

# Projeto De Célula Robotizada Para Paletização De Sacas De Café

DANIEL MARCARINI<sup>1</sup>  
CLAUDIO FERNANDO RIOS<sup>2</sup>

Data de submissão: 23/12/2020. Data de publicação 31/08/2021.

## RESUMO

Nos últimos anos a exigência do mercado e o aumento da competitividade mundial tem feito com que as indústrias reestruturassem seus processos de produção tornando-os mais eficientes, com melhor qualidade e menor custo. A concepção de uma célula robotizada requer um estudo aprofundado em todos os sistemas que a compõem, a fim de atender os requisitos do processo, garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e do equipamento num todo. Este trabalho mostra uma metodologia para projetar uma célula robotizada de paletização, demonstrando que as mesmas fazem parte de um sistema multifuncional onde diversos equipamentos precisam interagir a fim de realizar as tarefas. Foram elencados no trabalho os principais periféricos robóticos que precisam atuar em conjunto com o robô industrial. A partir disso, o presente estudo apresenta um sistema robotizado para paletizar sacas de café em grãos de 60 kg, atualmente o processo de carregamento é manual para o interior do container, trabalho repetitivo e com desgaste dos funcionários. A justificativa para implementação da célula se deve a necessidade de duplicação da carga produtiva na empresa de um cliente.

**Palavras-chave:** Célula robotizada. Paletização. Robô industrial.

## ABSTRACT:

In recent years, the demand of the market and the increase in global competitiveness has caused the industries to restructure their production processes, making them more efficient, with better quality and lower cost. The design of a robotic cell requires an in-depth study of all the systems that compose it, in order to meet the requirements of the process, guarantee the health and physical integrity of the workers and the equipment as a whole. This work aims to demonstrate a methodology for designing a robotic palletizing cell, demonstrating that they are part of a multifunctional system where different equipment needs to interact in order to perform the tasks. The main robotic peripherals that need to work together with the industrial robot were listed at work. From this, the present study presents a robotic system for palletizing coffee bags in 60 kg grains, currently the loading process is manual for the interior of the container, repetitive work and with employee wear. The justification for implementing the cell is due to the need to double the production load in the company.

**Keywords:** Robotic cell. Palletizing. Industrial robot.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico formado pelo Centro Universitário Uniftec. Profissional na área de projetos, engenharia do produto, desenvolvimento de produto, laboratório de ensaios, auditoria interna, suporte técnico, desenvolvimento de fornecedores e atendimento ao cliente

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico pela Universidade de Caxias do Sul (1987), e Mestrado Acadêmico em Engenharia Mecânica com Área de Concentração em Processos de Fabricação (07/2009). Atualmente é Professor de Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção e Engenharia Mecatrônica no Centro Universitário UNIFTEC.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a decisão da implantação de novas tecnologias é considerada uma definição estratégica, pois afeta a competitividade e o desempenho da empresa. Pedroso (1999) afirma que dependendo do valor do investimento essa decisão é irreversível, abrangência organizacional e a necessidade de gerenciar a mudança devido a paralização da tecnologia anterior.

Este trabalho será fundamentado em um processo final de linha de ensacamento de grãos de café, onde atualmente o produto é carregado manualmente até o interior do veículo de carga. Como a saca possui uma massa de 60 kg, a atividade torna-se, além de demorada, insalubre para os trabalhadores. Com isso, a possibilidade de automatizar esse processo torna-se a melhor opção, substituindo esse trabalho fastidioso para os operadores por um braço robótico, trazendo assim um aumento considerável de produtividade e um ambiente seguro.

Como a variedade de soluções robotizadas disponíveis no mercado é bastante abrangente, é conveniente efetuar uma pesquisa para identificar as opções que melhor atenderão as necessidades do processo em estudo.

Este artigo foi idealizado a partir de uma demanda do setor de vendas para o setor de engenharia de aplicações de uma empresa de máquinas e equipamentos situada na cidade de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul. O departamento de engenharia de aplicações é responsável pela interpretação dos dados e montagem do estudo preliminar de conceito que o equipamento precisa atender.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi projetar uma célula robotizada para paletização de sacas de café e os objetivos específicos foram:

- Levantar informações do cliente para processo de paletização;
- Definir com o cliente as características e capacidade de produção que deverá ter a célula robotizada a ser projetada;
- Avaliar informações do cliente para escolha dos equipamentos;
- Especificar os equipamentos periféricos que atuam em conjunto com o robô;
- Montar projeto em software 3D para validação com o cliente.

A justificativa para execução deste artigo foi devido a um aumento da produção de sacas de café, o processo de carregamento que é manual precisa ser revisto, diversos fatores influenciam para que o mesmo seja substituído por um equipamento automatizado, os mais

relevantes são: custo da mão de obra; trabalho repetitivo e fatigante; operação sem interrupções constantes e tempo ocioso; confiabilidade no processo; produto com valor agregado; incentivos e facilidade em adquirir sistemas robotizados. Com isso, foi proposta uma metodologia para projetar uma célula de paletização de sacas de café que abrange estes fatores.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 PALETIZAÇÃO DE PRODUTOS

Segundo Bowersox e Cloos (2001), a paletização se define como um agrupamento de objetos numa única carga, formando um volume apenas, sendo para manuseio quanto para transporte. Ou seja, vários volumes disponibilizados de forma organizada e compacta formando uma unidade maior.

Para Morales (1997), a paletização substitui a operação formiga de carregamento manual de cada produto, processo este que afeta diretamente os custos logísticos e também a eficiência dos processos de transporte e armazenagem.

A paletização em célula robotizada busca otimizar o espaço disponível, agilizar a logística dos produtos e, ao mesmo tempo, evitar a exposição de funcionários a movimentos repetitivos e cansativos.

### 2.2 ROBÓTICA

#### 2.2.1 Histórico

Conforme Barrientos *et al* (2007), os primeiros mecanismos animados conhecidos são os de Ctesibius (270 a.C.), um dos principais engenheiros gregos da escola alexandrina, que aplicou seu conhecimento em pneumática e hidráulica para produzir os primeiros relógios de água e órgãos com figuras em movimento. Com base em seu trabalho, Heron de Alexandria (62 a.C.) criou os teatros automáticos, nos quais os mecanismos animados eram movidos por dispositivos hidráulicos, polias e alavancas para fins eminentemente recreativos (Barrientos *et al.*, 2007).

Avançando no tempo, em 1921, Karel Capek, um escritor e dramaturgo Tcheco, utilizou pela primeira vez a palavra robô ou “robot”, que em eslavo significa “trabalho

forçado”, sendo que a expressão foi usada em sua peça teatral “Rossum’s Universal Robots” e era divulgado para denominar máquinas criadas para substituir humanos. (Barrientos *et al.*, 2007).

Em outubro de 1942, Asimov publicou na Revista ‘Galaxy Science Fiction’ a história “The Caves of Steel” em que declarava suas três leis da robótica. Conforme Barrientos *et al.* (2007), as três leis são:

- robô não pode prejudicar um ser humano, por inação, e nem permitir que um ser humano sofra algum mal.
- robô deve obedecer às ordens recebidas de um ser humano, exceto se essas ordens conflitam com a primeira lei.
- robô deve proteger sua própria existência.

Num contexto geral, a robótica avançada, que existe atualmente, tem forte inspiração das obras mecânicas do passado. A robótica é ampla e atende as mais diversas áreas, desde robôs minúsculos utilizados na medicina em cirurgias complexas, até robôs usados para realizar tarefas de alto risco para os humanos no espaço.

Os fabricantes de robôs atendem hoje duas categorias de robôs, sendo os robôs industriais e os robôs de serviço. Partindo desta premissa e tendo em conta que neste trabalho será utilizado um robô industrial, o foco de pesquisa será fundamentado nesta categoria.

### **2.2.2 Robôs Industriais**

Conforme Rivin (1988), a Associação das Indústrias Robóticas (RIA) define que um robô industrial “é um manipulador programável, multifuncional projetado para manipular material, partes, ferramentas ou dispositivos específicos, através de movimentos programados variáveis para executar uma variedade de tarefas.”

Atualmente existem no mercado robôs com diversas características. A escolha do equipamento correto vai depender da aplicação, tamanho, tipo e massa do produto a ser manipulado.

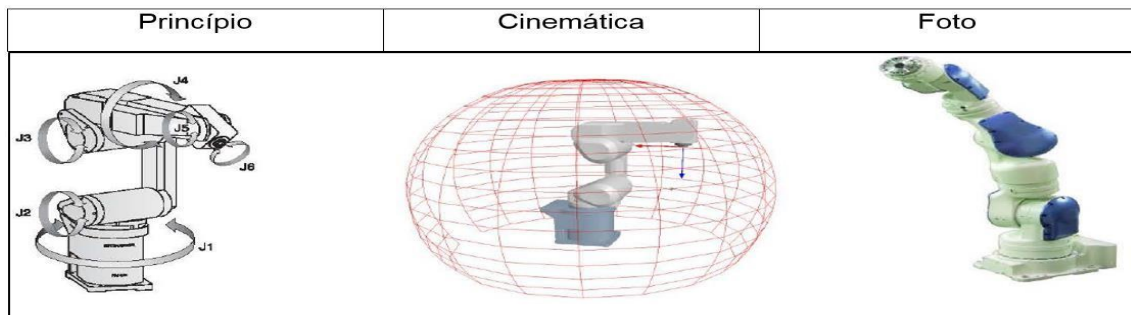
Riascos (2010), com o intuito de facilitar o entendimento de funcionamento dos equipamentos e escolha do melhor modelo baseada na aplicação, classificou os robôs manipuladores nos seguintes aspectos: 1) de acordo com o sistema de controle; 2) de acordo com a mobilidade da base; 3) de acordo com a estrutura cinemática; 4) de acordo com os graus de liberdade (GDL); 5) de acordo com o espaço de trabalho; 6) de acordo com o tipo de acionamento. Cada categoria de robôs possui características estruturais distintas, assim como

alcance, velocidade, precisão e tamanho.

Em uma atualização recente a IFR (2017) categorizou os robôs industriais com base fixa e estrutura cinética em:

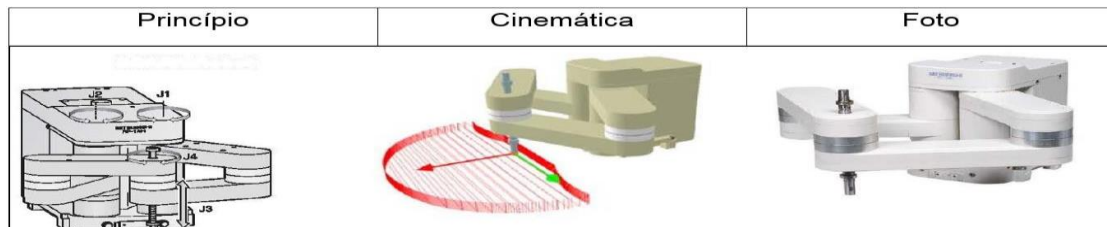
- Robôs Articulados – robô que tenha pelo menos três articulações rotativas, mostrado na Figura 1.
- Robôs Cilíndricos – eixos formam um sistema de coordenadas cilíndricas, mostrado na Figura 2.
- Robôs Cartesiano – robô cujo braço possui três articulações prismáticas e em que os eixos são correlacionados com um sistema de coordenadas cartesianas, mostrado na Figura 3.
- Robôs Paralelos ou Delta – um robô cujos braços possuem juntas prismáticas ou rotativas simultâneas, mostrado na Figura 4.
- Robôs SCARA – robô que possui duas juntas rotativas paralelas proporcionando deslocamento no sentido longitudinal, mostrado na Figura 5.

Figura 1 – Robô Articulado



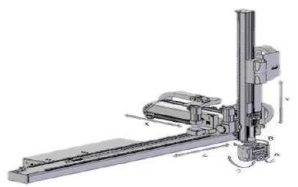
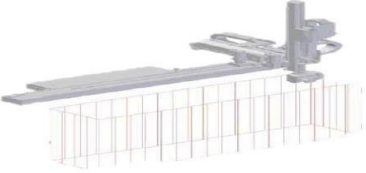

Fonte: World Robotics (2005).

Figura 2 – Robô Cilíndrico



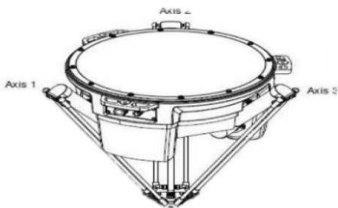
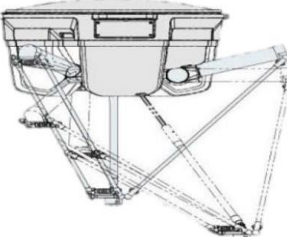

Fonte: World Robotics (2005).

Figura 3 – Robô Cartesiano

Princípio	Cinemática	Foto
		

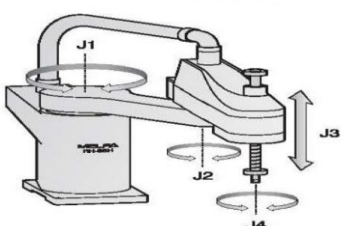
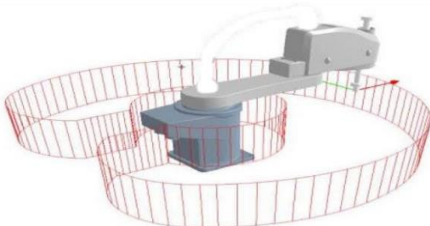

Fonte: World Robotics (2005).

Figura 4 – Robô Delta

Princípio	Cinemática	Foto
		

Fonte: World Robotics (2005).

Figura 5 – Robô SCARA

Princípio	Cinemática	Foto
		

Fonte: World Robotics (2005).

Segundo Barrientos *et al.* (2007), as principais aplicações dos robôs na indústria são: a) Alimentação de máquinas; b) Aplicação de materiais para selagem e colagem; c) Classificação; d) Controle de qualidade; e) Inspeções; f) Pintura; g) Fundição; h) Montagens; i) Corte e acabamento; j) Manipulação e paletização; k) Soldagem.

Neste trabalho será aplicado o equipamento caracterizado como robô industrial para manipulação, articulado de estrutura cinética em série com base fixa e juntas articuladas, conforme representado na Figura 1, mostrado anteriormente. O mesmo será usado para paletização de produtos.

### 2.2.3 Estrutura de robôs industriais

Um robô manipulador é constituído de elementos que interagem entre si, sendo que estes elementos estão discriminados na sequência.

Braço e Punho (Arm – Wrist) - segundo Santos (2004), o braço é a parte do manipulador que normalmente está associada ao posicionamento (x, y, z) no espaço físico cartesiano ou operacional. O punho é responsável pela orientação ( $\theta$ ,  $\Phi$ ,  $\psi$ ) da garra, pinça, cabeçote ou outras ferramentas. Estes dois componentes são constituídos por partes rígidas, denominados elos e conectados pelas juntas.

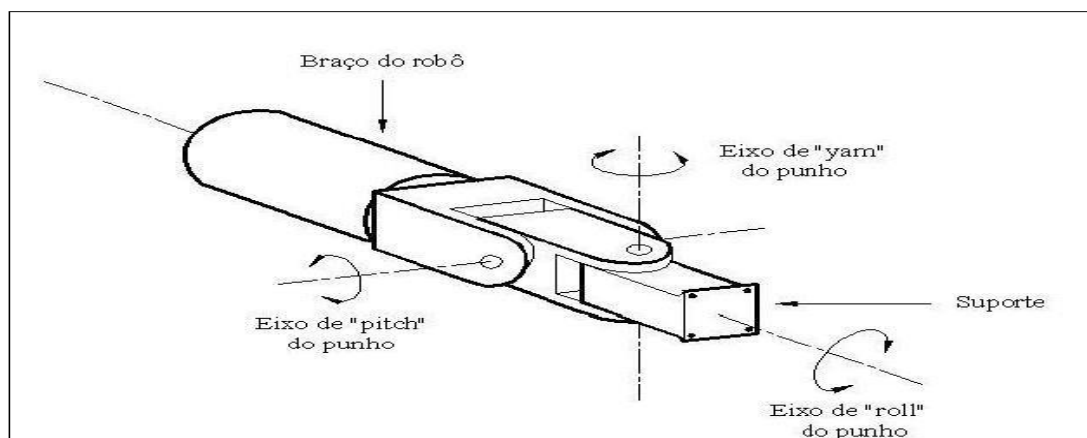
Cada junta define um ou mais GL, ou seja, quando o movimento relativo ocorre em um único eixo a junta possui apenas um GL, caso o movimento ocorra em mais de um eixo, a junta tem dois GL (CARRARA, 2015).

Os punhos de um robô industrial normalmente possuem 2 ou 3 GL. Em geral os punhos conseguem produzir três movimentos distintos, sendo eles:

- Roll (Rolamento): rotação do punho em torno de um eixo central, geralmente posicionado no centro do punho.
- Pitch (Arfagem): rotação do punho na vertical. É posicionado um atuador ligado na lateral do punho para a realização deste movimento.
- Yaw (Guinada): rotação do punho na horizontal.

Conforme mostra a Figura 6, é possível visualizar os eixos existentes na extremidade de um robô industrial.

Figura 6 – Três juntas do punho do manipulador



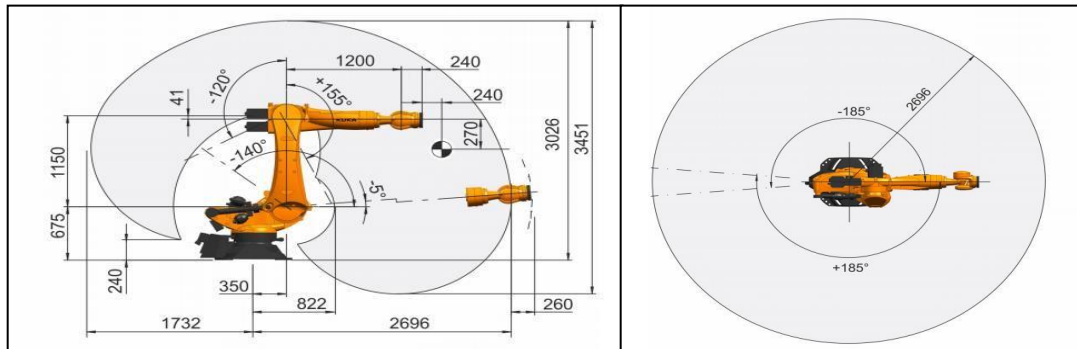
Fonte: Pazoz (2002).

Espaço de trabalho – o volume dentro do qual o robô pode movimentar o efetuador



ou cabeçote, conforme mostra a Figura 7. Ele é definido como volume total conformado pelo percurso do extremo do último elo, o punho, quando o manipulador efetua todas as trajetórias, padronizando e evitando complicações nos diferentes tamanhos de efetuadores que podem ser montados no punho do robô (PAZOZ, 2002).

Figura 7 – Geometria do espaço de trabalho – Robô KUKA KR 270 R2700



Fonte: Kuka.com (2020).

Atuadores – são responsáveis pela geração de movimento dos elementos do robô, ou seja, conversão da energia disponível em energia mecânica para mover as juntas.

Sensores – são elementos que possuem a função de captar informações e enviar ao controlador. Desta forma, o robô consegue realizar suas tarefas e interpretar o ambiente ao seu redor.

Órgão terminal ou efetuator – nome dado a ferramenta conectada ao pulso do robô, este elemento é responsável pela manipulação dos objetos. Destaca-se uma lista com os efetuadores mais usados, sendo eles: garra mecânica; garra não-mecânica; copo de sucção (Ventosa); pistola (Pintura e Jato d'água); tocha para solda; ferramenta de usinagem; cabeçote de pressão; cabeçote de garfo e cabeçote magnético.

Controlador – Conforme Santos (2004), controlador é o elemento que determina e, frequentemente, monitora o movimento de cada junta. Sua função é controlar cada junta para que os conjuntos elo/junta estejam posicionados corretamente para efetuar a tarefa programada. O controlador também é responsável por gerar informação de ativação de um ou mais atuadores com base em algoritmos de controle.

A ferramenta usada como entrada de programas no controlador chama-se *teaching box* ou *teach pendant*. A Figura 8 mostra esta ferramenta, que também contém as chaves para selecionar um eixo, botões direcionais e comandos para instruir o controlador, armazenando o ponto atual na memória e assim formando uma trajetória. Este tipo de programação é utilizado no controle ponto a ponto.



Figura 8 – Teach pendant usados em robôs Panasonic



Fonte: Industrial Panasonic.

### 2.3 CÉLULAS ROBOTIZADAS

O conceito de célula robotizada é algo genérico, pois cada empresa integradora de robô tem sua definição específica. De maneira ampla, trata-se de um sistema independente e configurável capaz de realizar diversos processos produtivos, constituídos de um ou mais robôs, de maneira a trabalhar sem supervisão humana. As aplicações são categorizadas em quatro principais grupos: transferência de materiais; montagem; processo; inspeção e teste.

Neste trabalho foi projetado uma célula robotizada de paletização de sacas de café, substituindo um processo que atualmente é realizado manualmente.

As células de transferência de materiais têm como objetivo principal mover componentes de uma determinada posição para uma nova posição, sendo que o ciclo de carga e descarga são programáveis de forma que a descarga siga o arranjo estabelecido.

No formato atual de trabalho, um robô industrial não consegue realizar nenhuma tarefa sem auxílio de algum equipamento periférico, ou seja, para trabalhar de maneira eficiente e seguro são necessários dispositivos periféricos como posicionadores de peças, gabaritos de posicionamento, esteiras transportadoras, magazines de efetuadores e principalmente possuir em seu entorno um ambiente seguro para quem opera o conjunto.

### 2.4 PERIFÉRICOS ROBÓTICOS

Barrientos *et al.* (2007) afirmam que um robô industrial raramente trabalha como um elemento isolado, mas que é parte de um processo que inclui outros equipamentos em seu entorno para realizar seu trabalho de maneira eficaz. Estes dispositivos são conhecidos como periféricos robóticos e interagem em sincronia com o robô expandindo suas funções.



Os equipamentos periféricos podem ser mecânicos, elétricos, pneumáticos e hidráulicos dependendo da sua função dentro da célula. Os principais tipos de periféricos são: posicionadores; cabeçotes de manipulação (efetuadores); unidades lineares (plataformas de deslocamento); esteiras transportadoras; proteções perimetrais; sensores e scanners; barreiras fotoelétricas; mesas giratórias e gabaritos de fixação.

## 2.5 REQUISITOS DO CLIENTE

A norma ISO 9000 traduz requisitos como uma necessidade ou expectativa que é declarada, geralmente implícita ou obrigatória. Já a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2015), na norma ISO 9001:2015, no item 8.2.3, intitulado “Análise crítica de requisitos relativos a produtos e serviços” afirma que “os requisitos do cliente devem ser confirmados pela organização antes da aceitação, quando o cliente não prover uma declaração documentada de seus requisitos.”

Fonseca (2000) conceitua requisito do cliente como a primeira tradução das necessidades brutas obtidas ou não pelo cliente e compiladas de forma compreensível para os projetistas e produtores.

Baseado na experiência com células robotizadas, é possível mencionar que em algumas situações os requisitos do cliente não são o que ele realmente precisa, ou seja, nem sempre o que o cliente quer é o que ele precisa, alguns clientes possuem uma ideia, porém não possuem o conhecimento de fato do sistema que estão buscando. Torna-se então papel do fornecedor deste equipamento guiar e orientar o cliente para a melhor solução.

## 2.6 MODELAGEM 3D

Para modelamento 3D é utilizado um programa que projeta peças com requisitos técnicos e também layout de conjunto de máquinas de modo a haver uma harmonia entre os equipamentos que fazem parte do processo de paletização.

Segundo Huang *et al.* (2009), em processos de produção as principais vantagens da modelagem em 3D são:

1. Visualização – auxilia na compreensão do processo;
2. Detecção de colisão - consegue prever possíveis interferências;
3. Teste e verificação de funções e desempenho – detalhes geométricos;



#### 4. Avaliação da operação de fabricação e montagem – adequações e disposições.

Para esse trabalho o modelo 3D auxiliou na tomada de decisão desde a posição das máquinas no ambiente até na confirmação se o espaço físico disponível será suficiente para o conjunto trabalhar com eficiência.

### 2.7 NORMAS DE SEGURANÇA EM PROCESSOS ROBOTIZADOS

Está descrito na CLT que é de obrigação legal para os empregadores a Lei nº 6.514/77, de 22 de dezembro de 1977, anexo V, relativa à segurança e medicina do trabalho e outras providências, especificamente para os bens de capital a seção XI - Das máquinas e Equipamentos, aplicar e cumprir o que consta nos artigos 184, 185 e 186 da CLT.

Atuando como pré-requisito em processos robotizados estar adequado a NR12 é estar focado com a segurança do operador, máquinas e equipamentos seguros, trazendo e aplicando o conceito de falha segura e a prova de burla. A implementação de um equipamento sem riscos para os operadores torna-se prioridade para os clientes que buscam automatizar seus processos.

A mesma norma resume-se em 12 anexos que trazem as orientações de aplicação e interpretação, o descumprimento de qualquer um é passível de punição para a empresa:

- I – Distâncias de segurança e requisitos para o uso de detectores de presença optoeletrônicos.
- II – Conteúdo programático da capacitação.
- III – Meios de acesso permanentes.
- IV – Glossário.
- V – Moto serras.
- VI – Máquinas para panificação e confeitaria.
- VII – Máquinas para açougue e mercearia.
- VIII - Prensas e similares.
- IX– Injetoras de materiais plásticos.
- X - Máquinas para fabricação de calçados e afins.
- XI- Máquinas e implementos para uso agrícola e florestal.
- XII - Equipamentos de guindar para elevação de pessoas e realização de trabalho em altura. (BRASIL, 1978b, p.2 ).

As proteções físicas, também chamadas de proteções perimetrais, servem como obstáculo entre o operador e o ambiente de risco, podendo ser grades, vidros ou bandejas de metal que, como por exemplo, são utilizados em robôs de solda para que a radiação do arco elétrico não cause acidentes.

São os itens 12.38 e 12.41 da norma que estabelecem a necessidade de proteções fixas e móveis para proteção do operador e são regidas pelas normas ISO 14120:2015 (Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis) e ISO



13857:2019 (Distâncias de segurança para evitar que zonas de perigo sejam alcançadas por membros superiores e inferiores).

Conforme BRASIL (1978b), que está descrito na NR12, tópico 12.5, “a concepção de máquinas deve atender ao princípio da falha segura”. Essa afirmação resume quando ocorre uma falha técnica ou falha humana que seja relevante a segurança dos operadores e do sistema, que o equipamento precisa entrar em um estado seguro com auxílio de dispositivos de segurança, dimensionados para tais situações, evitando assim acidentes com os operadores e danos no sistema.

Destaca-se a norma NR10 que trata da segurança em instalações e serviços em eletricidade, publicada no ano de 1978, atualizada durante os anos seguintes, e finalizada pelo Ministério do Trabalho em 2004.

Uma norma específica para sistemas robóticos é a ISO 10218-1:2011, que contempla os riscos específicos deste processo. Trata de orientações sobre as considerações de uso, projeto de segurança, programação e manutenção dos robôs e seus periféricos.

O descumprimento das normas regulamentadoras acarreta penalidades dependendo da gravidade que ficam estabelecidas na NR-28, Fiscalização e Penalidades, aprovada em 2015 pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), podendo resultar em notificações para a correta adequação, autuação com multas e até interdição da empresa.

### **3 METODOLOGIA**

Para realizar o estudo de desenvolvimento do produto é necessário compilar informações pertinentes. O cliente disponibiliza um caderno técnico com o descritivo do projeto, que trata do escopo do projeto, onde é apresentado as informações essenciais sobre ele, como dados técnicos sobre o produto a ser paletizado, limites para instalação da máquina, atividades, premissas, restrições, etc. Após a análise do escopo são eliminadas as dúvidas com o vendedor técnico, possibilitando o início do desenvolvimento do projeto.

#### **3.1 PROCESSO ATUAL DE PALETIZAÇÃO MANUAL**

Para realização de carregamento das sacas de café dentro do container, o cliente utiliza 5 colaboradores. Como a empresa trabalha em regime de dois turnos de 8 horas cada, ao total são 10 operários realizando a operação diariamente.



A saca segue por 6 metros entre o ensacamento até a paletização em cima do caminhão, sendo que a mesma chega a uma altura de 3,5 metros e os funcionários recebem a saca sobre suas cabeças e empilham no interior do container. Uma tarefa com riscos ergonômicos para saúde dos empregados por se tratar de uma carga relativamente pesada atrelado a condição de esforço repetitivo.

O processo de ensacamento também é manual. Como somente duas linhas estavam ativadas a cooperativa utilizava 2 operadores para cada linha, sendo um para colocação da saca no dispositivo onde os grãos caem e outro para guiar as sacas no sistema de costura.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

Neste projeto o cliente evidencia a necessidade de paletização automática de sacas com grãos de café, atividade realizada manualmente.

Atualmente, no cliente, a tarefa de carregar as sacas de café é realizada por cinco trabalhadores e outros dois trabalhadores realizam o ensacamento, com auxílio de plataformas na altura do baú do caminhão, sendo que os mesmos se revessam no carregamento e empilhamento das sacas no interior do veículo.

Na linha de produção do cliente existem 2 linhas de ensacamento manual. Ele estuda instalar mais 2 linhas e também automatizar o processo de ensacamento.

Esta otimização no processo de ensacamento dos grãos de café acarretará num aumento de produtividade. O cliente busca uma solução robotizada para atender essa nova demanda de carregamento no container, que está sobre um caminhão e, ao mesmo tempo, que traga vantagens ergonômicas para os colaboradores, substituindo a tarefa de ciclos repetitivos e carregamento de material com massa acima do permitido.

### 3.3 CONCEITO DO PROJETO

Conforme especificações do fabricante dos robôs e baseado no *Know how* de outros projetos semelhantes, é estabelecido que o modelo de robô industrial pretendido nesta função de paletização realiza no máximo 850 ciclos por hora, considerando um ângulo de giro inferior a 90°. Para atender a produção de 1600 sacas por hora serão necessários 2 robôs industriais de manipulação, realizando assim 800 ciclos por hora cada um, ao mesmo tempo capazes de manipular a carga de uma saca de café com 60 kg mais a massa da garra

mecânica do robô.

O sistema de paletização necessita de transportadores de malha para movimentação das sacas a partir da saída do processo de ensacamento automático até a região onde será paletizado. No transporte, quando ocorre a remoção das pilhas de sacas para o interior do container no caminhão, o processo é realizado com auxílio de uma empilhadeira especial que possui um dispositivo *push pull* usado em paletizações sobre um palete fixo, ou seja, a empilhadeira carrega a pilha sem palete até o interior do container.

Para atender essa condição e fazer com que o processo de paletização das sacas fosse contínuo na saída dos arranjos, é necessário projetar um sistema de carro com duas posições que intercalem uma posição de paletização e uma de captação da carga pela empilhadeira.

Visando atender a segurança dos funcionários e do equipamento serão utilizadas barreiras físicas, também chamadas de proteções perimetrais, que são telas de metal em torno da máquina, isolando a área e evitando assim acidentes no momento que o robô está atuando.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DA CÉLULA ROBOTIZADA DE MANIPULAÇÃO

No desenvolvimento do projeto da célula robotizada será utilizado um software de modelagem em 3D paramétrico, chamado Solid Edge, da empresa Siemens.

Com o aumento da demanda de grãos de café pelo mercado internacional, o cliente necessitou aumentar sua capacidade produtiva de ensacamento e carregamento do produto. O cliente tinha planos de ativar mais 2 linhas de ensacamentos e automatizar esse processo nas 4 linhas, com isso a produção por linha, que montava 200 sacas por hora, passará a produzir 400 sacas por hora em cada linha, com isso serão 1600 sacas por hora de capacidade produtiva em 4 linhas de ensacamento.

Um dos primeiros passos quando se iniciou o estudo para levar uma proposta ao cliente, que atendesse as necessidades dele, foi definir a área disponível para instalação da célula, altura do pé direito, modelos e características do veículo que transportaria as sacas do equipamento para dentro do container, esses podendo ser: paleteira manual ou elétrica e empilhadeira a combustível ou elétrica. A informação de modelo da empilhadeira é necessária para determinar a altura do transportador onde ocorrerá a saída das sacas.

Para esse fim, o cliente enviou um layout atual da planta identificando a área

determinada para possível instalação e informou a altura do pavilhão, disponibilizando 100 m<sup>2</sup> e altura de 30 metros. O layout da planta auxilia na determinação da melhor posição dos equipamentos e na percepção de possíveis obstáculos como colunas, vigas e desníveis no piso.

É fundamental conhecer as características do produto que será manipulado. Neste caso o produto, uma saca com grãos crus de café de 60kg e a embalagem é um saco feito com tecido de juta.

A saca de café, mostrada na Figura 18, cheia e sobre a esteira, possui dimensões de 850 mm x 600 mm x 200 mm. A estrutura do saco de juta em relação a outras formas de embalagem facilita o processo de empilhamento e armazenamento.

Figura 9 – Saca com grãos crus de café – 60 kg



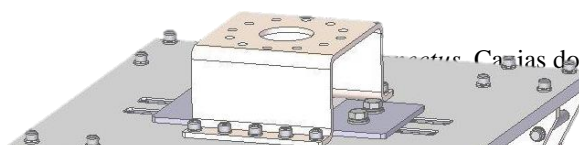
Fonte: Unicafe.com

A saca é transportada nas esteiras no sentido longitudinal, sendo desta forma estabelecida a largura do transportador e seu modelo de malha onde a saca segue até a paletização pelo robô.

Será utilizado um transportador mecânico de pacotes com largura de 680 mm, fabricado em inox AISI 304 e com transmissão por moto redutor. Em cada linha de ensacamento será utilizado um conjunto de transportadores de pacotes fazendo a conexão do ensacamento e levando até o ponto onde o robô efetua a coleta da saca.

A malha que será usada é feita de acetal, material que possui rigidez, resistência ao impacto e a tração. A malha é revestida com lâminas emborrachadas, o que facilita o movimento e a aderência das sacas sobre o transportador. O próximo passo foi o projeto do cabeçote manipulador, ou garra, que captura e movimenta o produto, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Cabeçote de garras para sacas





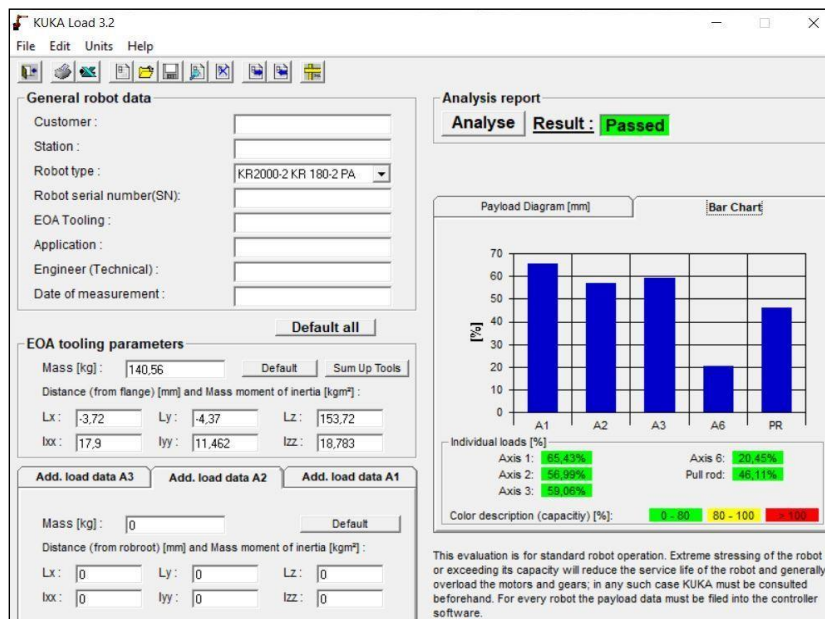
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de um estudo preliminar usando o software Solid Edge na montagem do modelo 3D e considerando a saca sendo manipulada no interior da garra, verificou-se as propriedades físicas de posição do centro de massa e momentos de inércia nos 3 eixos do efetuator.

Estes dados foram alimentados no programa chamado KUKA.Load que é baseado no gráfico de capacidade de carga de cada robô. O mesmo apresentou um relatório confirmando que o modelo de robô que foi selecionado seria capaz de manipular o conjunto cabeçote/saca.

No trabalho foram considerados os 60 kg da saca mais a massa de 80,56 kg do cabeçote proposto, somando uma massa final de 140,56 kg e compilando com as propriedades físicas do modelo do conjunto cabeçote e saca. O programa KUKA.Load mostra que o robô KUKA KR 180 R3200 PA atendeu a aplicação, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Relatório 2 do programa Kuka.Load



Fonte: Elaborado pelo autor.

O robô KR180 R3200 PA KUKA Industrial Robots, mostrado na Figura 12, foi escolhido para atender a este processo. É um modelo que foi projetado para processos de paletização e tem como principal característica a manutenção da carga sempre perpendicular ao solo e uma capacidade de carga de até 180 kg, possui um design robusto, porém compacto facilitando sua instalação.

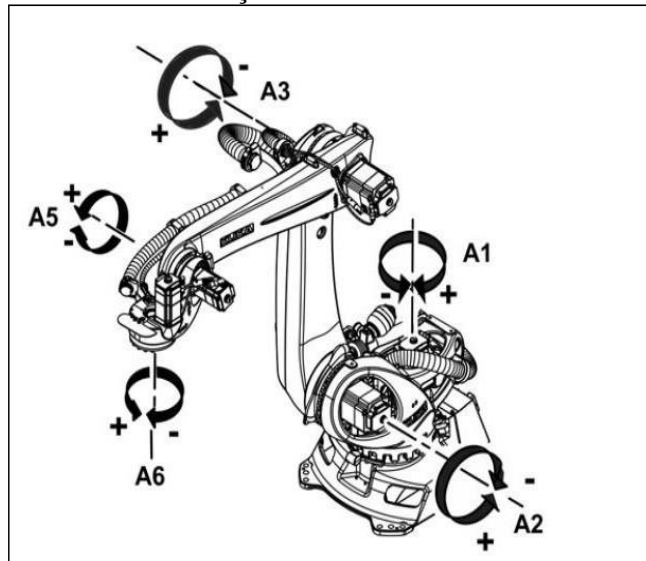
Figura 12 – Robô de Paletização – KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Kuka.com

O robô KUKA KR180 possui 5 eixos sendo, que somente 4 são programáveis. O eixo A5, como mostrado na Figura 13, funciona de maneira independente, sempre mantendo a carga de forma perpendicular com o solo.

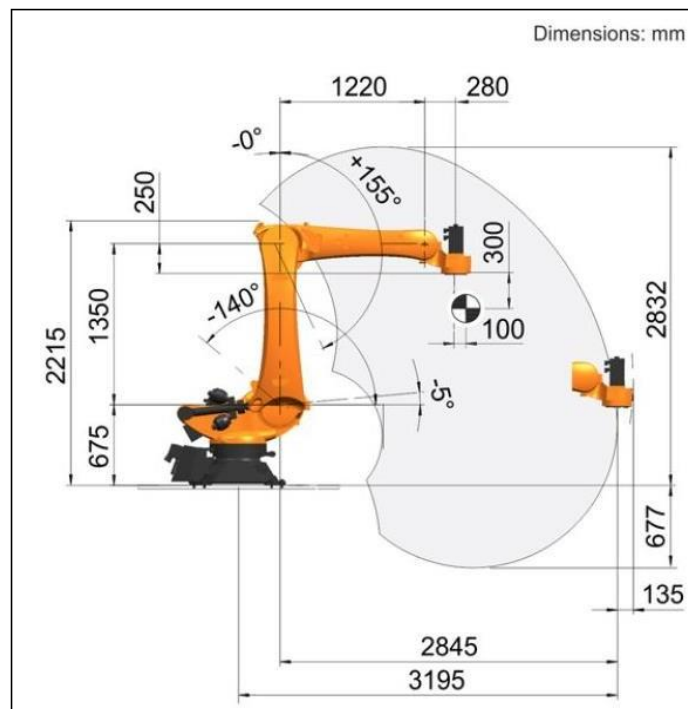
Figura 13 – Identificação dos eixos - KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Kuka.com

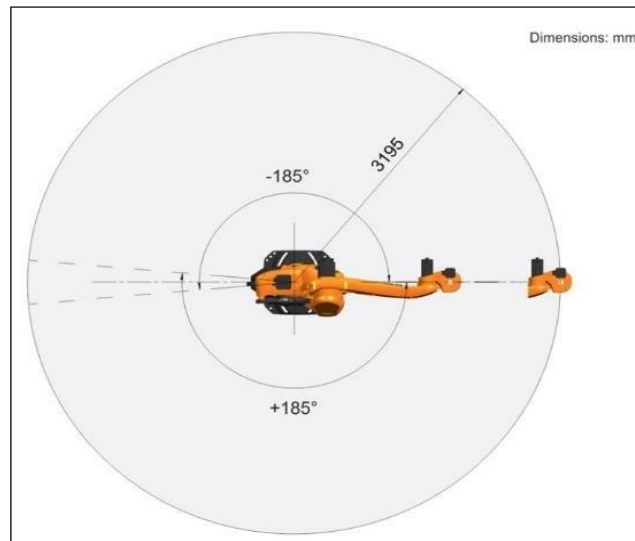
Dentro dos dados técnicos, a empresa fabricante disponibiliza a área de atuação ou envelope de trabalho, que limita a trajetória que o centro da flange pode percorrer. A vista lateral do envelope de trabalho é mostrado na Figura 14 e a vista superior do mesmo, na Figura 15.

Figura 14 – Envelope de trabalho vista lateral - KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Kuka.com

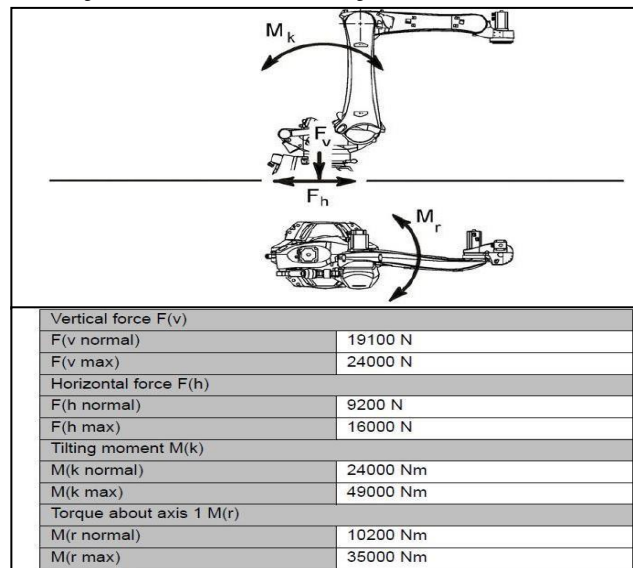
Figura 15 – Envelope de trabalho vista superior - KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Kuka.com

Existem solicitações do robô, como mostra a Figura 16, que atuam na fundação, por isso deve-se fazer uma análise de fundação onde o robô será fixado para verificar a resistência do piso e definir a forma como será instalado.

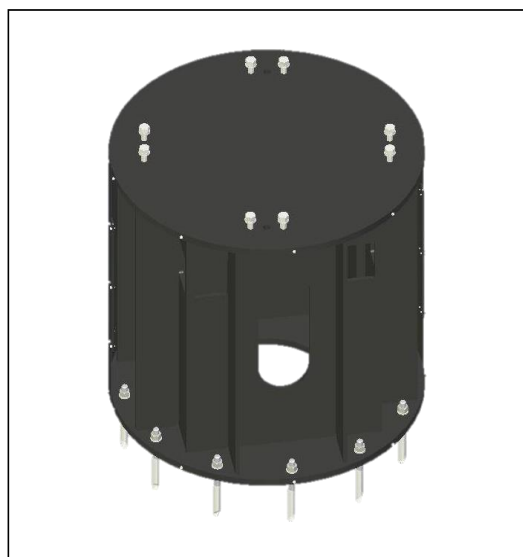
Figura 16 – Forças atuantes na fundação - KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Kuka.com

O robô será montado sobre uma base, mostrada na Figura 17.

Figura 17 – Base de fixação - KUKA KR180 R3200 PA



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estrutural da base foi realizada dentro de um módulo do programa Solid Works, onde foram carregadas as informações da tabela 1 e também dados do material.

Tabela 1 - Dados de carregamentos do robô

Carregamento	Intensidade	Eixo de aplicação
Força horizontal (FH)	16.000 N	+X
Força vertical (FV)	24.000 N	-Y
Momento inclinado (MK)	49.000 Nm	Em torno do eixo -Z
Momento radial (MR)	35.000 Nm	Em torno do eixo +Y

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material: SAE 1020

Módulo de Elasticidade: 210

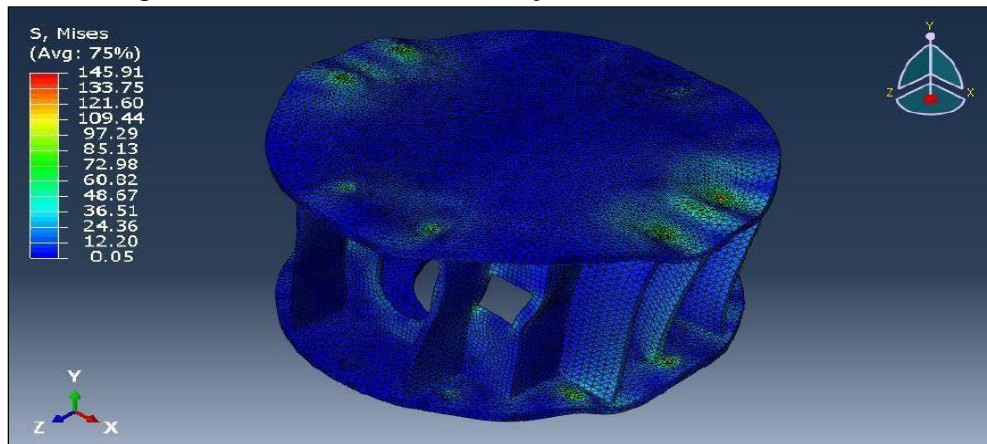
GPa Coeficiente de Poisson: 0,30

A aplicação dos carregamentos ocorreu atrás de um ponto referencial do centro da chapa superior da base. Para ligar o ponto referencial com as furações de fixação do robô, criou-se uma restrição do tipo acoplamento.

As furações na chapa inferior da base foram utilizadas como engaste fixo para todos os graus de liberdade. Essas furações serviram para fixação ao solo com chumbadores de rosca M24.

Consideraram-se contatos do tipo “tie” ou colados entre as peças para simular a solda. Conforme mostra a Figura 18, é possível visualizar como as tensões se comportaram a aplicação das cargas sobre a base.

Figura 18 – Análise Base de fixação – Tensão de Von Mises

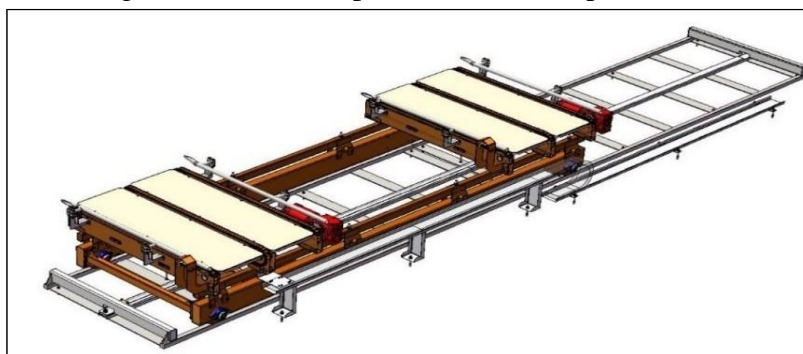


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para racionalizar o tempo de utilização do robô realizando a paletização de forma ininterrupta, estudou-se a forma em que a pilha seria removida do interior da célula, já que a empilhadeira precisava realizar essa tarefa sem o risco de interferência com o braço manipulador.

A solução foi resolvida com a utilização de um carro móvel sobre trilhos, mostrado na Figura 19, com duas posições finais, sendo intercaladas de forma que quando uma estiver recebendo as sacas a outra estará indo a uma posição segura para a remoção das sacas pela empilhadeira.

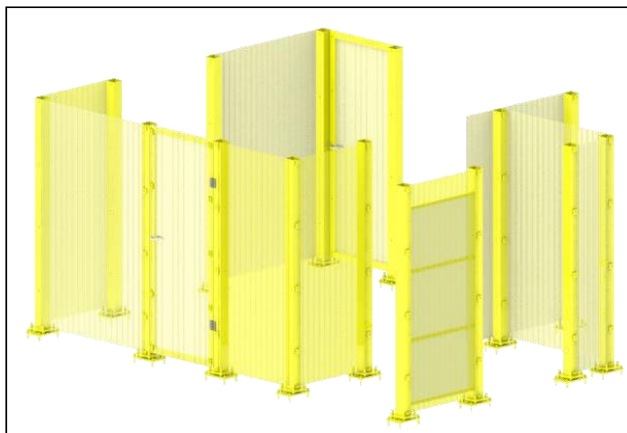
Figura 19 –Carro duplo deslocador de pilhas (de sacas)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para garantir a proteção dos trabalhadores são utilizadas as proteções físicas em todo entorno da célula robotizada. As proteções, também chamadas de perimetrais, mostradas na Figura 20, estão integradas com chaves de segurança, que são sistemas de segurança robustas e a prova de burla.

Figura 20 – Proteções perimetrais



Fonte: Elaborado pelo autor.

O acesso as partes críticas do equipamento poderá ser efetuado através de portas convenientemente posicionadas, as quais são monitoradas por chaves especiais de segurança que impedem o movimento do equipamento e interrompem incondicionalmente o funcionamento de todo o sistema.

Desta forma, o equipamento atende todos os requisitos e recomendações normativas vigentes relativas às condições de segurança industrial no país, entre as quais elencamos as duas principais, que são a NR12 e a ISO 10218.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

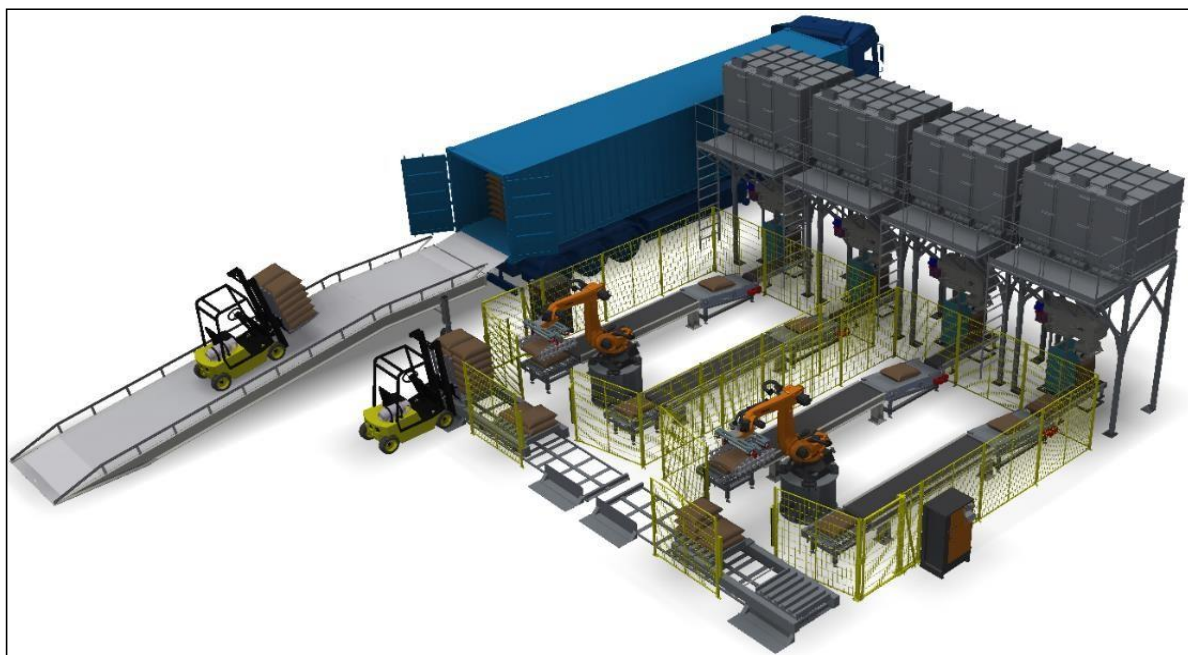
### 4.1 MONTAGEM DO LAYOUT 3D

Após a determinação dos periféricos que fazem parte da célula robotizada, se fez necessário realizar a concepção em ambiente virtual do conjunto em software 3D. A montagem do layout em 3D serve para antever possíveis restrições ao nível de espaço físico como: se o pé direito é suficiente para o braço robotizado trabalhar livremente ou se a área disponibilizada comporta todo o equipamento.

No final do modelamento em 3D já é possível visualizar como o sistema de paletização funcionaria na prática, como mostra a Figura 21.



Figura 21 – Layout 3D proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 ESTUDO PRELIMINAR DE PLAYBACK

Salvador, Brambilla e Tanaka (2009) destacam que uma correta gestão de recursos para inovação tecnológica é de suma importância para sobrevivência de uma empresa e o investimento para robotização de operações é estratégico, pois influencia o processo em termos de qualidade, eficiência e confiabilidade.

Nesse sentido, foi utilizado a técnica de Payback de forma resumida, levando em consideração o valor total do sistema final de linha com instalação e startup, sem considerar os custos indiretos que são aqueles referentes a reposição de peças, energia elétrica, manutenções, enfim, os custos futuros demandados no ciclo de vida do equipamento. Esta análise demonstra uma estimativa de tempo para que o investimento feito na aquisição do equipamento seja recuperado.

Atualmente cada operador consegue carregar e empilhar 80 sacas por hora com o acréscimo de mais 2 linhas. A automatização do processo de ensacamento totalizaria 1.600 sacas por hora, sendo que com isso seriam necessários 20 trabalhadores por turno. Como o cliente trabalha em 2 turnos, a demanda seria de 40 colaboradores por dia.

Considerando neste cenário apenas o custo da mão de obra e que cada funcionário receba de salário R\$1.600,00, mais encargos de 30%, chega ao custo mensal de R\$ 83.200,00. O valor do investimento do equipamento para o cliente será de R\$ 830.000,00. Então, dividindo esse montante pelo custo mensal com os colaboradores chegamos num



prazo de recuperação do investimento de 10 meses.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de uma célula robotizada para paletização de sacas de café para uma empresa exportadora de café em grãos, visando atender o aumento produtivo do cliente.

Todas as informações relevantes para o projeto foram levantadas e as dúvidas a respeito de produção o cliente esclareceu.

Conforme análise crítica do escopo e do memorial técnico, documentos onde constam as premissas e requisitos do cliente, os mesmos foram aplicados para determinação dos modelos de equipamentos que irão atuar em conjunto com o robô de manipulação definido, visando atender a necessidade do cliente.

Com o auxílio do software 3D foi realizado o layout virtual da célula, disponibilizando os equipamentos escolhidos de maneira estratégica e buscando a máxima eficiência de cada um dentro do processo. Ao final, documentos como orçamento, descritivo técnico e layout foram encaminhados ao cliente para submeter a sua aprovação.

A solução robotizada quando construída estrategicamente consegue garantir aspectos de segurança, qualidade, eficiência, remoção do trabalho manual repetitivo e insalubre, repetibilidade, confiabilidade e produção ininterrupta.

Pensando numa sequência do conhecimento adquirido com este trabalho é possível elencar estudos que agregariam maior valor ao conteúdo, sendo eles:

1. Análise estrutural por meio de elementos finitos da base do robô KUKA KR180 R3200 PA;
2. Estudo completo de viabilidade econômica para equipamento depaletização robotizada de sacas com café;
3. Consequências ergonômicas em trabalhos repetitivos aliados a manipulação de produtos com massa acima do adequado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10218:2018:** Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança para robôs industriais. Rio de Janeiro, 2018.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9000:2015:** Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2015:** Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14120:2015:** Segurança de máquinas - Protetores - Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13857:2019:** Segurança de máquinas - distâncias de segurança para evitar que zonas de perigo sejam alcançadas por membros superiores e inferiores. Rio de Janeiro, 2019.

BARRIENTOS, Antonio *et al.* **Fundamentos de Robótica.** Madri: McGraw-Hill, 2007.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial:** o processo de integração da cadeia de suprimentos. São Paulo: Atlas, 2001.

BRASIL. Ministério Do Trabalho E Emprego. **NR-10:** Segurança Em Instalações E Serviços Em Eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978a. 18 p. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-10.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-10.pdf) . Acesso em: 25 out. 2020.

BRASIL. Ministério Do Trabalho E Emprego. **NR-12:** Segurança No Trabalho Em Máquinas E Equipamentos. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978b. 88 p. Disponível em: [http://www.ogmoitajai.com.br/portal/legislacao/normas\\_regulamentadoras/NR12.pdf](http://www.ogmoitajai.com.br/portal/legislacao/normas_regulamentadoras/NR12.pdf). Acesso em: 25 out. 2020.

BRASIL. Ministério Do Trabalho E Emprego. **NR-28:** Fiscalização E Penalidades. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978c. 111 p. Disponível em: [http://www.ogmoitajai.com.br/portal/legislacao/normas\\_regulamentadoras/NR12.pdf](http://www.ogmoitajai.com.br/portal/legislacao/normas_regulamentadoras/NR12.pdf). Acesso em: 25 out. 2020.

CARRARA, Valdemir. **Introdução à robótica industrial.** São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <http://mtcm21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm21b/2015/08.25.14.16/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/clt/consolidacao-das-leis-de-trabalho-completa-e-atualizada>. Acesso em: 18 set. 2020.

FONSECA, Antonio Jorge H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional,** Tese (Doutorado do Programa de Pós graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78276>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUANG, Ting *et al.* “**Construction virtual prototyping: A survey of use**”.2009. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/243973366\\_Construction\\_virtual\\_prototyping\\_A\\_survey\\_of\\_use](https://www.researchgate.net/publication/243973366_Construction_virtual_prototyping_A_survey_of_use). Acesso em: 15 set. 2020.

IFR Press Releases. **Robotics**, 2017. Disponível em: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robots-double-worldwide-by-2020>. Acesso em: 25 maio. 2020.

IFR Press. **Robotics**, 2017. Disponível em: [https://ifr.org/downloads-press/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2017\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads-press/WR_Industrial_Robots_2017_Chapter_1.pdf). Acesso 26 maio. 2020

IFR Press Releases. **Robotics**, 2020. Disponível em: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>. Acesso em: 15 set. 2020.

IFR Topics and Definitions. **Robotics**, 2020. Disponível em: <https://ifr.org/>. Acesso em: 20 dez. 2020.

MORALES, S.R. **Gestão & Produção**. São Carlos: UFU. 1997.

PAZOZ, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro: AxcelBooks do Brasil, 2002.

PEDROSO, Marcelo. **Uma metodologia de análise estratégica da tecnologia**.1999. 16f.Artigo sobre Gestão e Produção. Departamento de Engenharia de Produção Escola Politécnica USP. São Paulo, 1999.

RIASCOS, L. A. M. **Fundamentos de robótica manipuladores e robôs móveis**.São Paulo: Pleiade, 2010.

RIVIN, E., **Mechanical Design of Robots**, 1 ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1988.

SALVADOR, F.; BRAMBILLA, E. M.; TANAKA, J. M. **Projeto de Automação como base para a Inovação. Um caso prático na Indústria de Alimentos**. Labsoft, 2009.

SANTOS, V.M.F. **Robótica Industrial**. Universidade de Aveiro – Portugal: 2004SITE INDUSTRIAL PANASONIC COM. Tawers. 2018. Disponível em: [https://industrial.panasonic.com/content/data/WS/PDF/201801\\_TAWERS\\_E.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/WS/PDF/201801_TAWERS_E.pdf). Acesso em: 08 out. 2020.

SITE KUKA.COM. **Ramos de atividade**. 2012. Disponível em: <https://www.kuka.com/pt-br/ramos-de-atividade/banco-de-dados-de-solu%C3%A7%C3%B5es/2016/07/solution-robotics-faw>. Acesso em: 08 out. 2020.

SITE REXNORD.COM. **Techlibrary**. 2012. Disponível em: <https://www.rexnord.com/contentitems/techlibrary/documents/conveying-solutions/flattop-catalog-tabletop-and-mattop-products>. Acesso em: 21 out. 2020.

SITE UNICAFE.COM. **O café**. Disponível em:



<https://www.unicafe.com.br/index.php/pt-br/>. Acesso em: 08 out. 2020.

**WORLD ROBOTICS 2005: Statistics, Market Analysis, Case Studies and Profitability of Robot Investment.** United Nations, 2005.