

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESPECIFICAÇÕES DE SEGURANÇA PARA CÉLULAS ROBOTIZADAS

por

Daniel de Azevedo Crespo

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2011

ESPECIFICAÇÕES DE SEGURANÇA PARA CÉLULAS ROBOTIZADAS

por

Daniel de Azevedo Crespo

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Flávio José Lorini

Comissão de Avaliação:

Prof. Eduardo A. Perondi

Prof. Ney Francisco Ferreira

Prof. Patrick Daniel Neis

Porto Alegre, 18 de novembro de 2011.

CRESPO, D. A. **Especificações de Segurança para Células Robotizadas**. 2011. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUMO

Em um contexto de crescente preocupação com as condições de segurança nos ambientes industriais paralelamente ao crescimento da automatização, o presente trabalho faz uma análise de requisitos de projeto para instalações, baseada em recomendações normativas, com objetivo de reduzir as condições inseguras em máquinas automatizadas, em especial em ambientes robotizados. Para tanto, foram analisadas normas vigentes, como a ISO 10218 – Robô de Manipulação Industrial, norma Especifica para robotização, a norma NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos e a Norma NBR 14153 – Segurança de Máquinas, Princípios Gerais de Projetos. Evidencia-se ser possível reduzir as condições inseguras em células robotizadas aplicando-se barreiras de proteção em conjunto com dispositivos de segurança e ainda que se melhora o nível de segurança aplicando métodos que garantam a redundância nas informações geradas pelos dispositivos empregados, garantindo ainda que não possam ser burlados. O trabalho apresenta recomendações de projeto que podem contribuir com a melhora significativa nas condições de segurança dos ambientes automatizados, em especial na célula robótica analisada.

PALAVRAS-CHAVE: segurança industrial, células robotizadas, dispositivos de segurança

CRESPO, D. A. **Safety Specifications for Robotic Cells**. 2011. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011

ABSTRACT

In a context of growing concern about the safety conditions in industrial environments in parallel to the growth of automation, this paper makes an analysis of design requirements for facilities, based on policy recommendations designed to reduce the unsafe conditions in automated machines, especially robotic ambiences. Therefore, were analyzed the standards relevant to the subject such as ISO 10218 - Industrial Robot Manipulator, specific rules for robot control, the standard NR-12 - Safety at Work in Machinery and Equipment and NBR 14153 - Safety of machinery, General Principles of projects. It is possible to reduce the unsafe conditions in robotic cells by applying protective barriers in conjunction with safety devices as well as improving the security level applying methods that ensure redundancy in the information generated by the devices and ensuring that they can not be circumvented. The paper presents design recommendations that can contribute to significant improvement in security conditions for automated environments, especially in the robotic cell analyzed.

KEYWORDS: industrial safety, robotic cells, safety devices

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1 Normas relativas a aspectos de segurança.....	2
3.1.1 Norma NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.....	2
3.1.2 Norma: ISO 10218 – Robô de Manipulação Industrial.....	4
3.1.3 Norma NBR 14153 – Segurança de Máquinas – Princípios Gerais de Projetos.....	5
3.2 Dispositivos de segurança.....	6
4. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO.....	9
4.1 Arranjo Físico – Sistema de Barreiras.....	9
4.2 Sensores de Segurança.....	12
5. CONCLUSÕES.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
APÊNDICE I.....	16
ANEXO I.....	17
ANEXO II.....	18
ANEXO III.....	19

1. INTRODUÇÃO

O investimento em automatização nas empresas do Brasil tem crescido nos últimos anos. No processo de melhoria contínua e na busca de maior competitividade, a robotização industrial assume grande importância na estratégia de fabricação em larga escala de produtos de forma padronizada, em série e em trabalhos insalubres. No Brasil a robotização foi implementada pelas empresas montadoras de automóveis, que trouxeram essa tecnologia de suas matrizes para plantas antigas e novas, criando um cenário de modernidade no setor a partir do final da década de 90, que gradualmente avança para toda a planta industrial presente no país.

Esse crescimento da robotização industrial no Brasil se dá devido ao aumento do custo da mão-de-obra no país e a diminuição do custo em aquisições de produtos para a robotização, fazendo com que o investimento traga mais rapidamente um retorno financeiro, tornando-se cada vez mais justificável técnica e economicamente. Há ainda outros aspectos inerentes à robotização como redução de trabalhos tediosos e repetitivos, ergonomia e redução de afastamento por LER (Lesão por Esforços Repetitivos), aumento na qualidade do produto e redução de custos operacionais, além de que a utilização de robôs pode prover flexibilidade na produção e rápidas respostas de adequação as necessidades do mercado [Crispim e Medina, 2010].

Paralelamente a esse contexto, as adequações dos ambientes industriais às normas de segurança vêm adquirindo importância cada vez maior nas prioridades das empresas. Um acidente de trabalho resulta em vários pontos negativos, como o comprometimento da imagem da empresa, parada de produção, pressão de sindicatos e abalo psicológico dos empregados, dentre outros aspectos. A quantificação do risco é usualmente difícil, mas adotando medidas de segurança como barreiras de proteção, sensores de presença, a correta seleção de componentes e dimensionamento de estruturas, pode-se minimizar os riscos envolvidos. Essa crescente preocupação motivou a elaboração do presente trabalho, desenvolvido com a finalidade de estudar os aspectos da atenuação dos riscos operacionais em ambientes automatizados, em especial naqueles robotizados.

O estudo tem como foco elaborar um conjunto de medidas técnicas de maneira a prevenir acidentes, reduzindo as condições inseguras de um ambiente automatizado, envolvendo adequação às normas de segurança para robôs industriais. O conjunto de medidas técnicas toma como diretriz as normas “NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos” e “ISO 10218 – Robô Industrial de Manipulação”. De acordo com referidas normas, adotam-se barreiras físicas fixas e móveis, bem como sensores de segurança que tenham a capacidade de intervir na movimentação do robô quando da presença de objetos ou pessoas em seu raio de ação ou na abertura de suas proteções móveis. Uma análise de como esses sensores devem se comunicar com o controle do robô também é abordada de modo que se atenua a possibilidade de acidentes quando em operação.

Tomando como foco de aplicação os equipamentos do laboratório de robótica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul [UFRGS], uma representação em ambiente gráfico computacional, modelada através do software *Workspace* [Watsolution, 2011] é realizada de modo a se detalharem aspectos de projeto e simular a implementação.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho, baseado nas normas vigentes relativas às condições de segurança industrial, principalmente na “NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos” e “ISO 10218 – Robô Industrial de Manipulação”, é definir um conjunto de medidas técnicas para prevenir acidentes atenuando as situações inseguras de um ambiente automatizado e assim definir as condições básicas de segurança para o projeto de uma célula robotizada. Além das especificações necessárias para atender aos aspectos normativos, apresentar um protótipo virtual, modelado em ambiente gráfico, representando um projeto específico para as instalações do Laboratório de Robótica da UFRGS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentro dos objetivos propostos, uma revisão bibliográfica, abordando os principais tópicos envolvidos na sua realização, é apresentada a seguir como fundamentação teórica das técnicas e conceitos pertinentes ao foco do trabalho e as variáveis referentes a proteções de área e sensores de segurança.

3.1 Normas relativas a aspectos de segurança

São analisados a seguir aspectos de segurança estabelecidos em normas, seja de aplicação geral ou máquinas e equipamentos para instalações robotizadas.

3.1.1 Norma **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**

A Norma Regulamentadora [NR-12, 2010] define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos. A norma aborda principalmente aspectos referentes ao arranjo físico e os respectivos sistemas de segurança recomendados.

Arranjos Físicos e Instalações

Os espaços em torno das máquinas devem ser projetados, dimensionados e mantidos de forma que os trabalhadores e os transportadores de materiais, mecanizados e manuais movimentem-se com segurança, sendo adequados ao seu tipo e ao tipo de operação, de modo que garantam a segurança durante a sua operação, manutenção, ajuste e inspeção, permitindo a movimentação dos segmentos corporais em face da natureza da tarefa. As máquinas, as áreas de circulação, os postos de trabalho e quaisquer outros locais em que possa haver trabalhadores devem ficar posicionados de modo que não ocorram transporte e movimentação aérea de materiais sobre os trabalhadores, de forma a prevenir a ocorrência de acidentes.

Os pisos dos locais de trabalho onde se instalam máquinas e equipamentos devem:

- ser mantidos limpos e livres de objetos e ferramentas e quaisquer materiais que ofereçam riscos de acidentes;
- ter características de modo a prevenir riscos provenientes de graxas, óleos e outras substâncias que os tornem escorregadios;
- serem nivelados e resistentes às cargas que estão sujeitos.

As proteções devem ser projetadas e construídas de modo a atender aos seguintes requisitos de segurança:

- a) cumprir suas funções apropriadamente durante a vida útil da máquina ou possibilitar a reposição de partes deterioradas ou danificadas;
- b) serem constituídas de materiais resistentes e adequadas à contenção de projeção de peças, materiais e partículas;
- c) fixação firme e garantia de estabilidade e resistência mecânica compatíveis com os esforços requeridos;
- d) não criar pontos de esmagamento ou agarramento com partes da máquina ou com outras proteções;
- e) não possuir extremidades e arestas cortantes ou outras saliências perigosas;
- f) resistir às condições ambientais do local onde estão instaladas;
- g) impedir que possam ser burladas;
- h) proporcionar condições de limpeza;
- i) impedir o acesso à zona de perigo;
- j) ter seus dispositivos de intertravamento protegidos adequadamente contra sujidade, poeiras e corrosão, se necessário;
- k) não acarretar riscos adicionais.

Sistemas de Segurança

As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores. A adoção de sistemas de segurança deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança. Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender aos seguintes requisitos:

- ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos nas normas vigentes,
- possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;
- instalação de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;
- paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.

Considera-se proteção o elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física, podendo ser:

- proteção fixa, deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas específicas, posicionada de maneira a respeitar as distâncias indicadas na Tabela 3.1;
- proteção móvel, que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve se associar à dispositivo de intertravamento.

Tabela 3.1 – Alcance sobre estruturas de proteção (mm) – Alto Risco [NR-12, 2010].

Altura da zona de perigo a	Altura da estrutura de proteção b ¹⁾									
	1000	1200	1400 ²⁾	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
	Distância horizontal à zona de perigo "c"									
2700 ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	-
2400	1100	1100	900	800	700	600	400	300	100	-
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	-	-
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	-	-	-
1800	1500	1400	1100	900	800	600	-	-	-	-
1600	1500	1400	1100	900	800	500	-	-	-	-
1400	1500	1400	1100	900	800	-	-	-	-	-
1200	1500	1400	1100	900	700	-	-	-	-	-
1000	1500	1400	1100	800	-	-	-	-	-	-
800	1500	1300	900	600	-	-	-	-	-	-
600	1400	1300	800	-	-	-	-	-	-	-
400	1400	1200	400	-	-	-	-	-	-	-
200	1200	900	-	-	-	-	-	-	-	-
0	1100	500	-	-	-	-	-	-	-	-

¹⁾ Estruturas de proteção com altura inferior que 1000 mm (mil milímetros) não estão incluídas por não restringirem suficientemente o acesso do corpo.

²⁾ Estruturas de proteção com altura menor que 1400 mm (mil e quatrocentos milímetros), não devem ser usadas sem medidas adicionais de segurança.

³⁾ Para zonas de perigo com altura superior a 2700 mm (dois mil e setecentos milímetros) ver figura 2. Não devem ser feitas interpolações dos valores desse quadro; conseqüentemente, quando os valores conhecidos de "a", "b" ou "c" estiverem entre dois valores do quadro, os valores a serem utilizados serão os que propiciarem maior segurança

Legenda:

a: altura da zona de perigo

b: altura da estrutura de proteção

c: distância horizontal à zona de perigo

Consideram-se dispositivos de segurança os componentes que por si só ou interligados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos a saúde. Nesse trabalho serão considerados os tipos:

- dispositivos de intertravamento: chaves de segurança eletromecânicas, com ação e ruptura positiva, magnéticas e eletrônicas codificadas, e sensores indutivos de segurança;
- sensores de segurança: dispositivos detectores de presença mecânicos e não mecânicos, que atuam quando uma pessoa ou parte do seu corpo adentram a zona de segurança de uma máquina ou equipamento, enviando um sinal para interromper ou impedir o início de funções perigosas, como cortinas de luz, detectores optoeletrônicos de presença, laser de múltiplos feixes, barreiras óticas, monitores de áreas ou scanners, tapetes e sensores de posição.

As máquinas e equipamentos dotados de proteções móveis associados a dispositivos de intertravamento devem operar somente enquanto a proteção estiver fechada. Os dispositivos devem paralisar as funções perigosas quando as proteções forem abertas durante a operação e garantir que o fechamento das proteções por si só não possa dar início as funções perigosas.

3.1.2 Norma: ISO 10218 – Robô de Manipulação Industrial

Essa norma [ISO 10218, 2011] foi criada devido aos riscos particulares presentes nos sistemas robotizados. Fornece orientações sobre as considerações de uso, projeto de segurança, construção, programação, operação, manutenção e reparo de robôs industriais e sistemas robóticos.

Considera-se como um sistema robótico, o robô, o efetuator e qualquer dispositivo, equipamento ou sensor necessário para que o robô execute sua tarefa. Uma célula robótica compreende o sistema robótico mais os equipamentos dentro da área protegida.

Para uma célula robótica, a área protegida deve ser avaliada de modo a se determinar o grau de risco e a distância adicional necessário para o espaço máximo que as barreiras devem proteger (ver Figura 3.1). Os gabinetes de controle devem ser instalados fora da área protegida e o sistema robótico deve ser concebido de modo a evitar colisão entre o movimento do robô e outros objetos fixos ou móveis.

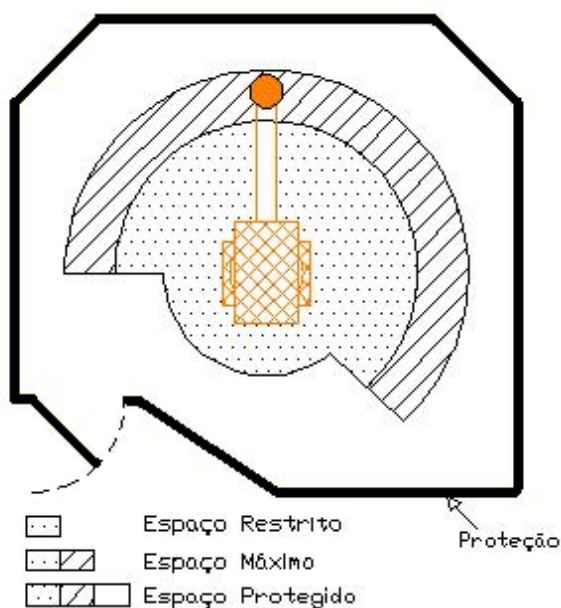


Figura 3.1 - Exemplo de espaço restrito e espaço protegido [ISO 10218, 1992].

A operação do robô pode ser significativamente diferente de outras máquinas e equipamentos devido às seguintes características:

- robôs são capazes de movimentos com muita energia em um grande espaço de operação;
- o início do movimento e o caminho do braço do robô são difíceis de prever e podem variar devido a mudanças operacionais;
- o espaço de operação do robô pode sobrepor-se ao espaço de operação de outras máquinas ou equipamentos;
- operadores podem precisar trabalhar próximo do sistema robótico enquanto ele está atuando.

Para reduzir os riscos é necessária a utilização de algumas diretrizes, tais como:

- permitir a operação do sistema robótico externamente à área protegida;
- estabelecer um espaço protegido e espaço restrito;
- definir dispositivos de segurança que consigam intervir no caso de uma ocorrência imprevista dentro do espaço protegido.

O projeto do robô associado ao layout adotado na célula robótica constitui a base para a redução dos perigos. Os seguintes fatores devem ser levados em conta durante a elaboração do projeto:

- estabelecer os limites físicos em três dimensões da célula robótica integrados ao sistema de produção, representando os equipamentos em escala e os posicionando dentro das instalações disponíveis;
- espaço de trabalho, acessos e espaço livre. Deve-se identificar o máximo alcance do robô, estabelecer a área restrita e áreas de operação identificando os espaços livres necessários para a operação, manutenção, limpeza e identificação também os obstáculos. Nas instalações, traçam-se rotas para pedestres e materiais identificando cabos e outros riscos para tropeçar ou escorregar.

3.1.3 Norma **NBR 14153 – Segurança de Máquinas – Princípios Gerais de Projetos**

Na análise dos aspectos de segurança operacional, deve-se avaliar e quantificar o grau de risco a que são expostos os operadores das máquinas ou células em questão para determinar a categoria de segurança que deve ser empregada na instalação. A norma brasileira vigente referente a essa quantificação é a NBR 14153 [ABNT, 1998].

O desempenho, com relação à ocorrência de defeitos de uma parte de um sistema de comando, relacionado à segurança é dividido nessa norma em cinco categorias (B,1,2,3,4) que devem ser usadas como ponto de referência.

Na seleção de uma categoria e no projeto de uma parte de um sistema de comando, relacionada à segurança, devem ser declaradas pelo projetista às seguintes informações:

- a categoria selecionada;
- a característica funcional e a exata finalidade da parte na medida de segurança;
- os limites exatos de onde atuam os sistemas de segurança;
- todos os defeitos relativos à segurança considerados;
- os defeitos relativos à segurança desconsiderados e os motivos;
- os parâmetros relativos à confiabilidade, tais como condições ambientes;
- as tecnologias aplicadas.

A quantificação do risco é usualmente difícil de determinar. Com a finalidade de orientar o projetista para a redução dos riscos relacionados à segurança, deve-se determinar a categoria que será empregada no projeto. Determina-se a categoria de segurança que deve ser empregada na escolha dos sensores, conforme exigido no item 39 da NR 12, através de uma análise como ilustrada na Figura 3.2.

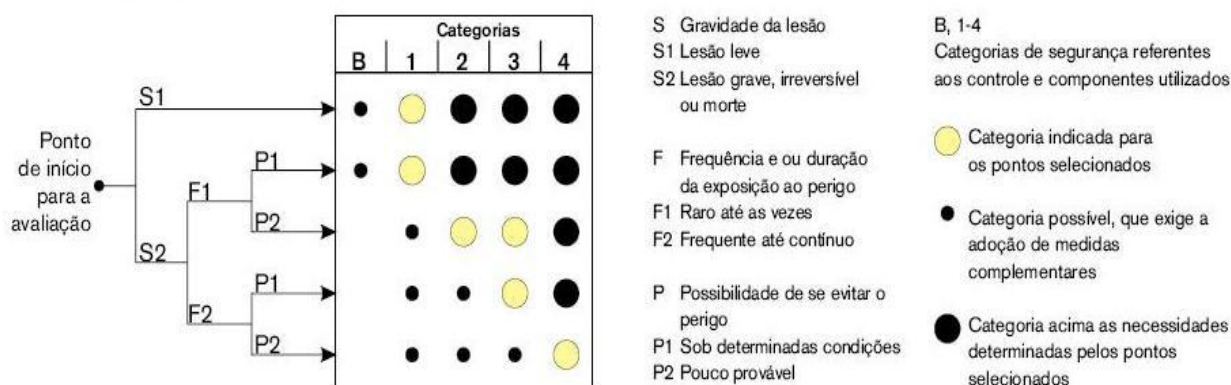


Figura 3.2 – Categorias de segurança [ABNT, 1998].

Usualmente, máquinas que oferecem riscos ao operador necessitam de dispositivos de segurança com categoria 3 ou 4, definidos por:

Categoria 3: quando o comportamento de sistema permite que:

- quando ocorrer o defeito isolado, a função de segurança sempre seja cumprida;
- alguns, mas não todos, defeitos sejam detectados;
- o acúmulo de defeitos não detectados leve à perda da função de segurança.

Categoria 4: quando as partes dos sistemas de comando relacionadas à segurança devem ser projetadas de tal forma que:

- uma falha isolada em qualquer dessas partes relacionadas à segurança não leve à perda das funções de segurança;
- a falha isolada seja detectada antes ou durante a próxima atuação sobre a função de segurança, como, por exemplo, imediatamente, ao ligar o comando, ao final do ciclo de operação da máquina. Se essa detecção não for possível, o acúmulo de defeitos não deve levar à perda das funções de segurança.

3.2 Dispositivos de segurança

Para atender ao item 7.3.1.1 da norma ISO 10218 (1992) e ao item 41 da NR-12, deve haver associado a qualquer barreira de proteção móvel algum dispositivo de intertravamento que é por definição uma chave de segurança mecânica, eletromecânica, magnética ou óptica projetada para este fim e sensor indutivo de segurança, que atuam enviando um sinal para a fonte de alimentação do perigo e interrompendo o movimento toda a vez que a proteção for retirada ou aberta.

Chave de segurança: componente associado a uma proteção utilizado para interromper o movimento de perigo e manter a máquina parada enquanto a proteção ou porta estiver aberta, com contato mecânico – físico, como as eletromecânicas, ou sem contato, como as ópticas e magnéticas. Deve ter ruptura positiva, duplo canal, contatos normalmente fechados e ser monitorada por interface de segurança. A chave de segurança não deve permitir sua manipulação – burla por meios simples, como chaves de fenda, pregos, fitas, etc.

Chave de segurança eletromecânica: componente associado a uma proteção utilizado para interromper o movimento de perigo e manter a máquina desligada enquanto a proteção ou porta estiver aberta. Seu funcionamento se dá por contato físico entre o corpo da chave e o atuador - lingüeta ou por contato entre seus elementos - chave de um só corpo, como o fim de curso de segurança. É passível de desgaste mecânico, devendo ser utilizado de forma redundante, quando a análise de risco assim exigir, para evitar que uma falha mecânica, como a quebra do atuador dentro da chave, leve à perda da condição de segurança. Deve ainda ser monitorado por interface de segurança para detecção de falhas elétricas e não deve permitir sua manipulação - burla por meios simples, como chaves de fenda, pregos, fitas, etc. Deve ser

instalado utilizando-se o princípio de ação e ruptura positiva, de modo a garantir a interrupção do circuito de comando.

Chave magnética tipo *Reed-Switch*: Consistem em dispositivos formados por um bulbo de vidro no interior do qual existem lâminas flexíveis feitas de materiais que podem sofrer a ação de campos magnéticos. O bulbo de vidro contém em seu interior gás inerte, de modo a evitar a ação corrosiva sobre as lâminas, o que afetaria o contato elétrico.

Na condição normal, as lâminas estão separadas e nenhuma corrente circula através do componente, operando assim como uma chave aberta. Ao aproximar um campo magnético permanente do dispositivo as lâminas se magnetizam, e, com isso, se atraem, unindo-se, fechando então o contato elétrico. A distância em que ocorre o disparo depende da força do ímã e da sensibilidade do dispositivo. A Figura 3.3 ilustra uma possibilidade de uso desse tipo de sensor.

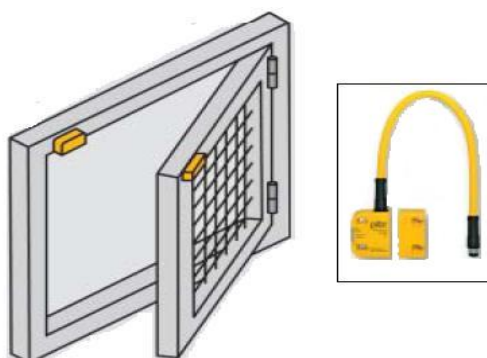


Figura 3.3 – Porta com Sensor Magnético [PILZ, 2010].

Sensores Ópticos: são componentes eletrônicos de sinalização e comando que executam detecção de qualquer material sem que haja contato mecânico entre eles. O princípio de funcionamento do sensor óptico baseia-se na existência de um emissor e um receptor. A luz gerada pelo emissor deve atingir o receptor com intensidade suficiente para fazer com que o sensor identifique seu sinal. O sinal de luz gerado pelo emissor do sensor óptico é modulado numa determinada frequência, ou seja, o emissor gera um sinal com um certo número de lampejos por segundo. Ao receptor do sinal do sensor é acoplado um filtro que somente considera válidos os sinais com a mesma frequência do emissor. Esta característica é empregada no sensor óptico para minimizar os efeitos de possíveis interferências causadas por outras fontes luminosas que não o emissor.

Sensores Ópticos, Detecção por Barreira: O sensor óptico de detecção por barreira de luz possui o emissor e o receptor montados em corpos separados. Estes dois componentes ao serem alinhados, criam entre si uma barreira de luz. A presença de um objeto que interrompa esta barreira faz com que o sensor seja ativado. Um exemplo de aplicação é ilustrado na Figura 3.4.

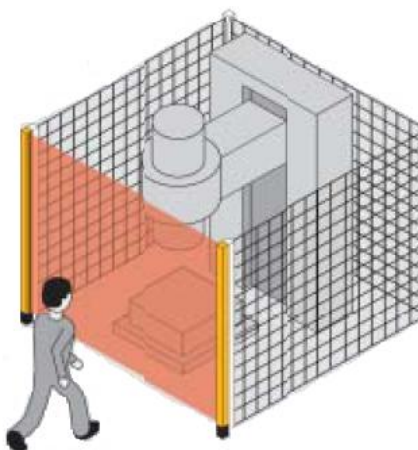


Figura 3.4 – Detecção por Barreira [PILZ, 2010].

Sensores Ópticos, Reflexão Difusa: O sensor óptico de detecção por reflexão-difusa, possui o emissor e o receptor montados no mesmo corpo. A luz gerada pelo emissor cria uma região ativa onde a presença de um objeto, faz com que a luz seja refletida de forma difusa, de volta ao receptor, ativando o sensor.

Scanners de área utilizam esse princípio, gerando pulsos de luz utilizando um sistema laser. Um espelho rotativo espalha os pulsos de luz por toda a área de trabalho e quando objetos ou pessoas entram nessa área, o scanner recebe a reflexão dos pulsos emitidos e conforme o tempo de reflexão da luz mede a distância a que isso ocorreu. Caso esteja dentro da área de proteção pré-programada, leva a máquina a um estado seguro [Safety Integrated Siemens – 2005], exemplificado na Figura 3.5



Figura 3.5 – Sistema de reflexão difusa de um scanner de área e aplicação [Siemens, 2005].

Dispositivos lógicos: desempenham o papel central da parte relacionada a segurança do sistema de controle, realizando a verificação e acompanhamento do sistema.

Relés de monitoramento permitem verificações no sistema de segurança, realizando auto-verificações dos seus componentes internos. Quando os dispositivos de entrada são ativados, o dispositivo lógico compara os resultados das entradas redundantes. Se for aceitável, verifica os atuadores externos. Se aprovado, o dispositivo aguarda um sinal de reset para energizar suas saídas.

Rearme monitorado manual: Conforme o Item 12.40 da norma NR-12, é necessário que a máquina não reinicie imediatamente quando a proteção de segurança for fechada. Um rearme ou reset manual necessita uma mudança de condição do circuito de rearme, após a porta ser fechada. A Figura 3.6 mostra uma configuração típica de uma chave de rearme conectado no circuito de monitoração da saída de um relé de segurança com a função de rearme manual. Os contatos auxiliares ligados mecanicamente e normalmente fechado dos contatos do interruptor são ligados em série com um botão de pressão momentânea. Após a proteção ser aberta e fechada novamente, o relé de segurança não vai permitir que a máquina seja reiniciada até que haja uma mudança de estado no botão de rearme. No caso de robôs industriais a norma ISO 1218 prevê a obrigatoriedade desse botão no próprio gabinete de controle do equipamento, posicionado externamente.

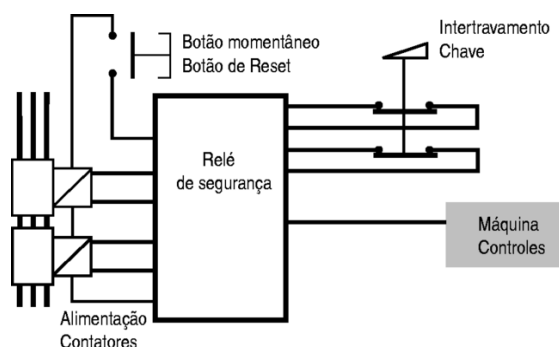


Figura 3.6 - Exemplo de configuração de esquema de segurança com botão de rearme manual [Rockwell Automation, 2011].

4. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO: CÉLULA ROBOTIZADA

A fim de se detalhar as especificações de segurança adequadas a uma célula robotizada, deve-se considerar o projeto em etapas distintas. Inicialmente determinam-se os tipos e dimensões de barreiras físicas necessárias. Somente após essa etapa passa a ser possível a correta determinação dos sensores utilizados, sendo necessária a aplicação em todas as barreiras de proteção móveis e em áreas que necessitem restrições de acesso, devendo-se considerar a compatibilidade entre os sensores de segurança e o sistema da máquina automatizada em questão.

São consideradas a seguir especificações mínimas a serem aplicadas em uma célula robótica onde atua um robô industrial de seis eixos.

4.1 Arranjo Físico – Sistema de Barreiras

O arranjo físico das barreiras de proteção tem por função principal impedir o acesso à zona de perigo e deve ser projetado de maneira a garantir sua função durante toda a vida útil da máquina ou permitir a reposição das peças danificadas ou deterioradas. Os materiais selecionados e os modos de fixação devem ser adequados à contenção de peças, materiais e partículas que possam ser projetadas e devem garantir estabilidade e resistência mecânica compatíveis com os esforços requeridos. Ao se determinar as dimensões empregadas, prevê-se os espaços necessários de maneira a não criar pontos de esmagamento com partes da máquina ou outras proteções próximas e com ausências de cantos e arestas cortantes ou outras saliências perigosas. O acesso para manutenção e limpeza da célula não pode ser impedido pelas barreiras e os dispositivos de intertravamento devem ser protegidos adequadamente contra sujidades quando necessário.

Como etapa fundamental, identifica-se o máximo alcance do braço robótico com o efetuador e qualquer dispositivo necessário para que o robô execute sua tarefa, e assim estabelecer a área restrita e áreas de operação, verificando também os espaços livres necessários para a operação, manutenção, limpeza e identificação dos obstáculos na célula robótica. Os gabinetes de controle devem ser instalados fora da área protegida.

Tomando como foco de aplicação um robô marca ABB modelo IRB 1400, verifica-se conforme ilustrado na figura 4.1, que esse possui um alcance de até 1444 mm na direção do eixo X, e em se limitando a dimensão máxima de um efetuador em 356 mm define-se o alcance máximo de 1800 mm, que descreve uma trajetória circular sobre o plano XY, conforme a Figura 4.2.

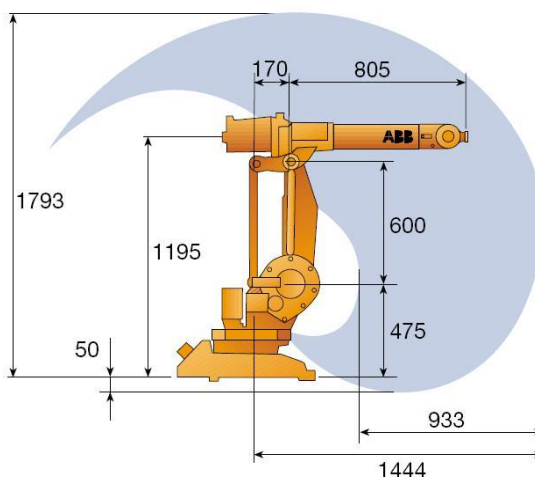


Figura 4.1 – Faixa de Trabalho Robô marca ABB modelo 1400 [ABB, 2000 a].

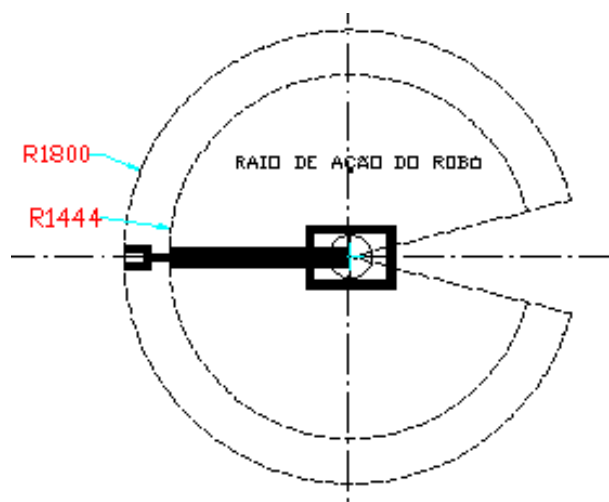


Figura 4.2 – Capacidade de alcance do braço robótico e atuador.

A fim de determinar a altura que deve ser empregada na estrutura de proteção e a distância horizontal que deve ser mantida à zona de perigo, é necessário que se defina a altura da zona de perigo, conforme recomendações da norma NR12, ilustrada na Tabela 3.1. Uma vez determinada a altura do perigo, o projetista tem duas variáveis inversamente proporcionais relacionadas a quanto menor for a distância horizontal à zona de perigo, maior deve ser a altura da estrutura de proteção empregada. Os valores da tabela não devem ser interpolados, devendo-se em casos intermediários utilizar o que oferecer maior segurança.

No caso do Robô ABB modelo 1400, tomando como exemplo, em que se verifica através da Figura 4.1 que a altura da zona de perigo do braço robótico é capaz de atingir 1793 mm, acoplado um efetuator de 356 mm chega-se a 2149 mm. Dentro dessa faixa de trabalho, deve-se identificar a situação mais crítica e então definir as distâncias que devem ser empregadas. Analisando as possibilidades da Tabela 3.1, o caso mais restritivo ocorre quando o perigo está situado a 1800 mm do piso, pois é o que requer maior distância horizontal ao perigo. Nessa situação, tem-se a opção de utilizar proteções de 1000 mm até 2000 mm de altura, variando a distância horizontal ao perigo entre 1500 mm a 600 mm.

Considerando-se uma barreira de proteção que seja capaz de deter o arremesso de uma peça que venha a se desprender do efetuator durante um movimento veloz quando em uma posição crítica, define-se como altura segura para a proteção 2100 mm e outra situação crítica é quando efetuator do robô estiver a 1800 mm de altura. Unindo essas duas situações, define-se através da tabela 3.1 para a altura da proteção de 2100 mm e altura do perigo de 1800 mm, ser necessária uma distância horizontal ao raio de ação do conjunto robótico de 600 mm. Assim pode-se projetar um sistema de proteção com módulos de 4800 mm com perfil vertical a cada 2400 mm, em um dos lados deve ser posicionada uma porta que permita o acesso ao robô, com um vão de 900 mm. Esse conjunto de especificações é representado tridimensionalmente através do software de simulação *Workspace*, conforme a Figura 4.3 com detalhamento das dimensões na Figura 4.4.

As barreiras de proteção devem ser constituídas de materiais resistentes e adequadas à contenção de projeção de peças e materiais, bem como ter fixação firme e garantia de estabilidade e resistência mecânica compatíveis com os esforços requeridos. O robô ABB 1400 possui como capacidade máxima de movimentação de cargas até 5 kg e velocidade máxima de 7,0 m/s totalizando uma quantidade de movimento de 35 kgm/s.

Como opção comercial, pode-se utilizar perfis modulares de alumínio, dobradiças, puxador para a porta e pés niveladores. Essa configuração apresenta montagem rápida e segura, facilidade de manuseio, durabilidade dos materiais, variedades de perfis e acessórios, diversas possibilidades de design, além de serem recicláveis e reutilizáveis. Devem-se utilizar telas de fechamento capazes de resistir a um impacto conforme a capacidade de trabalho do robô no caso de um desprendimento da peça em uma situação crítica. Como exemplo, pode-se

optar por tela de fechamento com 30 x 30 mm e arame com fio de aço de diâmetro 4,8 mm, opção essa utilizada comercialmente e com os materiais elencados conforme apêndice I.

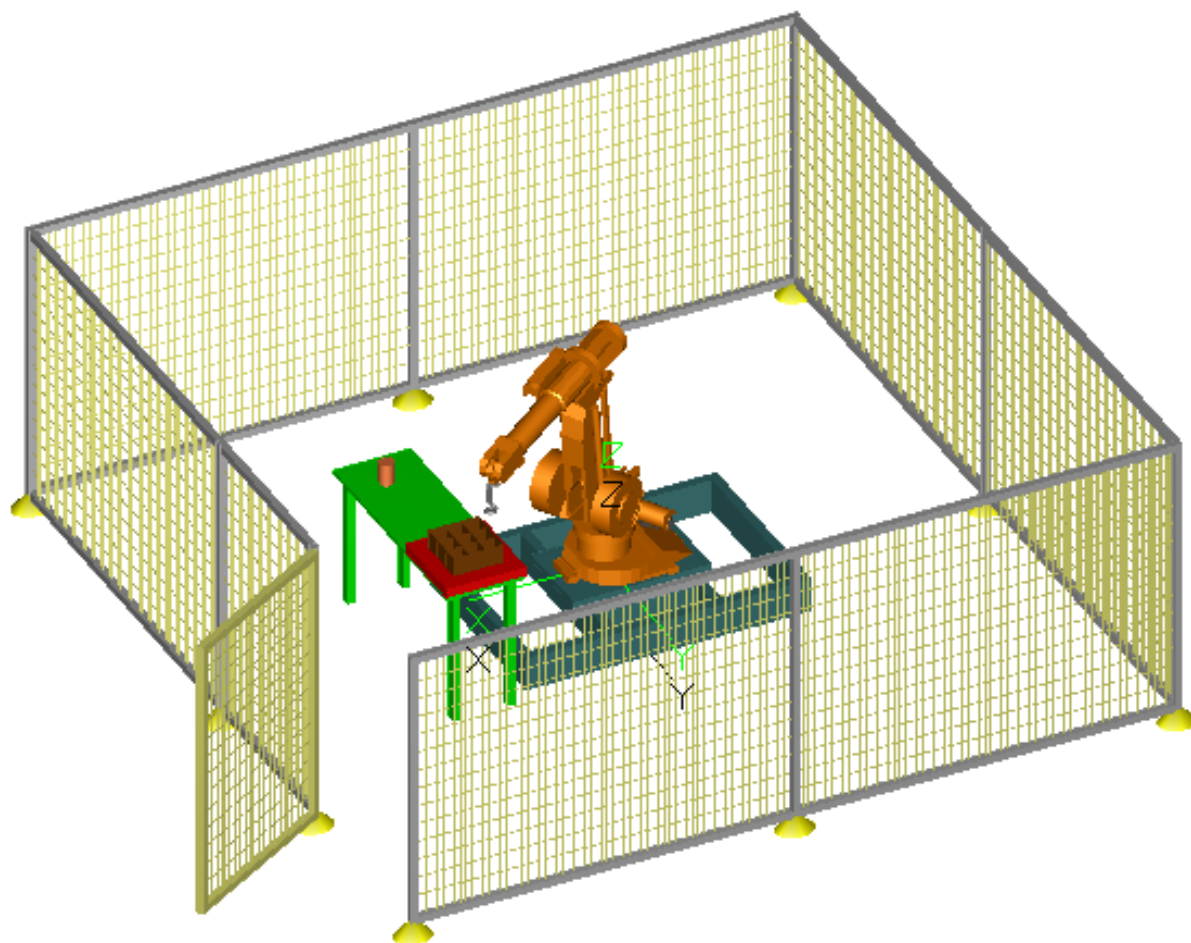


Figura 4.3 – Representação tridimensional do Cercado de Segurança.

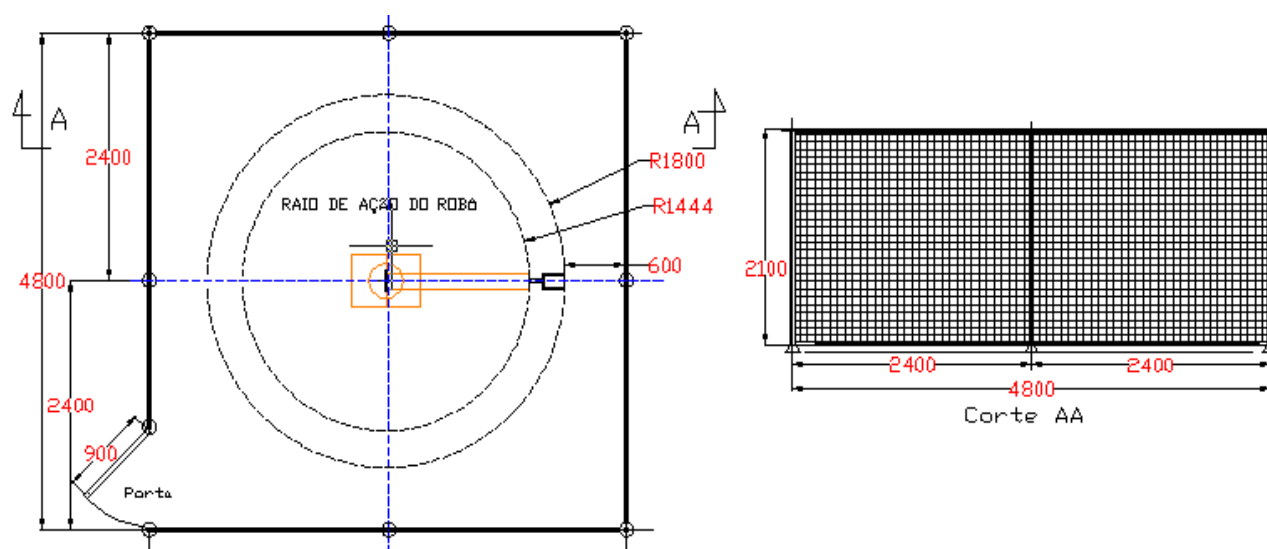


Figura 4.4 – Detalhes do projeto do Sistema de Proteção.

4.2 - Sensores de Segurança

Sensores de segurança são dispositivos associados ao equipamento, utilizados para interromper o movimento de perigo e manter a máquina parada quando suas proteções móveis forem abertas ou algo ou alguém invadir seu espaço protegido. A cada proteção móvel que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, deve-se associar um dispositivo de intertravamento. O dispositivo pode ser uma chave de segurança mecânica, eletromecânica, magnética ou óptica projetada para este fim com sensor indutivo de segurança, que atuam enviando um sinal para a fonte de alimentação do perigo com a capacidade de interromper o movimento de perigo toda a vez que a proteção for aberta.

Ao determinar os sensores de segurança utilizados em uma célula automatizada, devem-se avaliar os riscos a que os operadores estão expostos através da NBR 14153, que classifica os níveis de segurança requeridos através de cinco categorias. Usualmente, máquinas que ofereçam riscos ao operador recaem na categoria 3 ou categoria 4.

- Categoria de Segurança requerida em uma célula com Robô Industrial

Analisando-se a categoria de segurança requerida conforme a norma NBR 14153, ilustrada na Figura 3.2, devem-se avaliar os seguintes parâmetros:

- gravidade da lesão;
- frequência da exposição ao perigo;
- possibilidade de evitar o perigo.

No caso de um robô industrial tanto um choque contra os movimentos velozes do braço robótico como um esmagamento ocasionado pelo fechamento do efetuador, por exemplo, podem resultar em lesões graves. A pessoa responsável pela operação da máquina está constantemente exposta aos perigos enquanto no seu funcionamento. Devido aos robôs serem capazes de movimentos com muita energia em um grande espaço de operação e de ser difícil prever as condições de início do movimento que podem variar devido a mudanças operacionais bem como a possibilidade de o espaço de operação do robô sobrepor o espaço de outras máquinas, considera-se que a possibilidade de evitar o perigo é pouco provável.

Analisando essas informações nos critérios da figura 3.2, determina-se que os sensores de segurança empregados devem ser de categoria 4, portanto:

- que uma falha isolada em qualquer dessas partes relacionadas à segurança não leve à perda das funções de segurança, e;
- que a falha isolada seja detectada antes ou durante a próxima atuação sobre a função de segurança, como, por exemplo, imediatamente, ao ligar o comando, ao final do ciclo de operação da máquina. Se essa detecção não for possível, o acúmulo de defeitos não deve levar à perda das funções de segurança.

- Dispositivos de intertravamento

Considera-se a porta de acesso do cercado de proteção ao robô como sendo um dispositivo de proteção móvel, deve-se então associar um dispositivo de intertravamento, conforme o Item 12.41 da NR 12, que pode ser do tipo:

Chaves de segurança mecânica: Consiste no contato de um atuador mecânico fixado na proteção móvel com o dispositivo na proteção fixa. Indicado para proteções pouco exigentes quanto à burla e violações, além de exigir o correto alinhamento sempre entre o dispositivo e a porta, a fim de garantir o correto encaixe da lingüeta mecânica. É passível de desgaste mecânico, devendo ser utilizado de forma redundante, quando a análise de risco assim exigir, para evitar que uma falha mecânica, como a quebra do atuador dentro da chave, leve à perda da condição de segurança. Sua vantagem é o preço reduzido.

Chaves de segurança magnética: Consiste em um ímã fixado na proteção móvel e um dispositivo de segurança na proteção fixa. Distinguem-se em dois princípios de atuação:

chaves de segurança normais ou codificadas com alta proteção contra burla. Oferecem como vantagem a flexibilidade de instalação, não apresentam desgaste mecânico e possuem menor exigência quanto ao alinhamento nos repetidos ciclos de abrir e fechar o dispositivo.

Porém, a utilização de um único dispositivo de segurança, por si só, pode não atingir a redução do risco necessário. Um sistema de segurança geralmente é composto por três partes:

- dispositivo de entrada que detecta o acesso ao perigo;
- dispositivo lógico, que processa os sinais do dispositivo de detecção e verifica o estado do sistema de segurança mandando o sinal para um dispositivo de saída;
- dispositivo de saída, que controla o atuador.

Pode-se atingir elevado nível de segurança através de componentes de menor responsabilidade, desde que sejam configurados de modo a obter duplicação de informações (redundância). Podem-se acoplar, então, a esses componentes de intertravamentos, relés de segurança, que tem por finalidade processar os sinais e detectar falhas nos circuitos, as quais podem se originar dos próprios sensores, fiação, contadores, etc. Para isso, em caso de falha de um componente existe outro pronto para executar a função de segurança e juntamente deve haver uma função de vigilância que seja capaz de detectar a primeira falha e acusar o erro.

Uma opção de configuração para os sensores de intertravamento pode ser do tipo ilustrado na Figura 4.5, em que há dois sensores conectados a um relé de segurança com duplo canal interligados a um dispositivo de saída, havendo assim redundância nas 3 etapas, entrada, processamento e saída. Como medida adicional, recomenda-se que, na lógica do sistema, toda vez que o sensor detectar a abertura da porta não ocorra o rearme automático do conjunto, devendo, para isso, ser acionado um botão do lado externo do cercado, posicionado de tal maneira que não permita seu alcance por uma pessoa que esteja do lado interno da proteção.

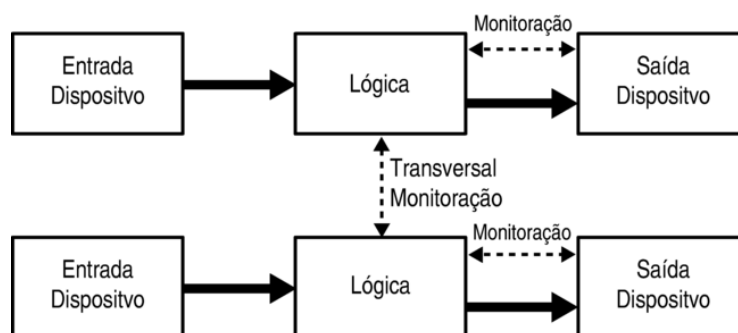


Figura 4.5 – Esquema de configuração de dispositivos de segurança Categoria 4 [Rockwell Automation, 2011].

No caso do robô IRB 1400 do laboratório de robótica, para atingir esse nível de segurança precisa-se utilizar ao menos dois sensores de intertravamento, podendo como exemplo optar-se pelo modelo de contato mecânico através de lingüeta Trojan T15 marca Rockwell demonstrado no Anexo III, conectados diretamente aos dois canais de espera de interbloqueio disponíveis no circuito do robô, sendo nominados em seus diagramas por “XS External connector” com os bornes C1 – C2 e D1 – D2 conforme diagramas no anexo I e visualizados fisicamente conforme anexo II, possibilitando também a verificação através das figuras de que esses canais estão atualmente mutuamente conectados.

Nesse circuito a lógica de processamento e o dispositivo de saída fazem parte do próprio sistema robótico, não sendo necessário adicioná-los externamente. O botão para rearmar o sistema é o mesmo existente no painel de controle, devendo sempre ser pressionado após a atuação de algum dispositivo de segurança, não permitindo assim que o robô inicie seus movimentos automaticamente após a porta ser fechada.

Caso ocorra a necessidade de se adicionar mais dispositivos de segurança do que o número de canais a disposição para este fim, pode-se acoplar como exemplo uma Placa

Conjunto Integrado de Portas Lógicas I/O, que então empregará sua lógica de processamento e fornecerá sua saída conforme número de canais desejados. É necessário que a rede utilizada para interligação dos componentes, tais como sensores, atuadores, AC/DC drives e CLPs, não seja sensível a ruídos, podendo, como exemplo, ser utilizada uma rede *DeviceNet*.

5. CONCLUSÃO

Partindo da análise das adequações de segurança sugeridas, espera-se que o objetivo de reduzir as condições inseguras em uma célula robotizada, tenha sido alcançado. Verificou-se certa liberdade para o projetista nos diversos aspectos abordados como distâncias empregadas entre a zona de perigo, proteções, tipos de sensores e dispositivos de segurança.

Utilizando-se em conjunto dispositivos de proteção fixo, móvel e sensores de intertravamento de maneira a respeitar as normas, reduzem-se as condições inseguras de máquinas automatizadas. Através da NBR 14153 identifica-se que, para uma célula robotizada, é necessário arranjar o conjunto de dispositivos e sensores de maneira a se obter categoria 4 de segurança, onde é necessária a redundância das informações bem como identificar imediatamente uma eventual inconsistência das informações geradas pelos sensores, não permitindo a movimentação do robô até serem solucionadas as divergências. Também cada vez que um sensor de segurança for acionado de maneira a interromper a movimentação da máquina automatizada em questão, não deve ser permitido que ela volte a operar de maneira automática após o sensor deixar de detectar o risco que ocasionou sua parada, devendo para tanto ser acionado um botão de rearme do sistema, que deve ficar fora do alcance de quem estiver no espaço protegido.

Uma condição de eliminação total dos riscos operacionais é difícil de assegurar, no entanto, espera-se que com medidas recomendadas, operações inseguras sejam evitadas, ou que caso ocorram operações inadequadas seus efeitos sejam minimizados. Com aplicação das sugestões empregadas nesse trabalho espera-se que o sistema não venha a alcançar um estado inseguro para os indivíduos próximos quando ocorrer um evento que possa resultar em acidente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

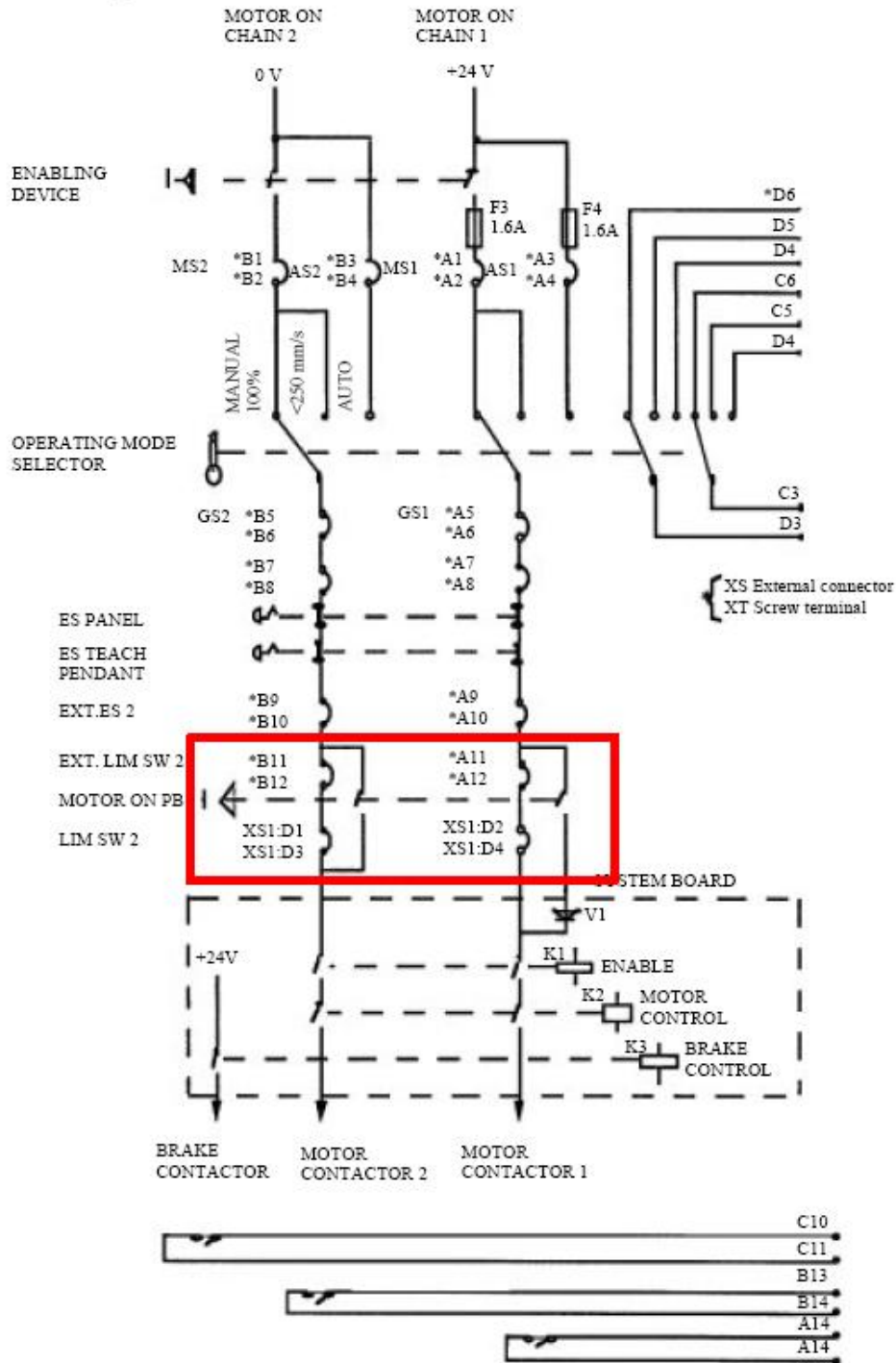
- ABB. “**Industrial Robot IRB 1400**”. Catálogo PR10033EN_R1, 2000 a.
- ABB. “**Operação do Robô**”. Apostila de operação do Robô S4, 2000 b.
- ABB. “**Product Manual IRB 1400**” M94A/REV. 2, Manual, 2000 c.
- ABNT. “**Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança - Princípios gerais para projeto**”. NBR 14153, 1998.
- BRAGA N. C. “**Reed-Switches**”. Mecatrônica Fácil, 2007.
- CASTRO F.C.C. “**Eletrônica Digital**” DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA PUCRS, 2007.
- CRISPIM, S. F; MEDINA, R. M. “**Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria Brasileira de autopeças**”. Gest. Prod. v. 17, n. 3, 2010.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 10218. “**Robot industriali manipolazione**”. ISO 10218, 1992.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 10218-1. “**Robots for industrial environments – Safety requirements**”. ISO 10218-1, 2006.
- NR-12. “**Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**”, Portaria SIT nº 197, 2010.
- PILZ. “**Tecnologia de sensores de segurança PSEN**”, Catálogo Sistema de Sensores PSEN, 2010.
- ROCKWELL AUTOMATION. “**Medidas de proteção e equipamento complementar**”. <http://abweb.rockwellautomation.com/pt/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131359/tab11.html>. Acessado em: 26 de outubro de 2011.
- SIEMENS. “**Safety Integrated**”. <http://www.industry.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/interfaces-de-seguranca/3rk3/Documents/Cat%C3%A1logo%20Safety%20Integrated.pdf>. Acessado em 23 de outubro de 2011
- WATSOLUTION. “**Workspace Version 5.01**”, 2011.

APÊNCIDE I – ITENS DO PROJETO

Descrição do material	Quantidade
Perfil modular de alumínio 45 x 45 mm, comprimento 2355 mm	14 peças
Perfil modular de alumínio 45 x 45 mm, comprimento 1365 mm	2 peças
Perfil modular de alumínio 45 x 45 mm, comprimento 810 mm	2 peças
Perfil modular de alumínio 45 x 45 mm, comprimento 2100 mm	11 peças
Grade de fechamento 2355 x 2010 mm, tela 30 x 30 Φ 4,8	7 peças
Grade de fechamento 1365 x 2010 mm, tela 30 x 30 Φ 4,8	1 peças
Grade de fechamento 810 x 2010 mm, tela 30 x 30 Φ 4,8	1 peças
Pés niveladores	9 peças
Dobradiças	2 peças
Maçaneta	1 peças
Sensor de intertravamento modelo Trojan T15 marca Rockwell	2 peças
Cabo elétrico	60 metros

ANEXO I – DIAGRAMA ELÉTRICO DOS CANAIS DE INTERTRAVAMENTO DO ROBÔ ABB 1400 [ABB, 2000 c]

Terminal diagram for the MOTORS ON / MOTORS OFF circuit



ANEXO II – VISÃO GERAL INTERNA DO GABINETE DE CONTROLE DO ROBÔ ABB 1400 E VISÃO APROXIMADA DA PLACA QUE ABRIGA AS CONEXÕES DE INTERTRAVAMENTO C1 – C2 E D1 – D2, DEMONSTRADAS NO DETALHE



ANEXO III – DISPOSITIVO DE INTERTRAVAMENTO COM CONTATO MECÂNICO, MODELO TROJAN T15 MARCA ROCKWELL AUTOMATION

