conta desde os estágios de projeto e deve ser considerada até o fim da vida útil do equipamento (design, manufatura, instalação, ajustes, operação, manutenção e desfazimento) (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009). Provendo segurança tanto para o usuário como para o empregador (SICK, 2015).

Segundo a Constituição Federal vigente, é de direito do trabalhador a redução dos riscos a vida e a saúde associados ao trabalho, dentro ou fora do ambiente de trabalho. Existem referências técnicas nacionais para estabelecimento dos princípios fundamentais e medidas mínimas para garantia da saúde e integridade física dos trabalhadores, contudo, quando se trata de definições com respeito a efetividade, resistência e confiabilidade dos sistemas de segurança, ainda se tem como referência normas internacionais já em desuso.

### 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Neste trabalho serão analisados e mensurados os níveis de performance dos sistemas de acesso de uma célula de manufatura robotizada para a colagem automatizada de vidros de acordo com os conceitos e métodos apresentados na norma ISO 13849-1 (2006), focando em específico, nos dispositivos e arquiteturas empregados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As normas que regulamentam e tratam da segurança de máquinas e equipamentos no que se refere prevenção de acidentes e doenças ocupacionais são importantes marco das conquistas dos trabalhadores. As normas provem requerimentos de segurança guiando os princípios de design e integração dos sistemas de segurança. No cenário nacional, ainda se utiliza muitos métodos para a definição das categorias de segurança baseados na norma internacional EN 954-1, substituída em 2011 pela ISO 13849-1, a qual é considerada como solução mais robusta por levar em consideração além da arquitetura da solução escolhida, aspectos como probabilidades de ocorrência de falhas dos componentes empregados na solução, além da arquitetura de ligação elétrica utilizada.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Mensurar o nível de performance atingido pelos dispositivos de hardware, conforme topologia das instalações elétricas adotadas, pela indústria automotiva, nos sistemas de acesso de uma ilha robotizada para a colagem de vidros, segundo a ISO 13849-1 (2006).

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta monografia foram:

- Estudo dos métodos para cálculo do nível de performance apresentados pela norma ISO 13849-1 (2006);
- Aplicação dos métodos simplificados apresentados pela norma ISO 13849-1 (2006) para determinação do nível de performance;
- Identificar os níveis de performance do conjunto de hardware utilizado nos sistemas de acesso da indústria automotiva na ilha robotizada para colagem de vidros, segundo a ISO 13849-1 (2006);

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto de seis capítulos, sendo o primeiro introdutório, apresentando o problema, delimitando o tema e definindo os objetivos. O segundo capítulo apresenta os embasamentos teóricos e conceitos gerais. No terceiro capítulo é descrita a metodologia empregada neste trabalho, na sequência, o quarto capítulo contém todo o desenvolvimento do trabalho, contemplando as análises o estudo de caso, para então serem realizadas as conclusões no quinto capítulo. As referências são mencionadas no sexto e último capítulo.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados temas de referência na literatura disponível, no que se trata, ao estado da arte nos temas envolvidos para o desenvolvimento e execução deste trabalho, abrangendo a ISO 13849-1 (2006), Sistemas de Acesso e Dispositivos de Segurança.

### 2.1 CONCEITOS TERMOS E DEFINIÇÕES

Nesta sessão serão apresentados conceitos termos e definições utilizados e necessários para a compreensão deste trabalho.

**Tabela 1 - Conceitos, Termos e Definições**

<b>Erro</b>	<b>Estado de um item caracterizado pela condição de não ser capaz de executar uma tarefa requerida. (IEC 60050-191, 1990 apud ISO 13849-1, 2006).</b>
<b>Falha</b>	Evento que caracteriza o fim da habilidade de um item de realizar uma tarefa requerida, (após uma falha o item entra em estado de erro). (IEC 60050–191, 1990 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Falha perigosa</b>	Evento que tem o potencial de colocar o SRP/SC (Partes Relacionadas à Segurança do Sistema de Controle) em um estado perigoso ou defeituoso. (Podendo depender ou não da arquitetura do sistema de segurança, em sistemas redundantes uma falha perigosa de <i>hardware</i> <sup>1</sup> tem menores chances de ocorrer). (IEC 61508-4, 1998).
<b>Causa comum de falha</b>	Falhas de itens diversos, resultado de um único evento, onde essas falhas não são consequências uma das outras. (IEC 60050-191-1, 1999 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Falha sistemática</b>	Falha relacionada em modo determinístico a uma certa causa, a qual pode somente ser eliminada por uma modificação de design, ou do processo de manufatura, ou procedimentos operacionais, documentação ou outros fatores relevantes (Manutenções corretiva, sem modificações, não eliminarão a causa da falha). (IEC 60050-191, 1990 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Muting</b>	Suspensão temporária e automática das funções de segurança pelo

<sup>1</sup> *Hardware*: Entende-se como *hardware* todos os equipamentos físicos (componentes), eletrônicos ou não, que fazem parte

	SRP/SC. (ISO 13849-1, 2006).
<b>Reset Manual</b>	Função do sistema de controle utilizado para restaurar manualmente as funções antes de um <i>restart</i> <sup>2</sup> da máquina. (ISO 13849-1, 2006).
<b>Dano</b>	Ferimentos físicos ou prejuízos à saúde (ISO 12100-1, 2003 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Perigo</b>	Fonte potencial de danos. Perigo pode ser caracterizado em ordem a definir sua origem (perigos mecânicos, perigos elétricos, etc) ou sua natureza (perigo de choque elétrico, perigo de corte, perigo de intoxicação, perigo de fogo). (ISO 12100-1, 2003 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Situação perigosa</b>	Circunstâncias a qual o indivíduo está exposto a pelo menos um perigo, potencialmente podendo resultar em dano, seja imediatamente ou após um longo período. (ISO 12100-1, 2003 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Risco</b>	Probabilidade conjunta em ocorrer dano e a gravidade desde dano. (ISO 12100-1, 2003 apud ISO 13849-1, 2006).
<b>Risco residual</b>	Risco remanescente, após a tomada das medidas de proteção. (ISO 13849-1, 2006).
<b>Monitoramento</b>	Função de segurança a qual garante que, ocorra uma medida protetiva assim que a habilidade de um componente ou elemento em realizar sua função seja diminuída. (ISO 13849-1, 2006).
<b>“Well-tried component”</b>	Componentes “bem testados” para uma função de segurança específica, caracterizam componentes que foram amplamente utilizados com sucesso no passado em aplicações similares, ou, construídos e verificados utilizando princípios que garantam que são adequados e confiáveis para aplicações de segurança. (ISO 13849-1, 2006).

## 2.2 ISO 13849-1 (2006)

Sua proposta é gerar procedimentos gerais para máquinas e equipamentos atingirem certos objetivos relacionados à segurança. O SRP/CS possui funções de segurança em certo nível de performance (PL) o qual prove uma requerida redução de risco. Para cada função de segurança, os requerimentos e características, devem ser especificados e documentados. Nesta norma os níveis de performance são

---

<sup>2</sup> Restart: Reinício.

definidos em termos da probabilidade de ocorrência de falhas perigosas por hora. Cinco níveis de performance (a à e) são definidos em razão do range das probabilidades de falhas perigosas conforme Tabela 2 (ISO 13849-1, 2006).

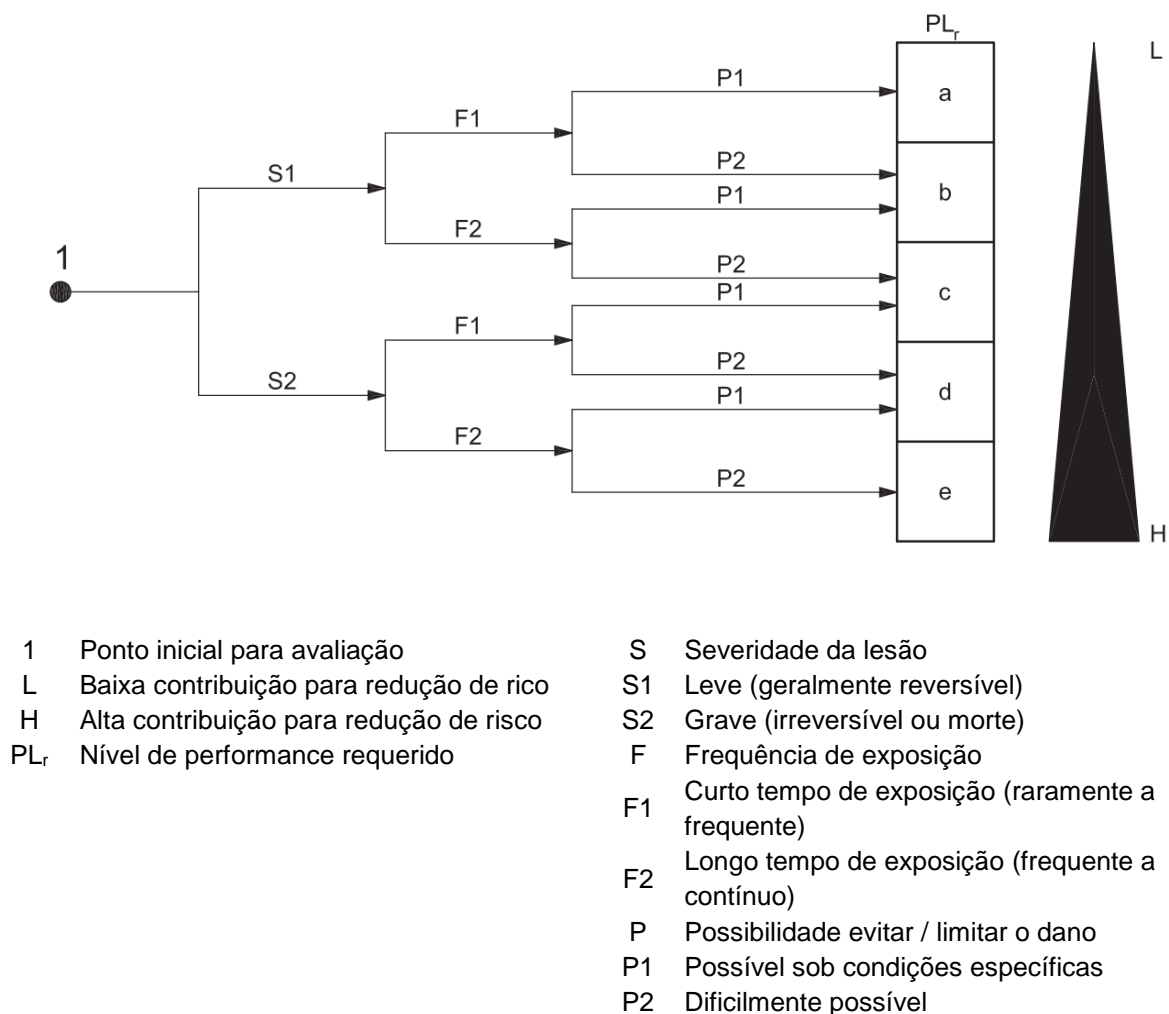
<b>Tabela 2 - Níveis de performance (PL)</b>	
PL	Probabilidade média para falha perigosa por hora
a	$\geq 10^{-5}$ à $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ à $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ à $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ à $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ à $< 10^{-7}$

**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

### 2.2.1 Cálculo do Nível de performance requerido (PL<sub>r</sub>)

Para cada função de segurança a ser realizada pelo SRP/CS, um nível de performance requerido (PL<sub>r</sub>), deve ser determinado e documentado. O PL<sub>r</sub> é definido com base da análise de riscos e refere-se ao tamanho da redução de riscos necessária a ser realizada pelas partes relacionadas à segurança do sistema de controle (ISO 13849-1, 2006). Se maior necessária a redução de riscos necessária, maior o PL<sub>r</sub> deverá ser.

O Anexo A da norma ISO 13849-1 (2006) traz procedimentos para uma estimativa da redução de riscos, determinando o Nível de Performance requerido (PL<sub>r</sub>), para cada uma das funções de segurança realizadas pelas partes relacionadas à segurança dos sistemas de controle. Assume-se que a análise de riscos assume a condição previamente a aplicação das funções de segurança e que outras medidas adotadas para a redução de riscos, a parte do sistema de controle, podem ser tomadas em conta na determinação do PL<sub>r</sub> da função analisada.



**Figura 1 - Gráfico de riscos para determinação do PL<sub>r</sub> para a função de segurança**  
**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

A Figura 1 guia a determinação do nível de performance requerido, dependendo da análise de riscos e deve ser considerada para cada função de segurança. Este método é baseado na norma ISO 14121 e deve ser utilizado em acordo com a norma ISO 12100-1 (ISO 13849-1, 2006).

A severidade da lesão (S) é de intuitiva estimativa (laceração, amputação, fatalidade). Lesões sem demais complicações devem ser classificadas como S1, enquanto amputações e mortes como S2 (ISO 13849-1, 2006).

A frequência de exposição (F) deve ser selecionada de modo a F2 representar uma exposição frequente ou contínua enquanto F1 curto tempo de de exposição, devem ser considerados baseado na frequência e duração de exposição a determinado risco (ISO 13849-1, 2006). O período de exposição ao risco deve ser avaliado utilizando um valor médio quando considerado o tempo total de operação

do equipamento. Em caso de falta de justificativa, caso a frequência seja maior que uma exposição por hora, utilizar F2.

É importante avaliar quando uma situação perigosa pode ser evitada a priori de um acidente. Esta possibilidade (P) deve ser avaliada considerando se a situação pode ser identificada por suas características físicas ou somente por meios técnicos. Outros aspectos importantes que devem ser considerados são em relação aos usuários (operadores sem supervisão, manutentores) e a velocidade em que a situação ocorre. Se existe uma chance realística em se evitar o perigo ou drasticamente se limitar o dano P1 deve ser selecionado, caso contrário P2 (ISO 13849-1, 2006).

### 2.2.2 SRP/SC (Partes Relacionadas à Segurança do Sistema de Controle)

Parte crucial do processo de redução de riscos é a escolha das funções de segurança da máquina. Isso inclui definição das funções de segurança do sistema de controle (exemplo: prevenção de partidas inesperadas). Segundo a ISO 13849-1 (2006), cada função de segurança pode ser implementada individualmente por um ou mais de um SRP/CS, e diversas funções podem dividir o mesmo SRP/CS. O designer do sistema deve utilizar todas as tecnologias disponíveis, individualmente ou em complemento com as demais.

### 2.2.3 Nível de performance (PL)

A habilidade de um SRP/CS em realizar funções de segurança, é expressa por meio da determinação do nível de performance (PL) (ISO 13849-1, 2006). Para cada dispositivo (ou conjunto) selecionado, uma estimativa do nível de performance deverá ser realizada. O PL de um SRP/CS deve ser determinado pela estimativa referente aos seguintes aspectos:

- Tempo médio para falha perigosa (MTTF<sub>d</sub>);
- Cobertura de diagnóstico (DC);
- A arquitetura;
- O comportamento das funções de segurança em caso de falha;
- Falhas sistemáticas;

- Dentre outros;

A norma IEC 61508 (1998), representa a habilidade das partes relacionadas a segurança de sistemas de controle em realizar funções de segurança por meio de graduações SIL. A Tabela 3 apresenta a relação entre os conceitos PL (utilizados neste trabalho) e SIL. A classificação SIL 4 não é utilizado no conceito de riscos de máquinas industriais, sendo a categoria mais alta PL e equivalente ao SIL 3.

**Tabela 3 - Relação entre Nível de Performance (PL) e Nível de Integridade do Sistema (SIL)**

<b>PL</b>	<b>SIL (IEC 61508-1)</b>
<b>a</b>	-
<b>b</b>	1
<b>c</b>	1
<b>d</b>	2
<b>e</b>	3

**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

A norma apresenta um método simplificado para avaliação do nível de performance, discutido adiante no item 2.2.7.

#### 2.2.4 Tempo médio para falha perigosa (MTTF<sub>d</sub>)

Conforme a ISO 13849-1 (2006), os valores de MTTF<sub>d</sub> são medidos em três níveis conforme apresentados na Tabela 4, devem ser estimados os valores para a cada canal individualmente (incluindo cada canal de um sistema redundante). Faixas de operação menores que três anos, assim como maiores que cem anos não são aceitas devido, respectivamente a baixa durabilidade (após um ano 30% dos dispositivos no mercado falhariam) e para casos com altos riscos envolvidos não devem depender apenas na confiabilidade dos componentes. Para consolidar o SRP/CS contra falhas sistemáticas e aleatórias, medidas adicionais como redundância e testes devem ser adotadas. Assume-se 5% de erro nos limites das faixas de operação da Tabela 4.

**Tabela 4 - Tempo médio para falha perigosa (MTTF<sub>d</sub>)**

Denotação do canal	Faixa de operação de cada canal
<b>Baixo</b>	3 anos ≤ MTTF <sub>d</sub> < 10 anos
<b>Médio</b>	10 anos ≤ MTTF <sub>d</sub> < 30 anos
<b>Alto</b>	30 anos ≤ MTTF <sub>d</sub> ≤ 100 anos

**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

A norma menciona três maneiras principais maneiras para estimativa dos valores de MTTF<sub>d</sub>:

- a) utilizar os valores informados pelos fabricantes;
- b) utilizar os métodos do Anexo D da norma (apresentados abaixo);
- c) assumir 10 anos;

A norma ainda apresenta uma equação para o cálculo do MTTF<sub>d</sub> baseado nos valores médios de ciclos até 10% dos componentes falharem perigosamente (B10d), valor este normatizado definido pelo fabricante.

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0.1 \times n_{op}} \quad (1)$$

Onde o número de operações ( $n_{op}$ ) é definido como:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600}{t_{ciclo}} \quad (2)$$

- $d_{op}$       Tempo médio de operação em dias por ano  
 $h_{op}$       Tempo médio de operação em horas por dia  
 $t_{ciclo}$      Tempo médio entre ciclos

Um método simplificado para o cálculo do tempo médio para falha perigosa, para cada canal separadamente, é apresentado no Anexo D da norma ISO 13849-1 (2006). Os valores individuais para cada um dos componentes os quais fazem parte do canal são utilizados nos cálculos, a equação geral é:

$$\frac{1}{MTTF_d} = \sum_{i=1}^{\bar{N}} \frac{1}{MTTF_{di}} = \sum_{j=1}^{\bar{N}} \frac{n_j}{MTTF_{dj}} \quad (3)$$

Onde  $MTTF_d$  é o valor final correspondente para o canal completo, enquanto  $MTTF_{di}$  e  $MTTF_{dj}$  são os valores de cada componente pertencentes ao canal da função de segurança. A variável  $n_j$  corresponde a quantidade de elementos de cada componente utilizado. Este método de contagem das partes é uma aproximação que sempre erra para o lado seguro, sendo baseado na assumpção que todas as falhas de um componente em um canal levam a uma falha perigosa (ISO 13849-1, 2006).

Quando existem canais redundantes em diferentes SRP/CS e os valores de  $MTTF_d$  dos canais são o mesmo, utiliza-se este valor em comum (ISO 13849-1, 2006). Se os valores são diferentes existe duas possibilidades, assumir o menor valor do  $MTTF_d$ , ou estimar utilizando a equação a seguir:

$$MTTF_d = \frac{2}{3} \left[ MTTF_{dC1} + MTTF_{dC2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{dC1}} + \frac{1}{MTTF_{dC2}}} \right] \quad (4)$$

Onde  $MTTF_{dC1}$  e  $MTTF_{dC2}$  são os valores correspondentes para dois canais redundantes diferentes. Com este resultado, entende-se como se cada canal assuma o mesmo  $MTTF_d$ , acima calculado.

### 2.2.5 Cobertura de diagnóstico (DC)

Conforme a ISO 13849-1 (2006), a Cobertura de Diagnóstico é a razão entre a taxa de falhas perigosas detectadas e a taxa total das falhas perigosas.

Trata-se de uma das variáveis utilizadas pela norma para o cálculo do nível de performance, conforme Figura 2. Na maioria dos casos, a cobertura de diagnóstico é avaliada por métodos como FMEA ou similares. As denotações do valor DC do canal (baixo, médio alto) são feitas por meio de valores chaves (60%, 90% e 99%) definidos em outras normas, apresentados na Tabela 5, onde assume-se 5% de erro nos limites das faixas de operação.



**Tabela 5 - Cobertura de diagnóstico (DC)**

Denotação do canal	Faixa de operação de cada canal
-	DC < 60%
Baixo	60% ≤ DC < 90%
Médio	90% ≤ DC < 99%
Alto	99% ≤ DC

Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)

Valores estimados para a cobertura de diagnóstico são apresentados no Anexo E da norma, o qual são dependentes das medidas realizadas pelos dispositivos lógicos, de entrada ou de saída (ISO 13849-1, 2006).

No mesmo anexo a norma apresenta uma abordagem simplificada, para o cálculo de um valor médio para a cobertura de diagnóstico ( $DC_{avg}$ ), os valores são normalizados utilizando a seguinte equação:

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{d1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{DC_N}{MTTF_{dN}}}{\frac{1}{MTTF_{d1}} + \frac{1}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{dN}}} \quad (5)$$

Todos os componentes com detecção do SRP/CS são considerados e somados. Componentes sem detecção de falha (os que não são testados) possuem valor zero de cobertura de diagnóstico, contribuindo apenas no denominador da equação (ISO 13849-1, 2006).

#### 2.2.6 Causa comum de falha (CCF)

A norma ISO 13849-1 (2006), em seu Anexo F apresenta uma tabela para quantificar uma estimativa da causa comum de falha. Esse método quantitativo deve ser aplicado para todo o sistema (todas as partes relacionadas à segurança do sistema de controle). A tabela lista as medidas, contendo valores associados, os quais, representam a contribuição de cada medida na redução da causa comum de falha. Para cada item apenas os valores completos podem ser associados (booleano, tudo ou nada), se uma medida é apenas parcialmente atendida seu valor é zero.

**Tabela 6 - Medidas de avaliação e quantificação de medidas contra CCF**

<b>Nº</b>	<b>Medidas contra CCF</b>	<b>Nota</b>
<b>1</b>	<b>Separação / Segregação</b>	
	Separação entre as vias dos sinais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação em cabeamento;</li> <li>• Espaçamento suficiente e distanciamento nas placas de circuito impresso;</li> </ul>	15
<b>2</b>	<b>Diversidade</b>	
	Diferentes tecnologias / design ou princípios físicos são usados, e componentes de diferentes fabricantes.	20
<b>3</b>	<b>Design / Aplicação / Experiência</b>	
<b>3.1</b>	Proteções contra sobre-tensão, sobre-pressão, sobre-corrente, etc.	15
<b>3.2</b>	“Well-tried component”.	5
<b>4</b>	<b>Avaliação / Análise</b>	
	Os resultados de um modo de falha e análise de efeitos são levados em consideração para evitar causas comum de falha no design.	5
<b>5</b>	<b>Competência / treinamento</b>	
	Existem designers e manutentores bem treinados para entender a causa e consequências das causas comum de falhas.	5
<b>6</b>	<b>Ambiente</b>	
<b>6.1</b>	Prevenção contra contaminação e compatibilidade eletromagnética (EMC) de acordo com normas apropriadas. Sistemas fluídicos: filtração do meio de pressão, prevenção da entrada de sujeira, drenagem de ar comprimido. Para sistemas combinados de fluidos e elétricos, ambos os aspectos devem ser considerados.	25
<b>6.2</b>	Outras influencias Posuem os requerimentos para imunidade para todas as influencias relevantes dos ambientes.	10
<b>TOTAL</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>Medidas para evitar CCF</b>
<b>≥ 65</b>	Atende aos requerimentos	
<b>&lt; 65</b>	Não conforme	

Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)

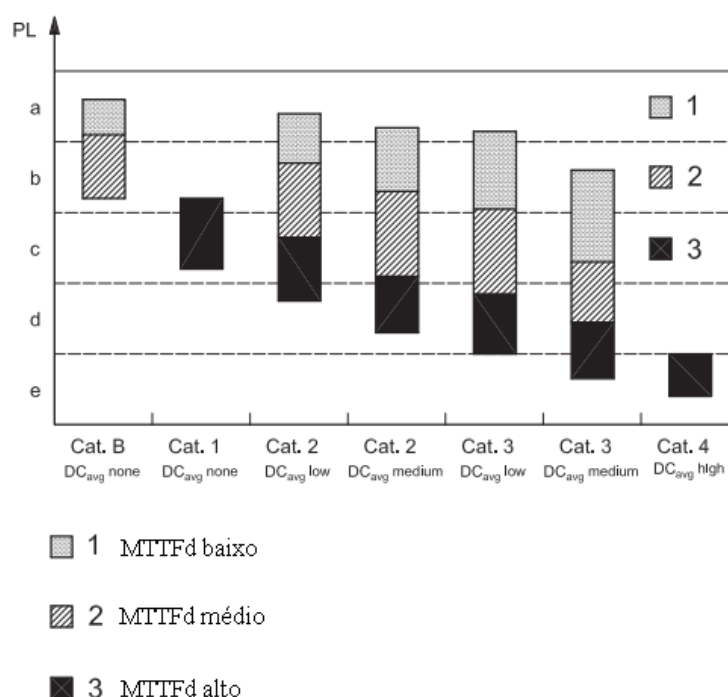
### 2.2.7 Método simplificado para análise o nível de performance (PL)

O nível de performance pode ser estimado utilizando os parâmetros apresentados em 2.2.1 (ISO 13849-1, 2006). A norma apresenta um método simplificado para a estimativa do PL, baseado nas arquiteturas das categorias

(2.2.9), o qual utilizando valores estimados de  $MTTF_d$  (2.2.4) e  $DC_{avg}$  (2.2.5) das funções de segurança (os quais devem ser estimados previamente a utilização do método) e são presumidas as seguintes assumpções:

- Tempo de operação do equipamento: 20 anos;
- Taxa de falhas constante durante o tempo de operação;
- Categoria 2: Taxa de demanda  $\leq$  1% Taxa de testes;
- Categoria 2:  $MTTF_d$  do dispositivo de teste  $>$  50%  $MTTF_d$  do dispositivo de lógico;

Na Figura 2 pode-se verificar um método visual para a determinação do PL atingido pelo sistema. Com a combinação dos fatores categoria (arquitetura) e  $DC_{avg}$  é definido a coluna do diagrama. De acordo com o  $MTTF_d$  de cada canal uma das três áreas de ser selecionada (ISO 13849-1, 2006).



**Figura 2 - Relação entre categorias,  $DC_{avg}$ ,  $MTTF_D$  e PL**  
**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

Caso a área dos eixos verticais no diagrama referentes ao PL atingido cubra dois ou três possíveis níveis de performance, deve-se utilizar Tabela 7 (ISO 13849-1, 2006).

**Tabela 7 - Sistema simplificado de avaliação do Nível de Performance (PL) alcançado pelo SRP/CS**

Categoria		B	1	2	2	3	3	4
DC <sub>avg</sub>		-	-	baixo	médio	baixo	médio	alto
MTTF <sub>D</sub>	Baixo	a	-	a	b	b	c	-
	Médio	b	-	b	c	c	d	-
	Alto	-	c	c	d	d	d	e

Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)

### 2.2.8 Combinação de níveis de performance (PL) de diferentes SRP/CS

As funções de segurança podem ser realizadas da combinação de diversos dispositivos relacionados a segurança dos sistemas de controle: dispositivos de entrada, saída ou lógica. Para tal, devem ser identificados os níveis de performance individuais de cada dispositivo no canal, e considera-se, apenas para essa combinação, que todos os dispositivos estão conectados em série (mesmo que a estrutura possua ramificações paralelas e em cascata) (ISO 13849-1, 2006).

Com todos os valores de PL dos dispositivos identificados, para estimar o nível de performance resultante da combinação:

- I) Primeiramente, identifica-se qual o menor PL entre todos os dispositivos (PL<sub>low</sub>);
- II) Em sequência, calcula-se quantos dispositivos (N<sub>low</sub>) possuem o nível de performance igual PL<sub>low</sub>;

Com dados de PL<sub>low</sub> e N<sub>low</sub> definidos, verifica-se a Tabela 8.

**Tabela 8 - Cálculo do PL resultante da combinação de SRP/CS**

PL <sub>low</sub>	N <sub>low</sub>	→	PL
a	>3	→	-
	≤3	→	a
b	>2	→	a
	≤2	→	b
c	>2	→	b
	≤2	→	c
d	>3	→	c

	$\leq 3$	$\rightarrow$	d
	$> 3$	$\rightarrow$	d
e	$\leq 3$	$\rightarrow$	e

Fonte: ISO 13849-1 (2006)

### 2.2.9 Arquiteturas das categorias

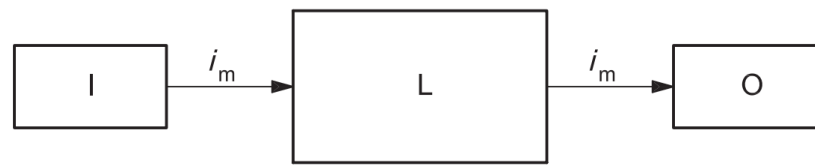
Toda estrutura de um sistema de segurança deve cumprir com os requerimentos da categoria segurança de projeto (2.2.9.1, 2.2.9.2, 2.2.9.3, 2.2.9.4 e 2.2.9.5). A maioria dos sistemas presentes na indústria, podem ser representados em uma das categorias. Variações das arquiteturas das categorias são possíveis, porém devem ser justificadas, e asseguradas que atendem os requerimentos das categorias, através de métodos analíticas apropriados. As arquiteturas não são consideradas apenas para diagrama de circuitos, mas também para diagramas lógicos. Isso significa que, para as categorias 3 e 4, os elementos redundantes não devem ser necessariamente dispositivos físicos (ISO 13849-1, 2006).

Neste trabalho, serão utilizados também os termos Cat. B, Cat. 1, Cat. 2, Cat. 3 e Cat. 4 para mencionar as categorias de segurança B, 1, 2, 3 e 4 respectivamente (ISO 13849-1, 2006).

#### 2.2.9.1 Categoria B

A Categoria B, como sistema mínimo, deve ser projetado, construído, selecionado, montado e combinado em acordo com as normas relevantes utilizando princípios básicos de segurança para a aplicação em específico (ISO 13849-1, 2006, tradução nossa), no que se diz respeito as operações envolvidas, possíveis influencias dos insumos envolvidos e outras influências externas.

Cobertura de diagnóstico (DC) não são consideradas para essa categoria e  $MTTF_d$  pode ser tanto baixo como médio. Como geralmente são esse tipo de aplicação é canal simples, considerações de CCF não são relevantes. O nível de performance máximo atingido pela Cat. B é  $PL= b$  (ISO 13849-1, 2006).



- $i_m$  Interconexões entre os meios  
 I Dispositivos de entrada (exemplo: sensor)  
 L Logica  
 O Dispositivo de saída (exemplo: contator)

**Figura 3 - Diagrama Categorias B e 1**  
**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

### 2.2.9.2 Categoria 1

Para Cat. 1, os mesmos requerimentos apresentados para Cat. B em 2.2.9.1 devem ser garantidos, adicionalmente devem ser utilizados “*well-trying components*” (2.1). O  $MTTF_d$  para os canais deve ser alto e assim como a Cat. B, DC e CCF não são relevantes. O nível de performance mais alto atingido pela categoria 1 é  $PL = c$ , e seu diagrama de categoria é o mesmo apresentado em Figura 3 (Cat. B) (ISO 13849-1, 2006).

### 2.2.9.3 Categoria 2

A categoria 2, parte dos mesmos requerimentos das categorias B (2.2.9.1) e do princípio “*well-trying componentes*” (2.2.9.2), adicionalmente as funções de segurança dos sistemas devem conferidos em intervalo de tempo adequado pelo sistema de controle, sendo realizados (ISO 13849-1, 2006):

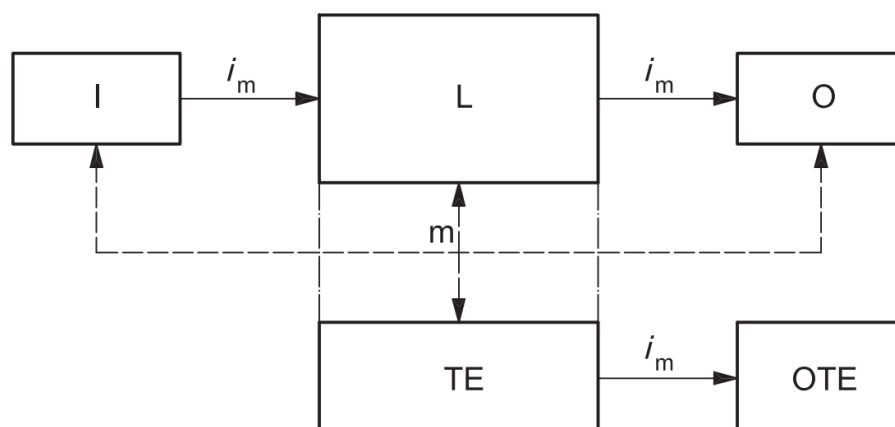
- No *start-up*<sup>3</sup> da máquina;
- A priori da inicialização de alguma situação perigosa;
- Periodicamente durante a operação;

<sup>3</sup> *Start-up*: processo de inicialização da máquina.

As verificações das funções de segurança devem permitir a operação de nenhuma falha for encontrada, entrar em modo de falha segura caso uma falha seja detectada (ISO 13849-1, 2006).

Seu princípio de operação é que a frequência das verificações pode diminuir a probabilidade da ocorrência de situações perigosas. As características da categoria 2, permitem que a ocorrência de uma falha possa encadear a perda da função de segurança entre as verificações, contudo, a perda da função é detectada nas verificações (ISO 13849-1, 2006).

A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos da Cat. 2. O cálculo de  $MTTF_d$  e  $DC_{avg}$  e CCF devem ser considerados apenas para os blocos de entrada lógica e saída, desconsiderando os dispositivos de teste. O valor da cobertura de diagnóstico ( $DC_{avg}$ ) deve ser baixo, enquanto  $MTTF_d$  pode variar entre baixo e alto, dependendo do nível de performance requerido, o valor máximo possível para Cat. 2 é  $PL = d$  (ISO 13849-1, 2006).



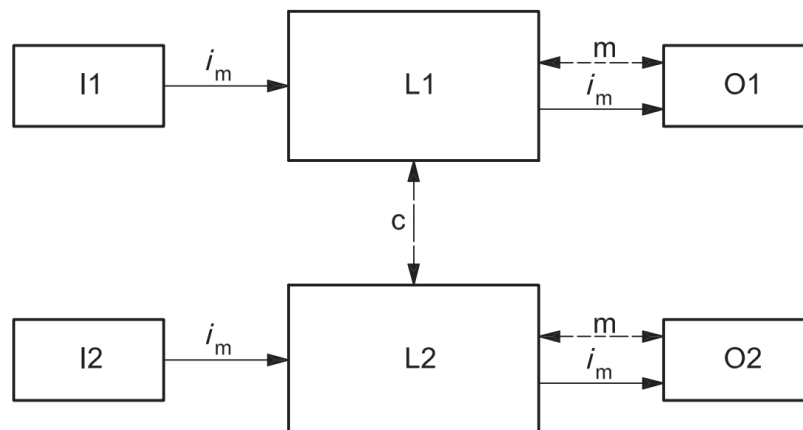
- $i_m$  Interconexões entre os meios
- I Dispositivos de entrada (exemplo: sensor)
- L Logica
- m Monitoramento
- O Dispositivo de saída (exemplo: contator)
- TE Dispositivo de teste
- OTE Saída do dispositivo de teste

**Figura 4 - Diagrama Categoria 2**  
**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**

### 2.2.9.4 Categoria 3

A categoria 3, parte dos mesmos requerimentos das categorias B (2.2.9.1) e do princípio “well-tried componentes” (2.2.9.2), adicionalmente deve ser projetada de modo que uma única falha não leve a perda da função de segurança. Uma única falha deve ser detectada no momento ou antes da demanda da função de segurança, contudo, nem todas as falhas são detectadas, assim, o acumulo de falhas não detectadas pode levar a perda da função de segurança. A cobertura de diagnóstico deve ser baixa. O  $MTTF_d$  de cada canal redundante pode variar de baixo a alto, dependendo do nível de performance requerido. Medidas contra CCF devem ser aplicadas (ISO 13849-1, 2006).

A Figura 5 apresenta o diagrama de blocos da Cat. 3.



- $i_m$  Interconexões entre os meios
- $c$  Monitoramento cruzado
- I1, I2 Dispositivos de entrada (exemplo: sensor)
- L1, L2 Logica
- M Monitoramento
- O1, O2 Dispositivos de saída (exemplo: contator)

**Figura 5 - Diagrama Categorias 3 e 4**  
**Fonte: Adaptado de ISO 13849-1 (2006)**



#### 2.2.9.5 Categoria 4

A categoria 4, parte dos mesmos requerimentos das categorias B (2.2.9.1) e do princípio “well-tried componentes” (2.2.9.2), adicionalmente deve ser projetada de modo que uma única falha não leve a perda da função de segurança. Uma única falha deve ser detectada no momento ou antes da demanda da função de segurança, contudo, nem todas as falhas são detectadas, assim, o acúmulo de falhas não detectadas não pode levar a perda da função de segurança. A cobertura de diagnóstico deve ser alta. O  $MTTF_d$  de cada canal redundante deve ser alto. Medidas contra CCF devem ser aplicadas (ISO 13849-1, 2006).

A Figura 5 apresenta o diagrama de blocos da Cat. 4.

### 2.3 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

Para Firjan (2012), considera-se como dispositivos de segurança os componentes que, individualmente, coletivamente ou associados a proteções, reduzem os riscos de acidentes e de outros danos à saúde sendo classificados em: Interfaces de segurança, dispositivos de intertravamento, sensores de segurança, dispositivos mecânicos e dispositivos de validação.

#### 2.3.1 Interfaces de segurança

Dispositivos responsáveis pelo monitoramento, verificando o funcionamento dos dispositivos do sistema (CLP de segurança, rele de segurança) (FIRJAN, 2012).

A escolha do dispositivo lógico depende de fatores como números de entradas do processo, custo e complexidade das funções de segurança. O uso de eletrônicos complexos e softwares em dispositivos de controle de segurança e CLPs, têm guiado a evolução das normas relacionadas a sistemas elétricos de controle. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009).

### 2.3.2 Dispositivos de intertravamento

Compreendem: chaves de segurança, magnéticas, eletromecânicas, codificadas, optoeletrônicas e demais dispositivos que impeçam o funcionamento da máquina sob condições específicas (FIRJAN, 2012).

Durante partes perigosas na operação, são utilizados para proibir o acesso fontes de perigo, permitindo o acesso apenas quando garante-se condições de segurança. Dispositivos de intertravamento devem ser selecionados para minimizar a possibilidade de defeitos e falhas. Devem ser fixados seguramente exigindo uso de ferramentas específicas para sua remoção ou ajustes. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009).

### 2.3.3 Sensores de segurança

São componentes que detectam presença de indivíduos, ou partes de seu corpo, quando os mesmos, invadem zonas de perigos nas máquinas e equipamentos. (Cortinas de luz, detectores optoeletrônicos, lasers, barreiras óticas, monitores de área, tapetes de posição, scanners, dentre outros) (FIRJAN, 2012).

São projetados para a proteção de pessoas na vizinhança das máquinas e equipamentos (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009).

### 2.3.4 Dispositivos mecânicos

São dispositivos “de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, defletores e retráteis” (BRASIL, 2015).

### 2.3.5 Dispositivos de validação

São dispositivos cujo os comandos são operados manualmente para habilitação do dispositivo (BRASIL, 2015).

### 3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentada a Ilha Robotizada para Colagem de Vidros do estudo de caso deste trabalho. Serão descritos seus principais elementos, processos de manufatura para então serem delimitadas os sistemas de acesso, os quais os níveis de performance das arquiteturas de hardware serão avaliados conforme a ISO 13849-1 (2006).

Para o desenvolvimento do trabalho foram levantadas informações a respeito de uma instalação industrial robotizada para aplicação automatizada de vidros em carrocerias. Assim foi elaborada uma revisão bibliográfica a respeito da ISO 13849-1 (2006), a respeito de seus princípios, conceitos e métodos apresentados.

A norma foi concebida de tal maneira para guiar o projeto de sistemas de segurança, partindo pela definição dos requerimentos de segurança, design da arquitetura até sua implementação.

Neste trabalho, abordou-se em certo modo, o caminho inverso apresentado da norma, pois partindo do sistema físico já existente, utilizando os métodos apresentados na norma ISO 13849-1 (2006), para auditar o nível de performance PL atingido pelos sistemas de acesso da ilha robotizada.

Para atingir os objetivos do trabalho serão utilizados catálogos de fornecedores, manuais, normas e artigos a respeito dos temas abordados, como dispositivos de segurança, CLPs e demais periféricos envolvidos na célula de manufatura robotizada. Documentos quais guiaram compreender e mensurar os níveis de performance e demais variáveis definidas pela norma.

#### 3.1 ILHA ROBOTIZADA PARA COLAGEM DE VIDROS

A ilha robotizada para colagem de vidros, realiza a colagem do parabrisas e lunetes<sup>4</sup> em sete diversidades de veículos, substituindo o processo de colagem manual. Incluindo a pega dos vidros pelos robôs, a aplicação do mastique<sup>5</sup>, a medição do veículo via sistema de visão a laser, correção no posicionamento de

---

<sup>4</sup> Lunete: Vidro traseiro;

<sup>5</sup> Mastique: Resina adesiva utilizada para a colagem do vidro a carroceria, atuando também na estanqueidade do veículo;

colagem baseado na medição e a aplicação dos vidros na carroceria. Projetada para trabalhar em cadência de mais de 50 veículos/hora com tempo de ciclo máximo de 60 segundos, de 5 a 6 dias por semana em 3 jornadas de 8 horas.

A Ilha é subdividida em três principais áreas: Zona 1, Zona 2 e Zona 3. Sendo a Zona 1 responsável pela preparação e colagem da lunete a Zona 2 responsável pela preparação e colagem do parabrisas e a Zona 3 pela retacagem<sup>6</sup> do veículo.

Os principais elementos de cada zona são:

- Zona 1:
  - A1: Esteira de transportes lunetes;
  - B1: Centrador lunetes;
  - E1: Robo1 ABB IRC5 6700;
  - F1: Mesa de descarte lunetes;
  - Z1BIA: Painel portão de acesso a Zona 1;
  
- Zona 2:
  - A2: Esteira de transportes parabrisas;
  - B2: Centrador parabrisas;
  - E2: Robo2 ABB IRC5 6700;
  - H2: Mesa de descarte parabrisas;
  - Z2BIA: Painel portão de acesso a Zona 2;
  
- Zona 3:
  - T14: Mesa de transporte e retacagem de veículos;
  - Z3BIA: Painel portão de acesso a Zona 3;

---

<sup>6</sup> Retacagem: Fixação da carroceria do veículo;

A Figura 6 apresenta um sinóptico geral da ilha robotizada, assim como as instalações a montante (CH13-SE4) e a jusante (TB15-SE2), a Zona 1 representada pela cor rosa, Zona 2 pela cor azul e Zona 3 pela cor cinza.

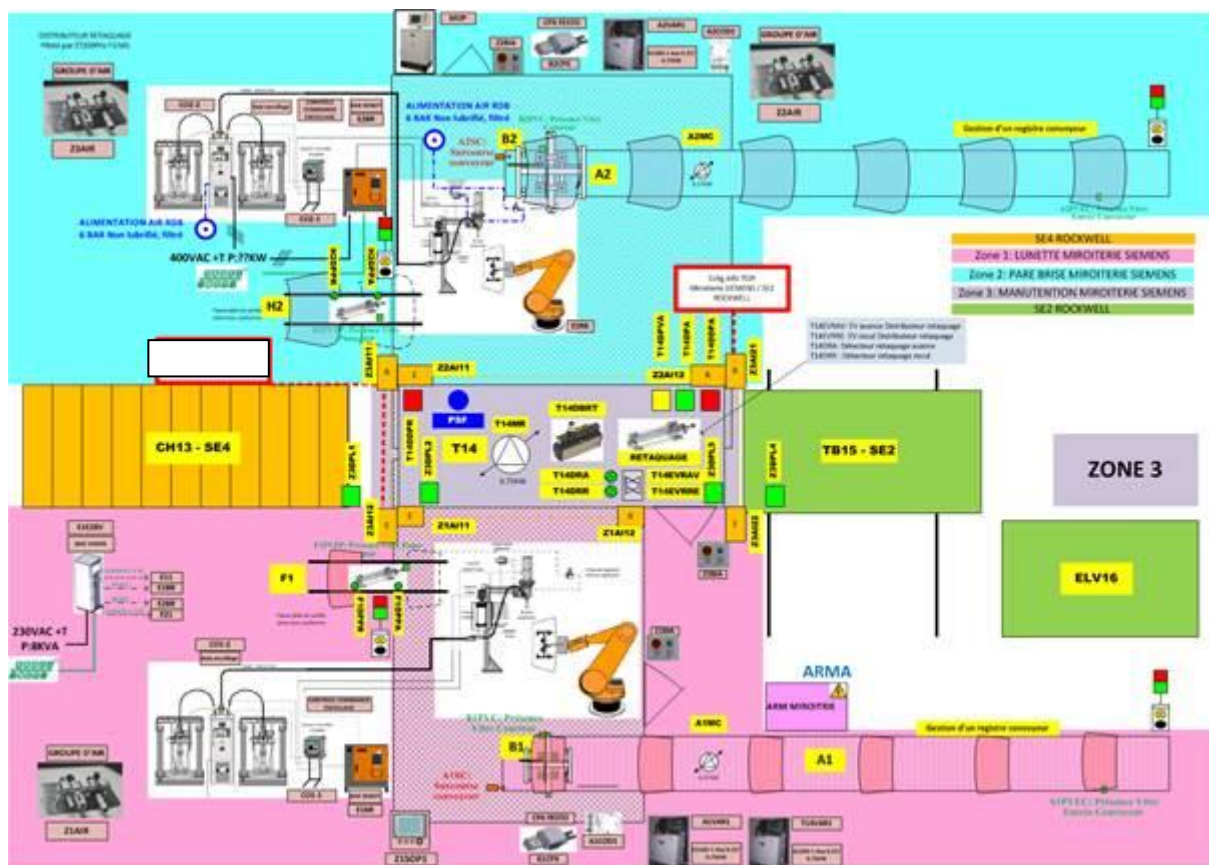


Figura 6 - Sinóptico geral  
Fonte: O AUTOR

### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Os veículos são transferidos até a ilha robotizada por meio de esteira (CH13) da instalação denominada como SE4 (governada por controlador lógico programável diferente), ingressando na mesa de transporte e retacagem T14 – Zona 3, e após o ciclo o veículo é descarregado na mesa de transbordo TB15 da instalação SE2.

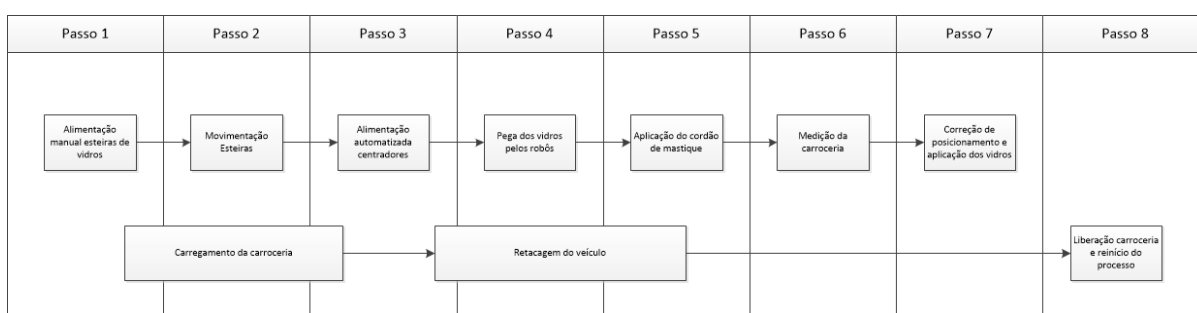
O processo de montagem é dividido em duas partes principais, parabrisas e vidro traseiro (lunete), um a cada lado da mesa T14. Para cada uma das partes, existe um conjunto transportador de abastecimento para os vidros, que alimenta automaticamente um centrador, que garante a posição de pega do vidro pelo robô.

Com a entrada do veículo na Zona 3, os robôs retiram os vidros dos respectivos centradores e aplicam o cordão de mastique (vedante) conforme especificações do fabricante. Com o veículo em posição na mesa T14, é realizada a

fixação do veículo e em sequência, com a devida autorização, os robôs invadem a Zona 3 para realizarem primeiramente a medição dos veículos, através de um sistema de medição a laser, e em sequência, baseados nos resultados de medição corrigem a posição de deposição dos vidros na carroceria, garantindo qualidade e uniformidade nas aplicações.

Caso ocorram problemas durante o processo como: falha de aplicação do cordão de mastique, medição do veículo fora de limites de tolerância ou excesso de tempo entre a aplicação do cordão e a aplicação do vidro à carroceria, existem mesas de descartes para os vidros, necessitando intervenção do operador ou manutentor para a remoção do vidro descartado e devidas medidas para aplicação de novo vidro ao veículo não conforme.

A Figura 7 mostra um diagrama simplificado das etapas realizadas pelo processo.



**Figura 7 - Diagrama simplificado do processo**  
Fonte: O AUTOR

### 3.2.1 ZONA 1

A Zona 1 é responsável pela preparação e colagem das lunetas na carroceria. É composta de uma esteira A1 com capacidade para 7 vidros sequenciados, abastecidos e controlados manualmente por um operador. A esteira transporta as lunetas até o centrador das lunetas, que é composto por um conjunto de atuadores pneumáticos os quais garantem a posição de pega pelo manipulador robótico E1, o qual por sua vez, aplica o cordão de mastique (bomba CO1) controlada como seu sétimo eixo, e aplica o vidro sobre a carroceria fixada na Zona 3. Caso ocorra algum problema durante o ciclo, a zona possui uma mesa pneumática de descarte F1 com capacidade para 1 lunete por vez.

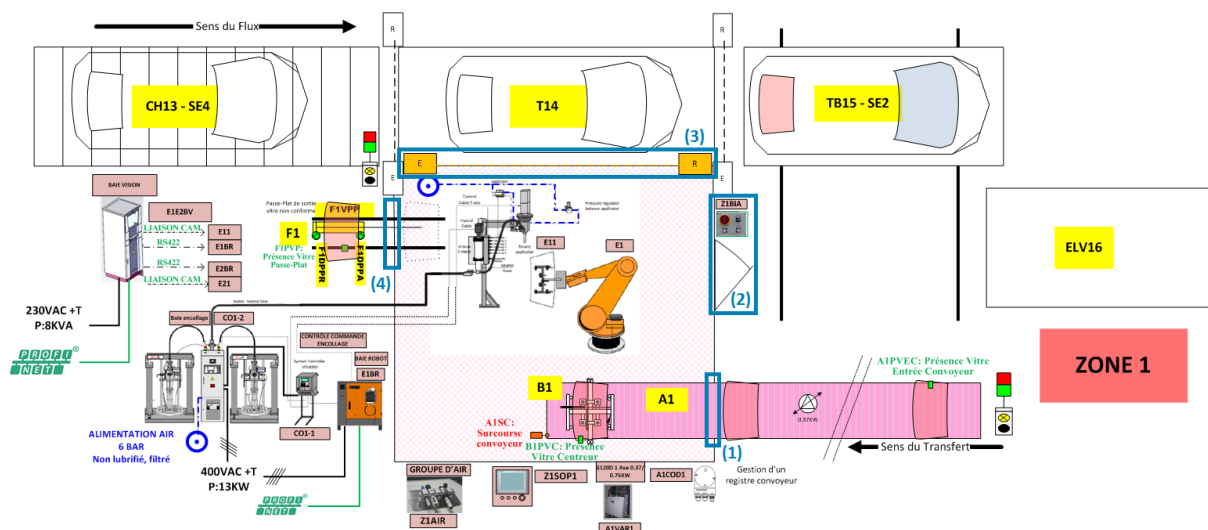
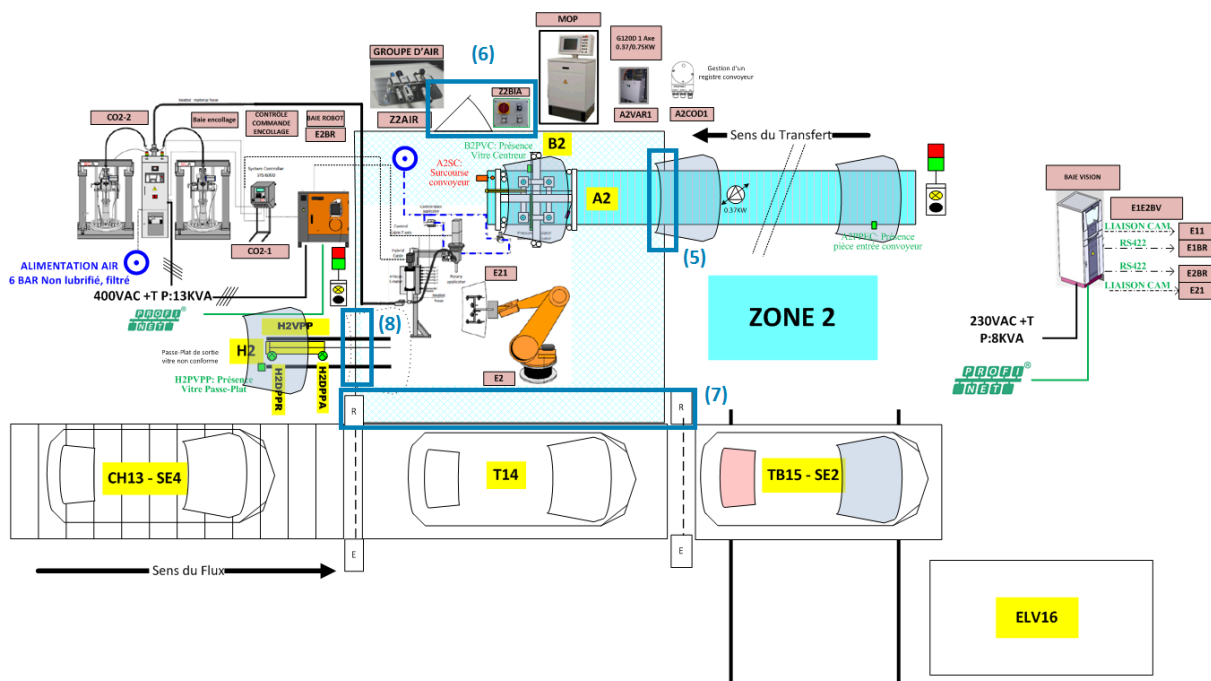


Figura 8 - Sinóptico Zona 1  
Fonte: O AUTOR

### 3.2.2 ZONA 2

A Zona 2 é responsável pela preparação e colagem de parabrisas na carroceria. É composta de uma esteira A2 com capacidade para 6 vidros sequenciados, abastecidos e controlados manualmente por um operador. A esteira transporta os parabrisas até o centrador dos parabrisas, que é composto por um conjunto de atuadores pneumáticos os quais garantem a posição de pega pelo manipulador robótico E2, o qual por sua vez, aplica o cordão de mastique (bomba CO2) controlada como seu sétimo eixo, e aplica o vidro sobre a carroceria fixada na Zona 3. Caso ocorra algum problema durante o ciclo, a zona possui uma mesa pneumática de descarte H2 com capacidade para 1 parabrisas por vez.



**Figura 9 - Sinóptico Zona 2**  
**Fonte: O AUTOR**

### 3.2.3 ZONA 3

A Zona 3 é responsável pelo transporte da carroceria através da ilha. É composta por uma mesa de transporte e retacagem (pneumática), o qual recebe o veículo da sessão anterior, o fixa para as operações de medição e colagem, o entregando para a sessão posterior. Todo o ciclo de operação da ilha acontece mais rapidamente que o ciclo geral da linha de montagem, o que em outras palavras, significa que a ilha robotizada não para e não é um gargalo para a linha principal. Com o veículo retacado, a Zona 3 autoriza a invasão da zona pelos robôs E1 e E2 para suas devidas operações.



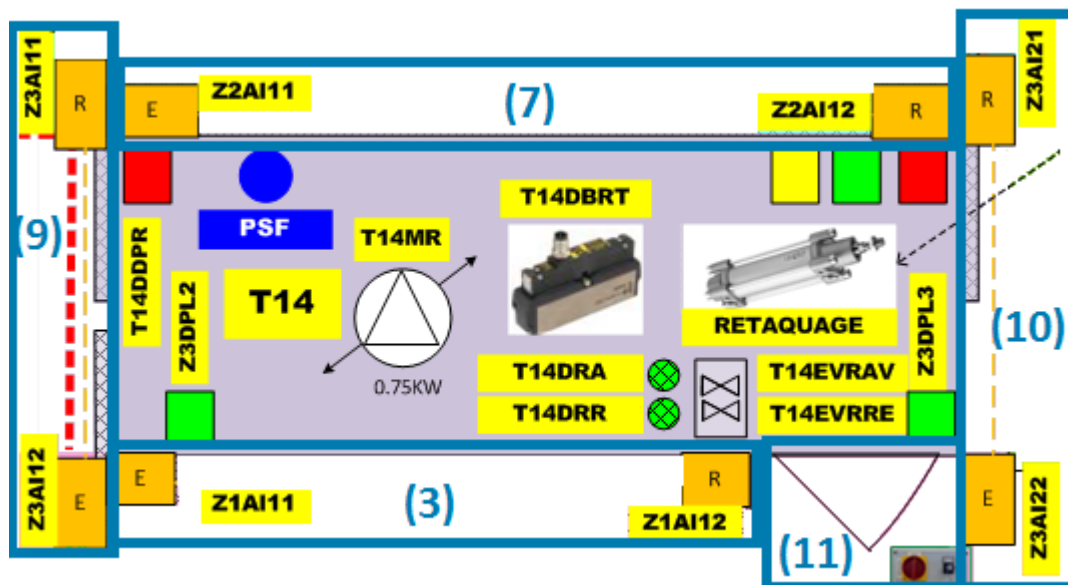


Figura 10 - Sinóptico Zona 3  
Fonte: O AUTOR

### 3.3 SISTEMAS DE ACESSO

A ilha robotizada possui um total de 11 sistemas de acesso distribuídos conforme: Zona 1: 4, Zona 2: 4 e Zona 3: 3. Numerados e destacados na Figura 8, Figura 9 e Figura 10. Dentre suas funções são categorizados em quatro funções distintas:

- Portas de acesso de manutenção (nº: 2, 6 e 11);
- Acessos da carroceria (nº: 9 e 10);
- Acessos dos robôs (nº: 3 e 7);
- Acessos de vidros (nº: 1, 4, 5 e 8);

Como não existe acesso informações suficientes para avaliação das causas comum de falhas (CCF) conforme a norma, no que se diz a respeito dos componentes, uma vez que se tratam de componentes industriais e amplamente utilizados na indústria, o CCF conforme a Tabela 6 será considerado como adequado.

### 3.3.1 Portas de acesso de manutenção

As portas de acesso de manutenção são destinadas a intervenções necessárias no interior da ilha pela manutenção ou pessoal treinado, como a limpeza dos bicos de aplicação do cordão de mastique, são realizadas por meio de solicitação e apenas autorizadas após a desativação dos atuadores e partes móveis.

As três portas existentes na instalação (uma por zona) são idênticas do ponto de vista de equipamentos e instalação, por isso os cálculos aqui apresentados serão realizados apenas para uma das portas de acesso.



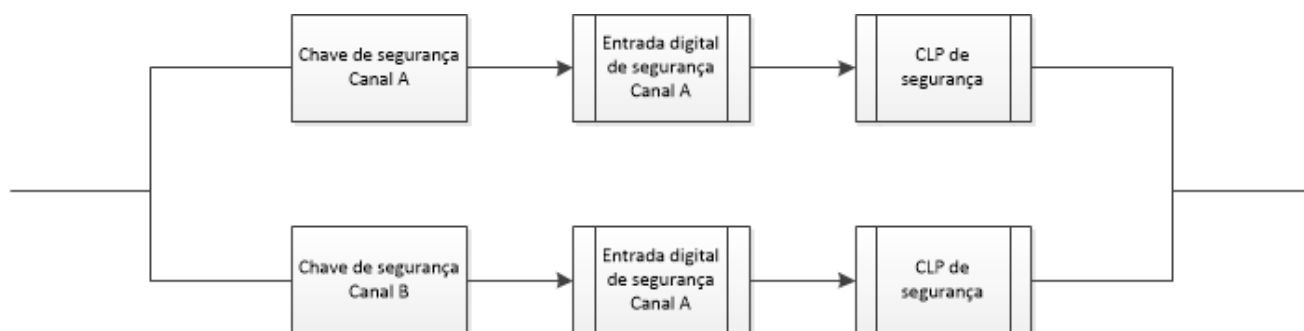
**Figura 11 - Porta de acesso de manutenção Zona 3**  
**Fonte: O AUTOR**

#### 3.3.1.1 Esquemático de ligação elétrica

O conjunto de hardware da função de segurança é composto por:

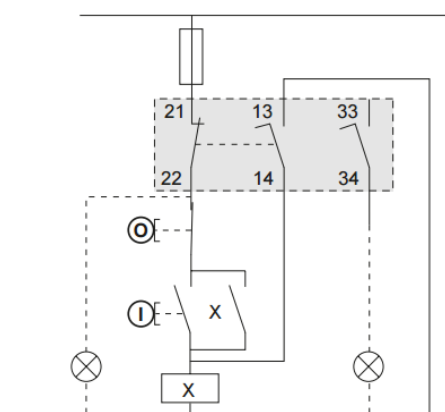
- 1 – Chave de segurança Telemecanique XCSA5;
- 2 – Entradas digitais Siemens 4/8 F-DI 24V PROFISafe;
- 1 – CLP Segurança Siemens S7 319-F;

A Figura 12 apresenta o diagrama de blocos equivalente do esquema de ligação dos elementos de hardware conforme *datasheet*<sup>7</sup> fornecido pelos fabricantes. As chaves de segurança, assim como as entradas de segurança são duplo canal, por isso, são representados distintamente como dois elementos. A CPU de segurança executa diversas funções de segurança ao mesmo tempo, justifica-se daí a representação como diferentes elementos.



**Figura 12 - Diagrama de blocos das portas de acesso de manutenção**  
**Fonte: O AUTOR**

Segundo o fabricante, as chaves de segurança XCSA5, as mesmas atendem a Cat. 1 – PL = c, segundo a ISO 13849-1 (2006) conforme diagrama de ligação elétrica Figura 13.

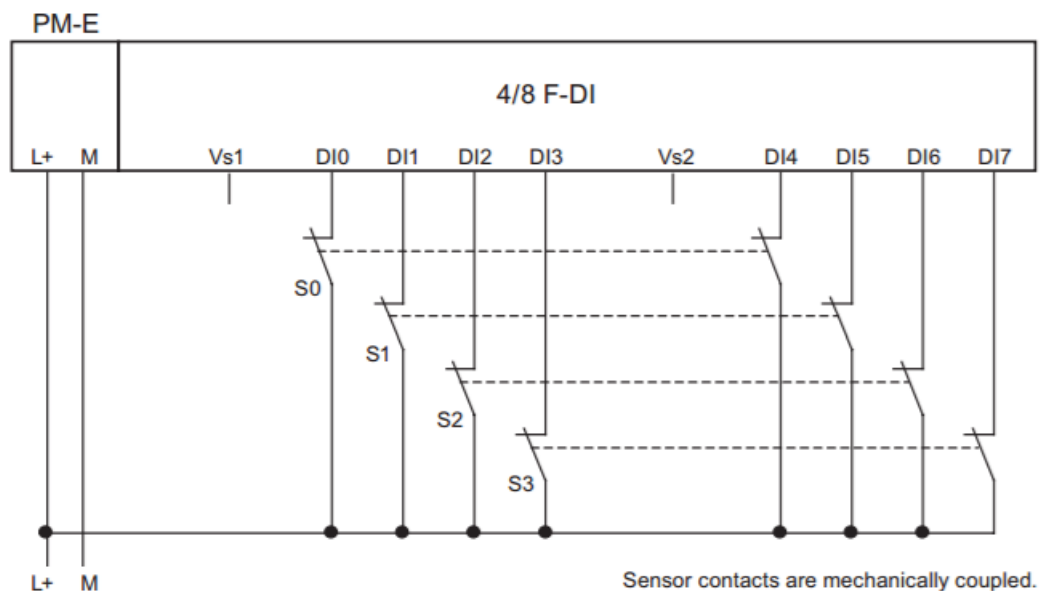


**Figura 13 - Diagrama de ligação elétrica chave de segurança XCSA5**  
**Fonte: Telemecanique (2017).**

As entradas digitais de segurança 4/8 F-DI 24V PROFISafe, podem atingir Cat. 3 ou Cat. 4, dependendo de como é realizado o esquemático de ligação

<sup>7</sup> Datasheet: Ficha de dados técnicos

elétrica. Conforme a Figura 14, as ligações elétricas utilizadas na ilha robotizada atingem Cat. 3 – PL = d.



**Figura 14 - Diagrama de ligação elétrica entrada digital 4/8 F-DI 24V PROFISafe**  
**Fonte: Siemens (2005).**

A CPU de segurança Siemens S7 319-F, conforme fabricante é certificada para atender Cat. 4 – PL = e.

A categoria do sistema resultante da arquitetura apresentada na Figura 12, é definida conforme 2.2.8. Tem-se como  $PL_{low} = c$  e  $N_{low} = 1$ , assim verificando a Tabela 8, tem-se que como nível de performance resultante  $PL = c$ .

### 3.3.1.2 Cálculo $MTTF_d$

O cálculo do  $MTTF_d$  médio apresentado em 2.2.4 pode ser estimado principalmente por três estratégias diferentes. Será priorizado utilizar dados fornecidos pelo fabricante e caso não disponível, serão adotados valores para o  $MTTF_d$  do dispositivo como 10 anos.

Conforme folha de dados técnicos do componente XCSA5, a chave de segurança possui  $M_{10d} = 5000000$ , considerando o pior caso de operação da ilha, com produção em máxima capacidade (tempo de projeto apresentados em 3.1), 6 dias por semana em 3 jornadas de 8 horas diárias. Assumindo que o tempo de ciclo,

entre aberturas de portas consecutivas é de 10 segundos (devido aos procedimentos de solicitação de acesso exigidos), tem-se que:

$$n_{op} = \frac{312 \text{ dias/ano} \times 24 \text{ h/dia} \times 3600 \text{ s/h}}{10 \text{ s}} = 2.69568 \times 10^6 \quad (6)$$

$$MTTF_d = \frac{5 \times 10^6}{0.1 \times 2.69568 \times 10^6} \approx 18,55 \text{ anos} \quad (7)$$

Os valores tanto para  $MTTF_d$  como para  $M_{10d}$  para a CPU de segurança S7 319-F e entradas digitais de segurança PROFISafe não foram encontrados nos manuais do fornecedor. Portanto conforme a norma, serão adotados ambos valores de  $MTTF_d$  como 10 anos, contudo especificamente para a CPU de segurança, como é certificada para Cat. 4 – PL = e, conforme a Tabela 7 não existe alternativa se não possuir classificação  $MTTF_d$  alta. Segundo a Tabela 4 o menor valor plausível para essa classificação alta é de 30 anos, valor este adotado para a CPU.

Para a definição do valor médio do  $MTTF_d$  de um canal, calcula-se:

$$\frac{1}{MTTF_d} = \frac{1}{MTTF_{dChaveSeg}} + \frac{1}{MTTF_{dF-DI}} + \frac{1}{MTTF_{dCLP}} \quad (8)$$

$$\frac{1}{MTTF_d} = \frac{1}{18,55 \text{ anos}} + \frac{1}{10 \text{ anos}} + \frac{1}{30 \text{ anos}} = \frac{0,18724}{\text{anos}} \quad (9)$$

$$MTTF_d = 5,34 \text{ anos} \quad (10)$$

Como ambos os canais são idênticos, assume-se o valor de um canal individual para o conjunto em paralelo.

### 3.3.1.3 Cálculo DC

Devido as características de construção da chave de segurança, conforme verificado Figura 13, o uso de contatos normalmente aberto e normalmente fechado

conectados mecanicamente entre si, é classificado com DC = 99% pelo Anexo E da norma ISO 13849-1 (2006), tabela de dispositivos de entrada.

Pela mesma tabela, o módulo de entrada digital de segurança PROFISafe é classificado com DC = 99%, devido ao monitoramento cruzado dos sinais de entrada monitorados e testados temporalmente e por lógica de software, com detecção de falhas e curtos-circuitos. Funcionalidades descritas no manual do equipamento.

A CPU de segurança, tanto por sua natureza (certificado como Cat. 4 – PL = e), como por suas funcionalidades de monitoramento direto e unidade de processamento codificada, conforme apresentado na tabela de dispositivos lógicos do Anexo E, possui DC = ≥99%.

Assim o cálculo de  $DC_{avg}$  é realizado por:

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_{ChaveSeg}}{MTTF_{ChaveSeg}} + \frac{DC_{F-DI}}{MTTF_{F-DI}} + \frac{DC_{CLP}}{MTTF_{CLP}}}{\frac{1}{MTTF_{ChaveSeg}} + \frac{1}{MTTF_{F-DI}} + \frac{1}{MTTF_{CLP}}} \quad (11)$$

$$DC_{avg} = \frac{\frac{0,99}{18,55anos} + \frac{0,99}{10anos} + \frac{0,99}{30anos}}{\frac{1}{18,55} + \frac{1}{10anos} + \frac{1}{30anos}} \approx \frac{0,18537}{0,18739} \approx 0,99\% \quad (12)$$

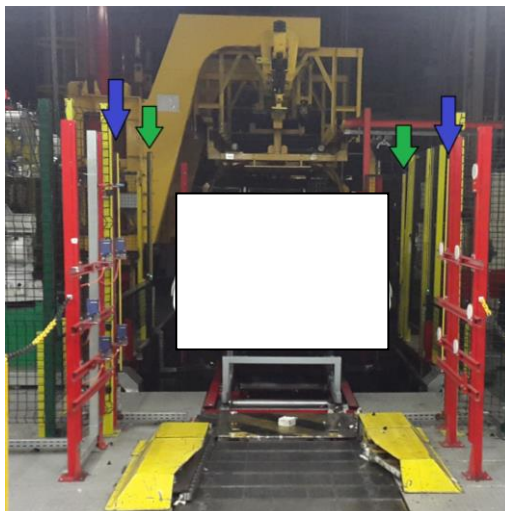
### 3.3.1.4 Cálculo PL

Para uma arquitetura Cat. 2,  $MTTF_d$  baixo,  $DC_{avg}$  médio e CCF adequado, segundo Tabela 7, tem-se o nível de performance PL = b.

### 3.3.2 Acessos da carroceria e Acesso dos robôs

Os dois acessos da carroceria estão localizados na Zona 3 e estão posicionados em série com as demais instalações da planta. O primeiro acesso, destacado em azul na Figura 15, permite o acesso da carroceria ao interior da ilha, enquanto o segundo, destacado em verde, permite a evacuação.

O acesso da carroceria ao interior de ilha somente é permitido após a detecção da carroceria por meio de sensores indutivos posicionados na entrada da ilha.



**Figura 15 - Acessos da carroceria**  
**Fonte: O AUTOR**

Os dois acessos dos robôs, localizados nas intersecções da Zona 1 - Zona 3 (destacados em azul na Figura 16) e Zona 2 – Zona 3 (destacados em grená na Figura 16), monitoram a invasão dos manipuladores robóticos a Zona 3 para a realização das etapas de medição e posicionamento dos vidros a carroceria.



**Figura 16 - Acessos dos robôs**  
**Fonte: O AUTOR**

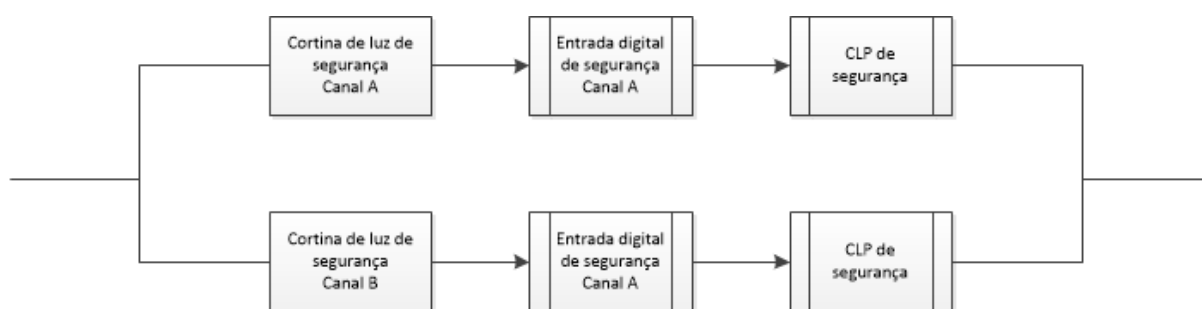
Os dois acessos de carroceria, assim como os dois acessos dos robôs são idênticos do ponto de vista de equipamentos e instalação, por isso os cálculos aqui apresentados serão realizados apenas para um dos acessos.

### 3.3.2.1 Esquemático de ligação elétrica

O conjunto de hardware da função de segurança é composto por:

- 1 – Cortinas de luz de segurança Leuze MLC 520;
- 2 – Entradas digitais Siemens 4/8 F-DI 24V PROFISafe;
- 1 – CLP Segurança Siemens S7 319-F;

A Figura 17 apresenta o diagrama de blocos equivalente do esquema de ligação dos elementos de hardware conforme *datasheet* fornecido pelos fabricantes. As cortinas de luz de segurança, assim como as entradas de segurança são duplo canal, por isso, são representados distintamente como dois elementos. A CPU de segurança executa diversas funções de segurança ao mesmo tempo, justifica-se daí a representação como diferentes elementos.



**Figura 17 - Diagrama de blocos dos acessos da carroceria**  
Fonte: O AUTOR

Segundo o fabricante, as cortinas de luz de segurança MLC 520, atendem a categoria SIL 3, conforme norma IEC 61508, que segundo a Tabela 3, equivale a PL = e, e conforme Tabela 7 Cat. 4.

Assim como 3.3.1.1, as entradas digitais de segurança 4/8 F-DI 24V PROFISafe, conforme a Figura 14, estas ligações elétricas utilizadas na ilha robotizada atingem Cat. 3 – PL = d. A CPU de segurança Siemens S7 319-F, possui certificação para atender Cat. 4 – PL = e.

A categoria do sistema resultante da arquitetura apresentada na Figura 12, é definida conforme 2.2.8. Tem-se como  $PL_{low} = d$  e  $N_{low} = 1$ , assim verificando a Tabela 8, tem-se que como nível de performance resultante  $PL = d$ .



### 3.3.2.2 Cálculo $MTTF_d$

Utilizando os mesmos critérios para a seleção do  $MTTF_d$  para a CPU de segurança PL = e, apresentado em 3.3.1.2, será atribuído para a cortina de segurança MLC 520  $MTTF_d = 30$  anos. Os demais equipamentos (entradas digitais de segurança e CPU de segurança) utilizam os mesmos valores definidos em 3.3.1.2, portanto:

$$\frac{1}{MTTF_d} = \frac{1}{MTTF_{dCortina}} + \frac{1}{MTTF_{dF-DI}} + \frac{1}{MTTF_{dCLP}} \quad (13)$$

$$\frac{1}{MTTF_d} = \frac{1}{30anos} + \frac{1}{10anos} + \frac{1}{30anos} \approx \frac{0,16667}{anos} \quad (14)$$

$$MTTF_d = 6anos \quad (15)$$

Como ambos os canais são idênticos, assume-se o valor de um canal individual para o conjunto em paralelo.

### 3.3.2.3 Cálculo DC

A cortina de segurança, tanto por sua natureza (certificada como Cat. 4 – PL = e), como por suas funcionalidades de monitoramento direto e teste, conforme apresentado na tabela de dispositivos lógicos do Anexo E da norma ISO 13849-1 (2006), possui DC =  $\geq 99\%$ . Os demais componentes utilizam os mesmos valores definidos em 3.3.1.3, portanto:

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_{Cortina}}{MTTF_{Cortina}} + \frac{DC_{F-DI}}{MTTF_{F-DI}} + \frac{DC_{CLP}}{MTTF_{CLP}}}{\frac{1}{MTTF_{Cortina}} + \frac{1}{MTTF_{F-DI}} + \frac{1}{MTTF_{CLP}}} \quad (16)$$

$$DC_{avg} = \frac{\frac{0,99}{30anos} + \frac{0,99}{10anos} + \frac{0,99}{30anos}}{\frac{1}{30anos} + \frac{1}{10anos} + \frac{1}{30anos}} \approx \frac{0,165}{0,16667} \approx 0,99\% \quad (17)$$

### 3.3.2.4 Cálculo do PL

Para uma arquitetura Cat. 3,  $MTTF_d$  baixo,  $DC_{avg}$  médio e CCF adequado, segundo Tabela 7, tem-se o nível de performance  $PL = b$ .

### 3.3.3 Acessos de vidros

Os acessos dos vidros na ilha robotizada são referentes tanto as entradas de vidros pelas esteiras transportadoras A1 e A2, como a saída em caso de rejeito ou falha pelas mesas F1 e H2. A Figura 18 mostra o acesso de lunetes a Zona 1.

Não serão avaliados os sistemas de acesso de vidros por não possuírem sistemas de segurança, não entrando no mérito da necessidade ou não de dispositivos de segurança, por não fazer parte do escopo deste trabalho.



**Figura 18 - Acesso de vidros – Lunete**  
**Fonte: O AUTOR**

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados e mensurados os níveis de performance dos sistemas de acesso de uma célula de manufatura robotizada para a colagem automatizada de vidros de acordo com os conceitos e métodos apresentados na norma ISO 13849-1 (2006), focando em específico, nos dispositivos e arquiteturas empregados. A norma foi concebida de tal maneira para guiar o projeto de sistemas de segurança, partindo pela definição dos requerimentos de segurança, design da arquitetura até sua implementação. Contudo, nesse projeto foi utilizada sequencia reversa a da apresentada da norma, pois partiu-se do sistema físico já existente.

Os resultados obtidos nas análises dos sistemas de acesso da célula de manufatura robotizada, foram penalizados pela falta de dados a respeito do tempo para falha perigosa ( $MTTF_d$ ) das entradas digitais de segurança utilizadas no projeto, que segundo a norma, quando não fora definido, utiliza-se um valor mínimo de 10 anos. Contudo, existe margem para revisão das ligações elétricas utilizadas para evoluir a categoria utilizada e conseqüente aumento nos níveis de performance dos sistemas de acesso.

Foram mensurados, de modo quantitativo, os níveis de performance atingidos pelos dispositivos de hardware, conforme topologia das instalações elétricas adotadas, pela indústria automotiva, nos sistemas de acesso de uma ilha robotizada para a colagem de vidros, segundo a ISO 13849-1 (2006).

No cenário nacional, ainda se utiliza como base para a definição das categorias de segurança métodos da norma internacional EN 954-1, substituída em 2011 pela ISO 13849-1, tema de estudo neste trabalho, a qual é considerada como solução mais robusta por levar em consideração além da arquitetura da solução escolhida, aspectos como probabilidades de ocorrência de falhas dos componentes empregados na solução. Como resultado direto da consideração de demais fatores além apenas da arquitetura de ligação, tem-se que categorias mais inferiores com possibilidade de atingir de níveis de performance mais alto, assim como categorias mais altas atingirem níveis de performance mais baixos, como por exemplo, o resultado do estudo de caso deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABB. **SAFETY IN CONTROL SYSTEMS ACCORDING TO EN ISO 13849-1:** Machine Safety - Jokab Safety products. 2011. 20 p.

ALLEN-BRADLEY. **SAFEBOOK 4:** Safety related control systems for machinery Principles, standards and implementation. 2011. 148 p.

ALLEN-BRADLEY. **SAFEBOOK 1:** Functional Safety in the Process Industry Principles, standards and implementation. 2013. 168 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva)

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR12: SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.** 2015.

CHIA, Ian Mauro Concha. **SEGURANÇA EM UMA CÉLULA ROBOTIZADA.** 2014. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014

CIESIELSKI, João Vítor Rosset. **APLICAÇÃO DA NR-12 EM PRENSAS DE PEQUENO PORTE PARA PRENSAR BLOCOS E TIJOLOS ECOLÓGICOS.** 2013. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013

CRESPO, Daniel de Azevedo. **Especificações de Segurança para Células Robotizadas.** 2011. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **EN 954-1:** Safety of machinery. Safety related parts of control systems. General principles for design. 1997.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **EN 60204-1**: Safety of machinery - Electrical equipment of machines. 2006.

FEDERAÇÃO DAS Indústrias DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **SEGURANÇA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE TRABALHO**: Meios de proteção contra os riscos mecânicos. Rio de Janeiro, 2012. 64 p.

INSTITUTO DO EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL. **SEGURANÇA EM CÉLULAS AUTOMATIZADAS**: Guia do Formando. Lisboa, 2001. 40 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050-191**: International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191: Dependability and quality of service. 1990.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60073**: Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators. 6 ed. 2002.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61508-4**: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 4: Definitions and abbreviations. 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12100-1**: Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design -- Part 1: Basic terminology, methodology. 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13849-1**: Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design. 2006.

LEUZE ELECTRONIC. **SIEMENS. SAFETY INTEGRATED: OVERVIEW OF SAFETY-RELATED PARAMETERS FOR SIEMENS COMPONENTS IN ACCORDANCE WITH ISO 13849-1 AND IEC 62061. ?, 2016.**: SIEMENS. SAFETY INTEGRATED: Overview of Safety-Related Parameters for Siemens Components in Accordance with ISO 13849-1 and IEC 62061. ?, 2016.. Owen, 2016. 69 p.

LEVESON, Nancy G. **Engineering a Safer World**: Systems Thinking Applied to Safety. London: Massachusetts Institute Of Technology, 2012. 531 p.

SCHNEIDER ELECTRIC. **SAFE MACHINERY**: Handbook. Cedex, 2009. 63 p.

SCHNEIDER ELECTRIC. **SAFETY LEGISLATION AND STANDARDS**: How to choose between EN/ISO 13849 and EN/IEC 62061. 23 p.

SICK. **SAFETY GUIDE FOR THE AMERICAS**: Six steps to a safe machine. 2014. 180 p.

SICK. **GUIDE FOR SAFE MACHINERY: SIX STEPS TO A SAFE MACHINE**. 2015. 172 p.

SIEMENS. **DATA SHEET 6ES7318-3FL01-0AB0**: SIMATIC S7-300 CPU319F-3 PN/DP. 2017. 15 p

SIEMENS. **INDUSTRIAL CONTROLS**: SIRIUS Safety Integrated. 2015. 172 p.

SIEMENS. **SAFETY INTEGRATED**: Overview of Safety-Related Parameters for Siemens Components in Accordance with ISO 13849-1 and IEC 62061. 2016.

SIEMENS. **SIMATIC ET 200S DISTRIBUTED I/O SYSTEM - FAIL-SAFE MODULES**: Hardware Installation and Operating Manual. Nürnberg, 2005. 216 p.

SIEMENS. **SINAMICS S120**: Verification of Performance Level e in accordance with EN ISO 13849-1. Erlangen, 2009. 14 p.

TELEMECANIQUE. **PRODUCT DATASHEET: XCSA501**: Metal safety switch XCSA - 1 NC + 2 NO - slow break - 1 entry tapped. 2 p.

TELEMECANIQUE. **XCS-A/B/C**: Safety interlock switch. 2017. 4 p.