



Desenvolvimento de sistema de estoque automatizado de baixo custo

Development of low cost automated inventory system

Rogério Issamu Yamamoto (pro15804@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli - USP) e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Douglas Hideki Watanabe (douglas_watanabe@outlook.com)

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Matheus Cordeiro Rodrigues (matheuscordeiro96@hotmail.com)

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Vitor Kirejian Bertaglia (v.bertaglia@outlook.com)

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Resumo

O problema do controle e monitoramento de entradas e saídas de ferramentas e equipamentos nas empresas e instituições de ensino pode ser sanado através de processos automatizados por meio do conceito “*industrial vending machine*”. Ocorre, porém, que apesar de eficazes, são de custo elevado e muitas vezes inacessíveis. Objetivando atender ao segmento citado, o qual padece de falta de soluções automatizadas para estoques e almoxarifados a um custo acessível, desenvolveu-se um sistema de estoque automatizado composto por estrutura modular simplificada e robô de coordenadas cartesianas. Para tanto, foi dividido o projeto em três principais frentes de trabalho, sendo estas respectivamente: mecânica, eletrônica e informática, utilizando-se de manufatura e montagem facilitada, visando à redução de custos, e sistema embarcado constituído por hardwares como o Raspberry Pi e Arduino para o controle do sistema; através do *software* Visual Studio foi possível criar uma interface homem-máquina (IHM) para controlá-lo; Como resultado, criou-se um protótipo funcional, em escala, com capacidade de armazenamento de 55 *slots*, validando o que foi objetivado. Qual seja, atender a uma demanda por soluções automatizadas de estoque a um custo diminuído.

Palavras-chave: Estoque automatizado. Baixo custo. ASRS.

Abstract

The problem of control and monitoring of inputs and outputs of tools and equipment in companies and educational institutions can be solved through automated processes through the concept of "industrial vending machine". However, although effective, they are expensive and often inaccessible. In order to meet a pent-up demand for affordable, automated warehouse and warehouse solutions, an automated inventory system consisting of a simplified modular structure and Cartesian coordinate robot was developed. To this end, the project had been divided into three main work fronts, which were respectively: mechanical, electronic and computer, using easy manufacturing and assembly, aiming at cost reduction, and embedded system consisting of hardware such as Raspberry Pi® and Arduino® for system control, and through Visual Studio software it was possible to create a human machine interface (HMI) to control it. As a result, a functional, prototype, 55-slot storage prototype was created, validating what was intended, namely to meet a demand for automated inventory solutions at a reduced cost.

Keywords: Automated Stock. Low Cost. ASRS.

Introdução

Um grande problema identificado nas instituições de ensino e em empresas, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, é o controle e monitoramento de entradas e saídas de ferramentas, equipamentos, *SKU's (Stock Keeping Unit)* e outros dispositivos que se pretenda controlar o uso interno pelos usuários.

O papel da armazenagem é gerenciar de forma eficaz o espaço tridimensional de um local adequado e seguro, para a guarda de matéria-prima, insumos, produtos acabados, etc., preservando sua integridade física e a disponibilizando a quem de direito a reclame no momento oportuno (RODRIGUES 2007, apud, REIS, 2015, p. 54). Ademais, o processo de armazenagem é tão importante na cadeia produtiva que chega a responder em média por 10% a 40% dos custos logísticos, conforme apregoa (POZO 2010, apud, REIS, 2015, p. 54).

Na busca por uma resposta ao problema apresentado, podem-se vislumbrar algumas possíveis soluções que atendam à demanda sob análise. Para tanto, foi através de processos automatizados e equipamentos caracterizados com o conceito "*industrial vending machine*", ou "*stock machine*", que se chegou às melhores respostas oferecidas por grandes *players* do mercado. Isto não apenas por reduzirem os custos de estoque e melhorarem a produtividade, mas também por seus principais benefícios apresentados, quais sejam: capacidade de operar 24 horas por dia, 7 dias por semana, englobando disponibilidade com responsabilidade pelas transações realizadas; redução significativa do consumo, tanto de itens acumulados sem necessidade quanto dos que são subtraídos ilegalmente; controle de gastos de funcionários e departamentos; redução de 20% a 50% dos gastos com inventário; automatização de pedidos, recebimento, estocagem e manutenção de estoque; capacidade em transformar dados de inventário em informações úteis; capacidade de melhoria nos custos do trabalho, nas previsões de estoque e no planejamento da demanda; redução do tempo de deslocamentos internos e outras atividades sem valor agregado, entre outros.

Ocorre que, apesar de oferecerem respostas eficazes ao problema de gerenciamento e automação de estoques, essas soluções não são plenamente eficientes por oferecerem equipamentos muitas vezes inacessíveis devido aos custos elevados, tornando as mesmas ignoradas por pequenas empresas por não enxergarem um caminho economicamente justificável na implementação desses dispositivos em seus processos, e mantendo métodos de armazenamento ultrapassados.

Dessa forma, o propósito do presente estudo foi desenvolver um sistema de estoque automatizado (*ASRS - automated storage and retrieval system*), composto por estrutura modular simplificada e robô de coordenadas cartesianas, apresentando três juntas prismáticas (PPP), resultando num movimento composto por três translações dos eixos "X", "Y" e "Z" (comprimento, largura e altura). Tal sistema foi concebido através de tecnologia e estrutura, que possam atender às necessidades de um nicho de mercado não contemplado pelas soluções presentes em decorrência dos altos custos praticados.

Além disso, o trabalho busca otimizar os recursos humanos disponíveis, de modo a remanejar o colaborador que outrora seria encarregado de realizar trabalhos repetitivos e passíveis de erros nos almoxarifados e estoques para uma atuação mais criativa através de capacitação e treinamentos contínuos, contribuindo assim para a industrialização inclusiva, em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável estipulados pela ONU (ONU, 2015).

Materiais e Métodos

Para a elaboração e desenvolvimento do projeto aqui apresentado, foi necessário o respaldo teórico e científico em três pilares basilares para se conseguir chegar a uma concepção viável e pertinente do trabalho. Deste modo fez-se necessário especificar qual estrutura de armazenamento seria adotada, qual o tipo de robô industrial seria o ideal e qual equipamento de elevação e transferência seria o mais indicado para dar cabo às necessidades do sistema desenvolvido.

Diante deste cenário, o projeto desenvolvido utilizou-se como equipamento de elevação e transferência de um transelevador ou ASRS do tipo *miniload*. Este tipo de sistema apresenta estrutura de armazenamento do tipo *Drive-in*, utilizando-se de robô de coordenadas cartesianas, apresentando três juntas prismáticas (PPP).

A seguir, apresentamos um panorama geral dos tipos de estruturas de armazenamento, equipamentos de elevação e transferência e diferentes tipos de robôs industriais existentes, bem como o enquadramento do projeto nestes respectivos itens, que são apresentados na Figura 1.

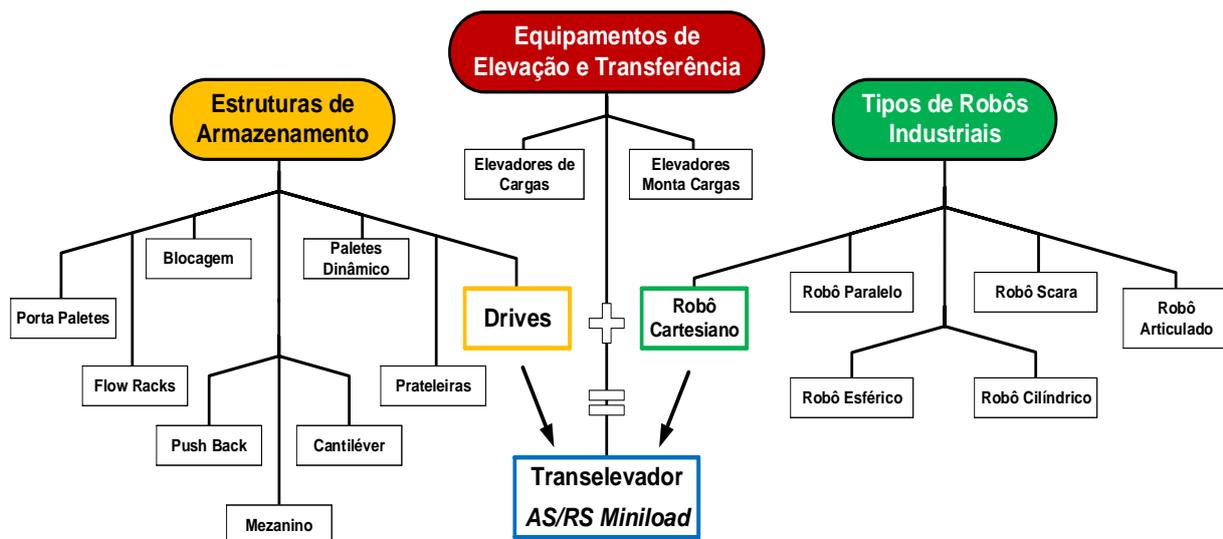


Figura 1 - Topologia entre armazenamento, transferência e robôs industriais.
Fonte: elaboração dos autores (2020).

O desenvolvimento do projeto mecânico do sistema ASRS aqui preconizado tem como alicerce para sua elaboração alguns parâmetros fundamentais tais como a necessidade atual, bem como a capacidade ideal dos *slots* disponíveis para alocação dos *SKU's*. Além disso, parâmetros técnicos como massa/peso dos carros movimentadores (conjunto de eixos "X" e "Y"), tanto vazios quanto carregados com o *SKU* selecionado, foram necessários para a determinação dos motores de passo e sistemas de contrapeso do sistema.

Através destes parâmetros e de estudos embasados em sistemas similares, verifica-se que é possível determinar a potência necessária dos motores de passo, as dimensões mínimas para atender as necessidades atuais bem como estruturar o projeto de forma modular para, caso haja

aumento de *SKU's*, e, conseqüentemente se façam necessários mais *slots* para sua alocação, sendo possível ampliar verticalmente o sistema e atender a nova demanda.

Diante disto, foi estabelecido que o projeto tem a capacidade para 55 *slots* de 4" x 2", divididos entre duas estantes com corredor entre elas, por onde o carro movimentador irá se deslocar, tendo cada estante 7 andares com 4 *slots* por andar, totalizando 28 *slots* na prateleira posterior (A1 a A7; B1 a B7; C1 a C7, e, D1 a D7), e 27 *slots* na prateleira frontal (E1 a E7; F1 a F7; G1 a G7; e, H1 a H7), ocorrendo a redução de um *slot*, que estaria alocado na posição E2 para dar espaço para que o carro movimentador possa dispensar os *SKU's* demandados.

A estrutura possui medidas externas de aproximadamente 1156mm x 760mm x 1360mm (C x L x H), e volume de trabalho retangular do carro movimentador de aproximadamente 0,8m³ (0,40m x 0,20m x 1,00m), conforme apresentado na Figura 2.

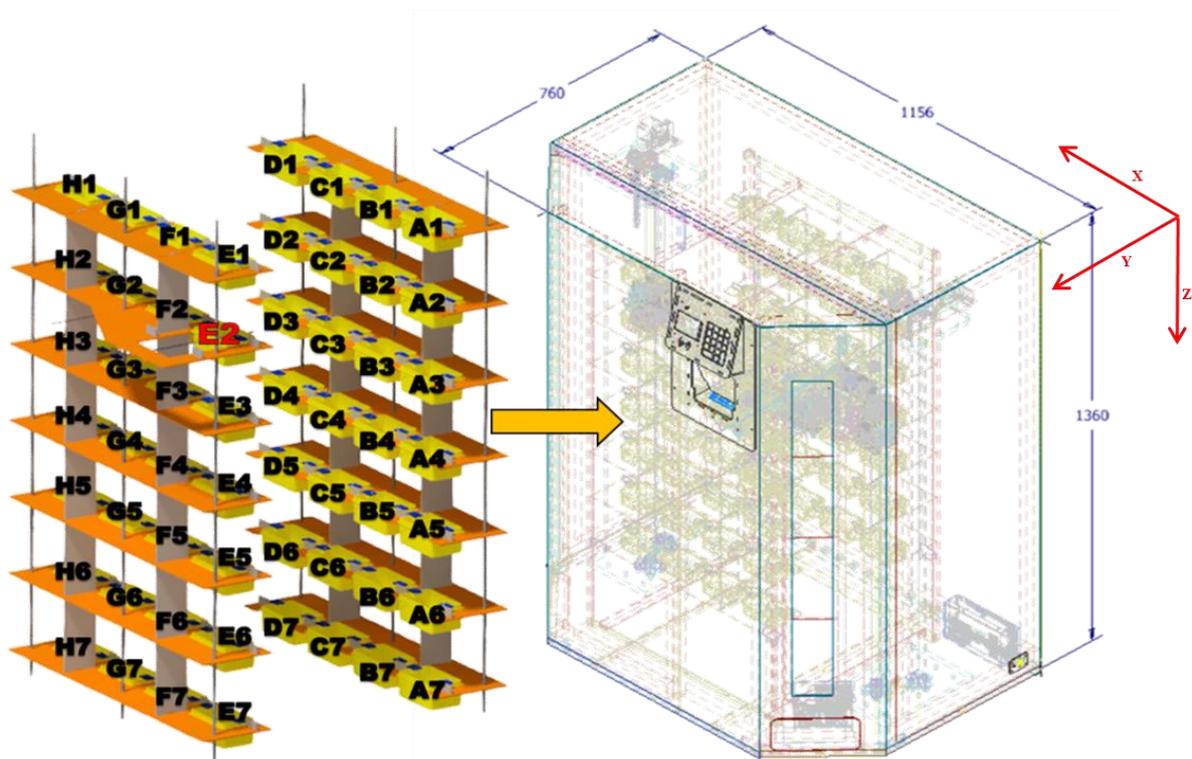


Figura 2 - Projeto estrutural do sistema ASRS.
Fonte: elaboração dos autores (2020).

Para se obter um maior dinamismo na realização do presente projeto, ele foi dividido em três principais frentes a serem trabalhadas concomitantemente, sendo elas respectivamente: mecânica, eletrônica e informática.

Utilizou-se para o desenvolvimento e modelagem dos componentes mecânicos envolvidos no projeto o software de modelagem 3D, denominado Autodesk Inventor 2019[®]. Para a manufatura e confecção das peças utilizadas no projeto do sistema de armazenamento e recuperação automatizado (ASRS), foram adotados três principais métodos: a usinagem, o corte a laser e a manufatura aditiva através de impressão 3D.

Quanto à parte eletrônica, foi desenvolvido um sistema embarcado com utilização de tecnologias já disponíveis no mercado, como Raspberry Pi[®], Arduino[®], CNC Shield e leitor RFID, de modo a

atender aos objetivos e às necessidades do projeto, apresentando como principais características o fato de serem de custo acessível, apresentarem alta eficiência e demonstrarem eficácia ao que se propõe.

Para o desenvolvimento da programação, foram empregados *softwares* como o Visual Studio® e MonoDevelop® e *Firmware Open Source* como o GRBL

Desenvolvimento

O protótipo foi projetado e desenvolvido levando-se em consideração a modularidade e a facilidade na montagem, e foi constituído por 7 grandes conjuntos. São eles: eixo "X", eixo "Y", eixo "Z", apresentados na Figura 2, correspondendo a estrutura, *slots* ou prateleiras, *case* da eletrônica e painel de comandos.

O eixo "X" é constituído por três carros movimentadores, sendo que no carro central, que se desloca linearmente na horizontal, é instalado o eixo "Y". Os demais carros movimentadores são fixos ao eixo "X". Eles estão ordenados um à direita e outro à esquerda, proporcionado assim o deslocamento vertical do conjunto de eixos "XY" orientados pelas guias do eixo "Z". Ademais, o eixo "X" apresentado na Figura 3 possui um curso de movimentação de aproximadamente 480mm.

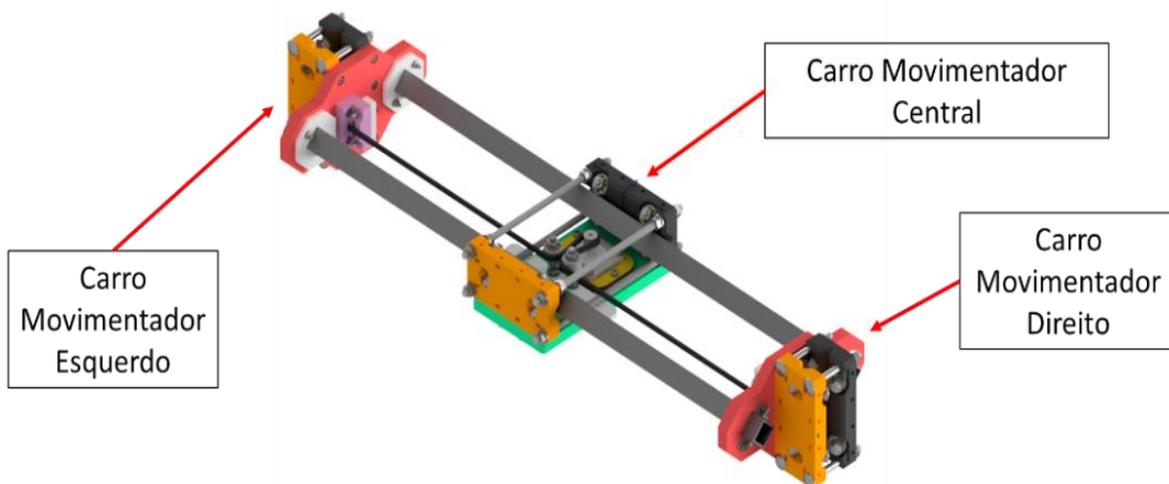


Figura 3 - Conjunto eixo "X".
Fonte: elaboração dos autores (2020).

O eixo "Y" é constituído por guias telescópicas, possibilitando um amplo deslocamento para ambos os lados. Esse eixo é composto por dois suportes, cuja principal função é de abrigar as caixas dos itens durante a retirada do *slot* e nos deslocamentos cartesianos. Ademais, o eixo "Y" apresentado na Figura 4 possui um curso de movimentação de aproximadamente 200mm.

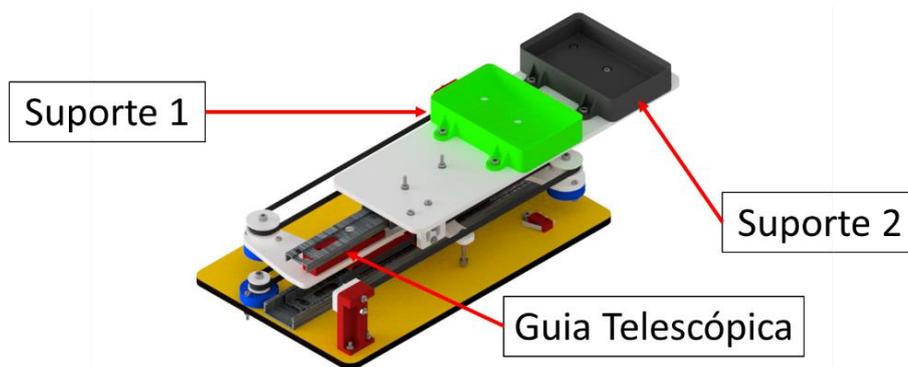


Figura 4 - Conjunto eixo "Y"
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

O eixo que proporciona o movimento vertical do sistema é o caracterizado como "Z", sendo constituído por 2 motores de passo *NEMA 23* acoplados a 2 conjuntos de redução, constituídos por elementos de transmissão, tubos de Metalon, carro movimentador do contrapeso e o contrapeso propriamente dito. Neste eixo é instalado o conjunto de eixos "X" e "Y" apresentado na Figura 5, contando com um curso de movimentação de aproximadamente 1100mm.

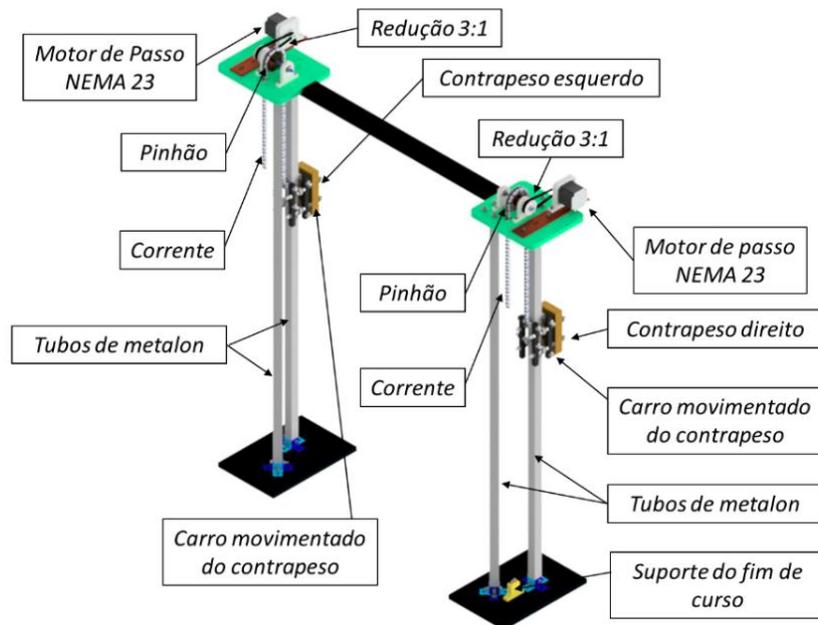


Figura 5 - Conjunto eixo "Z"
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

A interação entre usuário e máquina é possível por meio do painel de comando, onde há uma tela *HDMI* de 3.5" para proporcionar uma interface entre o homem e a máquina. O painel também é composto por um módulo de leitura *RFID*, teclado numérico para manuseio da IHM e um botão para confirmação de retirada de item, como apresentado na Figura 6.

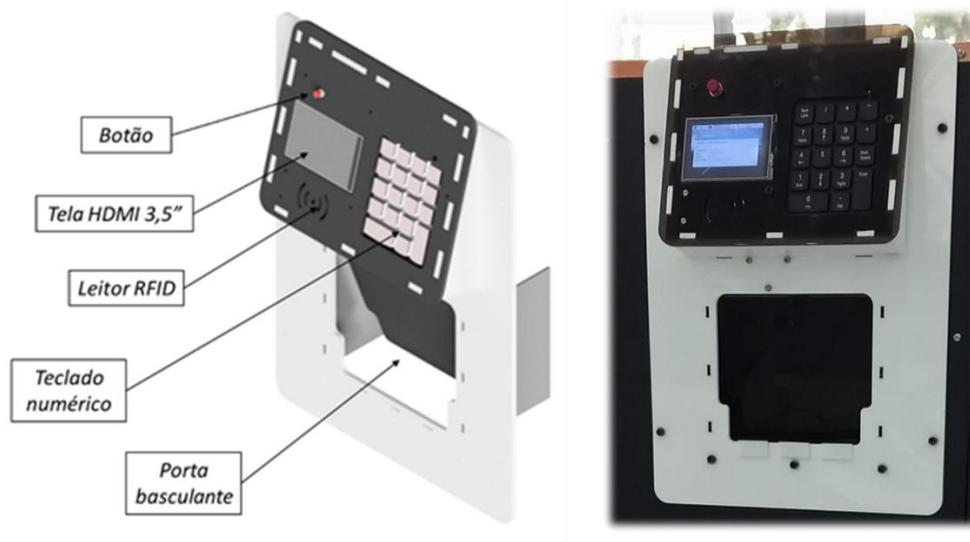


Figura 6 - Painel de comando
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

Parte dos hardwares do projeto está alojada em uma pequena caixa de acrílico. Esse compartimento, denominado *case*, apresentado na Figura 7, foi projetado para acomodar o microcomputador Raspberry Pi®, Arduino Uno® e a *Shield CNC V3*. No *case* encontra-se instalado um *cooler* para prover o arrefecimento do microcomputador e a dissipação do calor gerado pelos *drivers* dos motores.

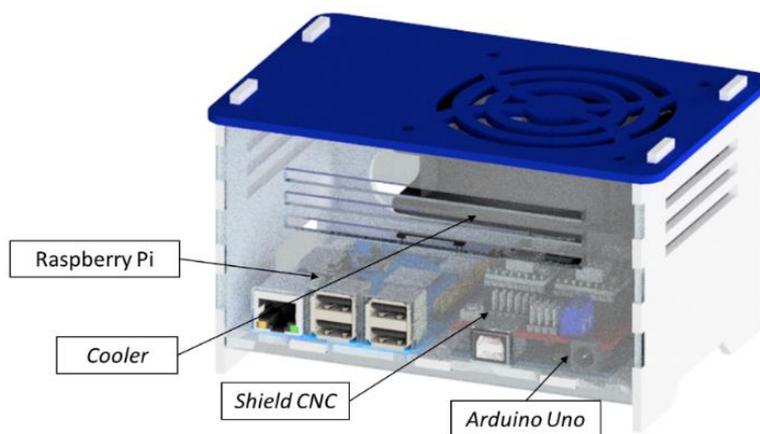


Figura 7 - Case da eletrônica
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

O conjunto de *slots*, ou prateleiras, são os espaços destinados para a acomodação das caixas dos itens alocados. Cada posição na prateleira possui sua coordenada cartesiana definida. O protótipo foi desenvolvido com capacidade de alojar 55 caixas. No desenvolvimento do trabalho adotou-se a utilização de caixas de luz retangular da marca *Fortlev*, para acomodação dos itens em seus alojamentos. As prateleiras mostradas na Figura 8 foram fabricadas em placas de *MDF* e estruturadas com placas de acrílico e barras rosqueadas.

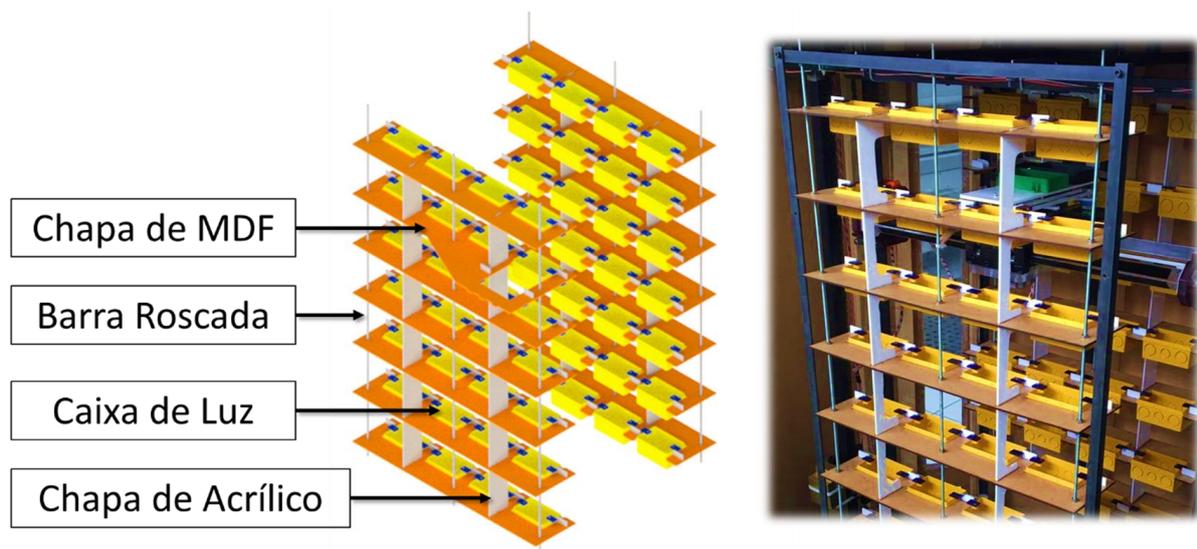


Figura 8 - Slots ou prateleiras de armazenamento
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

A estrutura é composta por peças fabricadas em madeira e aço. A parte mais importante da estrutura é a base, local de instalação do eixo "Z", da armação, do esqueleto de madeira e da parte eletrônica. A armação é produzida com cantoneiras de aço e tem por função servir de sustentação das prateleiras. A estrutura ainda é composta também por um esqueleto de madeira e por um local de fixação das carenagens. A Figura 9 detalha o processo de montagem da estrutura.

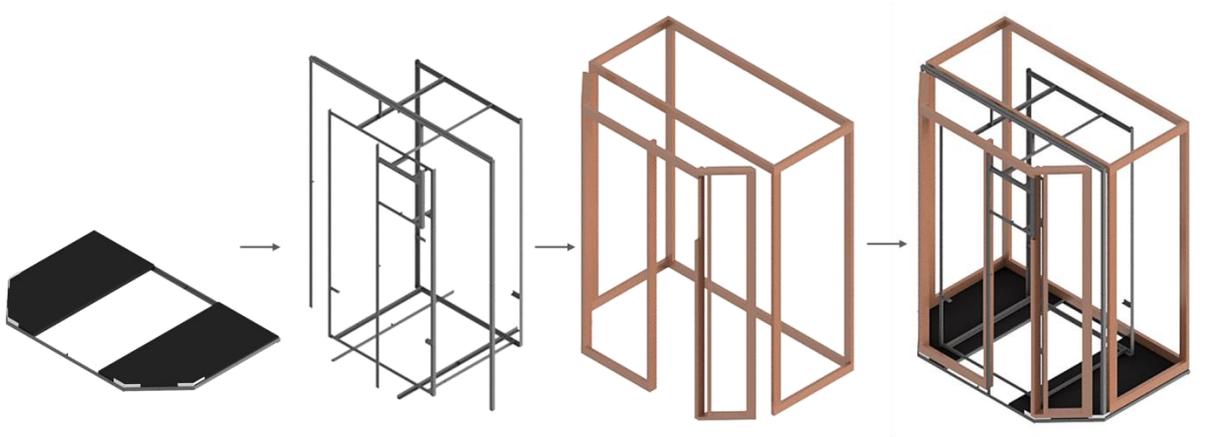


Figura 9 - Processo de montagem da estrutura
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

Com a união dos 7 agrupamentos principais tem-se a versão final do protótipo, que pode ser demonstrada pela Figura 10, tanto aberto quanto fechado, com sua carenagem de proteção.

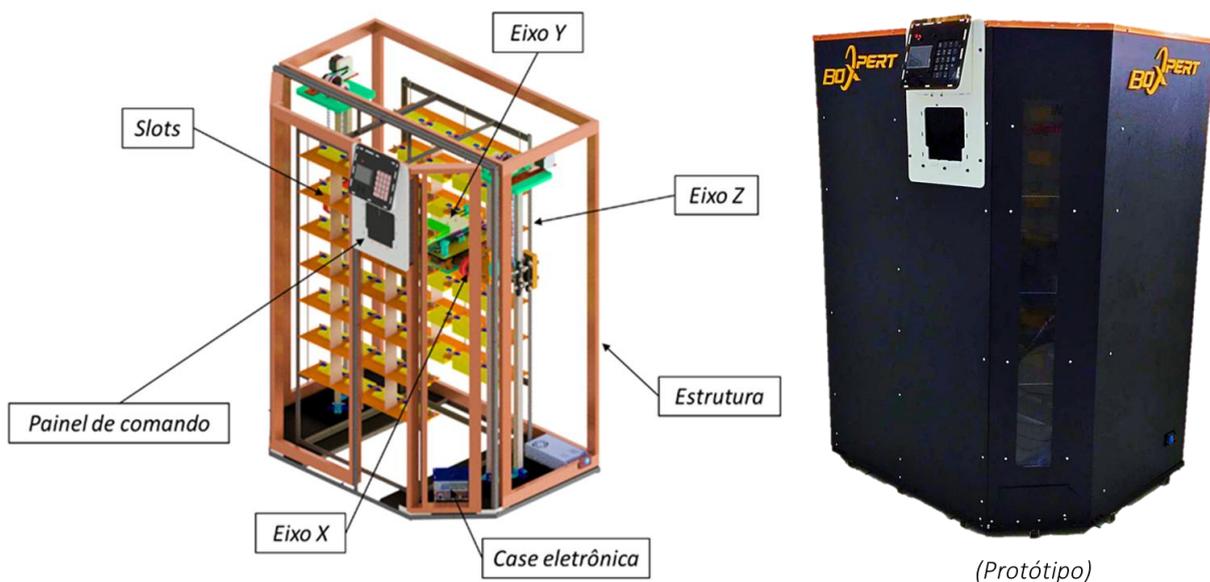


Figura 10 - Montagem (integração dos 7 grandes conjuntos)
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

A parte eletrônica do projeto, composta pelo microcontrolador Arduino Uno®, o microcomputador Raspberry Pi® modelo 3B+, a CNC Shield V3 e demais periféricos conectados entre estes, pode ser melhor visualizada através da Figura 11.

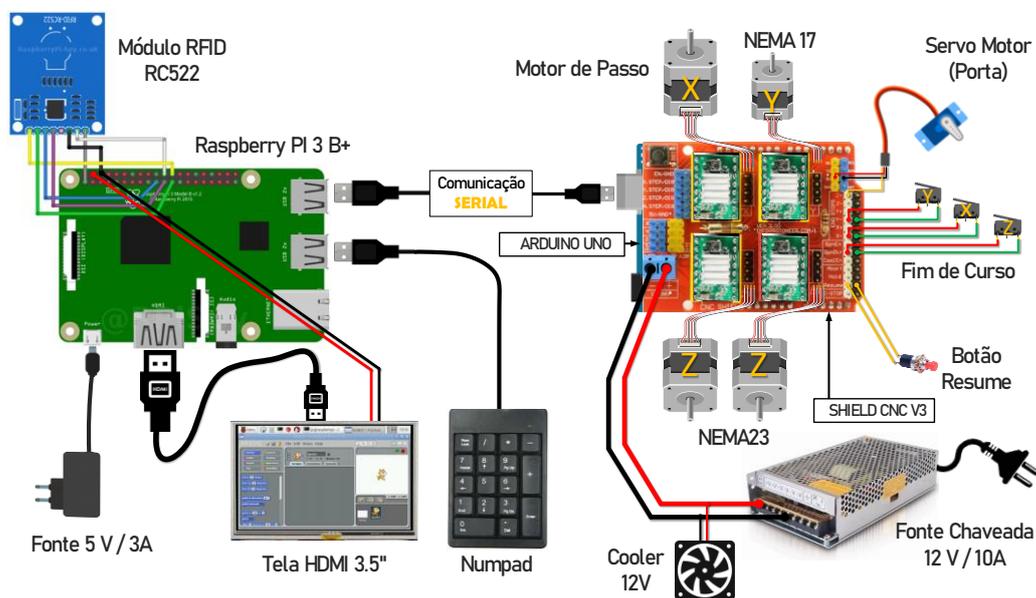


Figura 11 - Diagrama elétrico
 Fonte: elaboração dos autores (2020).

Conforme se pode observar na figura acima, para o controle dos motores de passo dos eixos “X”, “Y” e “Z” foi utilizada uma placa CNC Shield V3 conectada ao Arduino Uno® através dos pinos A0 ao A5, e dos pinos 2 ao 13.

Os motores de passo são os responsáveis pela movimentação dos eixos; o servo motor é o encarregado pela abertura e fechamento da porta de acesso aos SKU’s; as chaves fim de curso dos

eixos “X”, “Y” e “Z” atuam para o “zeramento” (*home*) do sistema; o botão “*resume*” informa pelo *input* ao sistema que o componente já foi retirado e que pode ser dado prosseguimento à operação bem como à fonte chaveada, sendo que todos estão conectados à placa *CNC Shield V3*.

Em seguida, para o controle e monitoramento de todo o sistema, utilizou-se um microcomputador *Raspberry Pi*® modelo 3B+ conectado ao *Arduino Uno*® através de uma de suas portas *USB*, por intermédio de comunicação serial; o teclado numérico, responsável pela navegação do usuário foi também conectado através de entrada *USB* do *Raspberry*; já o *display LCD TFT* de 3.5” foi conectado ao *Raspberry* através da sua entrada *HDMI*; a fonte de 5V/3A foi ligada ao *Raspberry* através da entrada micro *USB* presente neste; e o sensor *RFID MFRC522* foi conectado ao *Raspberry* através dos pinos: 1 (alimentação 3V3); 6 (*ground*); 19 (*GPIO 10*); 21 (*GPIO 09*); 22 (*GPIO 25*); 23 (*GPIO 11*) e, 24 (*GPIO 08*).

O dispositivo construído (estoque automatizado *ASRS*) segue uma ordem de funcionamento simples, de uso facilitado, intuitivo e de fácil operação, conforme o fluxograma de funcionamento ilustrado no apêndice A.

Para a determinação da velocidade ideal de avanço do sistema, foi realizado um estudo minucioso a priori quanto às vibrações mecânicas geradas pelo conjunto e desse modo concluiu-se que a melhor faixa para trabalho seria na casa de 25000mm/min, garantindo assim menores níveis de vibração e melhor tempo de operação para buscar e guardar um *SKU*, ligeiramente superior ao correspondente à ação humana.

Resultados

Objetivando demonstrar a possibilidade e o enquadramento da proposta do projeto como um estoque automatizado *ASRS* de baixo custo, durante o desenvolvimento e a construção, foi levantada e documentada grande parte dos custos envolvidos na elaboração do protótipo, ressaltados alguns custos, fossem diretos (mão de obra própria) ou indiretos (água, energia elétrica, etc.). A partir desse levantamento, foi estimado que o produto desenvolvido poderia ser comercializado por um valor entre R\$ 30.000,00 a R\$ 40.000,00. já dotado de todos os acessórios pertinentes e de acordo com as normas de proteção da NR12.

Como resultado, foi possível validar o projeto como viável, embora com algumas restrições que se verificaram no decorrer do seu desenvolvimento. Dessa forma, foi possível identificar os problemas encontrados e as possíveis soluções para eles.

Um dos problemas encontrados se deu em relação ao desbalanceamento do eixo “Z”, na ocorrência concomitantemente do deslocamento dos eixos “X” e “Z”, ou até mesmo deslocamentos apenas no eixo “Z”; quando o carro movimentador está posicionado numa das extremidades do eixo “X”, o sistema pende para este lado em decorrência do peso, gerando perda do passo dos motores e ocasionando conseqüentemente a perda das posições gravadas. Para sanar este problema, foi alterada a lógica de programação para que em toda movimentação no eixo “Z” o carro movimentador deve a priori se deslocar no eixo “X” até o centro para que o sistema entre em equilíbrio.

O projeto focou na simplicidade e no baixo custo de desenvolvimento, e por esse motivo foi utilizado um controlador em malha aberta. Ocorre que, esse tipo de estrutura é suscetível a sofrer erros crônicos de perda de posicionamento em decorrência de interferências externas como solavancos e/ou os já citados desbalanceamentos do eixo “Z”, sendo que este problema poderia

ser solucionado através de uma reestruturação do projeto para trabalhar em malha fechada com a utilização de *encoders* para garantir o posicionamento dos eixos.

Considerações finais

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a criação de um protótipo de estoque automatizado *ASRS* com a utilização de um robô de coordenadas cartesianas (PPP) de baixo custo, com a finalidade de atender a uma demanda reprimida do mercado por soluções automatizadas para estoques e almoxarifados, visando com isso gerenciar, controlar e monitorar o uso de ferramentas, equipamentos, *SKUs* e demais componentes cujo uso por parte dos usuários se pretenda controlar. O sistema foi concebido utilizando-se de tecnologia e estrutura que possa atender às necessidades de um nicho de mercado não contemplado pelas soluções presentes em decorrência dos altos custos praticados.

Dessa forma, mostrou-se altamente relevante o presente trabalho não só para o meio acadêmico, mas também para as grandes empresas que necessitam de um controle mais enxuto e efetivo para seus almoxarifados ou estoques. Além disso, o trabalho buscou otimizar os recursos humanos disponíveis, de modo a remanejar os colaboradores que outrora seriam encarregados de realizar trabalhos repetitivos e passíveis de erros nos almoxarifados e estoques para um trabalho mais inventivo através de capacitação e treinamentos contínuos, contribuindo assim para a industrialização inclusiva, em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável estipulados pela ONU (ONU, 2015).

Ademais, de modo geral, o projeto atendeu ao que se propôs. Desse modo, foi desenvolvida a estrutura prismática modular para o armazenamento dos equipamentos ou componentes; construiu-se um robô prismático cartesiano (PPP) para fazer a intermediação entre os usuários e os itens para empréstimo; também foi concluída a criação da IHM, com identificação do usuário através de cartão dotado de tecnologia *RFID*, bem como, a devida criação do banco de dados através do *SQLite* para armazenamento de dados dos usuários cadastrados e/ou novos entrantes no sistema. O presente estudo é passível de melhorias, uma vez que é possível corrigir os problemas encontrados no desenvolvimento e expandir a utilização das tecnologias aplicadas no projeto seguindo a tendência da indústria 4.0.

Referências

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. *Equipamentos de movimentação*. Portal Fiesp, São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/transporte-e-logistica/equipamentos-de-movimentacao/>>. Acesso em: 17, Jul. 2019

FRACARO, J. **Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle** [livro eletrônico]. Curitiba: InterSaberes, 2017, cap. 8.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011, p. 264 - 270.

LONGA, 2019. **Sistemas de Armazenagem: drive-in e drive-thru**. Disponível em: <https://www.longa.com.br/><. Acesso em: 18, Nov. 2019.

MOURA, R. A. Manual de logística: armazenagem e distribuição física. São Paulo: Imam, 2006.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010, p. 1 – 8.

OLIVEIRA, L.F.S. **Desenvolvimento de um robô cartesiano acionado por CNC**. Santa Cruz do Sul, 2016. Disponível em:<<https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2153/1/Luis%20Felipe.pdf>>. Acesso em: 22, Out. 2019.

ONU BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável: conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-on>>. Acesso em: 22, Ago. 2019.

POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

POLONSKII, M. M. **Introdução à robótica e mecatrônica**. 2. ed. Rio Grande do Sul, EDUCS, 1996, p. 11 - 26.

REIS, J. G. M. dos. **Gestão estratégica de armazenamento**. Paraná: Intersaberes, 2015, p. 54 - 104.

RODRIGUES, P.R.A. **Gestão estratégica da armazenagem**. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

ROMANO, V.F; Dutra, M.Suel. **Robótica Industrial: Aplicação na indústria de manufatura e de processos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002, p. 1 - 10.

APÊNDICE – A

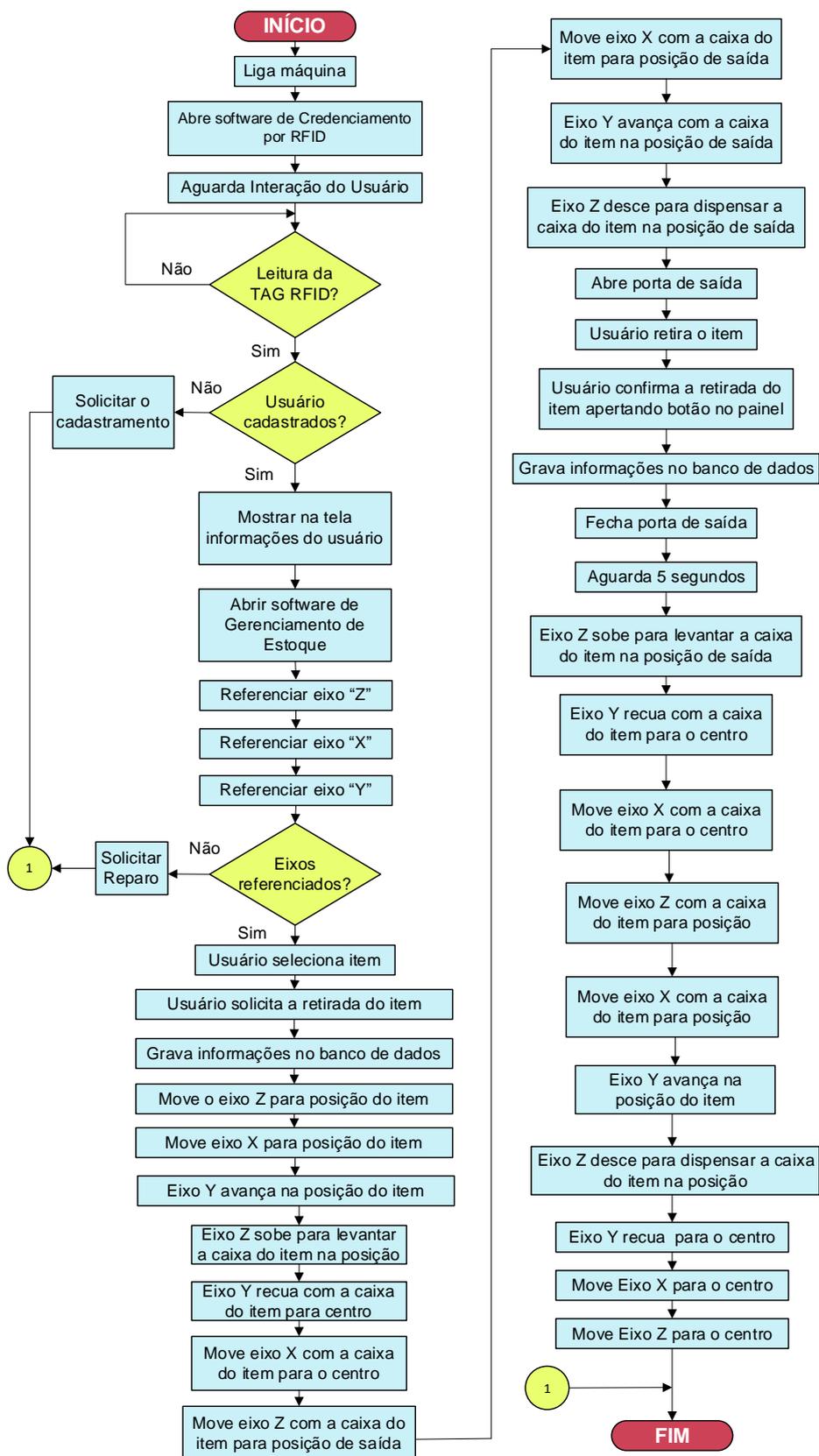


Figura 12 - Fluxograma de Funcionamento
Fonte: Elaboração dos autores (2020)