

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
ALLYSON WILLIAM JANUÁRIO FERREIRA**

**IMPLEMENTAÇÃO DA ROBÓTICA NA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA
VIDRARIA**

**Varginha
2018**

ALLYSON WILLIAM JANUÁRIO FERREIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DA ROBÓTICA NA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA
VIDRARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS-MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Roberto Lazarino do Prado Mudesto.

**Varginha
2018**

ALLYSON WILLIAM JANUÁRIO FERREIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DA ROBÓTICA NA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA
VIDRARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS-MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profº Roberto Lazarino do Prado Mudesto

Profº Hugo Gonçalves Vieira

Profº Sílvio Bottrel Guimarães

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais, meu filho e minha mulher.

AGRADECIMENTOS

A Deus que iluminou todo o meu caminho durante todos esses anos. Aos meus pais, por terem a capacidade de acreditar em mim e pelo apoio e incentivo constantes. À minha mulher que me deu esperança e a certeza que não estava sozinho. Ao meu filho, que embora não tenha conhecimento disso, sempre iluminou meus pensamentos.

RESUMO

Com a tecnologia mais presente nos processos industriais, surgiu a oportunidade de desenvolver trabalhos voltados para automação industrial, entre eles a robótica que é o foco desse trabalho. O presente estudo aborda a instalação de quatro unidades robóticas em uma linha de produção de ampolas para garrafas térmicas. A escolha do tema abordado neste assunto se deu em um desafio de automatizar o processo produtivo em um ambiente perigoso e insalubre, após a observação dos esforços dos funcionários nos seus postos de trabalho nas linhas de produção, sejam pelas atividades repetitivas ou pela insegurança no manuseio de peças quentes. Logo, este foi desenvolvido por meio do comparativo entre o anterior método de trabalho e o atual método totalmente automatizado, onde será possível apontar as principais vantagens e desvantagens dos processos comparados. A escolha do emprego dos robôs no sistema aconteceu pela facilidade do mesmo em realizar as devidas tarefas com precisão e tornar o processo produtivo e eficaz em termos de qualidade, diminuindo desperdícios e reduzindo os riscos acidentados de trabalho.

Palavra chave: Automação. Robô. Manipuladores.

ABSTRACT

With the most present technology in industrial processes, an opportunity to develop works focused on industrial automation has been arisen, the robotic is one of them and it is the focus of this work. The current study addresses the possible installation of four robotic unities in a production of ampoules for thermal bottles. The choice of the addressed theme was due to the challenge of the productive process automatization in a dangerous area, after the observation of the efforts made by the employees in their workspace at the production lines, being by repetitives actions or by the insecurity in handling hot pieces. Therefore, the study was developed comparing the current work method with the totally automatized one, where it'll be able to aim the main advantages and disadvantages of each method. The choice of the robots employment in the system was done due to the facility for them to fulfill the activities with more precision and become the productive process more efficient in quality terms, decreasing the waste and reducing the accident risks.

Keyword: Automation. Robot. Manipulator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estimativa de abastecimento anual de robôs industriais no mundo.....	11
Figura 2 - Processo de fabricação de ampolas.....	12
Figura 3 - Robô ABB IRB 2600 e seu Controlador IRC5.....	17
Figura 4 - Garra pneumática da marca Festo utilizada no projeto.....	18
Figura 5 - Controlador manual.....	18
Figura 6 - Exemplo de botão de parada de emergência.....	21
Figura 7 - Esquema elétrico de um relé de segurança.....	22
Figura 8 - Exemplo de aplicação utilizando a cortina de Luz.....	23
Figura 9 – Garrafa produzida pela Máquina IS.....	24
Figura 10 – Estágios da Máquina Tubular.....	25
Figura 11 – Garrafa processada na Máquina Tubular.....	25
Figura 12 – Máquina Corta Boca.....	26
Figura 13 – Garrafa após o processo de Corta Boca.....	26
Figura 14 – Layout do processo atual.....	27
Figura 15 – Exemplo de um robô de seis juntas.....	29
Figura 16 - Representação do esquema elétrico de ligação.....	29
Figura 17 - Ciclo de trabalho do robô.....	30
Figura 18 - Layout do processo proposto por este estudo.....	31

SUMÁRIO

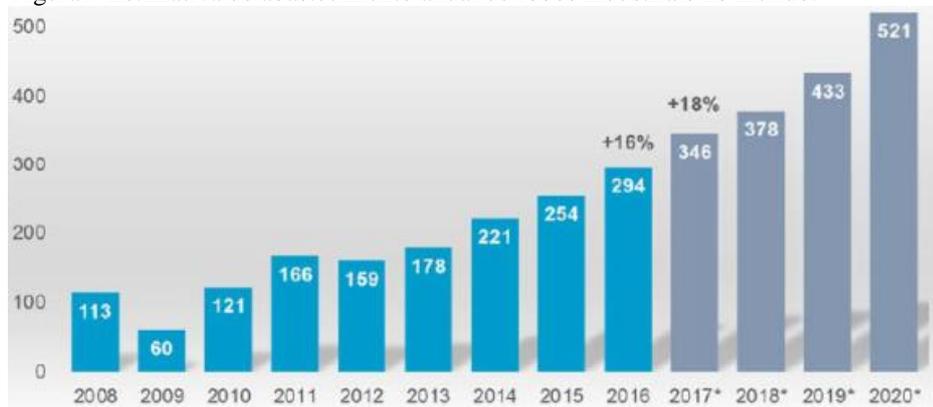
1 INTRODUÇÃO	11
2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	14
2.1 Robôs Industriais.....	15
2.1.1 Robô ABB IRB 2600 e Controlador IRC5.....	16
2.1.2 Garra	17
2.1.3 Programação do robô.....	18
3 SEGURANÇA EM AMBIENTES COM MÁQUINAS	19
3.1 NR12	19
3.2 Dispositivos de Segurança.....	20
3.2.1 Botões de Parada de Emergência.....	21
3.2.2 Relés de Segurança.....	21
3.2.3 Cortina de Luz	22
3.2.4 Grades de Proteção	23
4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	24
4.1 Processo Estudado	24
4.2 Processo proposto	27
5 RESULTADOS	33
6 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXO A – Programa do Robô	38
ANEXO B – Folha de especificações do robô IRB 2600	40

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente interesse das empresas por produtividade, ergonomia e redução de custos, a busca pelo uso da tecnologia para aperfeiçoar seus processos e obter resultados com maior rapidez, faz com que o uso de robôs em processos produtivos vem sendo cada vez mais comum nas indústrias de pequeno e grande porte.

Embora tardio em relação a outras nações, a utilização de robôs em processos industriais no Brasil vem crescendo a cada ano (SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMANDO NUMÉRICO, 1990). Em 2015 foram adquiridas 1407 novas unidades robóticas e estima-se que em 2019 o país adquira 3500 novas máquinas (FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE ROBÓTICA, 2016). A maior parte desses robôs é encontrada em indústrias automobilísticas, trabalhando em processos de funilaria e soldagem. Os demais segmentos industriais de manufatura seguem, com grande parte, suas atividades desempenhadas manualmente por funcionários. No cenário mundial, espera-se um crescimento significativo de fornecimento de robôs industriais por parte das fabricantes, como mostra a Figura 1..

Figura1–Estimativa de abastecimento anual de robôs industriais no mundo.



Fonte: International Federation of Robotics (2016).

Atualmente esta tecnologia apresenta um grande potencial de crescimento nos processos industriais. A implantação de robôs também traz inúmeras vantagens para a sociedade, pois muitos ambientes onde são instalados traziam riscos à segurança e saúde dos trabalhadores.

Comparado com outras propostas, a linha de produção robotizada pode oferecer um nível maior de flexibilidade para constituir processos industriais aos mais diversos produtos. Sua capacidade de interagir com diversas máquinas também lhe possibilita a automação de

linhas de produção completas. Além disso, sem levar em conta a precisão e confiabilidade que a unidade robótica oferece.

A instalação de uma célula robotizada provoca diversas mudanças em uma linha de produção, principalmente na programação e sincronização entre o robô as máquinas que já existem no ambiente do estudo. Outro ponto importante a ser contemplado é a inserção de equipamentos como sensores e botoeiras de emergência, que visam a segurança das pessoas que irão conviver com os robôs.

No cenário deste estudo, encontram-se quatro postos de trabalho dentro de uma vidraria com operadores manuseando garrafas de vidro ainda quentes, entre duas máquinas cada. Vale ressaltar que as atividades atribuídas aos funcionários são perigosas, pois podem se queimar ou se cortar exigindo o máximo de atenção. É bom lembrar que, geralmente, é na linha de montagem que se encontra a maior parte das atividades manuais, ou seja, o processo em estudo substitui métodos considerados engessados, aquela remota tarefa característica e repetitiva, executada por um trabalhador, processo esse que não aceita alterações e que nem sempre é confiável ou preciso.

Figura 2 – Processo de Fabricação de ampolas.



Fonte: O autor (2018).

Impulsionado pelos avanços tecnológicos, este estudo visa apresentar uma solução ao processo existente e com os resultados colaborar com os seguintes aspectos:

- a) Diminuir os riscos de acidentes de trabalho na área em questão;
- b) Alavancar a produção de ampolas de garrafas térmicas;
- c) Reduzir o número de refugos provenientes do manuseio das ampolas;

- d) Diminuir os custos referentes à área.
- e) Apresentar os aspectos de segurança solicitado pela NR12;
- f) Propor um sistema de segurança a garantir integridade aos operadores próximos à célula robótica.

A automação oferece vantagens do ponto de vista técnico: qualidade uniforme permanente, velocidade de trabalho alta e constante; econômico: alta produtividade, substituição do dispendioso trabalho feito pelo homem por máquinas; e social: livrar a humanidade da responsabilidade de atividades sujas, monótonas, difíceis ou perigosas (FESTO, 1993).

2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A empresa ao qual o estudo foi realizado é especialista em produtos térmicos e líder de vendas no mercado brasileiro. Tem como um de seus diferenciais, a única empresa brasileira que produz cem por cento das ampolas de vidro para sua linha de garrafas térmicas. Com o olhar no mercado, cada vez mais competitivo e com preocupação na segurança de seus colaboradores, fez com que esse estudo se tornasse real.

O presente trabalho acontece no setor de vidraria, onde é capaz de produzir e confeccionar diversos tipos de ampolas de vidro para garrafas térmicas. O ambiente de estudo acontece na confecção da ampola, onde se solda o capilar na mesma, que tem como objetivo a exaustão de gases do processo e posterior injeção de produtos químicos como a prata e fluoreto, a fim de preparar a garrafa para conservar o líquido em sua temperatura original.

Como o processo de fabricação de vidro é único, ou seja, não se produz diversas peças de diferentes tamanhos na mesma máquina, o uso de robôs para manipular as ampolas implicaria em uma operação mais rápida, pois não precisaria de sensores para reconhecimento e escolha de cada peça.

Reduzir custos, elevar a produção e otimizar processos são os principais motivos que levam as empresas brasileiras a investir em sistemas automatizados. Automação é um sistema de equipamentos eletrônicos ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem (PENTEADO, 2000).

Há três tipos básicos de sistemas automatizados de produção, a automação rígida, programável e flexível. Sendo que para a primeira a sequência do processo ou montagem se dá pela configuração do equipamento, para a segunda o equipamento tem a capacidade de processar produtos com configurações diferentes e para um sistema de automação flexível a variedade de peças ou produtos processados é imensa, sem ter muita perda de tempo entre os modelos para realizar uma nova configuração do equipamento (GROOVER, 2011).

Com o mercado cada vez mais competitivo e exigente, cabe às empresas procurarem instrumentos de engenharia para alcançarem seus objetivos. Deste modo cresce ainda mais o investimento e interesse em sistemas automatizados e em tecnologias digitais.

2.1 Robôs Industriais

Robôs industriais são manipuladores reprogramáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados, através de movimentos variáveis programados para a realização de tarefas diversas (SPONG, 1989).

De acordo com ROSÁRIO (2004), em respeito à estrutura, um robô é um sistema mecânico, de geometria variada, composto por corpos rígidos, articulados entre si, destinados a sustentar e posicionar a ferramenta terminal, que, dotado de garra mecânica ou ferramenta especializada, fica em contato direto com o processo.

Os robôs industriais têm sido muito utilizados nos processos de automação programável e flexível, pois são essencialmente máquinas capazes de realizar os mais diversos movimentos programados, adaptando-se às necessidades operacionais de determinadas tarefas e empregando garras ou ferramentas oportunamente selecionadas (ROMANO, 2002). Ainda segundo ROMANO (2002), um robô industrial é formado pela integração dos seguintes componentes:

- a) Manipulador mecânico: refere-se principalmente ao aspecto mecânico e estrutural do robô. Consiste da combinação de elementos estruturais rígidos conectados entre si através de articulações, sendo a primeira denominada base e o último o componente efetuator;
- b) Efetuador: é o elemento de ligação entre o robô e o meio que o cerca. Pode ser do tipo garra ou ferramenta. O principal escopo de uma garra é pegar um determinado objeto, transportá-lo a uma posição pré-estabelecida e após alcançar tal posição, soltá-lo;
- c) Atuadores: São componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos elos para que os mesmos se movimentem;
- d) Unidade de potência: É responsável pelo fornecimento de potência necessária à movimentação dos atuadores. A bomba hidráulica, o compressor e a fonte elétrica são as unidades de potencia associadas aos atuadores hidráulico, pneumáticos e eletromagnéticos, respectivamente;
- e) Sensores: Fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente em termos de posição e velocidade dos elos em função do tempo, e do modo de interação entre o robô e o ambiente operativo à unidade de controle. As juntas utilizadas para vincular os elos de um robô são normalmente acopladas a sensores;
- f) Unidade de controle: responsável pelo gerenciamento e monitoração dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação

enviados aos atuadores são originados de movimento e baseados em informações obtidas através de sensores.

Os robôs industriais podem ser classificados de acordo com o tipo de juntas, o tipo de controle, o tipo de acionamento e geometria (ENGELBERGER, 1995). É usual classificar os robôs de acordo com o tipo de junta, ou mais exatamente, pelas três juntas mais próximas da base do robô. Também podem ser classificados em relação ao espaço de trabalho (*workspace*), ao grau de rigidez, à extensão de controle sobre o curso do movimento e de acordo com as aplicações adequadas ou inadequadas a ele (ROSÁRIO, 2004).

2.1.1 Robô ABB IRB 2600 e Controlador IRC5

O robô modelo IRB 2600 da marca ABB é um robô de alto desempenho e precisão. Seu design oferece uma capacidade de movimentar cargas de até 12 kg e um alcance máximo de 1,85 metros, possui uma enorme flexibilidade ao manipular diversos objetos dentro de um pequeno espaço, que é o caso da área deste estudo. E assim como os demais de sua categoria, possibilita uma maior produtividade em ambientes perigosos e oferecendo níveis de repetitividade ou de capacidade de produção humanamente impossíveis (ABB, 2012).

Para que o robô IRB 2600 desempenhe suas tarefas, é necessário conectá-lo ao seu controlador modelo IRC5. O mesmo contém todas as funções necessárias para movimentar e controlar o robô, seu modelo padrão consiste em um gabinete único, chamado de *Single Cabinet Controller* (ABB, 2012). Ainda segundo a fabricante ABB (2012), um controlador consiste em dois módulos, o *Control Module* e o *Drive Module*.

- a) O *Control Module* contém todos os sistemas eletrônicos de controle, como o computador principal, placas de E/S e memória flash. O *Control Module* executa todo o software necessário para operar o robô (o sistema *RobotWare*).
- b) O *Drive Module* contém todos os sistemas eletrônicos de alimentação para os motores do robô. Um *Drive Module* IRC5 pode conter nove unidades de acionamento e manipular seis eixos internos, e ainda dois ou mais eixos, dependendo do modelo do robô.

Figura 3 – Robô ABB IRB 2600 e seu Controlador ABB IR5.



Fonte: ABB (2018).

2.1.2 Garra

A garra ou efetuador é o dispositivo conectado ao último elo do robô, que tem a função de prender o objeto a ser manipulado (ROSÁRIO, 2004). Nas operações de manipulação na linha de produção deste caso, as ampolas têm geometrias cilíndricas e a garra que mais se adequa é a de configuração humana do tipo de dois dedos, pois possui a capacidade de executar com segurança a apreensão de diversos tipos de peças das mais variadas características, inclusive as de formato cilíndrico.

O tipo da ferramenta escolhida para este estudo é a garra pneumática angular da marca Festo modelo DHWS-32-A, onde possui as características que atende ao projeto. Nela será projetada e instalada um ferramental de forma cilíndrica que agarrará a ampola de vidro. Seu funcionamento se baseia de forma simples, ao receber o sinal pneumático ela se fecha prendendo a ampola e ao retirar o sinal, a mesma se abre soltando a peça na posição pré-programada no robô.

Figura 4 – Garra pneumática da marca Festo utilizada no projeto.



Fonte: Festo (2018).

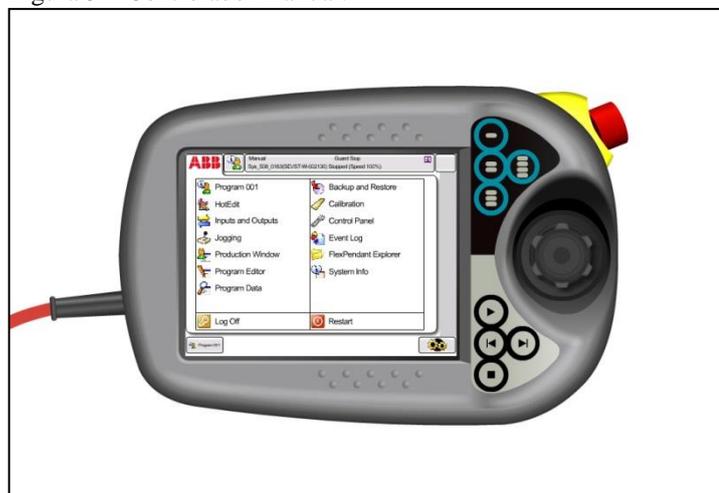
2.1.3 Programação do robô

Um robô pode executar tarefas por meio de programas elaborados diretamente no computador que o controla, os quais empregarão uma das várias linguagens de programação de robôs ou do modo repetição playback, que utiliza o comando manual (ROSÁRIO, 2004).

Os movimentos dos robôs são pré-programados via controlador manual (*teach in pendant*) ou por meio de software. No caso deste trabalho usa-se o software *Robot'studio* da ABB para realizar a programação e posteriormente no início da operação, o uso do controlador manual auxiliará para ajustes de posição, velocidade, tempo, etc.

Após ser programado o robô segue a rotina automaticamente os movimentos entre os pontos gravados, se houver necessidade de um ponto ser corrigido pode-se executar o programa para trás passo a passo, alcançar o ponto desejado e corrigi-lo (ROSÁRIO, 2004).

Figura 5 – Controlador manual.



Fonte: ABB (2018).

3 SEGURANÇA EM AMBIENTES COM MÁQUINAS

A simples menção das palavras automático ou automação traz à mente a noção que a máquina deve sentir o ambiente que a cerca para que ela possa executar a sua tarefa de modo automático (OKAMOTO, 2004). O robô deve utilizar sensores para monitorar o ambiente que o cerca, para evitar a presença de pessoas e executar suas funções com segurança e sem o auxílio do ser humano.

Com o intuito de assegurar a segurança em ambientes de trabalho envolvendo máquinas, o sistema deve conter dispositivos de proteção, equipamentos fiéis de parada de segurança, grades de proteção e restrições institucionais em caso de presença de pessoas em áreas delimitadas às máquinas.

3.1 NR12

A NR12 – Segurança no trabalho em Máquinas e Equipamentos, publicada pelo Ministério do Trabalho e Emprego tem como princípios fundamentais, garantir a integridade física e a saúde dos trabalhadores em seus ambientes de trabalho. A mesma exige em seus anexos, procedimentos referentes à segurança do trabalho quando na presença de máquinas, seja ela na instalação, operação ou manutenção.

A norma possui em seu texto 19 títulos, onde se encontra os princípios e requisitos fundamentais de segurança para cada máquina, garantindo para cada operador um ambiente de trabalho mais seguro.

12.1. Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras – NR aprovadas pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis.

3.2 Dispositivos de Segurança

Toda máquina ou equipamento, que ofereça riscos aos seus operadores, deve possuir dispositivos ou sistemas de segurança, para garantir um ambiente de trabalho seguro. Devem ser confiáveis e respeitar os requisitos da NR-12. Para conceituar, citamos a definição estabelecida pela norma.

12.42 Para fins de aplicação desta Norma consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde sendo classificados em:

- a) comandos elétricos ou interfaces de segurança, dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque a perda da função de segurança, controladores configuráveis de segurança e controlador lógico programável – CLP de segurança;
- b) dispositivos de Inter travamento: chaves de segurança eletromecânicas, magnéticas e eletrônicas codificadas, optoeletrônicas, sensores indutivos de segurança e outros dispositivos de segurança que possuem a finalidade de impedir o funcionamento de elementos da máquina sob condições específicas; (Alterada pela Portaria MTPS n.º 211, de 09 de dezembro de 2015);
- c) sensores de segurança: dispositivos detectores de presença mecânicos e não mecânicos, que atuam quando uma pessoa ou parte do seu corpo adentra a zona de detecção, enviando um sinal para interromper ou impedir o início de funções perigosas, como cortinas de luz, detectores de presença optoeletrônicos, laser de múltiplos feixes, barreiras óticas, monitores de área, ou scanners, batentes, tapetes e sensores de posição; (Alterada pela Portaria MTPS n.º 211, de 09 de dezembro de 2015);
- d) válvulas e blocos de segurança ou sistemas pneumáticos e hidráulicos de mesma eficácia;
- e) dispositivos mecânicos, como: dispositivos de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, defletores e retráteis; e
- f) dispositivos de validação: dispositivos suplementares de comando operados manualmente, que, quando aplicados permanente, habilitam o dispositivo de acionamento, como chaves seletoras bloqueáveis e dispositivos bloqueáveis.

Para garantir a integridade física e saúde aos funcionários da área do presente estudo, serão empregados dispositivos de segurança para assegurar que nenhum acidente ocorra pela presença das quatro unidades robóticas. Estes são legais e citados na norma no item 12.42. A seguir serão listados os dispositivos elétricos utilizados neste projeto.

3.2.1 Botões de Parada de Emergência

Botões de parada de Emergência são dispositivos elétricos com a função de parada da máquina no exato momento de ser acionado. Por obrigatoriedade (NR12 12.56 a 12.63.1), os mesmos devem ser instalados em locais visíveis e acessíveis as pessoas para que, em uma ocasião de risco, possam ser acionados facilmente. Quanto ao tipo, deve ser do tipo de intertravamento, que ao ser acionado não volte para a posição inicial e eventualmente não pare a máquina. No caso do robô, o mesmo já vem de fábrica com três botões localizados próximo no painel elétrico e controlador do robô. Então, serão acrescentados mais quatro botões alocados estrategicamente ao redor da área de trabalho delimitada aos manipuladores.

Figura 6 – Exemplo de botão de parada de emergência.

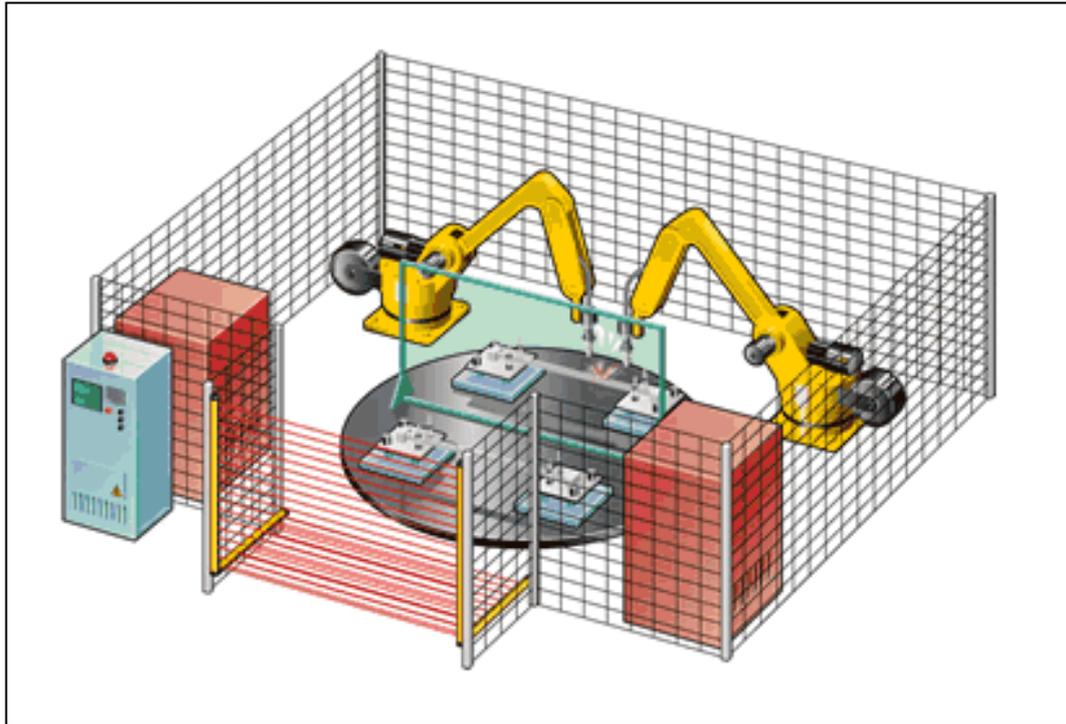


Fonte: Metaltex (2018).

3.2.2 Relés de Segurança

O relé de segurança será o dispositivo elétrico encarregado de monitorar toda a área delimitada aos robôs. Em caso de ações como abertura das grades de proteção, acionamento dos botões de parada de emergência ou detecção de movimento pela cortina de luz, o relé trabalhará para reduzir o risco e acionará ao robô sobre o perigo existente.

Figura 8 – Exemplo de aplicação utilizando a cortina de Luz.



Fonte: Citisystems (2018).

3.2.4 Grades de Proteção

As grades de proteção são barreiras físicas que visam proteger as pessoas que trabalham próximos às máquinas, que de alguma forma apresentam algum risco à segurança do local. As mesmas impedem que as pessoas involuntariamente ou não adentrem no ambiente perigoso, neste caso, a célula robótica.

Segundo a NR12, as mesmas podem ser fixas ou não. Quando houver a necessidade do acesso à área várias vezes por turno, essas proteções poderão ser móveis desde que estejam interligadas a dispositivos eletromecânicos de inter-travamento, que ao abrir a proteção, os mesmos enviam sinais ao relé de segurança e para o processo. No caso deste projeto, as grades são fixas, pois não possuem a necessidade do acesso diariamente. Na Figura 8 pode se observar as grades de proteção fixas nas laterais e ao fundo, sendo o único acesso pela frente onde estão localizadas as cortinas de luz.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A empresa ao qual o estudo foi realizado é especialista em garrafas térmicas e líder de vendas no mercado brasileiro. Tem como um de seus diferenciais, a única empresa brasileira que produz cem por cento das ampolas de vidro para sua linha de garrafas térmicas. Com o olhar no mercado, cada vez mais competitivo e com preocupação na segurança de seus colaboradores, fez com que esse estudo se tornasse real.

4.1 Processo Estudado

O processo de fabricação é semiautomático, ou seja, a parte de fabricação da ampola externa que é feita na máquina IS (Individual session) é automatizada, onde a gota se molda através de sopro controlado e se transforma no que se denomina ampola externa. A partir deste ponto, o processo passa a ser manual, onde os operadores manipulam as garrafas entre as máquinas. Na Figura 9 pode observar como é a ampola processada na máquina IS.

Figura 9 – Garrafa produzida pela máquina IS.



Fonte: O autor (2018).

Após a ampola ser processada na máquina IS, ainda em uma alta temperatura de aproximadamente seiscentos graus Célsius, o primeiro operador a coloca manualmente na máquina Tubular para receber o capilar, que é um tubo de vidro que serve para exaustão de gases no processo à frente. Na Figura 11 pode ser visto a garrafa com o capilar soldado.

Figura 10 – Estágios da Máquina Tubular.



Fonte: O autor (2018).

Na máquina tubular, a ampola vai receber o capilar a ser soldada no seu fundo. Este dispositivo funciona em sistema de passo a passo, ou seja, ao ser colocado no primeiro estágio, ela vai percorrendo cada posição até chegar ao último e ser manuseada para a próxima máquina. Observe na Figura 10, que a Tubular possui seis estágios e cada um deles possui funções específicas, são elas:

- a) Entrada da ampola;
- b) Aquecimento da parte inferior da ampola juntamente com uma extremidade do capilar;
- c) Feito furo no fundo da ampola alinhada ao orifício do capilar;
- d) Solda do capilar na ampola;
- e) Resfriamento da solda;
- f) Retirada da ampola pelo operador para entrada na máquina Corta Boca.

Figura 11 – Garrafa processada na máquina Tubular.



Fonte: O autor (2018).

A partir da máquina Tubular é que este projeto foi desenvolvido, pois a ampola ainda em temperatura elevada está sendo deslocada manualmente para a máquina Corta Boca. Existiam quatro postos de trabalho nessa área executando a mesma função, porém em linhas de produção diferentes. Durante os turnos, os operadores executam as tarefas em pé e se movimentavam girando o tronco para coletar as ampolas já processadas na Tubular e as abasteciam nos copos da máquina Corta Boca.

Após algum tempo em atividade nesses postos de trabalho juntamente com o fator temperatura, devido ao processo de fabricação de vidro e a pouca ventilação no local, os operadores sentiam certo desconforto e fadiga. O que criava um sério risco de acidente relacionado à falta de concentração dos mesmos ao manipular as peças entre as máquinas. Conseqüentemente a quantidade de peças refugadas também aumentava, pois eram mal manuseadas e colocadas na máquina Corta Boca de modo incorreto.

Na Figura 12 pode ser visto o processo da máquina corta boca, onde a ampola de vidro era encaixada de boca para baixo de forma manual. Esta máquina possui dois copos que giram atendendo duas ampolas por vez, cada copo possui um sistema de maçarico na altura da boca a fim de derreter o vidro e fazê-lo se desprender da ampola. Perdendo assim a boca que foi fabricada junto a ela quando foi processada na máquina IS.

Figura 12 – Máquina Corta Boca.



Fonte: O autor (2018).

Figura 13 – Garrafa após o processo de Corta Boca.



Fonte: O autor (2018).

Um dos motivos pela escolha da implantação da célula robotizada foi a grande necessidade de resolver o problema de segurança que existia no local. A empresa sempre procurou estabelecer parâmetros seguros em seus processos para manter a integridade física de seus colaboradores. Seguindo o raciocínio, o projeto foi justificado, por um lado, pela melhoria das condições de segurança e qualidade de vida que a utilização de robô traz, sobretudo quando ele substitui o homem na realização de tarefas perigosas (ROSÁRIO, 2004).

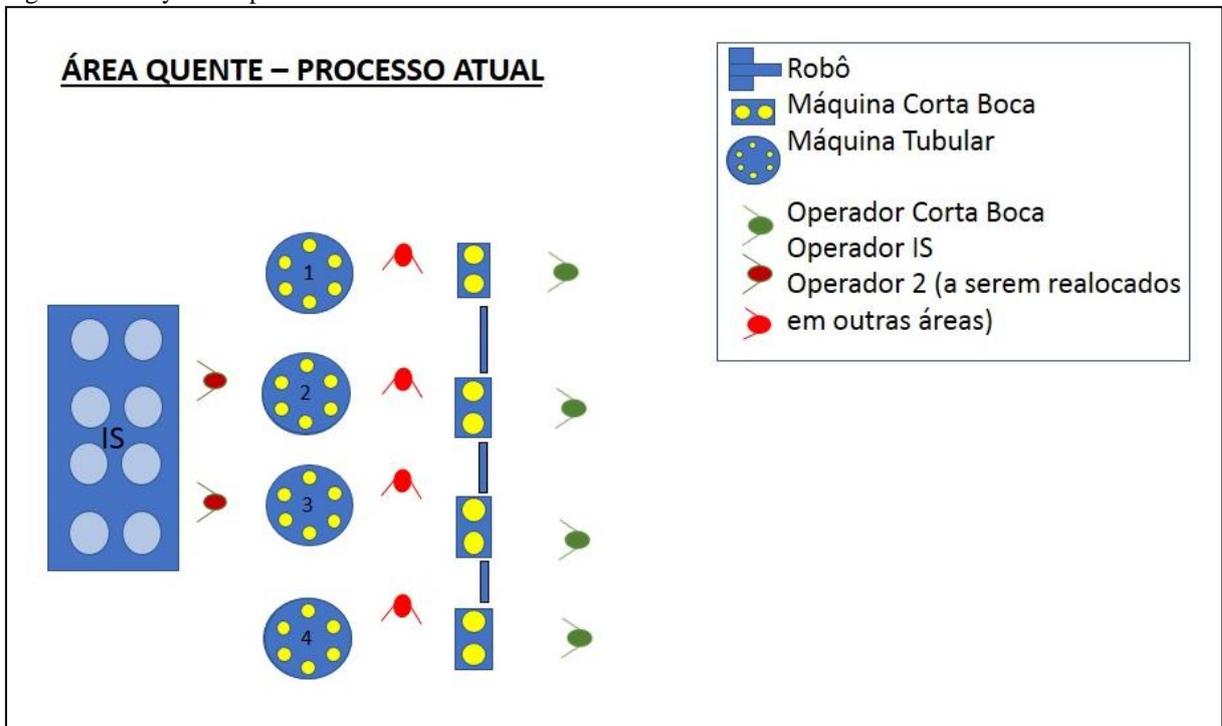
4.2 Processo proposto

No início dos anos 60, os primeiros robôs começaram a ser usados com o objetivo de substituir o homem em tarefas que ele não podia realizar, as quais envolviam condições desagradáveis, tipicamente com altos níveis de calor, ruídos, gases tóxicos, esforço físico extremo, trabalhos tediosos e monótonos (ROMANO, 2002).

Conforme foi visto no capítulo anterior, o trabalho dos operadores possui um elevado risco de acidente. Como proposta, este estudo trouxe a instalação de quatro robôs, um para

cada posto de trabalho a fim de retirar as pessoas do local e as realocando em outras áreas. Na Figura 14 apresenta o layout de como acontecia o processo.

Figura 14 – Layout do processo atual.

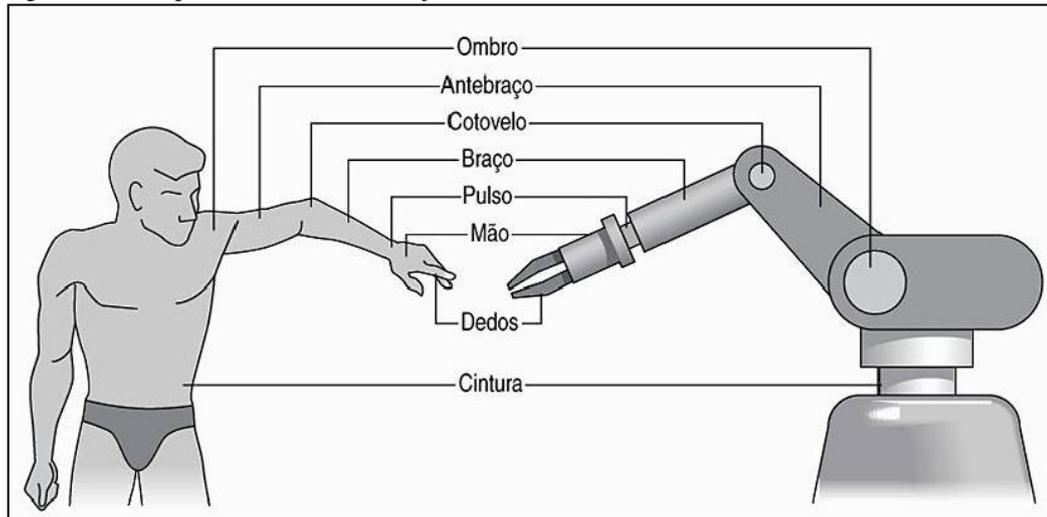


Fonte: O autor (2018).

Notam-se dez operadores trabalhando neste setor, dois retirando as ampolas na máquina IS e as colocando nas máquinas Tubular, quatro retirando as ampolas da Tubular e as colocando na máquina Corta Boca e mais quatro retirando as garrafas da mesma. Em vermelho são os operadores “dois”, que são responsáveis por retirar as garrafas da Tubular e as colocar nas máquinas de cortar boca. Onde estes estavam localizados que foram instalados os robôs que executam as mesmas tarefas dos operadores “dois”.

Baseado nos limites da área de atuação no processo e na distância de operação entre as máquinas Tubular e Corta Boca, o robô escolhido foi o de modelo IRB2600, por ter alto alcance e a capacidade de executar suas atividades dentro de um pequeno espaço físico. Além de se adequar fisicamente, o mesmo foi indicado por ter seis graus de liberdade e assim, realizar as funções similarmente a de um braço humano e substituindo perfeitamente um operador.

Figura15–Exemplo de um robô de seis juntas.



Fonte: ROMANO (2002).

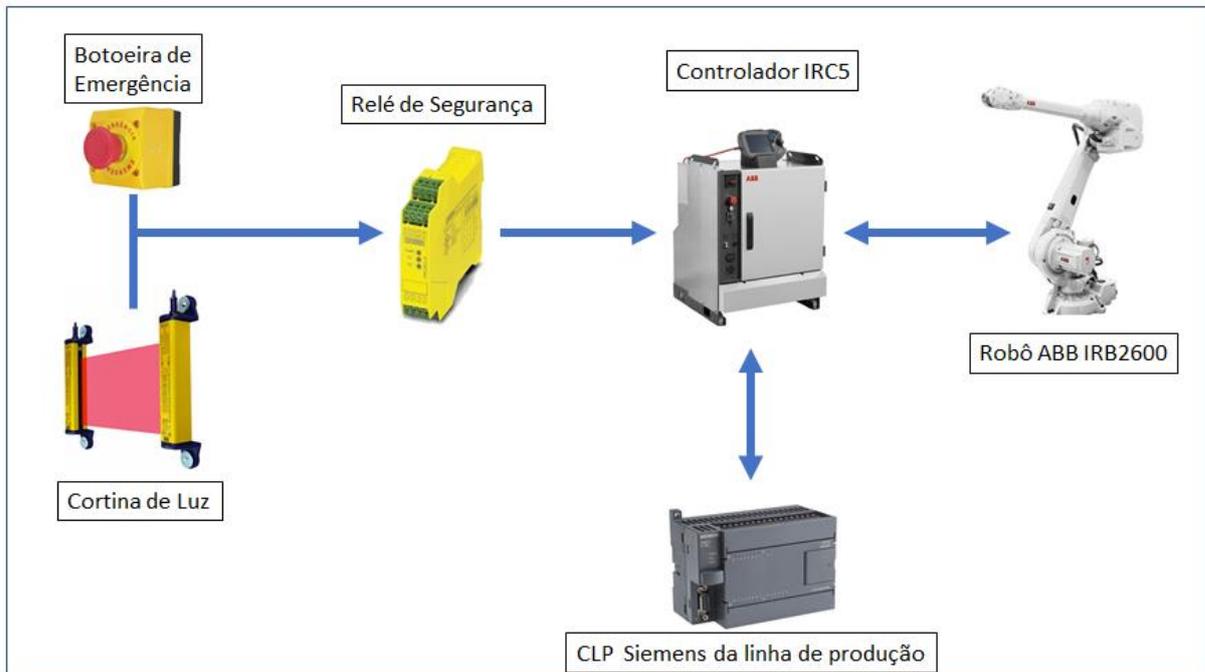
O robô apresentado é do tipo articulado ou antropomórfico, ou seja, possui seis eixos de giro entre si. O eixo de movimento da junta de rotação da base é ortogonal às outras duas juntas de rotação que são simétricas entre si (ROMANO, 2002).

O sistema está arquitetado da seguinte forma, o controlador IRC5 é responsável pela interação do robô com o meio e o relé de segurança acusará qualquer anormalidade no processo e enviará o sinal diretamente ao sistema de segurança do controlador interrompendo o ciclo do robô imediatamente.

O controlador lógico programável – CLP da marca Siemens, responsável pelos comandos das máquinas da vidraria, já funcionava no processo antes do processo proposto. No caso deste estudo o CLP Siemens continuou no projeto, não sendo necessário substituí-lo por outro. Apenas foi incrementada a comunicação de entradas e saídas com os quatro robôs, onde estão em constante interação.

Cada robô é independente um do outro, tendo relés de segurança individuais e através de programação, os espaços entre eles são respeitados tendo um limite de atuação para cada unidade. Na Figura 16 é apresentado o esquema de uma linha de produção do projeto, onde pode verificar que o controlador IRC5 é responsável de receber dados de segurança do relé, sinais de entrada e saída do CLP Siemens e de controlar todas as funções do robô.

Figura 16 – Representação do esquema elétrico de ligação.



Fonte: O autor (2018).

As tarefas desempenhadas pelos robôs são semelhantes aos dos operadores. Primeiramente é definido um ponto inicial, localizado exatamente no centro entre as máquinas Tubular e Corta Boca. Logo após ser colocado em modo automático, o mesmo aguardará o sinal do relé de segurança. Depois de ser confirmados a ausência de movimento na cortina de luz e o não acionamento do botão de emergência, ele percorrerá até a máquina Tubular e aguardará a ampola ser processada.

Em seguida, o CLP enviará um sinal ao controlador que liberará o robô para seguir com as etapas do programa. Qualquer acionamento do botão de emergência as quatro unidades param imediatamente. Na Figura 17 pode ser visto o ciclo do processo de um dos quatro robôs. O programa dos quatro são os mesmos, diferenciando apenas a área de cada ponto.

Figura 17 – Ciclo de trabalho do robô.



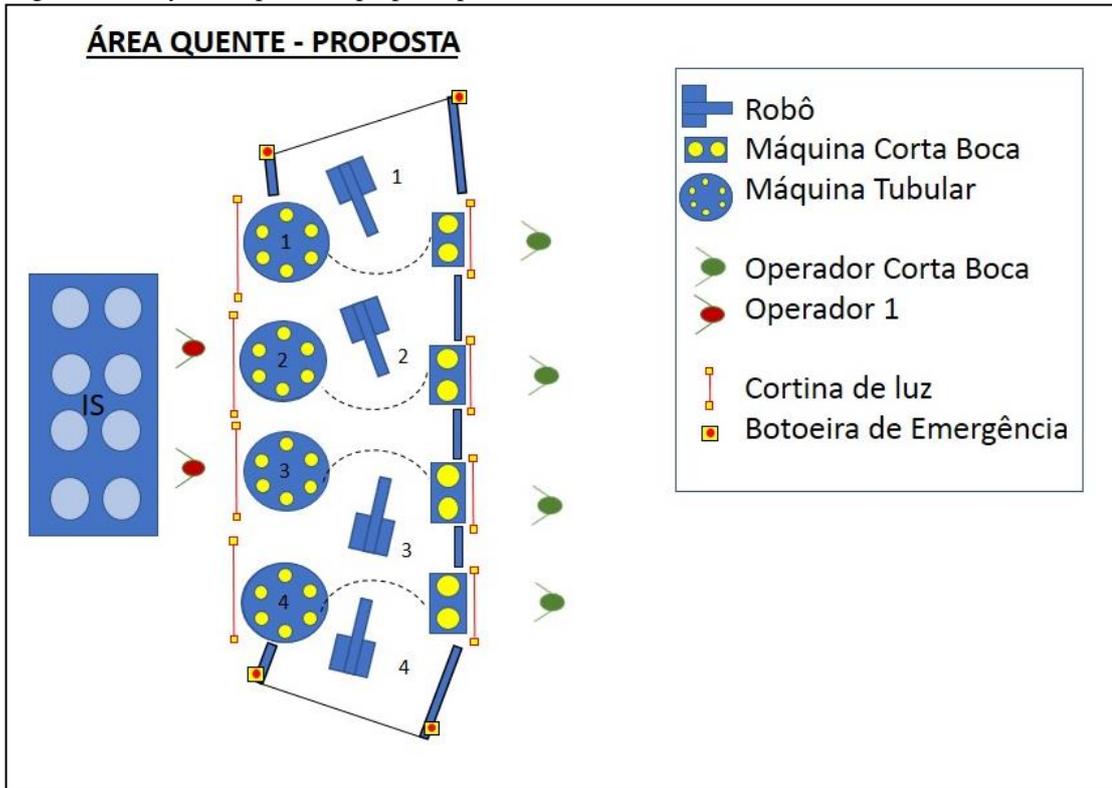
Fonte: O autor (2018).

Para garantir a segurança do local, foram propostos os seguintes itens:

- Grades de proteção – as grades de proteção foram fixadas a fim de resistir mecanicamente possíveis estilhaços de vidro e impedir o acesso, garantindo que os robôs trabalhem sem a presença de pessoas. As mesmas foram instaladas nas extremidades da célula robótica, ao lado dos robôs 1 e 4;
- Botões de emergência nas extremidades das grades de proteção, caso ocorra alguma falha os operadores terão fácil acesso aos dispositivos. Ao acionar qualquer uma delas, todos os robôs imediatamente desligarão e interromperão o processo;
- Cortinas de luz para cada máquina Tubular e Corta Boca. O robô de cada linha somente irá prosseguir o ciclo de trabalho se o sistema de segurança permitir.

Como proposta de segurança e maior confiabilidade no processo, este estudo traz o layout representado na Figura 18.

Figura 18 – Layout do processo proposto por este estudo.



Fonte: O autor (2018).

5 RESULTADOS

Para executar as operações dos quatro postos de trabalho descritos anteriormente, necessitavam de seis operadores por turno, quatro deles sendo fixos e dois em revezamento para almoço, descanso, etc... Contando que a vidraria produz vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, somam-se no total de vinte e quatro operadores que tiveram oportunidades em outras áreas da empresa, sendo que o valor de mão de obra por pessoa era de aproximadamente R\$ 2.650,00 mensais. Neste número estão implicados todos os encargos gerando um montante em torno de R\$ 763.200,00 considerando que a empresa reduziu seu quadro de funcionários, pois deixou de contratar pessoas externamente para suprir a falta de mão de obra em outras áreas. A Tabela 1 exemplifica os valores gastos com mão de obra, com exceção de valores como absenteísmo, atestados entre outros.

Tabela 1

Custo com mão de obra	
Mensal	Anual
R\$ 2.650,00	R\$ 763.200,00

Fonte: O autor (2018).

Depois da implantação dos robôs o ciclo de operação da máquina IS subiu de vinte e cinco para vinte e sete garrafas por minuto, totalizando 86400 garrafas a mais por mês. O número de refugos também foi alterado, com os operadores a quantidade era de 14% e com os robôs passou a ser de 11%, considerando que as quebras acontecem mais pelo processo de fabricação de vidro do que pela manipulação do mesmo.

Em questão à segurança, houve um decréscimo significativo na área que o estudo foi implantado, pressupondo todo o setor de trabalho. Consequentemente o número de atestados e abstenções obteve uma diminuição expressiva.

Quanto ao custo de instalação, somando todos os dispositivos para a elaboração da segurança, das quatro unidades robóticas e da mão de obra de sua instalação foi de aproximadamente R\$ 868.000,00. Vale destacar que a fabricante recomenda uma manutenção preventiva ao ano. Incluindo os gastos com estes serviços, somam-se mais R\$ 22.618,00. Logo, adicionando todos os custos, o valor totalizado é em torno de R\$ 890.618,00 no primeiro ano. Considerando apenas a manutenção preventiva e a energia elétrica em que a unidade robótica consome, a partir do segundo ano a empresa pagará R\$ 33.986,00 anualmente. A Tabela 2 apresenta os valores gastos no primeiro ano aproximadamente e no segundo ano, sendo previsto que o sistema não receba nenhuma manutenção corretiva no período, o que pode aumentar tais valores.

Tabela 2

Custo com a unidade robótica		
Item	1º Ano	2º Ano
Robôs	R\$ 780.000,00	-
Botoeiras de Emergência	R\$ 550,00	-
Grades de Proteção	R\$ 2.100,00	-
Relé de segurança	R\$ 890,00	-
Cortina de Luz	R\$ 36.000,00	-
Manutenção Preventiva	R\$ 22.218,00	R\$ 22.218,00
Energia Elétrica	R\$ 11.718,00	R\$ 11.718,00
Mão de Obra (instalação)	R\$ 14.524,00	-
Total	R\$ 868.000,00	R\$ 33.936,00

Fonte: O autor (2018).

Em relação ao investimento, podemos concluir que o retorno do valor empregado acontecerá por volta do segundo ano. Vale ressaltar que nos cálculos não foram incluídos os valores de refugos e o número de absenteísmo e atestados, podendo o tempo de retorno ser inferior.

6 CONCLUSÃO

Com a crescente aceitação das indústrias em investir em novas tecnologias num mercado tão competitivo, também cresce o rigor das normas reguladoras de segurança em propor soluções e procedimentos para manter a integridade física e saúde do trabalhador, que executa tarefas próximas às máquinas.

Em questão à segurança, pode-se dizer que a condição insegura do operador ao trabalhar perigosamente entre duas máquinas e manusear as ampolas quentes no local foi anulada. É preciso entender que não existe risco zero de acidentes e que com a criação da célula criou-se outros riscos ao trabalhador ao exercer suas atividades com os robôs. Contudo com a instalação dos dispositivos de segurança e o acompanhamento de sua funcionalidade, seguindo os requisitos básicos definidos pela norma tende a diminuir o número de acidentes do local.

Após a realização deste trabalho nota-se que apesar da complexidade da mudança de um *layout* dentro de uma empresa e da realocação de pessoal, a adequação faz-se necessário visando a padronização do processo. A implementação da robotização desta linha de produção se deu por suprir as necessidades pertinentes que existiam no local. Também foi possível conhecer que uma solução robotizada pode melhorar, e muito, a qualidade do processo produtivo, além de melhorar o tempo das atividades e reduzir o número de refugos que eram gerados pelos trabalhadores.

De acordo com o levantamento dos principais pontos do estudo, conclui-se que a proposta torna-se viável. Com relação ao aspecto financeiro, observou-se que o retorno do investimento se dará aproximadamente em dois anos, o que possibilita outras soluções tecnológicas em áreas insalubres dentro da empresa.

REFERÊNCIAS

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMANDO NUMÉRICO . **Robôs Industriais**. Florianópolis:1998.

SPONG, Mark W. VIDYASAGAR, Mathukumali. **Robot Dynamics and Control**. New York: JOHN WILEY & SONGS, 1989.

PENTEADO, Branca Manasses. **Telecurso 2000 - Automação**. Rio de Janeiro: EDITORA GLOBO, 2000.

CITISYSTEM. **Cortina de luz, porque é importante?** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/cortina-de-luz/>>. Acesso em 16 de mai. 2018

JAZAR, Reza N. **Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control**. 2. ed. New York: SPRINGER, 2010.

OKAMOTO, Jun. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e Processos**. São Paulo: EDGAR BLUCHER Ltda, 2002.

GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3 ed. São Paulo: EDITORA SÃO PAULO, 2011.

ROMANO, Vitor Ferreira. **Rede de automação da manufatura**. 1 ed. São Paulo: EDGAR BLUCHER Ltda, 2002.

ABB GROUP. **ABB's fifth generation robot controller**. Disponível em: <<https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>>. Acesso em 10 de jun. 2018.

GRUPO ABB. **Informações detalhadas do controle manual**. Disponível em: <<https://new.abb.com/products/3HAC028357-001/teach-pendant>>. Acesso em 10 de jun. 2018.

GRUPO ABB. **Data sheet para IRB2600 ID**. Disponível em: <<https://new.abb.com/products/robotics/pt/robos-industriais/irb-2600>>. Acesso em 06 de jun. 2018.

FESTO. **Produtos DHWS, 2018**. Disponível em: <https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_DHWS>. Acesso em 09 de jun. 2018.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE ROBÓTICA. **Downloads, 2016**. Disponível em: <<https://ifr.org/free-downloads/>>. Acesso em 21 de mai. 2018.

CITISYSTEMS. **Rele de segurança atendendo a NR12**. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/rele-de-seguranca/>>. Acesso em 10 de jun. 2018.

METALTEX. **Botoeiras de Emergência**. Disponível em: <http://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/41/comando/98/cp_caixa_plastica_para_botoes>. Acesso em 09 de jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR14153**: Segurança de Máquinas – Partes de sistemas de comando relacionados à segurança. Rio de Janeiro, 2013.

NR12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>>. Acesso em 14 de jun. 2018.

ANEXO A – Programa do Robô

Linha	Programação
15	PROC main()
16	MoveJ p10, v1000, z50, tool0;
17	MoveJ p120, v1000, z50, tool0;
18	MoveJ p20, v1000, z50, tool0;
19	WaitDI tubular, 1;
20	MoveJ p30, v1000, fine, tool0;
21	Set garra;
22	WaitTime 0.5;
23	Set tub;
24	WaitTime 0.5;
25	MoveJ p40, v1000, fine, tool0;
26	MoveJ p20, v1000, z50, tool0;
27	MoveJ p120, v1000, z50, tool0;
28	MoveJ p10, v1000, z50, tool0;
29	Reset tub;
30	MoveJ p60, v1000, z50, tool0;
31	Wait DI corta_boca, 1;
32	WaitTime 0.1;
33	MoveJ p70, v1000, z50, tool0;
34	MoveJ p80, v1000, fine, tool0;
35	Reset garra;
36	WaitTime 0.5;
37	MoveJ p70, v1000, fine, tool0;
38	MoveJ p60, v1000, z50, tool0;
39	MoveJ p10, v1000, z50, tool0;

40	MoveJ p120, v1000, z50, tool0;
41	MoveJ p20, v1000, z50, tool0;
42	WaitDI tubular, 1;
43	MoveJ p30, v1000, fine, tool0;
44	Set garra;
45	WaitTime 0.5;
46	Set tub;
47	WaitTime 0.5;
48	MoveJ p40, v1000, fine, tool0;
49	MoveJ p20, v1000, z50, tool0;
50	MoveJ p120, v1000, z50, tool0;
51	MoveJ p10, v1000, z50, tool0;
52	Reset tub;
53	MoveJ p130, v1000, z50, tool0;
54	Wait DI corta_boca, 1;
55	WaitTime 0.1;
56	MoveJ p100, v1000, z50, tool0;
57	MoveJ p90, v1000, fine, tool0;
58	Reset garra;
59	WaitTime 0.5;
60	MoveJ p100, v1000, fine, tool0;
61	MoveJ p60, v1000, z50, tool0;
62	ENDPROC

ANEXO B – Folha de especificações do robô IRB 2600



ROBOTICS

IRB 2600

ABB further extends its mid range robot family



The IRB 2600 is the second model in the sharp generation range with enhanced and new capabilities. It is a compact robot with a high payload capacity. The design has been optimized for targeted applications like arc welding, material handling and machine tending. The IRB 2600 is available in three variants, with options for floor, wall, shelf, tilted or inverted mounting configurations.

Sharp accuracy

With the best accuracy in its class, the IRB 2600 can help you increase output with higher process speeds and lower scrap rates, resulting in improved productivity. This is particularly useful in process applications, such as arc welding. The high accuracy is achieved by use of the patented TrueMove™ motion control software.

Short cycle times

Thanks to the compact and optimized design resulting in a low weight, the IRB 2600 can cut the cycle times of the industry benchmark by up to 25%. The patented QuickMove™ motion control software ensures that the maximum acceleration achievable is highest in its class, together with high maximum speeds. The benefit is increased production capacity and high productivity.

Large working range

The combination of large working range and flexible mounting makes it possible to reach machines to be served without interfering with auxiliary equipment. By optimising the robot placement, you'll benefit from higher productivity. Flexible mounting is also very useful when you are simulating the best position for your application.

Compact design

The IRB 2600 has the same small foot print as IRB 4600. With the IRB 2600 you can create your production cell with reduced floorspace by placing the robot closer to the served machines. The robots' design makes it easier for the lower arm to reach straight downwards.

Best protection available

ABB has the most comprehensive protection program for industrial robots on the market. The IRB 2600 has IP67 as standard and FoundryPlus 2 as option.

Main applications

- Arc Welding
- Assembly
- Material Handling
- Machine Tending
- Material Removal
- Cleaning/Spraying
- Dispensing
- Packing

Specification			
Robot version IRB	Reach (m)	Handling capacity (kg)	Wrist torque (Nm)
IRB 2600-20/1.65	1.65	20	Axis 4 & 5: 6.3 Axis 6: 16.7
IRB 2600-12/1.65	1.65	12	Axis 4 & 5: 1.8 Axis 6: 10.0
IRB 2600-12/1.85	1.85	12	Axis 4 & 5: 1.8 Axis 6: 10.0
Number of axes	6+3 external (up to 36 with MultiMove)		
Protection	Standard IP67; optional FoundryPlus 2		
Mounting	Floor, wall, shelf, tilted, inverted		
Controller	IRC5 Single cabinet, IRC5 Dual cabinet		

Performance		
	Position repeatability RP (mm)	Path repeatability RT (mm):
IRB 2600-20/1.65	0.04	0.13
IRB 2600-12/1.65	0.04	0.14
IRB 2600-12/1.85	0.04	0.16

IRB 2600-20/1.65, IRB 2600-12/1.65		
Axis movement	Working range	Axis max speed
Axis 1 rotation	+180° to -180°	175°/s
Axis 2 arm	+155° to -95°	175°/s
Axis 3 arm	+75° to -180°	175°/s
Axis 4 rotation	+400° to -400°	360°/s
Axis 5 band	+120° to -120°	360°/s
Axis 6 turn	+400° to -400°	500°/s

A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

IRB 2600-12/1.85		
Axis movement	Working range	Axis max speed
Axis 1 rotation	+180° to -180°	175°/s
Axis 2 arm	+155° to -95°	175°/s
Axis 3 arm	+75° to -180°	175°/s
Axis 4 rotation	+400° to -400°	360°/s
Axis 5 band	+120° to -120°	360°/s
Axis 6 turn	+400° to -400°	500°/s

A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

Technical information			
Electrical Connections			
Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz		
Energy consumption	3.4 kW		
Physical			
Dimensions robot base	676 x 511 mm		
Height IRB 2600-20/1.65	1382 mm		
Height IRB 2600-12/1.65	1382 mm		
Height IRB 2600-12/1.85	1582 mm		
Weight IRB 2600-20/1.65	272 kg		
Weight IRB 2600-12/1.65	272 kg		
Weight IRB 2600-12/1.85	284 kg		
Environment			
Ambient temperature for mechanical unit			
During operation	+5°C (41°F) up to +50°C (122°F)		
During transportation and storage for short periods (max 24h)	-25°C (13°F) up to +55°C (131°F)		
For short periods (max 24 h)	up to +70°C (158°F)		
Relative humidity	Max. 95%		
Noise level	Max. 69 dB (A)		
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops and safety functions, 3-positions enable device.		
Emission	EMC/EMI-shielded		
Options	Foundry Plus 2		

Data and dimensions may be changed without notice.

IRB 2600-20/1.65, IRB 2600-12/1.65 working range			

IRB 2600-12/1.85 working range			