

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEMEC
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

GUSTAVO JACKSON PEREIRA

CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA:

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE
MANUFATURA

UBERLÂNDIA

2019

GUSTAVO JACKSON PEREIRA

CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA:

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE
MANUFATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como exigência parcial para
obtenção de grau de bacharel em
Engenharia Mecatrônica, à Faculdade de
Engenharia Mecânica – FEMEC, da
Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. José Jean-Paul
Zanlucchi de Souza Tavares.

UBERLÂNDIA

2019

GUSTAVO JACKSON PEREIRA

CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA:

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE
MANUFATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como exigência parcial para
obtenção de grau de bacharel em
Engenharia Mecatrônica, à Faculdade de
Engenharia Mecânica – FEMEC, da
Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. José Jean-Paul
Zanlucchi de Souza Tavares.

Uberlândia, 25 de junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares – UFU
Orientador

Prof. Msc. Marco Vinícius Muniz Ferreira - UNA
Banca Examinadora

Eng. Marcus Romano Salles Bernardes de Souza
Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por inúmeras vezes me guiar e proteger.

Aos meus pais e família, que sempre priorizaram a minha formação e educação, me apoiando nos mais diversos sentidos.

À minha namorada Brenda, que torna esta jornada mais leve.

Ao professor Dr. José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares, pela orientação e presteza em todas as etapas do trabalho.

Aos meus colegas de turma e professores que foram essenciais para a minha formação profissional e pessoal.

PEREIRA, Gustavo Jackson. Célula Flexível De Manufatura: Projeto de desenvolvimento de uma célula flexível de manufatura. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

RESUMO

Os sistemas flexíveis de manufatura representam um dos focos da Indústria 4.0. Os processos montados em estratégia *Bottom-Up*, atuando de modo distribuído, na planta estão cada vez mais adaptados para garantir flexibilidade e atender de modo ágil as demandas do mercado. Este novo foco de manufatura tem como escopo estações de trabalho e linhas de montagem inteligentes e eficientes, elementos de transporte e controle computadorizado, sistemas supervisórios que atuam em tempo real, interagindo com a planta de produção, gerando um ambiente de produção integrado. Este presente trabalho apresenta o projeto para a concepção de uma Célula Flexível de Manufatura do MAPL (*Manufacturing Automation Planning Lab*) que realizava a montagem de três possíveis peças. Serão abordados os principais componentes desse tipo de célula, as soluções existentes para movimentação de peças, montagem, controle, estrutura, instrumentação, placas utilizadas e circuitos. Os produtos serão rastreados e controlados através de tags RFID, e possibilitando que os produtos produzidos pela Célula possam ter informações do fluxo de produção realizado, bem como informações do produto (p.e. horário da montagem, linhas e elementos utilizados).

Palavras-chave: Célula Flexível de Manufatura, CFM, RFID, Indústria 4.0, Automação, Robótica, Elementos de Máquinas.

PEREIRA, Gustavo Jackson. Célula Flexível De Manufatura: Projeto de desenvolvimento de uma célula flexível de manufatura. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ABSTRACT

Flexible manufacturing systems represent one of the focuses of Industry 4.0. The Bottom-Up strategy processes, in a distributed manner, are increasingly adapted to ensure flexibility and responsive to market demands. This new manufacturing focus spans intelligent and efficient workstations and assembly lines, transport elements by computerized control, supervisory systems that act in real time, interacting with the production plant, generating an integrated production environment. This paper presents the project for the design of a Manufacturing Automation Planning Lab (MAPL), which was used to assemble three possible pieces. The main components of this type of cell will be discussed, the existing solutions for the movement of pieces, assembly, control, structure, instrumentation, and integrated circuits. The products will be tracked and controlled through RFID tags, this tool enable products produced by the Cell to have production's flow information, as well as product information (e.g. assembly time, lines and elements used on manufacturing).

Keywords: Flexible Manufacturing Cell, CFM, RFID, Industry 4.0, Automation, Robotics, Machine Elements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação de estrutura para Indústria 4.0.....	1
Figura 2. Robô cartesiano industrial para movimentação de peças.....	3
Figura 3. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura em funcionamento	7
Figura 4. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “In-line”.....	8
Figura 5. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “Ladder”	8
Figura 6. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “Open Field”	9
Figura 7. Transportador de Correia Reversível	10
Figura 8. Eixo circular e rolamento linear.....	11
Figura 9. Rolamento de esferas radial.	11
Figura 10. Barra roscada e porca.	12
Figura 11. Barra de alumínio estrutural.....	13
Figura 12: Diagrama esquemático de um motor de passo bifásico de ímã permanente.....	14
Figura 13: Esquema ilustrativo de ligações de circuito para um motor de passo bifásico de ímã permanente.....	15
Figura 14. Montagem de um motor de passo de ímã permanente.	16
Figura 15. Montagem de um motor de passo de relutância variável.	16
Figura 16. Montagem de um motor de passo híbrido.....	17
Figura 17. Arduino MEGA.....	18
Figura 18. Interface IDE Arduino.....	19
Figura 19. Esquema de funcionamento do sensor ultrassônico.....	20
Figura 20: Ponte H L298N	20
Figura 21: Esquema ilustrativo de uma tag e seus componentes	21
Figura 22: Modelo de RFID ativa	22
Figura 23: AcuSmart Label 1K	22
Figura 24: Sensor laser Arduino	23
Figura 25: Receptor Laser Arduino.....	23
Figura 26: Arduino Ethernet Device W5100.....	24
Figura 27: Esquema lógico de comunicação entre portas RX e TX.....	25
Figura 28: Arduino Ethernet Device W5100.....	25
Figura 29: Peça C	28
Figura 30: Vista com Corte da Peça C	29
Figura 31: Peça A	29
Figura 32: Peça B	29
Figura 33: Núcleos de trabalho.....	30
Figura 34. Motor Nema 17 de 5 kgf.	31
Figura 35: Centro de Montagem.....	32
Figura 36: Desenho do AVG	32
Figura 37: Visão geral do Núcleo de Esteiras	33
Figura 38: Pontos de Posicionamento	34
Figura 39: Devices presentes nas Esteiras	35
Figura 40: Centrais de Armazenamento de Estoques.....	36
Figura 41: Centro de Armazenamento de Peças A ou B	36

Figura 42: Sensores e Leitores utilizados na CFM.....	37
Figura 43: Deslocamento de Peças A, B e C na Célula.....	38
Figura 44: Rede de Controladores da Célula Flexível de Manufatura	39
Figura 45: Circuito para Controlador de Esteira	41
Figura 46: Circuito para Controlador NFC	42
Figura 47: Circuito para Controlador Central	44
Figura 48: Macroprocesso de Célula Flexível de Manufatura	45
Figura 49: Processo de Leitura Inicial da Peça C	47
Figura 50: Processo de Recebimento de Peças A\B em C	48
Figura 51: Processo de Análise de Conformidade de Peças.....	49
Figura 52: Processo de Escrita Final na Tag C e Armazenamento	50
Figura 53: Resultado de Leitura e Escrita de Tag pelo NFC.....	51
Figura 54: Envio de Informações da <i>tag</i> pelo Controlador NFC	52
Figura 55: Recebimento de dados pelo Controlador de Esteira pela comunicação I2C.	53

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
AGV	Veículo Guiado Automaticamente (Autonomous Guided Vehicle)
CAD	Desenho assistido por computador (<i>Computer-Aided Design</i>)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (<i>Computer Aided Engineering</i>)
CAM	Fabricação Assistida por Computador (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CFM	Célula Flexível de Manufatura
CNC	Comando numérico computadorizado
IDE	Ambiente Integrado de Desenvolvimento (<i>Integrated Development Environment</i>)
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
NFC	Comunicação por Campo de Proximidade (<i>Near field communication</i>)
PLC	Controlador Lógico Programável
PMW	Modulação por largura de pulso (<i>pulse-width-modulated</i>),
PVC	Policloreto de vinil
RFID	Identificação por radiofrequência (<i>Radio Frequency Identification</i>)
SFM	Sistemas Flexíveis de Manufatura
UART	Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	SISTEMAS DE MANUFATURA E O AMBIENTE DA INDÚSTRIA 4.0	1
1.2.	OBJETIVOS	4
1.2.1.	OBJETIVO GERAL	4
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3.	JUSTIFICATIVA	4
2.	FUNDAMENTAÇÃO.....	6
2.1.	SISTEMAS DE MANUFATURA FLEXÍVEIS	6
2.1.1.	INDÚSTRIA 4.0.....	6
2.1.2.	SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)	6
2.2.	PRINCIPAIS COMPONENTES DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA ..	9
2.2.1.	SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE PEÇAS.....	9
2.2.1.1.	ESTEIRAS TRANSPORTADORAS	9
2.2.1.2.	EIXOS COM ROLAMENTOS LINEARES	10
2.2.1.3.	ROLAMENTO DE ESFERAS RADIAIS	11
2.2.2.	SISTEMA DE TRACIONAMENTO	12
2.2.2.1.	BARRA ROSCADA E PORCA.....	12
2.2.2.2.	ROLETES DE ESTEIRA	12
2.2.3.	ESTRUTURA.....	13
2.2.3.1.	BARRAS DE ALUMÍNIO ACOMPLAMENTO	13
2.2.4.	MOTOR DE PASSO E SERVOMOTOR.....	14
2.2.5.	PLACAS DE CONTROLE E COMPONENTES ELETRÔNICOS	17
2.2.5.1.	MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	17
2.2.5.2.	SENSOR DE DISTÂNCIA	19
2.2.5.3.	DRIVER MOTOR DE PASSO: L298N	20
2.2.5.4.	RFID E DEVICE NFC PN532	21
2.2.6.	SENSOR LASER DE POSICIONAMENTO	23
2.3.	PROCESSOS DE COMUNICAÇÃO DE HARDWARE	24
2.3.1.	REDE ETHERNET	24
2.3.2.	COMUNICAÇÃO SERIAL (PROTOCOLO UART)	24

2.3.3.	PROTOCOLO I2C	25
3.	DESENVOLVIMENTO.....	26
3.1.	REQUISITOS E PREMISSAS DO PROJETO	26
3.1.1	DESENVOLVIMENTO CAD DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA	26
3.1.2	LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DE PEÇAS E PRODUTOS.....	26
3.1.3	CENTRO DE PROCESSAMENTO E MONTAGEM.....	26
3.1.4	MECANISMOS DE TRANSPORTES DE PEÇAS E PRODUTOS	27
3.1.5	SOLUÇÕES PARA CASOS DE CONCORRÊNCIA.....	27
3.1.6	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO NA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA.....	27
3.1.7	ARQUITETURA NA PLANTA PARA LEITORES NFC E SENSORES: LASER E ULTRASSÔNICO	27
3.2.	CONCEPÇÃO DO PROJETO DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA ...	28
3.2.1.	DEFINIÇÃO DE PEÇAS E PRODUTOS	28
3.2.2.	NÚCLEOS DE TRABALHO	30
3.2.2.1.	CENTRO DE MONTAGEM	30
3.2.2.2.	ESTEIRAS	33
3.2.2.3.	CENTRAIS DE ARMAZENAMENTO	35
3.2.3.	IDENTIFICAÇÃO PADRÃO DE CÓDIGOS PARA LEITORES NFC E SENSORES UTILIZADOS NA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA	37
3.2.4.	FLUXOS DE DESLOCAMENTO DE PEÇAS DENTRO DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA.....	38
3.2.5.	INFRAESTRUTURA DE REDES E MICROCONTROLADORES.....	39
3.2.5.1.	REDE DE CONTROLADORES DA CFM	39
3.2.5.2.	TIPOS DE CONTROLADORES E FUNÇÕES	40
3.2.6.	DEFINIÇÃO DE PROCESSOS DA CÉLULA	44
3.2.6.1.	MACROPROCESSO	44
3.2.6.2.	PROCESSO DE LEITURA INICIAL DA PEÇA C	46
3.2.6.3.	PROCESSO DE RECEBIMENTO DE PEÇAS A\B EM C	47
3.2.6.4.	PROCESSO DE ANÁLISE DE CONFORMIDADE DE PEÇAS	49
3.2.6.5.	PROCESSO DE ESCRITA FINAL NA TAG C E ARMAZENAMENTO	50
3.3.	TESTES DOS PROCESSOS DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA.....	51
3.3.1.	TESTES DE COMUNICAÇÃO E REDE DE CONTROLADORES	51
3.3.1.1.	PROCESSO DE LEITURA E ESCRITA DE TAGS RFID PELO DEVICE NFC	
PN532	51	

3.3.1.2. COMUNICAÇÃO I2C ENTRE CONTROLADOR NFC E CONTROLADOR DE ESTEIRA	52
3.3.1.3. COMUNICAÇÃO SERIAL UART ENTRE CONTROLADOR DE ESTEIRA E CONTROLADOR CENTRAL	53
3.4. ORÇAMENTO PREVISTO PARA A CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA	53
4. CONCLUSÃO.....	55
5. PROJETOS FUTUROS.....	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A	60
APÊNDICE B.....	62
APÊNDICE C.....	65

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho inicialmente irá contextualizar os processos de manufatura modernos presentes na indústria 4.0, em seguida definir os objetivos deste trabalho, bem como sua justificativa.

1.1.SISTEMAS DE MANUFATURA E O AMBIENTE DA INDÚSTRIA 4.0

Os Sistemas Flexíveis de Manufatura (SFM) representam um novo modelo de produção dentro do contexto da indústria 4.0. A performance deste tipo de sistema elevou os padrões de produção para atender as novas demandas do mercado, justificando seu alto investimento. Um SFM é caracterizado por embarcar processos automatizados, em um conjunto estações de trabalho descentralizadas que agem de modo integrado e respondem rapidamente à uma produção que está orientada aos requisitos do produto e da grande variabilidade exigida atualmente nos mercados (AZEVEDO, 2017).

A propagação destes sistemas foi dada com o crescimento da Indústria 4.0. Esta é considerada um novo estágio de processos de manufatura, uma vez que representa um marco para a introdução de novas tecnologias que convergem para soluções digitais. Diversos conceitos estão relacionados à esta evolução, tais como: *Smart Manufacturing*, *Smart Products*, *Smart Supply Chain*. E novas tecnologias também são inerentes este processo evolutivo: *Internet of things*, *cloud services*, *big data*, e análise de dados. Estes itens e suas conexões podem ser visualizados na Figura 1. Neste contexto, manufatura inteligente (*Smart Manufacturing*) tem papel central, uma vez que concentra todos os conceitos citados, utilizando das tecnologias necessárias para atender as novas demandas de mercado.

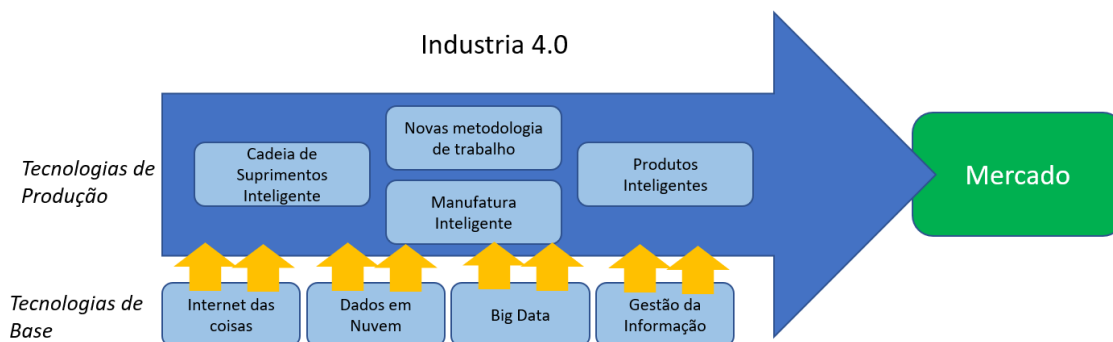


Figura 1. Representação de estrutura para Indústria 4.0

Fonte: FRANK, DALENOGARE, AYALA (2019)

Esta nova era industrial traz consigo uma demanda para a evolução do papel do trabalho humano nos sistemas de produção, pois as atividades estão cada vez mais integradas, e utilizando novos recursos tecnológicos, como *Internet of Things*, e em novos e já comprovados métodos de trabalho como *Scrum*, *Kanban*, *Extreme Programming*, *Lean Development*, e *Crystal*, etc. Assim, a integração destes conceitos e métodos forma o que é denominado de *Smart Working*.

É característico da Indústria 4.0 a permanente troca de informações entre a cadeia de suprimentos com seus fornecedores. Esta sincronização permite a redução do tempo de entrega de produtos, bem como a melhoria na combinação de recursos entre mercados, empresas, que atuam em um sistema integrado colaborativo (*Smart Supply Chain*). Esta estratégia permite com que os negócios tenham foco em suas competências centrais, e para as demais necessidades a cadeia de suprimentos é capaz de fomentar os processos da rede.

O conjunto de novas tecnologias associadas aos produtos montam o conceito de *Smart Products*. Tais produtos são caracterizados por fornecer um *feedback*, de todo seu processo produtivo, assim como podem fornecer nos serviços e soluções para os consumidores, e ainda, neste sentido, permitem a criação de novos negócios.

No ponto central da Indústria 4.0 está o sistema de manufatura inteligente (*Smart Manufacturing*). Tecnologias específicas são empregadas para subsidiar seus processos. Neste contexto, as Células Flexíveis de Manufatura possuem diversos dos recursos citados na Tabela 1, como por exemplo, a simulação da produção que pode ser feita com o auxílio de softwares CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*) e CAM (*Computer-Aided Manufacturing*). No Projeto realizado no escopo deste trabalho, toda a linha de produção foi desenhada através do *Solidworks*, o que permitiu a análise de melhor logística para as peças durante a formação do produto. Outro recurso utilizado neste Projeto, foi o requisito de identificar as peças via *tags* RFID (do inglês *Radio Frequency Identification*), que confere ao produto em processamento, assim como a sua versão final, a rastreabilidade e os caminhos percorridos pelos elementos. Por fim, para a Célula Flexível de Manufatura Projetada, temos um sistema supervisor, que realiza o controle com elementos digitais da produção, desde o início da montagem, até a entrega do produto final.

Tabela 1. Tecnologias do sistema de manufatura – Indústria 4.0

<i>Categoria</i>	<i>Tecnologias para a Smart Manufacturing</i>
Integração Vertical	Sensores, atuadores e PLC (Controlador Lógico Programável); Controle Supervisório e aquisição de dados; Sistema de Manufatura por Execução; Sistemas ERP (<i>Enterprise System Planning</i>).
Simulação	Manufatura digital: utilização de CAD para projetos; Inteligência artificial para manutenção preventiva e preditiva.
Automação	Comunicação máquina-máquina (M2M); Robôs industriais, veículos autônomos de transporte (AVG); Identificação automática de não-conformidades.
Rastreabilidade	Identificação de materiais utilizados em linha de produção; Identificação e rastreabilidade de produtos finais.
Flexibilidade	Manufatura Aditiva; Linhas flexíveis de produção.

Gestão de Energia	Sistemas de monitoramento de energia, e utilização de métodos racionais de consumo.
-------------------	---

A Figura 2 apresenta um modelo de Célula Flexível de Manufatura (CFM), envolvendo robôs, máquinas, estações de pintura, sendo assim um típico exemplo de CFM vista hoje no mercado.

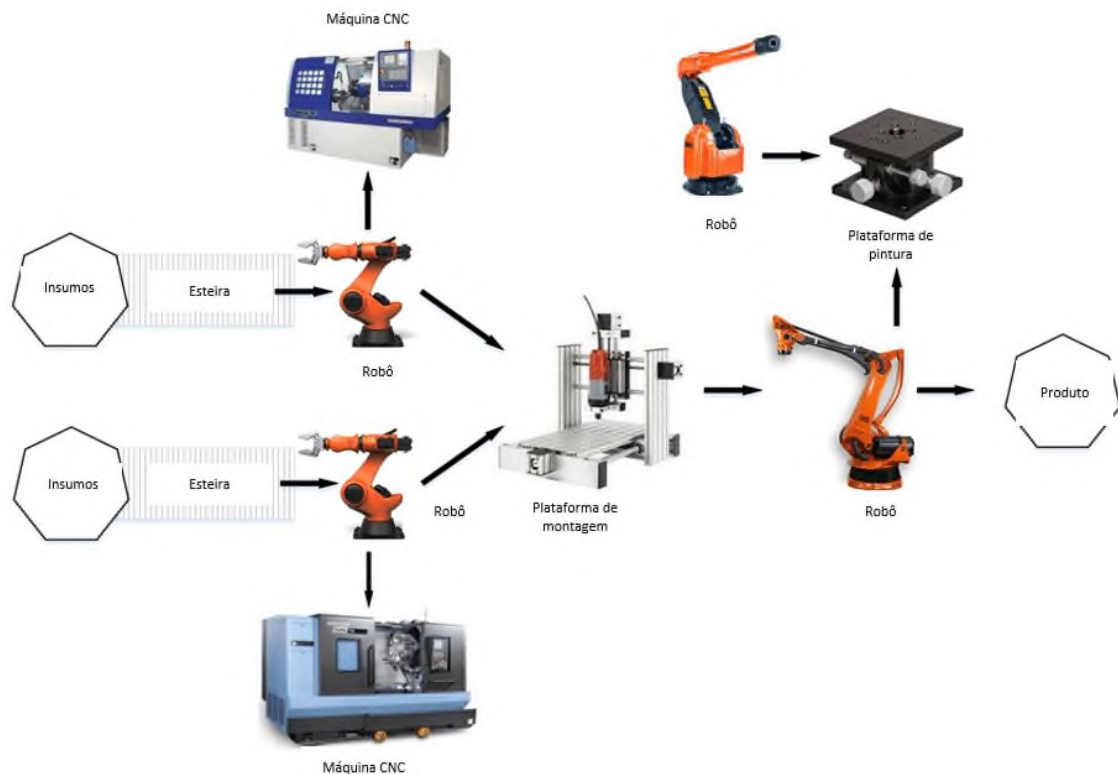


Figura 2. Robô cartesiano industrial para movimentação de peças.

Fonte: Flexible Manufacturing System (FMS)

1.2. OBJETIVOS

Primeiramente é colocado o objetivo geral do trabalho, que representa todo foco, em seguida faz-se a enumeração dos objetivos específicos presentes no projeto.

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver o projeto de uma Célula Flexível de Manufatura.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o desenvolvimento em CAD da planta da Célula Flexível de Manufatura;
- Projetar locais de armazenagem de peças e produtos;
- Definir centros de processamentos da Célula Flexível de Manufatura;
- Implementar no projeto leitores RFID e sensores utilizados no processo;
- Estabelecer processos de Comunicação através de uma Rede de Controladores.;
- Realizar testes para os mecanismos de comunicação da Célula.

1.3.JUSTIFICATIVA

Desde a construção dos requisitos até a idealização das soluções para cumprir cada objetivo da Célula Flexível de Manufatura, o trabalho leva ao estudo de tecnologias e conceitos, que estimulam a criação de processos não tradicionais, aplicados em manufatura.

O projeto de conclusão de curso, é mais uma fase de pesquisa intensa e exaustiva em que é, o que considero importante para a bagagem de estudo e de futuro engenheiro. Conteúdos de diversas disciplinas são abordados neste trabalho tais como:

- Projeto Assistido por Computador
- Eletrônica Básica
- Mecânica dos Sólidos
- Circuitos Elétricos
- Elementos de Construção Mecânica
- Conversão de Energia e Máquinas Elétricas
- Processos de Fabricação Mecânica
- Sistemas Digitais
- Robótica
- Fabricação Assistida por Computador
- Gestão de Sistemas de Produção

A produção de Sistemas Flexíveis de Manufatura é uma tendência global da Indústria 4.0, que atualmente está em plena expansão. Deste modo, a escolha deste contexto para construção do escopo do Projeto é estratégica, de modo que este estudo subsidie o estudante quanto a conhecimentos sobre metodologias e práticas de manufaturas atuais.

Com o projeto construído, o MAPL poderá então atuar na construção da bancada, fornecendo aos estudantes envolvidos um desafio multidisciplinar com alto alinhamento com o mercado de trabalho. Posteriormente, a Célula Flexível de Manufatura pode ser utilizada em aulas práticas, avaliações, bem como local para futuros projetos.

2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1. SISTEMAS DE MANUFATURA FLEXÍVEIS

2.1.1. INDÚSTRIA 4.0

O resultado da fusão entre processos tecnológicos e negócios estão apontando uma nova era industrial, melhor definida como Indústria 4.0, que é embasada no conceito de “*Smart Factory*”, ou Indústria Inteligente, bem como é relacionada com uma produção descentralizada, em que os produção são capazes de se comunicar com os diversos elementos do processo industrial, indicando o algoritmo de produção de cada produto.

Este conceito é sustentado por qualidades como processos autônomos, com alta capacidade de flexibilidade, adaptabilidade, e processos embutidos com inteligência artificial permitindo autoaprendizagem. Deste modo, pode-se verificar que os altos níveis de automação são uma constante identificada neste tipo de ambiente. Estas características se tornaram possíveis com a implementação de redes flexíveis que atuam de modo descentralizado e são capazes de responder, em tempo real, as demandas operacionais, tornando uma importante ferramenta para a competitividade destes processos (GTAI, 2019).

A implantação dessas características em um dado fluxo industrial representa uma revolução da produção em termos de inovação, custo, e redução do tempo. Ainda é importante citar a criação do modelo *Bottom-Up*, em que a estratégia de produção deve refletir a experiência “de baixo para cima” da realidade operacional (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Neste contexto, a introdução de identificação por radiofrequência (RFID), tem grande importância e aplicação, já que permite aplicações de rastreabilidade e controle de movimentação no contexto da Indústria 4.0.

2.1.2. SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)

Atualmente a demanda por bens e serviços está em constante mudança e os processos industriais estão submetidos a um severo cenário competitivo, e deste modo novos sistemas de produção são necessários, para torna-los cada vez mais rápidos, estabelecendo melhor relação de custo-benefício, para responder às demandas e alterações de mercado (KAPITANOV, 2017).

Esta evolução dos processos de manufatura, devido a utilização crescente de equipamentos automáticos de produção, bem como de métodos numéricos computadorizados, robôs industriais, sistemas de controle, manipulação e transporte. A união destes sistemas integrados resulta em sistemas integrados com alto grau de automação e flexibilidade, conhecidos como Células Flexíveis de Manufatura (NETTO, POLITANO, PORTO, 2017).

Uma Célula Flexível de Manufatura (CFM) pode ser definida como um grupo de recursos de processamento (PLC, máquinas, sites de montagem, CNC) interconectados por meio de unidades de manipulação/transportes de materiais (esteira, AGV - do inglês *Autonomous Guided Vehicle*, robôs), e por sistemas de armazenamento. Ainda, a FMC através de sistemas de controle garante a flexibilidade, eficiência e redução de custos ao combinar as taxas de produção com uma grande variabilidade do produto. A Figura 3 exemplifica este modelo em ambiente de manufatura.



Figura 3. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura em funcionamento

Fonte: Barenji et al. (2014)

O presente trabalho utiliza uma Célula Flexível de Manufatura com duas esteiras em paralelo, dois sítios de lançamento de peças capazes para lançar peças distintas em ambas as esteiras. Ainda, o sistema é composto por um mecanismo de verificação da conformidade de montagem do produto, centro de estoques de produtos, sistemas de sensores RFID para leitura/escrita nas tags nos produtos, e por fim, um uma unidade de processamento capaz de promover todo o gerenciamento da produção aliado com um sistema supervisor.

Durante o processo de implementação de uma CFM é fundamental definir os produtos que serão manufaturados pelo sistema. Fase de planejamento deve analisar o limite para a produção, a flexibilidade do processo, bem como qualquer requisito dentro do processo, como o tempo de produção, a instrumentos de controle e medição presentes no processo, além do sistema de controle da planta que monitora e determina o funcionamento do processo. É importante citar os aspectos físicos das partes que envolvem os produtos como peso, tamanho, e material, de modo que tais características sejam aceitas dentro do projeto, não gerando impactando nenhum equipamento em linha.

A CFM pode seguir diversos tipos de layout. A escolha do Layout depende essencialmente do grau de flexibilidade do projeto. Conforme Groover (2017), temos os seguintes tipos:

- Em linha (*In-line*): utiliza um sistema linear para o transporte de peças entre unidades de processamento, e unidades de carga e descarga na linha de produção. Usualmente este tipo de linha é montado de modo que o transportador (em inglês *Conveyor*) pode atuar bidireccionalmente, garantindo certa flexibilidade do processo (Figura 4).
- Em escada (*ladder layout*): este sistema colocam os elementos do produto se deslocando em forma de “loops” arranjados em forma linear ao longo da planta de produção, permitindo o aumento da flexibilidade na planta uma vez que diversifica o caminho que a peça pode transitar em seu ciclo (Figura 5).
- Em escada (*Open Field layout*): este é o tipo de configuração mais complexa para uma Células Flexíveis de Manufatura. Consiste em diversos loops arranjados bidireccionalmente, o que confere mais ainda flexibilidade de caminhos durante o processo de produção, bem como a redução do espaço percorrido pela peça na planta, permitindo ao projeto otimização da produção em virtude do menor deslocamento da peça, mesmo admitindo uma planta com alto grau de flexibilidade (Figura 6).

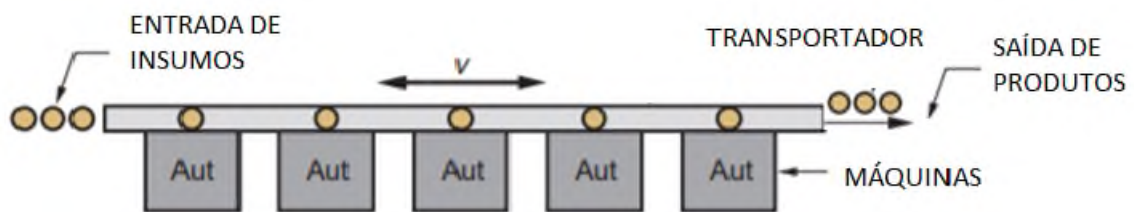


Figura 4. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “*In-line*”.

Fonte: Groover (2017)

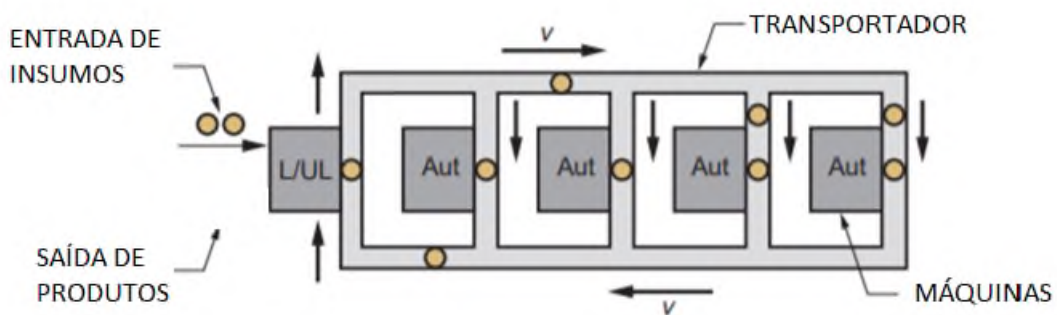


Figura 5. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “*Ladder*”.

Fonte: Groover (2017)

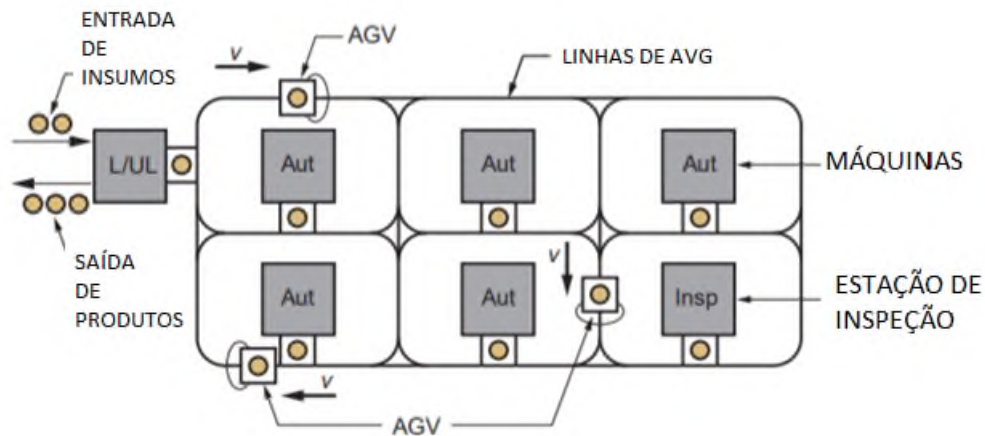


Figura 6. Planta de uma Célula Flexível de Manufatura do tipo “*Open Field*”

Fonte: Groover (2017)

2.2.PRINCIPAIS COMPONENTES DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

Nesta seção será informado os principais componentes da Célula Flexível de Manufatura. A divisão proposta segmenta o objeto de trabalho em questão em seis sistemas distintos, entre *software* e *hardware*, como se segue:

- Sistema de Movimentação de Peças;
- Sistema de Tração;
- Estação de Trabalho;
- Estoque de Peças;
- Motores e Drivers;
- Fonte de Energia.

2.2.1. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE PEÇAS

2.2.1.1. ESTEIRAS TRANSPORTADORAS

O sistema de movimentação é composto pelas partes mecânicas responsáveis por limitar os graus de liberdade da máquina. Geralmente se constitui de rolamentos, esteiras, motores, e braços robóticos. Além da função de mobilidade, alguns destes elementos como a esteira, possuem função de sustentação.

Segundo NBR 6177 (1999) descreve uma esteira (transportador de correia) como: o arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas). Ressalta-se nesta norma que a movimentação de materiais pode se dá de modo

reversível ou não, sendo a mesma montada sobre roletes ou tambores. A trajetória de deslocamento dos materiais é direcionada previamente em projeto, e possui regiões específicas para carregamento/descarregamento de materiais. A Figura 7. Transportador de Correia Reversível - apresenta uma correia reversível genérica que será utilizada no presente trabalho.

Conforme Gao (2019), as esteiras transportadoras são amplamente utilizadas devido ao seu alto poder de capacidade em diversos ambientes, como por exemplo em indústrias, fazendas ou em minas. O núcleo deste tipo de transportador se dá no controle de velocidade. Para tanto o controle pode ser feito através de microcontroladores.

Uma importante vantagem deste tipo de transporte é que com apenas a utilização de um motor é possível realizar o transporte de um ou vários elementos simultaneamente. Ainda, é um recurso de transporte amplamente utilizado, visto que possui baixo custo, e de fácil implementação. Alguns recursos podem ser adicionados como canaletas (*Guard Rails*) que por sua vez propiciam direcionamento durante o deslocamento dos materiais (McGUIRE, 2009).

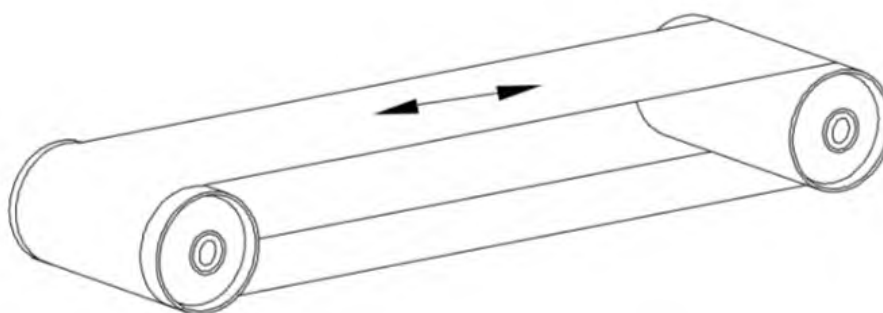


Figura 7. Transportador de Correia Reversível

Fonte: NBR 6177 (1999)

2.2.1.2. EIXOS COM ROLAMENTOS LINEARES

Conforme Rodrigues (2017), os eixos cilíndricos (Figura 8) são geralmente são retificados e endurecidos superficialmente, apresentando boa precisão e tolerância dimensional. Rolamentos podem ser adicionados realizando um acoplamento de um rolamento linear, que possuem esferas internamente conferindo baixa resistência ao deslizamento sobre o eixo cilíndrico. Nestas estruturas, verifica-se a limitação de carga através do esforço sobre o eixo. Contudo para este presente trabalho, os elementos serão feitos a partir de ABS (Acrilonitrila butadieno estireno), e os equipamentos eletrônicos não exercem força peso suficiente para algum tipo de impacto sobre as peças.

Estes elementos já são de grande utilização pelo MAPL, local em que será realizado o desenvolvimento da Célula Flexível de Manufatura. Assim verifica-se disponibilidade, bem como é de fácil implementação na prática.

Devido a sua estrutura para este tipo de elemento o transporte se dá em dois graus de liberdade, e pode atuar como guia para o deslocamento de elementos como motores, ou mesmo para o um conjunto de elementos que constituem um AVG, conforme aplicado neste trabalho.



Figura 8. Eixo circular e rolamento linear.

Fonte: Rodrigues (2017)

2.2.1.3. ROLAMENTO DE ESFERAS RADIAIS

Este tipo de rolamento (Figura 9) é capaz de suportar a carga radial de intensidade média e carga axial leve simultaneamente, sendo ainda recomendado para altas rotações (MELCONIAN, 2000).

Conforme Rodrigues (2017) os rolamentos radiais também são utilizados em máquinas e possuem baixo custo e fácil implementação, sendo assim importantes durante a seleção de componentes de um projeto. Por fim, em nível de projeto deve-se prever a montagem e desmontagem para manutenção e substituição facilitada.



Figura 9. Rolamento de esferas radial.

Fonte: Rodrigues (2017)

2.2.2. SISTEMA DE TRACIONAMENTO

Dentro de diversos sistemas de produção é comum estruturas que possuem a função de tracionamento, como por exemplo roletes que transferem torque para a esteira, e na barra roscada responsável pelo deslocamento de um AVG ligado ao braço robótico que desloca peças sobre uma pista possibilitando a montagem de peças.

2.2.2.1. BARRA ROSCADA E PORCA

Inicialmente as barras roscadas e porcas (Figura 10) não são elementos com a finalidade de tracionamento. Em princípio estes elementos objetivam a fixação de elementos em uma montagem mecânica. Entretanto, com o auxílio de um eixo com velocidade angular produzida por um motor, pode-se gerar movimento linear a partir do movimento circular. Neste processo, devido ao passo presente na barra verifica-se um processo de redução.

Conforme Rodrigues (2017), o sistema apresenta alto atrito e perda mecânica, e por isso é indicado apenas para movimentações mais lentas ou que envolvem menores esforços. Por outro lado, a redução mecânica aumenta a força e a resolução do movimento. Para o local específico onde será utilizada a barra roscada, essas duas características são essenciais, já que se trata do movimento de um AGV.



Figura 10. Barra roscada e porca.

Fonte: Rodrigues (2017)

2.2.2.2. ROLETES DE ESTEIRA

Os roletes são os elementos internos de tração e sustentação da esteira. Através deles a esteira é capaz de se movimentar e assim levar os produtos em cada linha de produção. As informações sobre o diâmetro do rolete e sua relação com o perímetro total da esteira seguirá especificações do fornecedor.

2.2.3. ESTRUTURA

A parte estrutural da máquina também é outro sistema de suma importância, provendo suporte aos componentes gerais. Além disso, a estrutura é responsável pela fixação e alinhamento dos trilhos de movimentação.

A estrutura deve apresentar boa rigidez, alta resistência aos esforços aos quais o spindle da máquina se submete, e baixa vibração às condições operantes normais da máquina.

2.2.3.1. BARRAS DE ALUMÍNIO ACOMPLAMENTO

Os perfis de alumínio (Figura 11) possuem forma flexível e permite combinar o trabalho de montagem com o de projeto. Sendo um elemento de baixo custo no projeto, barras de alumínio estrutural são bastante utilizadas em máquinas de menor porte, por apresentar baixo peso e facilidade na montagem. Existem acoplamentos específicos para esse tipo de estrutura que dispensam o uso de solda, e permitem as mais variadas montagens apenas por parafusos. Estas barras apresentam perfis de encaixe direto para parafusos, como é o caso do trabalho em questão que utiliza parafusos M8 para realizar o encaixe.

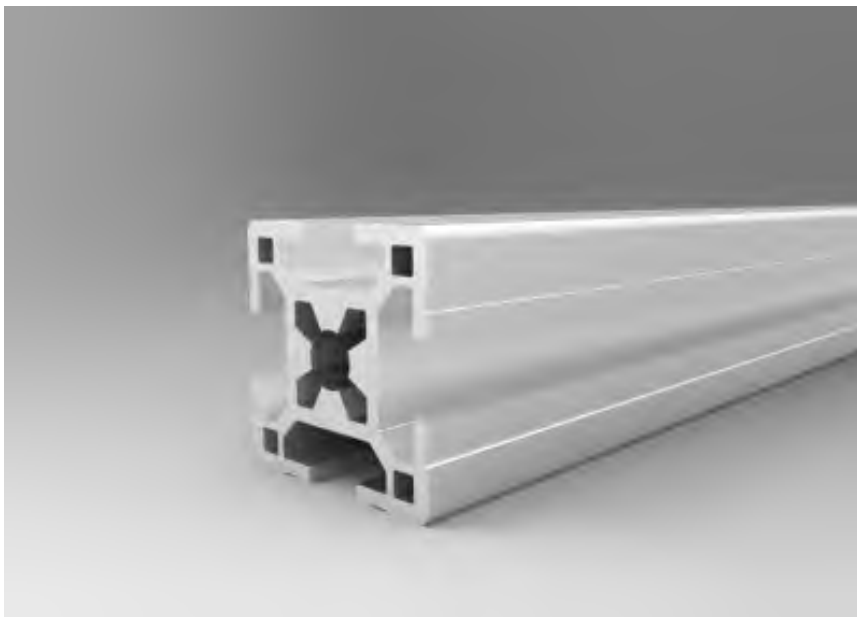


Figura 11. Barra de alumínio estrutural.

Fonte: Rodrigues (2017)

2.2.4. MOTOR DE PASSO E SERVOMOTOR

Motores de passo são projetados para produzir um grande número de passos, em que a execução sequencial dos mesmos corresponde a um deslocamento angular. Este tipo de equipamento é utilizado em diversas áreas devido a sua aplicação com a eletrônica digital. É importante notar que seu funcionamento é caracterizado por uma grande precisão e sua implantação em projetos é facilitada em virtude do baixo custo do produto. São exemplos típicos da utilização destes motores em impressoras 3D, máquinas CNC, esteiras, em diversas funções tais como o posicionamento e deslocamento de outros elementos dentro de um processo. Existem várias configurações para este tipo de elemento como: motor de passo de relutância variável; tipo ímã permanente; tipo híbrido. Estes últimos são os mais largamente utilizados atualmente, e são na verdade uma composição dos anteriores. (FIZTGERALD, KINGSLEY, UMANS; 2015).

O funcionamento do motor de passo consiste na divisão de uma volta de seu eixo em passos. Para tanto o eixo possui seu deslocamento angular dado pela variação do campo magnético resultante sobre o ímã (rotor magnetizado). Um diagrama esquemático de um motor de passo bifásico de ímã (tomando como referência o sentido horário como positivo na figura) permanente e um rotor de dois polos está mostrado na Figura 12. Podemos realizar a variação do eixo, com base nas seguintes condições de corrente apontadas na Tabela 02, o que assim estabelece a lógica necessária para realizar o deslocamento angular do eixo do motor.

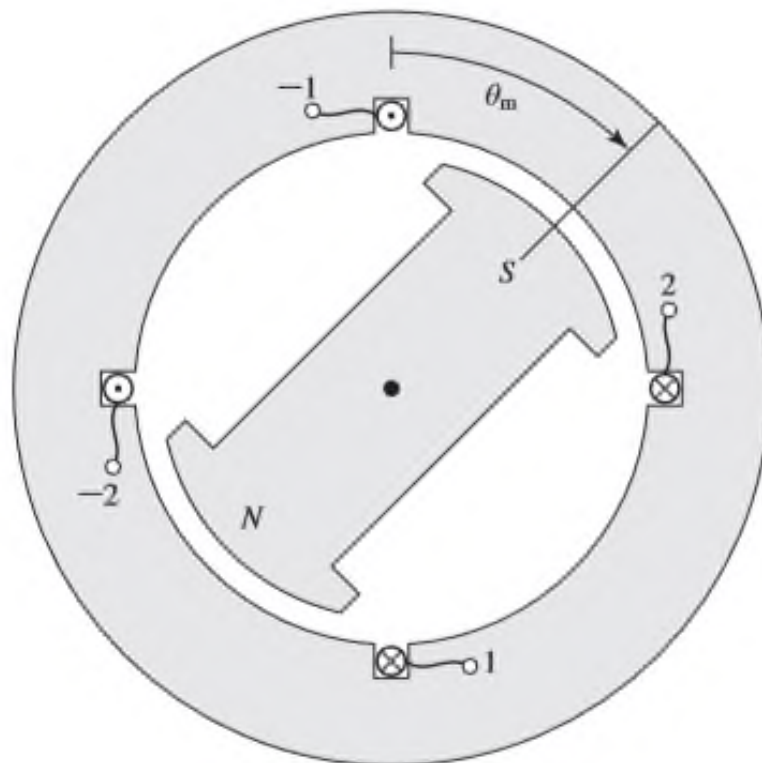


Figura 12: Diagrama esquemático de um motor de passo bifásico de ímã permanente

Fonte: Fitzgerald et al. (2014)

Tabela 2. Deslocamento do Eixo do Rotor

Deslocamento Θ	Localização de correntes nas bobinas 1 ou 2.
0	Corrente positiva em 1 apenas.
$\pi/4$	Corrente positiva em 1 e 2.
$\pi/2$	Corrente positiva em 2 apenas.
$3\pi/4$	Corrente negativa na fase 1 e corrente positiva na fase 2, ambas de mesmo valor.
π	Corrente negativa na fase 1 apenas.
$5\pi/4$	Corrente negativa na fase 1 e corrente negativa na fase 2, ambas de mesmo valor.
$3\pi/2$	Corrente negativa em 2 apenas.
$7\pi/4$	Corrente positiva na fase 1 e corrente negativa na fase 2, ambas de mesmo valor.
2π	Corrente positiva em 1 apenas.

É importante notar que os motores de passo bipolar usam uma ligação por pólo e necessitam que o circuito de controle possa reverter o sentido da corrente para acionar as bobinas de forma correta. Segue um esquema ilustrativo da Figura 13:

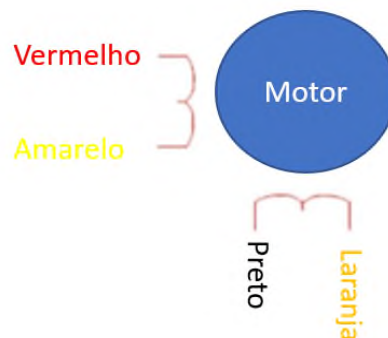


Figura 13: Esquema ilustrativo de ligações de circuito para um motor de passo bifásico de ímã permanente.

Em relação a classificação do rotor, e a sua forma de construção, temos que os motores de passo podem ser do tipo ímã permanente, de relutância variável ou híbridos. Aqueles do tipo ímã permanente são construídos com ímãs em seu rotor como apresenta a Figura 14. Essa configuração possui propriedades para menor resolução de passo, em consequência, maior torque (RODRIGUES, 2017).

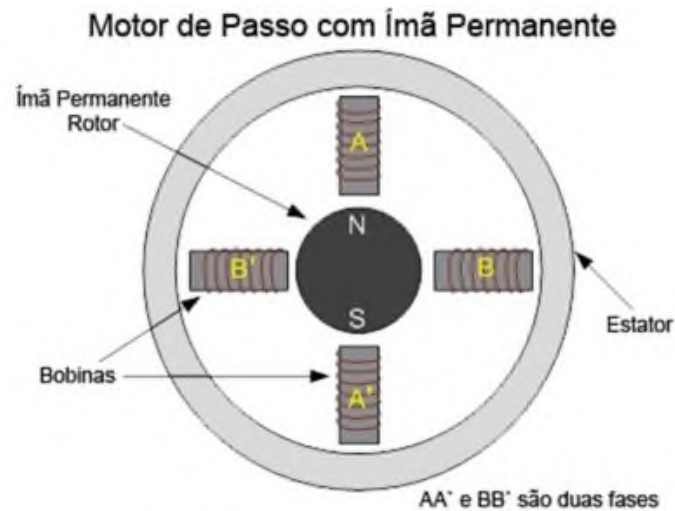


Figura 14. Montagem de um motor de passo de ímã permanente.

Fonte: Rodrigues (2017)

Motores do tipo relutância variável, conforme representado na Figura 15. Montagem de um motor de passo de relutância variável. possuem o rotor constituído em ferro com vários dentes. A magnetização dos polos do rotor se dá por processo de indução dos enrolamentos do estator. Esta configuração de motor possui menor torque e maiores resolução de passo.

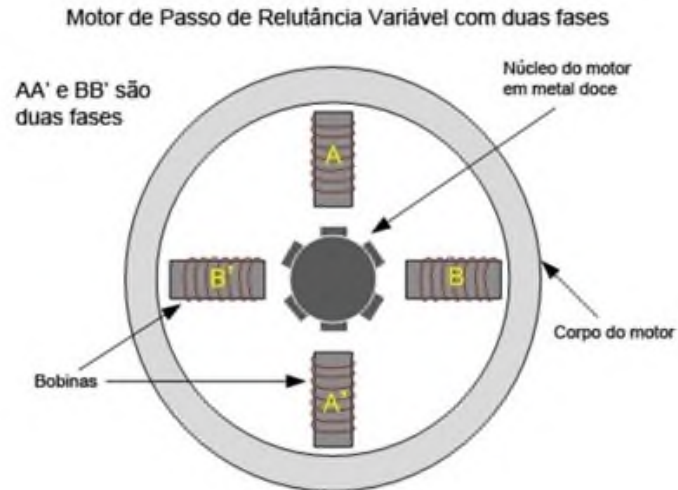


Figura 15. Montagem de um motor de passo de relutância variável.

Fonte: Rodrigues (2017)

Por fim, os motores híbridos como o da Figura 16, combinam características do motor de relutância variável com a presença do ímã permanente no eixo, e assim resultando para esta configuração torque maior com maior precisão nos passos.

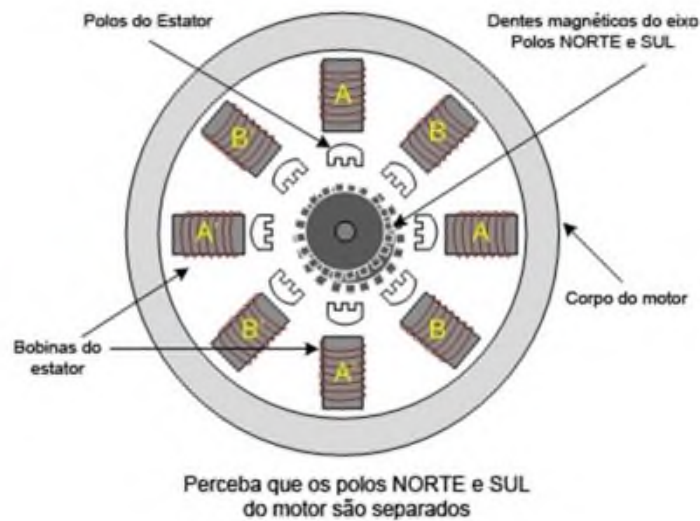


Figura 16. Montagem de um motor de passo híbrido.

Fonte: Rodrigues (2017)

Será utilizado servomotor para execução de deslocamento angular de elementos do braço robótico. Uma particularidade destes tipos de motores, que é são incorporados neles *encoders* e controladores, garantindo assim o controle, a velocidade e precisão deste componente durante seu funcionamento (NHON et al, 2014).

Este atuador eletromecânico pode ser empregado no posicionamento de um objeto, dado uma posição na sua faixa de trabalho. Para tanto, ele compara, através de seu circuito o sinal de entrada, e o compara com a posição do eixo, de modo que o ângulo de trabalho do servomotor é proporcional ao *dutycycle*, do sinal de entrada PMW (*pulse-width-modulated*), aqui escrever um comentário do que é PWM). Estes componentes possuem sua faixa de movimento de 0 a 180 graus, cumprindo assim sua função do braço robótico dentro do trabalho (MOTA, 2017).

2.2.5. PLACAS DE CONTROLE E COMPONENTES ELETRÔNICOS

2.2.5.1. MICROCONTROLADOR ARDUINO

Conforme Javed (2016), o Arduino é uma plataforma *open-source* que é composta de elementos de hardware e softwares de fácil acesso e utilização. O Arduino MEGA é um modelo que possui um microcontrolador programável, e diversos componentes que permitem a construção de protótipos. O amplo horizonte de projetos que podem ser desenvolvidos em Arduino contemplam processos de leitura de sensores e controle de componentes como luzes, motores, termostatos, e Devices da plataforma como leitores de RFID, ou mesmo elementos orientados para redes ethernet. Deste modo, para exemplificar, a Figura 17 representa uma fotografia de um modelo Arduino MEGA.



Figura 17. Arduino MEGA

Fonte: Javed (2016)

Para o Arduino MEGA, cujo modelo foi escolhido para este trabalho, devido o atendimento de todos os requisitos de planta, bem como por se tratar de um equipamento de baixo custo quando comparado a outros tipos de Arduino MEGA, temos as seguintes características básicas:

Microcontrolador: Este dispositivo é o componente principal da placa de modelo ATMEL ATmega2560, com 8 bits da família AVR com arquitetura. Este microcontrolador possui 32 KB de Flash (sendo 512 Bytes exclusivos para *bootloader*), 256 KB de memória RAM e 4 KB de EEPROM. Sua capacidade de operação é até 16 MHz, contudo existe a limitação de 16 MHz, que é proveniente da saturação do cristal externo (integrado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador). No total este microcontrolador possui 70 pinos.

- **Pinos digitais:** O Arduino MEGA possui 54 pinos digitais que tanto podem ser como atuar como entrada de dados (INPUT) ou mesmo saída (OUTPUT), de modo que o estado em cada pino pode estar no estado HIGH, quando há passagem de corrente elétrica, ou pode o estado por ser LOW, quando não há corrente naquele ponto. O exemplo básico da utilização destes pinos é utilizar um LED para verificar se há ou não passagem de corrente.
- **Pinos analógicos:** é composto de dezesseis pinos analógicos, que são descritos de A0 até A15. Diferentemente dos pinos digitais, tais pinos podem ter uma faixa de valores compreendida entre 0 a 1023. Um exemplo utilizado neste trabalho para é sensor (Device) ultrassônico para medir distancias, que devolve ao Arduino MEGA através da porta analógica um valor de leitura, que posteriormente será interpretado pelo microcontrolador e seu código embarcado.
- **Conector USB:** Permite a conexão com o computador, possibilitando o carregamento do código do código para a placa, bem como enviar dados para a IDE Serial Monitor, o que permite visualizar dados processados.
- **Saída para Energia:** Permite a conexão da placa com diversos componentes para o funcionamento do Arduino.

O Arduino possui sua IDE para seus usuários para construção de códigos que serão executados pela placa durante o processo. Os componentes mais importantes de sua IDE são: a

barra de ferramentas (*Toolbar*), barra de status (*Status Window*), e a *Serial Monitor Window*, que por sua vez escreve os dados de saída da placa. A Figura 18 apresenta a interface da IDE para seus usuários, em que eles podem desenvolver códigos.

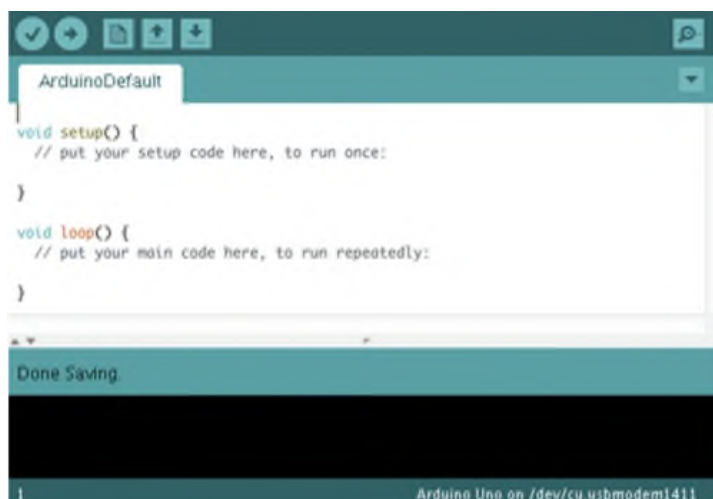


Figura 18. Interface IDE Arduíno

Fonte: Javed (2016)

No contexto da utilização do Arduino MEGA no projeto, será realizada a utilização de Devices para leitura de cartões RFID. Para tanto será utilizado chip RFID NFC PN532.

2.2.5.2. SENSOR DE DISTÂNCIA

Conforme Koval et al., (2016), tem-se que os sensores ultrassônicos são geralmente utilizados em tarefas automatizadas que envolvem medição de distância, variação de posição de um objeto, ou em alguns casos especiais pode-se verificar a pureza de materiais translúcidos. O mecanismo utilizado por sensores ultrassônicos baseia-se no tempo de propagação de uma onda, o que garante que o processo de medição é independente de fatores como a cor do objeto ou mesmo do tipo de superfície.

É importante notar que a velocidade do som é dependente do tipo de ambiente em que ela percorre, assim como da temperatura. Ainda os sensores podem ser conectados a microcontroladores como o presente no Arduino MEGA, de modo que se efetue a leitura dos dados enviados.

São dois elementos responsáveis pela emissão e recepção da onda ultrassônica no sensor: *transmitter* e *receiver*. A propagação de uma onda ultrassônica possui as mesmas características de uma onda de som audível. Ela se forma proveniente da vibração mecânica de uma partícula. Para uma partícula ultrassônica, geralmente é considerado que a mesma possui frequência superior a 20 kHz.

A Figura 19 representa um diagrama de blocos do funcionamento de um sensor ultrassônico em que o *transmitter* é responsável pela emissão da onda, e o receptor capta a onda e em seguida já realiza a emite o sinal para a recepção de um microcomputador responsável pela interpretação, considerando que ele analisa o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção da onda, e ainda já sabendo do parâmetro da velocidade da onda no ambiente, que é próxima da velocidade da luz no ar (aproximadamente 331 m/s), para que a assim possa ser feito o cálculo da distância entre o sensor e o objeto alvo do equipamento.

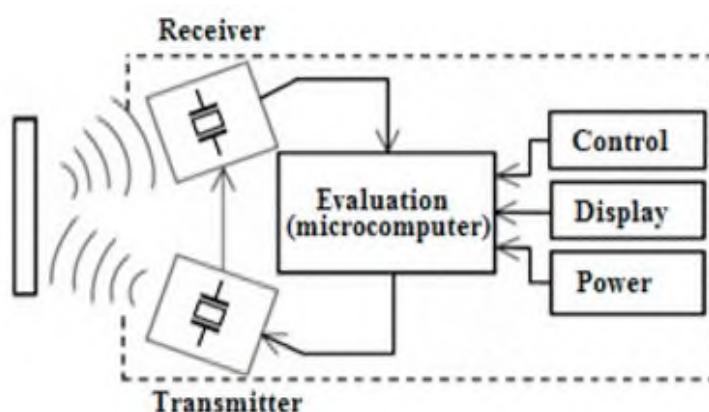


Figura 19. Esquema de funcionamento do sensor ultrassônico.

Fonte: KOVAL et.al (2016)

2.2.5.3. DRIVER MOTOR DE PASSO: L298N

Para a instrução do motor de passo no circuito se dá através da introdução de uma Ponte H. Para este trabalho, devido a experiência e disponibilidade no laboratório, será utilizada o modelo L298N (Figura 20: Ponte H L298N). As principais funções deste componente no circuito são: Controlar a velocidade do motor, assim como determinar o sentido de rotação. O módulo opera com baixa geração de calor de 12V/2A como padrão. Para este tipo de dispositivo será utilizado um modelo para cada L298N na planta. Mais detalhes sobre a ponte H L298N será dado na parte de desenvolvimento deste trabalho.



Figura 20: Ponte H L298N

Fonte: Arduino e Cia

2.2.5.4. RFID E DEVICE NFC PN532

RFID é a sigla para Identificação por radiofrequência (do inglês *Radio-Frequency Identification*) é consiste em um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de etiquetas.

Complementando, conforme TAVARES *et al.* (2018), RFID é uma tecnologia que utiliza ondas de rádio para estabelecer a comunicação entre leitor e uma etiqueta (*tag*). Conforme visto neste trabalho, a etiqueta é afixada em peças impressas por impressora 3D, permitindo assim a leitura da peça. Um sistema RFID é composto por uma série de componentes que atuam em conjunto para coletar dados e informações. Dentre os diversos componentes que podem ser instalados em um sistema automatizado por RFID temos: Etiquetas , antenas, e leitores.

A *tag* é o elemento que que afixado ao objeto de interesse, que conferindo uma identidade única para o objeto, e ainda possibilita armazenar informações sobre a vida do objeto dentro de um processo corrente. O processo de leitura uma *tag* pode ocorrer diversas vezes, assim leituras em duplicidade possuem alta chance de ocorrer. Deste modo, o sistema de leitura deve ser inteligente suficiente para descartar as duplicidades e tornar o sistema de leitura coerente.

As tags possuem diversos formatos, tamanhos e características, assim como utilizado neste projeto em forma de etiqueta. Sua composição é dada por um microchip e uma antena. Estes elementos compõem o que é chamado de substrato. A Figura 21 apresenta uma ilustração dos principais componentes de uma *tag* RFID:



Figura 21: Esquema ilustrativo de uma tag e seus componentes

Fonte: AfixGraf

As tags elas podem ser classificadas em ativas ou passivas, e isto depende da forma com que as informações são transmitidas. As tags ativas possuem transmissor que enviam sinais para o leitor. A energia que é utilizada por este tipo de *tag* é feito por uma bateria interna, assim como de outros recursos. Já as tags passivas, o sistema de energia é fornecido pelo sinal proveniente do leitor. Ainda é outros tipos de tags, como as tags semipassivas, e as do tipo *chipless*, porém ambas não fazem parte do escopo deste trabalho.

As tags ativas possuem a propriedade de ter um range de atuação maior, bem como maior capacidade de armazenamento e processamento.



Figura 22: Modelo de RFID ativa

Fonte: RFID Inova Code

As tags passivas, devido ao fato de terem sua fonte de energia proveniente dos sinais emitidos pelo leitor, elas retornam um sinal fraco para o leitor. É importante ressaltar também que as tags passivas, apenas podem trabalhar sob a presença do leitor. Este tipo de tag é utilizada em sistemas de *supply-chain* como em pallets, e outros itens. Por fim, as tags passivas também são melhores utilizadas quando há movimentação constante., uma vez que nestes processos, em que há alta frequência de acionamento destas tags, e assim a autonomia energética das tags facilita o processo de implementação.

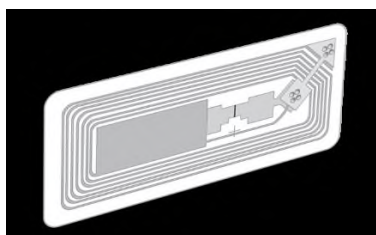


Figura 23: AcuSmart Label 1K

Fonte: Acura

A aquisição de informação pela tag pode ser feita de diversas formas. As tags podem ser codificadas durante seu processo de fabricação ou não. Tags do tipo WORM (*write-once-read-many*) são escritas apenas uma única vez durante sua vida útil.

Algumas tags tem algumas particularidades como por exemplo usar memória particionada para diferentes regiões de consulta e até mesmo utilizando diferentes senhas de acesso para cada uma das regiões. Neste contexto, as características de leitura e escrita para cada uma das regiões também pode variar.

Seguem alguns tipos de tags:

- Tags pré-programadas: O fabricante há programa o único número dentro do circuito da tag. Sendo assim os clientes que utilizam este tipo de tag não podem alterar o que está escrito na tag.
- Tag *Write-Once-Read-Many* (WORM): Este tipo de tag podem ser programadas pelo usuário, geralmente quando elas entram no processo pela primeira vez. A primeira escrita sobre esta tag define o conteúdo permanente deste tipo de tag, de modo que não pode ser alterado.

- EEPROM Tags: São tags que podem ter seu conteúdo formatado várias vezes. Esta característica permite o processo de reescrita de informações na tag.
- Tags de Leitura-Escrita: As informações podem ser adicionadas na tag durante um processo. Deste modo, este tipo de tag permite ter informações inseridas à medida que se ela desloca sobre um processo, de forma que usuários poderão acessar todas as informações adquiridas pela tag durante seu processamento.

2.2.6. SENSOR LASER DE POSICIONAMENTO

Com a evolução da robótica, diversos componentes foram desenvolvidos para trazer soluções práticas e eficientes aos sistemas automatizados. Assim, mecanismos de medidas como sensores laser são utilizados para indicar a presença ou posição de equipamentos (CHARRETT, KISSINGER, TATAM; 2019). No presente trabalho, a utilização destes sensores está combinada com motores de passo, uma vez que eles indicam a presença do objeto na estação de trabalho, para devido início de processos específicos da Célula Flexível de Manufatura. Para que se gere o estímulo do receptor (apresentado na Figura 25), portanto, é utilizado um laser (apresentado na Figura 24). Quando um elemento, por exemplo uma peça, interfere na direção do feixe de laser, interrompendo sua trajetória, o receptor deixa de receber a fonte de luz, o que gera alguma ação ou interrupção em dado sistema lógico.



Figura 24: Sensor laser Arduino



Figura 25: Receptor Laser Arduino.

2.3. PROCESSOS DE COMUNICAÇÃO DE HARDWARE

A planta do trabalho proposto utiliza diversos microcontroladores que atuam em processos de modo sincronizado. Para efetuar as ações de processo é fundamental a utilização de fluxos de comunicação e seus devidos protocolos para que sejam trocadas informações que orientam as ações dos componentes de hardware da Célula. Neste trabalho serão abordados 3 tipos de comunicação entre Arduino: Comunicação Ethernet, Serial e I2C.

2.3.1. REDE ETHERNET

O Arduino possui a capacidade de conectar a uma rede ou à Internet. Este processo torna possível diversos projetos. O envio de dados para sites, como atualizações, bem como a utilização como servidor web para disponibilizar páginas simples são exemplos práticos da utilização da rede Ethernet pelo Arduino (MCROBERTS, 2011).

Para utilização de rede Ethernet por Arduino é necessário a utilização de um Device Ethernet W5100. Este componente possibilita o controle de sensores, assim como o tráfego remoto de informações. Assim como aplicado neste trabalho, será estabelecida uma rede local, e ainda está pode ser conectada à internet e permitir o seu monitoramento e controle de qualquer lugar do mundo.

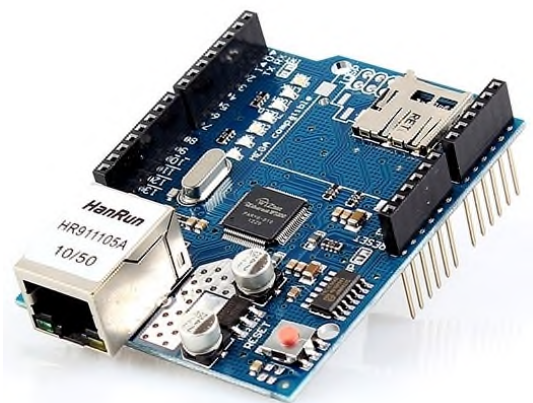


Figura 26: Arduino Ethernet Device W5100

2.3.2. COMUNICAÇÃO SERIAL (PROTOCOLO UART)

Conforme Souza (2014), As portas TX e RX, respectivamente denominadas de *Transmitter* e *Receiver*, que são portas digitais empregadas na arquitetura de Arduinos são usadas para fazermos a comunicação serial. A porta RX é usada para receber dados, e a porta TX é usada para enviar dados. Complementando, temos que este mecanismo realiza comunicação full duplex ponto-a-ponto, o que significa que os Arduinos presentes no fluxo de comunicação enviam e recebem informações ao mesmo tempo. Vale ressaltar que neste caso o

baud rate (taxa de transmissão) dos dispositivos envolvidos devem ter valores iguais. A Figura 27 apresenta um esquema prático desta modalidade de comunicação:

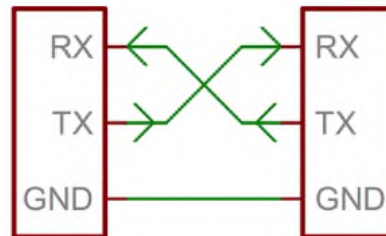


Figura 27: Esquema lógico de comunicação entre portas RX e TX

2.3.3. PROTOCOLO I2C

A execução do protocolo I2C é realizada de acordo com a conexão seguindo a um modelo de hierarquia mestre/escravo, ou seja, em uma dada rede de microcontroladores em que se tem um ou mais Arduino se comunicando segundo esta premissa de hierarquia, um microcontrolador deve atuar como mestre, e os demais serão configurados como escravos. O mestre realiza a coordenação do fluxo de comunicação na rede, pois, ele tem a capacidade de enviar e requisitar informações aos escravos existentes na estrutura de comunicação, os quais, devem responder às requisições citadas (MADEIRA, 2017). A estrutura de rede na qual o protocolo I2C age é fisicamente dada por barramento, consistindo em um arranjo em que todos os elementos são conectados a um ramal principal.

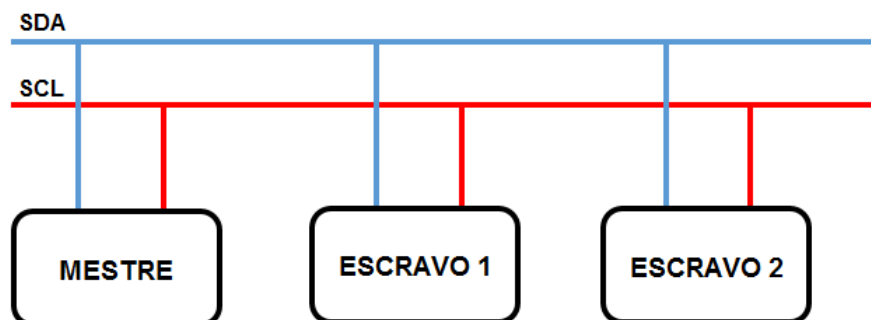


Figura 28: Arduino Ethernet Device W5100

Fonte: Madeira (2017)

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. REQUISITOS E PREMISSAS DO PROJETO

A Célula Flexível de Manufatura possui especificações para seu funcionamento, evidenciando os aspectos presentes na Indústria 4.0:

- Realizar o desenvolvimento em CAD da planta da Célula Flexível de Manufatura;
- Planejar os locais de armazenamento de peças e produtos;
- Projetar local de centro de processamento da CFM;
- Elaborar mecanismos de transporte de produtos;
- Estabelecer soluções para casos de concorrência no fluxo de montagem de peças;
- Definir sistema de comunicação entre os elementos de hardware da célula;
- Montar arquitetura na planta de leitores NFC, e sensores (laser e ultrassônicos).

3.1.1 DESENVOLVIMENTO CAD DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

O primeiro requisito deste projeto é desenvolver o desenho CAD de toda a planta, incluindo seus diversos elementos, de modo a estabelecer uma visão de seu funcionamento. Ainda através do desenho CAD é possível realizar testes de locomoção de peças, bem da movimentação do braço robótico presente na célula, e assim confirmando assertividade do processo, evitando que não haja nenhum impedimento espacial.

Por fim, diversos elementos estruturais da Célula Flexível de Manufatura serão criados via manufatura aditiva através de impressão 3D pela equipe do laboratório, para realizar a construção da mesma. As peças após impressão passam por processo de acabamento e verificação de suas dimensões, para que depois possa ser feita as devidas montagens. As peças serão apresentadas neste trabalho, e os mecanismos que envolvem cada parte da Célula Flexível de Manufatura serão explicados neste trabalho.

3.1.2 LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DE PEÇAS E PRODUTOS

Outro requisito do projeto foi localizar e dimensionar os locais onde será feita a armazenagem de peças/produtos montados pela Célula Flexível de Manufatura. Em cada ambiente existem funcionalidades específicas, uma vez que estes locais fazem parte do fluxo de transporte de peças /produtos durante o funcionamento da CFM.

3.1.3 CENTRO DE PROCESSAMENTO E MONTAGEM

Para a montagem das peças será utilizado uma estação de trabalho (*workstation*), que atua de modo integrado com o funcionamento das esteiras. A única estação de trabalho é responsável por lançar peças não-montadas, situadas nos locais de armazenagem padrão, para ambas as esteiras, através um braço robótico, construído por elementos e motores se que movimentam para realizar este processo. Neste contexto, devido ao fato que se tem uma estação de trabalho, e duas esteiras, e diversas variáveis que serão apontadas, a Célula Flexível e Manufatura é sujeita a vários processos de concorrência, que serão mencionados e resolvidos por este trabalho.

3.1.4 MECANISMOS DE TRANSPORTES DE PEÇAS E PRODUTOS

Os fluxos de montagem de peças na Célula Flexível de Manufatura se dão em diferentes locais específicos da Célula. Deste modo, é necessário realizar o deslocamento de peças dentro, orientando em pontos específicos. Para tanto é utilizado duas esteiras controladas computacionalmente, bem como ocorre o deslocamento de peças por braço robótico que. Estes dois mecanismos serão detalhados neste trabalho, apontando ainda os locais na Célula de entrada e saída de peças/produtos.

3.1.5 SOLUÇÕES PARA CASOS DE CONCORRÊNCIA

Durante o processo de montagem de peças podem ocorrer processos de concorrência, pois uma existe, conforme será explicado neste trabalho, um Núcleo de Montagem de peças para o atendimento de duas esteiras em paralelo, e assim deve-se decidir qual tem prioridade de atendimento. Ainda, em casos de carência de estoques, pode-se ter casos em que as duas esteiras solicitam um mesmo tipo de peça, porém só existe em estoque uma peça, logo o sistema lógico da planta definirá qual esteira receberá o item em escassez.

3.1.6 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO NA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

A Célula possui 3 setores distintos que operam de maneira integrada, lógica e descentralizada. Estes sistemas de produção, portanto, exige a introdução de mecanismos de comunicação responsáveis pela troca de mensagens e sincronização de atividades entre os hardwares que controlam a planta. É importante notar que se deve estabelecer a sincronização entre motores, responsáveis pelo funcionamento das esteiras, leitores NFC, sensores ultrassônicos, e locais de montagem de peças, pois estes elementos atuam de modo integrado para a realização de processos da CFM.

3.1.7 ARQUITETURA NA PLANTA PARA LEITORES NFC E SENSORES: LASER E ULTRASSÔNICO

No presente trabalho são utilizados sensores ultrassônicos para avaliar o formato geométrico do produto final. Esta verificação permite avaliar se o encaixe de peças que compõem o produto foi feito de modo conforme. Este procedimento é feito instalando um sensor ultrassônico em um plano superior ao plano da esteira, e quando a esteira passa um produto montado abaixo deste sensor, o mesmo verifica através de sua leitura até o produto. As peças que constituem a região superior do produto possuem geometria padrão que será apresentada posteriormente, e assim, pode-se determinar as distâncias esperadas, e comparar com o que de fato foi adquirido pelo sensor, para que finalmente se determine se a peça está em conformidade ou não.

3.2. CONCEPÇÃO DO PROJETO DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

3.2.1. DEFINIÇÃO DE PEÇAS E PRODUTOS

A composição do produto da CFM se dá através de três tipos de peças distintas: A, B, e C. Esta última é a peça base para a recepção de peças A e B, deste modo é possível formar 6 tipos de produtos em um dado ciclo de produção. Tais elementos são criados através de impressão 3D, utilizando-se ABS no processo de adição de material.

A peça C (Figura 29) é responsável por receber o encaixe de peças A e B. Neste sentido para cada otimizar o encaixe foram colocados chanfros internos em sua geometria, o que facilita o posicionamento durante a montagem. A Figura 30 representa uma vista com um corte frontal para ilustrar a característica:



Figura 29: Peça C

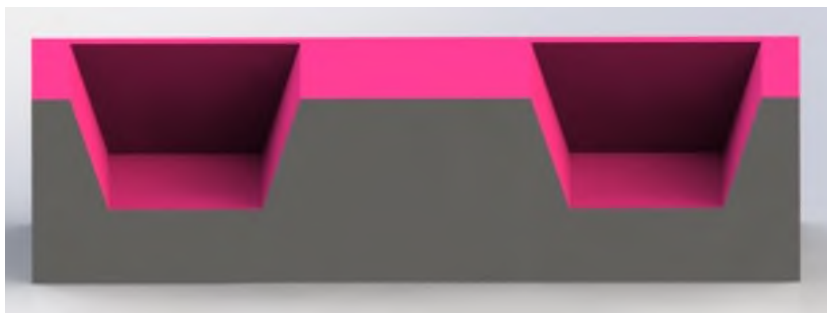


Figura 30: Vista com Corte da Peça C

As peças A (Figura 31) e B (Figura 32) sofrem o devido encaixe na peça C, constituindo o produto a ser montado pela Célula Flexível de Manufatura. A principal diferença entre essas peças é a dimensão de altura, e esta característica é o fato identificador durante a passagem do produtor no processo de análise de qualidade, que é executado pelo sensor de distância ultrassônico. Ambas as peças são estocadas dentro da Célula em local padrão, em pilha, não se misturando.



Figura 31: Peça A



Figura 32: Peça B

Por fim, segue a Tabela 3, com as devidas informações sobre as dimensões das peças:

Tabela 3. Dimensões das peças A, B e C

Peça	A	B	C
Comprimento	50 mm	50 mm	100 mm
Profundidade	30 mm	30 mm	55 mm
Altura	22 mm	45 mm	25 mm
Posição da <i>Tag RFID</i>	Superior	Superior	Frontal

3.2.2. NÚCLEOS DE TRABALHO

Para melhor compreensão da Célula Flexível de Manufatura, a mesma consiste em 3 núcleos de trabalho distintos que atuam de modo integrado para a formação do produto: o Centro de Montagem, as Esteiras, e os Estoques de Peças e Produtos. Todos estes núcleos são subsidiados por microcontroladores que são responsáveis pelo funcionamento e sincronia, bem como mecanismos de comunicação que serão abordados neste trabalho.

NÚCLEOS DE TRABALHO

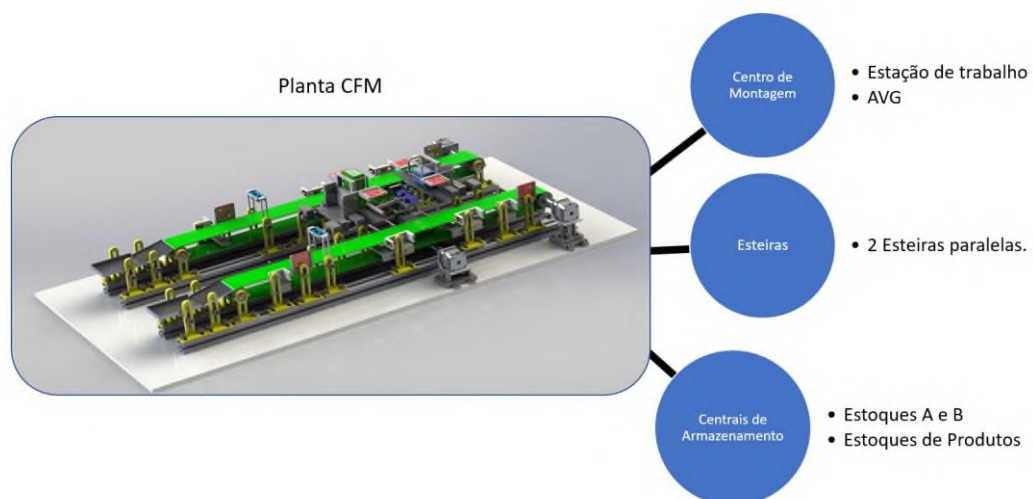


Figura 33: Núcleos de trabalho

3.2.2.1. CENTRO DE MONTAGEM

O Centro de Processamento de Montagem possui como principal função o deslocamento linear de Peças A e B para as ambas as Esteiras. O deslocamento das peças se dá quando a ponta de trabalho do braço robótico toca uma das superfícies laterais da peça, fazendo com que a mesma se desloque até sua posição final, e ao mesmo tempo encaixando na peça do tipo C.

Na região inferior deste núcleo, conforme ilustrado pela Figura 35, existem 3 eixos, de forma que o central se constitui de uma barra roscada que é ligada a um motor de passo. Deste modo, é realizada o deslocamento na direção do eixo Z pela rotação do eixo, uma vez que no interior do furo existe uma porca fixa ao elemento da base do AVG, conforme verifica-se na

Figura 36. Este mecanismo faz com que o AVG seja obrigado a ser deslocar em virtude do passo presente na rosca do eixo. Os eixos laterais possuem a função de direcionamento do AVG durante seu deslocamento em Z. Ressalta que está acoplado dentro dos furos laterais rolamentos cilíndricos que facilitam o deslocamento linear.

O Centro de Montagem também possui um motor de passo que objetiva a rotação do braço robótico em 360° em torno do eixo Y, e ainda um servo motor que permite a movimentação angular do braço robótico em torno do eixo Z. Conforme verifica-se nas figuras, o projeto contempla espaço para instalação de dois servos em paralelo, contudo, apenas um é necessário para o funcionamento deste Núcleo. O segundo servomotor pode ser instalado caso for realizada uma configuração deste Núcleo para o funcionamento de dois braços, cada um atuando no atendimento de um local de estoque. O projeto utilizou o motor de passo NEMA 17 1,7A 40mm, que sendo robusto e de alto torque, deve ser instalado junto à barra roscada, utilizando elemento acoplador, bem como dentro do AVG como citado. Seguem algumas características do motor de passo NEMA 17: corrente 1,7A por fase, 4 fios bipolar, alimentação de 12 a 48V, e torque 5kgf*cm.

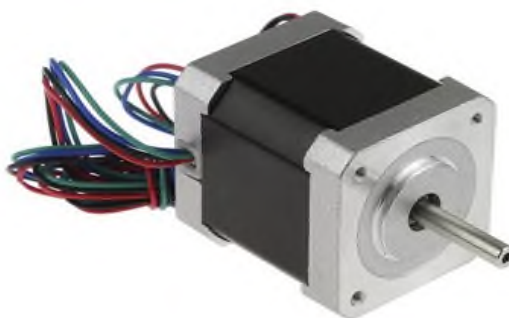


Figura 34. Motor Nema 17 de 5 kgf.

Por fim o presente trabalho propõe a utilização de dois servomotores modelo Micro Servo Motor Tower Pro 9g Sg90 ou o modelo Servo TowerPro SG5010, sendo este último com maior capacidade de torque, caso necessário durante o processo de movimentação de peças.

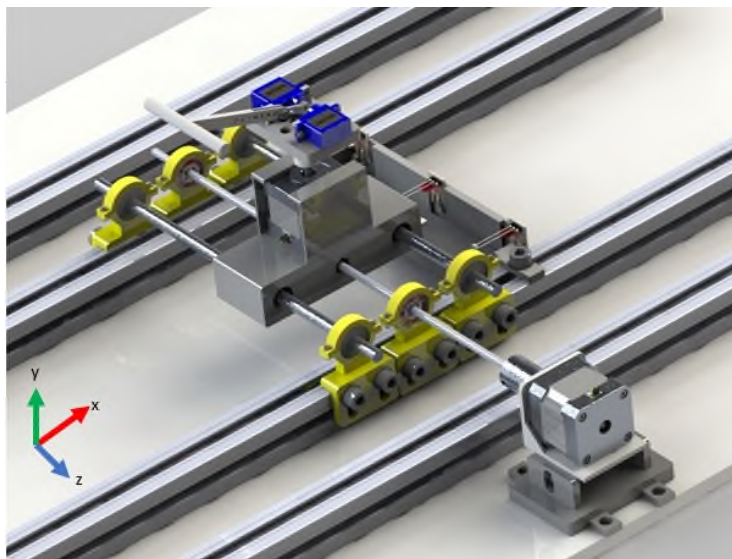


Figura 35: Centro de Montagem

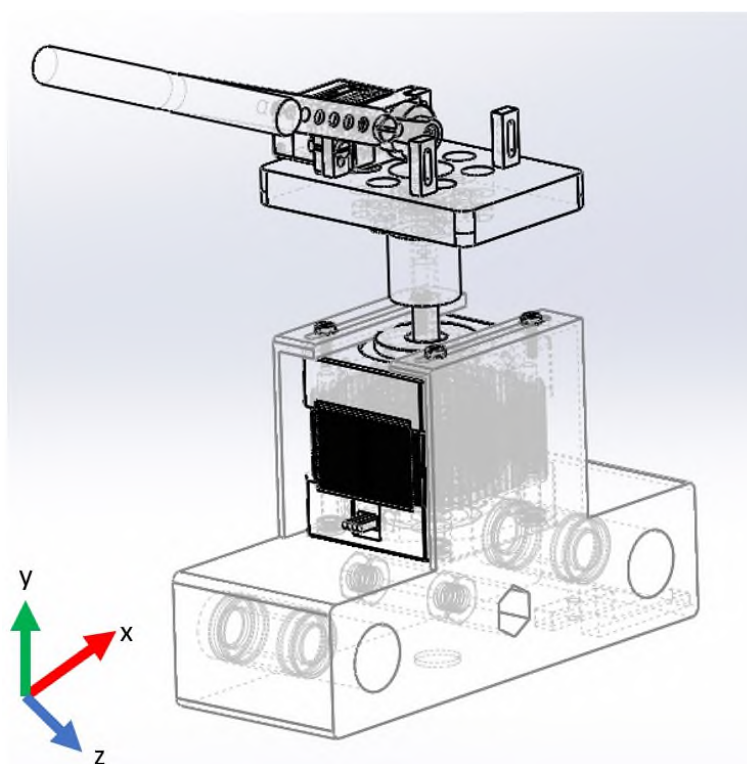


Figura 36: Desenho do AVG

Ainda, o posicionamento do Centro de Montagem é orientado em 3 posições: na origem, em que o AVG permanece no centro da Célula, ou nas extremidades próximas a cada uma das esteiras. O projeto contempla a presença de 3 sensores laser que auxiliam os controladores no posicionamento do AVG, durante a execução de seu trabalho.

3.2.2.2.ESTEIRAS

A principal função das esteiras é realizar o deslocamento linear de peças e produtos, posicionando tais elementos em regiões e pontos específicos para a execução de uma atividade na célula. Conforme, é verificado na Figura 37, as esteiras deslocam seus elementos transportados na direção do eixo X, em ambos os sentidos. Cada esteira possui uma malha de lona de material PVC (*Policloreto de vinila*), dois roletes para acoplamento da malha. O funcionamento se dá através do acionamento do motor de passo (NEMA 17) que está acoplado em um dos roletes, que então traciona a malha da esteira.

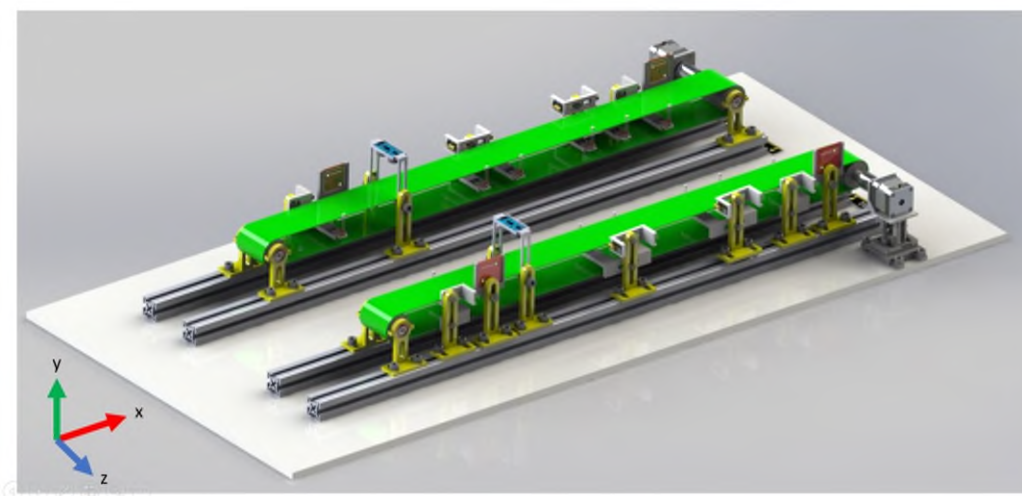


Figura 37: Visão geral do Núcleo de Esteiras

Foram definidos pontos específicos e estratégicos em cada esteira, para o posicionamento das peças, quando estas forem submetidas a alguma ação na Célula Flexível. Para devido mapeamento destes pontos, foi padronizado e numerado os pontos estratégicos (1 a 5), conforme apresenta a Figura 38. A Tabela 4 apresenta as funções para cada um dos pontos padronizados.

Tabela 4. Funções para os Pontos de Posicionamento

Ponto	Função
1	Leitura de <i>tag</i> RFID da Peça C.
2	Montagem de Peça A.
3	Montagem de Peça B.
4	Verificação da conformidade da montagem (leitura de sensor ultrassônico sobre o produto montado).
5	Leitura e Escrita da <i>tag</i> RFID presente na peça C.

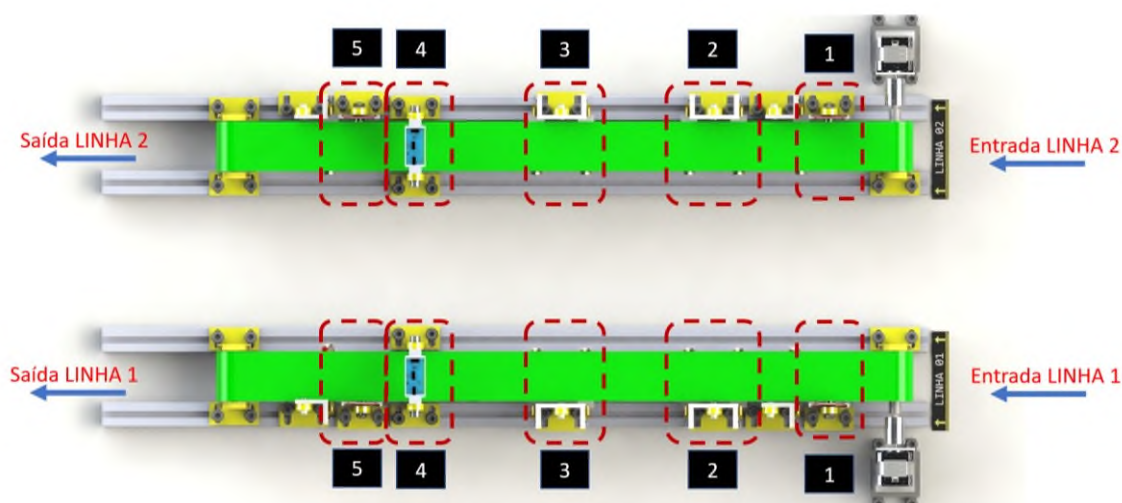


Figura 38: Pontos de Posicionamento

Cada uma das esteiras possui sensores de posição instalados de modo que eles são responsáveis pela marcação de cada Ponto de Posicionamento, bem como pelo envio de informações a microcontroladores para condicionar a ação do motor de passo conectado à esteira.

Os sensores atuam como Devices de microcontroladores instalados para cada esteira. Cada esteira possui ao todo 6 sensores laser de posição, dois leitores NFC PN532 para leitura de tags. Todos estes elementos possuem suporte desenhado conforme suas dimensões, e locais específicos para fixação. Ressalta-se que os elementos transportados pela esteira não tocam em nenhum momento do ciclo de processo nos Devices, para tanto é indispensável a introdução correta da peça C no início de cada esteira.

A Figura 39 apresenta 4 tipos de montagens presentes nas esteiras, de forma que (a) representa uma montagem de dois sensores laser que atuam em conjunto que são instalados nos Pontos de Posicionamento 2 e 3, ou seja nos locais de recebimento de peças A e B respectivamente. É necessário a presença de dois sensores, uma vez que é necessário verificar os pontos no espaço imediatamente antes e depois do local onde as esteiras fazem interface com a pista de deslocamento de peças A e B, pois a peça do tipo C possui duas posições para que sejam acopladas peças. Portanto para que a esteira se oriente em relação a qual posição a peça C irá receber uma peça A ou B, ela utiliza estes dois sensores que atuam em conjunto.

O item (b) da Figura 39, representa o sensor laser simples que é utilizado após os sensores NFC PN532 (item c da Figura 39), pois uma vez que o feixe de laser neste caso é cortado pela presença, a esteira tem sua velocidade linear anulada, para que então o NFC PN532 possa realizar os processos de leitura, como acontece no Ponto de Posicionamento 1, leitura e escrita, como é o caso do Ponto de Posicionamento 5. Por fim, o item (d) da Figura 39 se refere a montagem em que o sensor ultrassônico se encontra acoplado, de modo que o mesmo esteja posicionado sobre a esteira a uma distância que deve ser calibrada, para que o produto se desloque entre a esteira e o sensor ultrassônico, para que este realize a medida da distância entre si e o produto, o que gera um vetor de números que será analisado verificando então a

conformidade da geometria do produto montado. O projeto prevê para o sensor ultrassônico o modelo HC-SR04, que é capaz de medir distâncias de 2cm a 4m com alcance de 2 cm até 4 m e ainda uma precisão de 3mm, conforme informações do fabricante.



Figura 39: Devices presentes nas Esteiras

3.2.2.3.CENTRAIS DE ARMAZENAMENTO

O núcleo das Centrais de Armazenamento realiza o estoque de três tipos: peças A, peças B e produtos finalizados. A Figura 40 apresenta a posição de cada um deles dentro da Célula Flexível de Manufatura. O *layout* proposto tem como objetivo otimizar a interface deste núcleo com o funcionamento do Centro de Montagem. A forma que é disponibilizada as peças A e B por este núcleo atende exatamente a forma com que o Centro de Montagem requiere para realizar o deslocamento das peças. Deste modo, verifica-se que ambos os núcleos atuam em conjunto no fornecimento de peças para a Esteira. Os locais de armazenamento de peças A e B ainda contam com leitores NFC PN532, que por sua vez tem atividade de leitura e escrita nas peças que transitam por estas plataformas. Conforme será visto no processo de montagem de peças, o NFC realiza a leitura da tag da peça A ou B que está se deslocando, identificando todas as informações pertinentes à peça que será parte de um produto, e logo em seguida escreve na tag desta peça informações relativas ao processo de montagem.

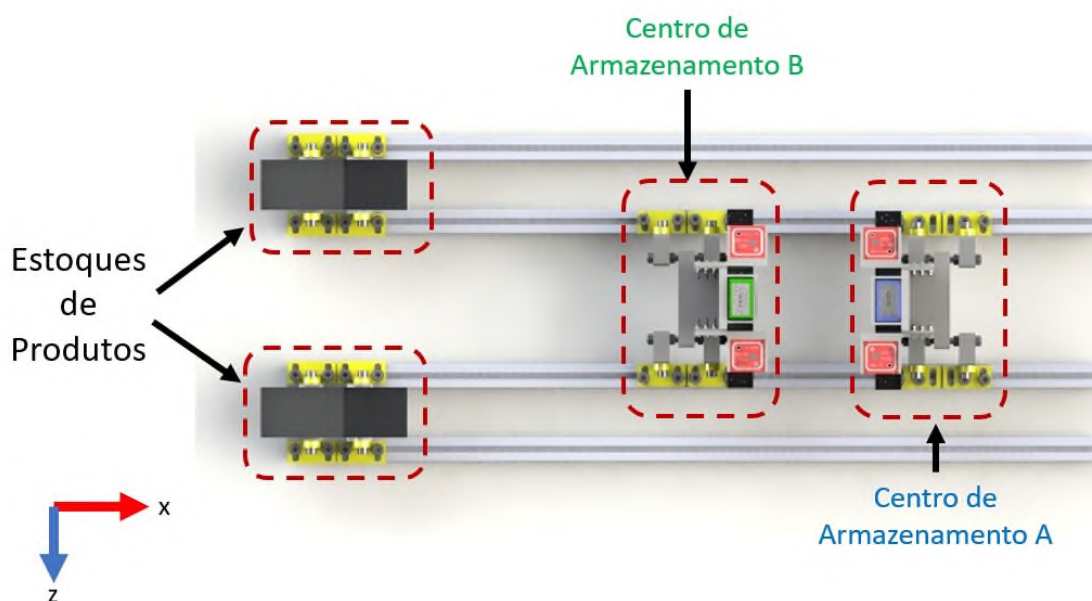


Figura 40: Centrais de Armazenamento de Estoques

A Figura 41 apresenta como as peças do tipo B são armazenadas. Elas são dispostas em pilha, e à medida que são utilizadas, elas automaticamente já ficam em posição para serem manipuladas pelo braço robótico. Este por sua vez desloca as peças A ou B linearmente ao longo do eixo Z, e seu elemento terminal faz face a superfície lateral da peça C, quando o seu AVG transportador chega do final de seu curso no sentido da esteira que irá receber proveniente da Central de Armazenamento. Geometricamente a plataforma de deslocamento linear das peças A e B (vide Figura 41) é o plano superior da peça C, e assim quando peças A/B terminam a trajetória sobre a plataforma de deslocamento elas já sofrem o devido acoplamento mecânico, formando a montagem do produto.

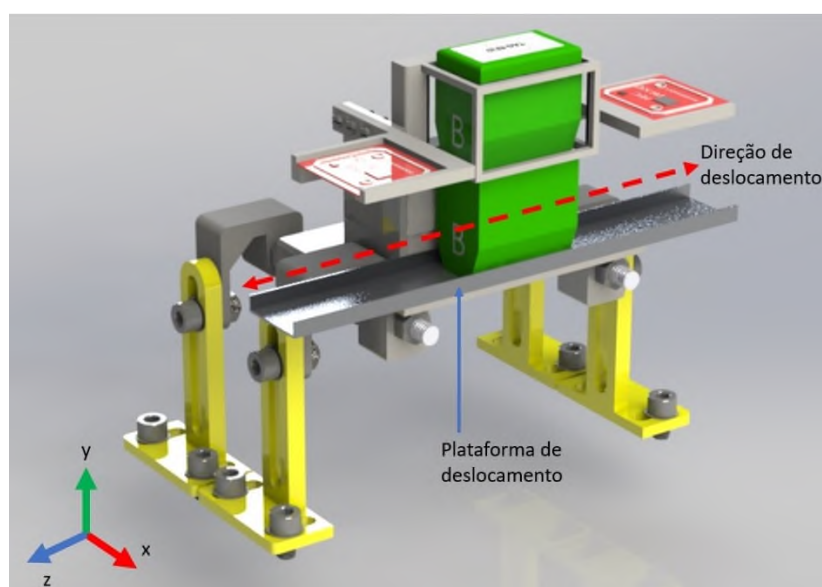


Figura 41: Centro de Armazenamento de Peças A ou B

3.2.3. IDENTIFICAÇÃO PADRÃO DE CÓDIGOS PARA LEITORES NFC E SENSORES UTILIZADOS NA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

Durante a construção deste projeto, realizou-se a padronização de códigos para os NFC's e demais sensores utilizados na esteira. Esta identificação padrão se dá necessária uma vez que o acionamento dos elementos é feito de maneira lógica e independente. Deste modo, quando os processos de comunicação ou mesmo demais ações precisam informar qual leitor NFC ou sensor será acionado em determinado instante. Assim como, a identificação proposta auxilia no entendimento dos circuitos da planta que envolvem os controladores da planta.

A Figura 42 (a) se refere a localização dos sensores NFC para ambas as esteiras. Os códigos são constituídos por letras, dada uma sequência alfabética ao longo da esteira, e por um numeral que se refere ao número da esteira relativa do NFC.

Já a Figura 42 (b) identifica na CFM a localização dos sensores ultrassônicos 01 e 02, cada um relacionado a seu número de esteira, assim como os receptores lasers possuem em sua identificação uma letra que designa sua posição na esteira, um numeral que designa qual esteira pertence o receptor laser. Em especial os códigos de receptores 3A, 3B, e 3C se referem aos receptores instalados no AVG, que orientam a posição de sua origem e fim de curso para cada lado.

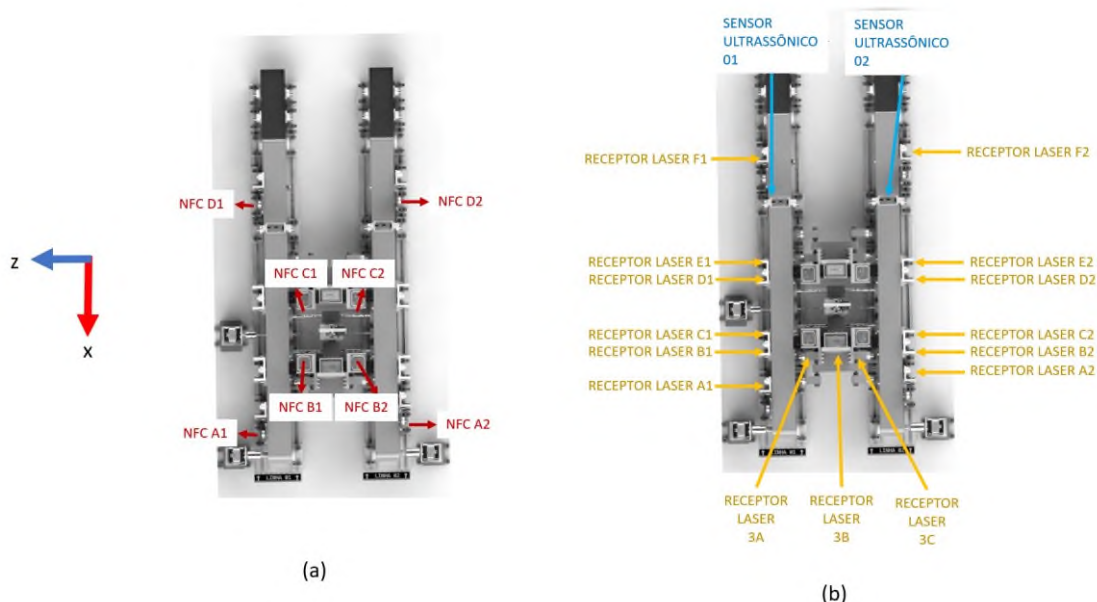


Figura 42: Sensores e Leitores utilizados na CFM

3.2.4. FLUXOS DE DESLOCAMENTO DE PEÇAS DENTRO DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

Nesta seção é apresentado os fluxos possíveis para os deslocamentos dos elementos das peças A, B e C pertinentes à CFM. Assim, verifica-se a integração de funcionamento dos Núcleos apresentados no item 5.2.2.

Cada peça C se desloca linearmente através de uma das esteiras, sofrendo paradas conforme os Posicionamento 1 a 5 previamente expostos. Já as peças A e B podem ser parte integrante dependendo do produto a ser montado. A Figura 43 apresenta o fluxo de deslocamento para cada uma das peças.

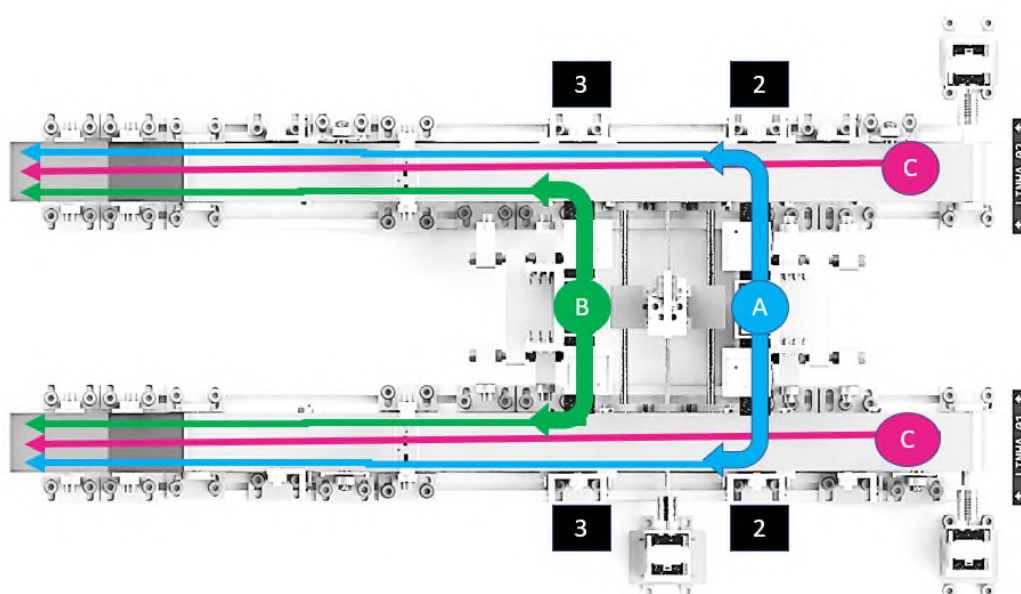


Figura 43: Deslocamento de Peças A, B e C na Célula

Conforme já exposto, a os pontos de posicionamento 2 e 3 representam os locais de acoplamento de peças A e B respectivamente. Deste modo a partir de cada um destes pontos as peças A e B conectadas à peça C se deslocam linearmente ao longo da esteira até o fim do processo.

Atuando as duas esteiras de modo independente, é possível notar que pode haver casos de concorrência que terão de ser elucidados por mecanismos de controle da Célula Flexível de Manufatura, pois pode haver uma requisição simultânea de peças A no Ponto 2 de cada esteira, ou uma requisição simultânea de peças B no Ponto 3 de cada esteira, e assim a Célula deve agir logicamente estabelecendo prioridades para a entrega de peças para cada esteira.

3.2.5. INFRAESTRUTURA DE REDES E MICROCONTROLADORES

Os Núcleos da Célula Flexível de Manufatura realizam suas atividades de modo síncrono. Para tanto, é necessário que os elementos da CFM sejam controlados, e que se estabeleça fluxos de comunicação que atendem os requisitos dos processos. Nesta seção, será apresentado a planta de infraestrutura dos controladores, seus circuitos, e a localização dos periféricos conectados a cada um dos microcontroladores.

3.2.5.1. REDE DE CONTROLADORES DA CFM

A planta de rede da Célula Flexível de Manufatura consiste em um Controlador central que por sua vez é conectado ao sistema supervisorio através da rede Ethernet, assim como é conectado a outros dois Controladores de Esteira via comunicação Serial UART. Já cada Controlador de Esteira é conectado a um Controlador NFC. A Figura 44 apresenta o mapa da rede, com os métodos de comunicação entre os componentes de hardware.

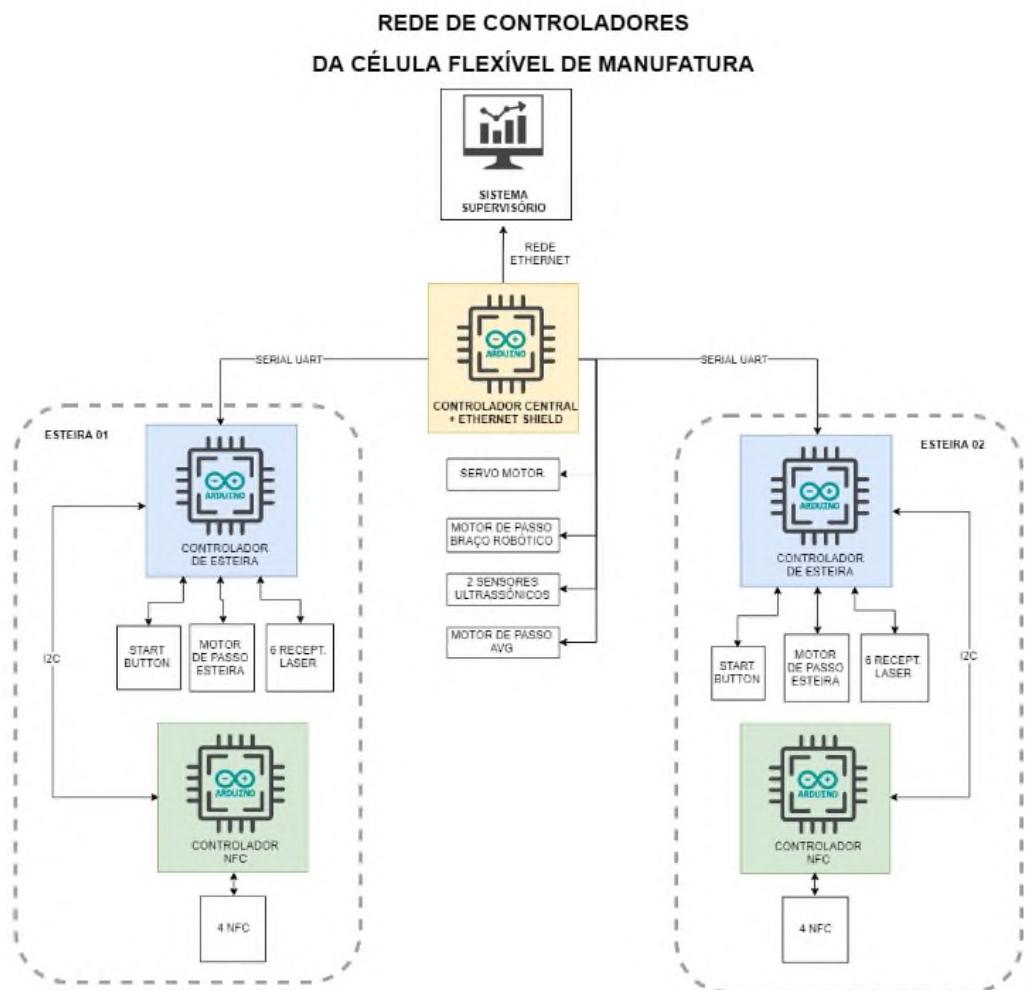


Figura 44: Rede de Controladores da Célula Flexível de Manufatura

3.2.5.2. TIPOS DE CONTROLADORES E FUNÇÕES

Em seguida, será apresentado os circuitos propostos para cada controlador (Central, Esteira e NFC). O primeiro se refere ao circuito do Controlador de Esteira, que é utilizado um em cada esteira da planta. O Controlador de Esteira utiliza o Arduino MEGA 2560 como elemento central, e é responsável por:

- Realizar o controle do Motor de Passo Esteira através do driver L298N, que por sua vez está conectado a um dos roletes da esteira. O controlador possui a função de alterar a velocidade da esteira ou mesmo pará-la quando necessário. Neste ponto são utilizadas portas digitais com função de PWM 2, 3, 4, e 5.
- Realizar a leitura dos 6 receptores laser dispostos em sua respectiva esteira, de modo que estes componentes orientam o sistema quanto a posição das peças em trânsito na esteira.
- Prover o acionamento da célula através do *Start Button*.
- Enviar solicitações ao Controlador NFC por meio das portas lógicas 22, 24, e 26 para Leitura nos NFC A, B, e C das esteiras 1 e 2;
- Receber as informações através de comunicação provenientes do Controlador NFC e enviar tais informações ao Controlador Central;
- Solicitar escrita no NFC D das esteiras 1 e 2;
- Comunicar com os receptores laser A, B, C, D, E e F (das esteiras 1 e 2), fazendo o gerenciamento de posição da peça C na esteira através da resposta destes receptores.

A comunicação deste controlador ocorre com o Controlador Central se dá por meio de uma comunicação Serial UART através das portas digitais 14 e 15. Assim como a comunicação com o Controlador NFC de sua respectiva esteira se dá através das portas digitais 20 e 21 com comunicação I2C, sendo este configurado como Master Reader, de modo ele recebe neste canal as informações provenientes de leituras dos NFC's A, B, e C. As requisições do Controlador de Esteira direcionadas ao seu respectivo Controlador NFC se dá por meio de 3 portas lógicas 22, 24, 26 e 28, em que esses 4 bits de informação executam a requisição direcionada. A Tabela 5 apresenta como é feito a configuração das portas lógicas.

Tabela 5. Portas lógicas para requisição de informações do Controlador de Esteira para o Controlador NFC

Porta Lógica	Função
22	Coloca o bit em verdadeiro quando se inicia uma requisição. 0 – Acionamento desativado; 1 – Requisição ativa
24	0 – Leitura de NFC; 1 – Escrita de NFC
26, 28	Referência de qual NFC será acionado Considerando primeiro bit porta 26, e segundo a porta 28: 00 – NFC A 01 – NFC B 10 – NFC C 11 – NFC D

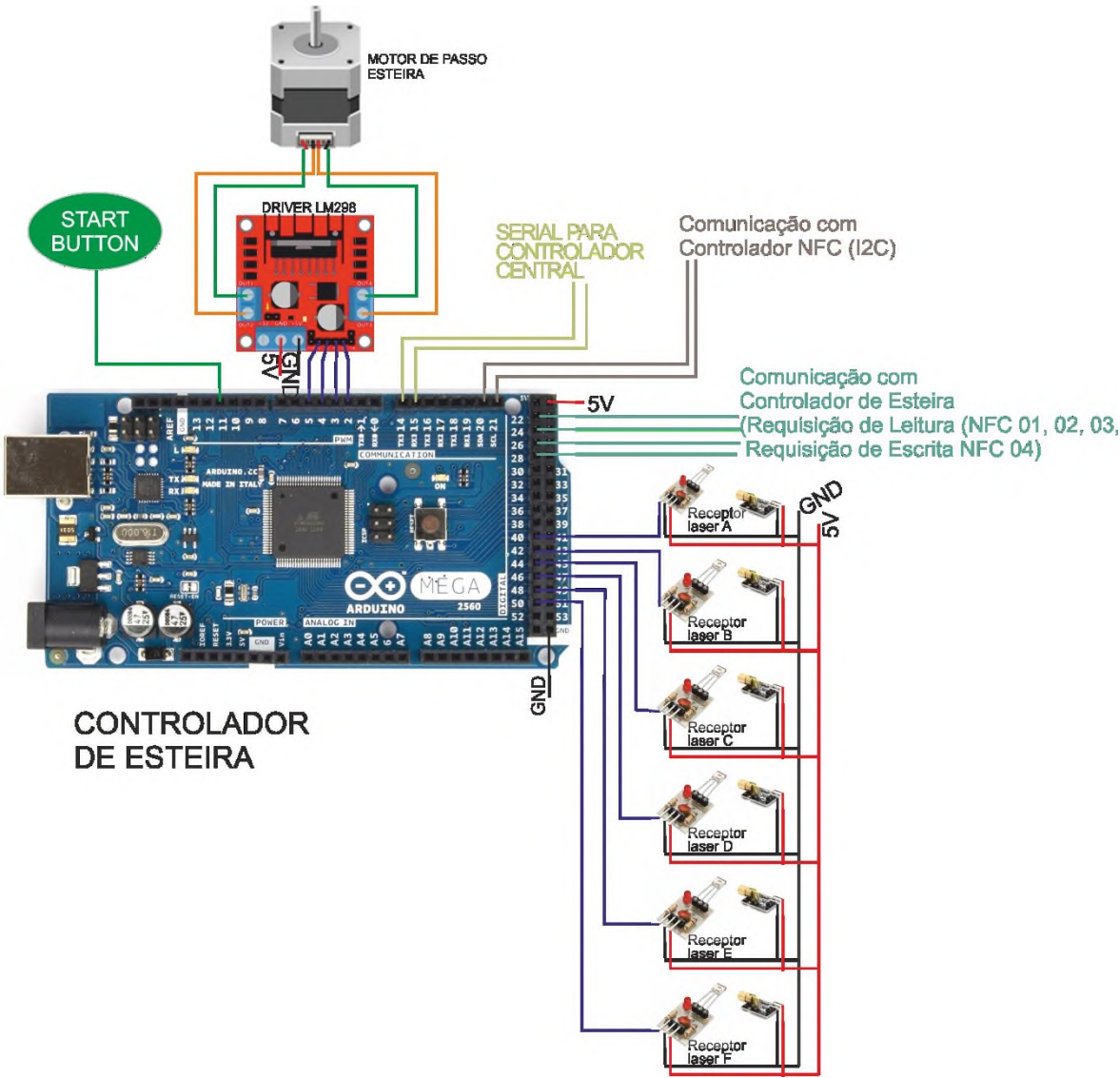


Figura 45: Circuito para Controlador de Esteira

O segundo controlador a ser mencionado é o Controlador NFC. Ele é instalado uma unidade em cada esteira, e sua principal função é realizar leituras e escritas em tags RFID através dos Devices NFC A, B, C, e D.

A conexão com os 4 NFC's envolvidos para cada esteira, utilizam as portas digitais 0, 1, 14, 15, 16, 17, 18, e 19. O protocolo de comunicação para a interface com tais Devices é I2C.

A comunicação deste controlador se dá exclusivamente com seu respectivo Controlador de Esteira via I2C. Ele possui sua configuração dada como Slave Writer, e assim é responsável pelo envio de informações neste canal. As portas lógicas digitais utilizadas para esta comunicação são as de número 20 e 21, e as requisições provenientes do Controlador de Esteira se dá através das portas lógicas 22, 24, 26, e 28, conforme já informado na Tabela 5. A Figura 46 mostra os detalhes da montagem deste controlador na planta.

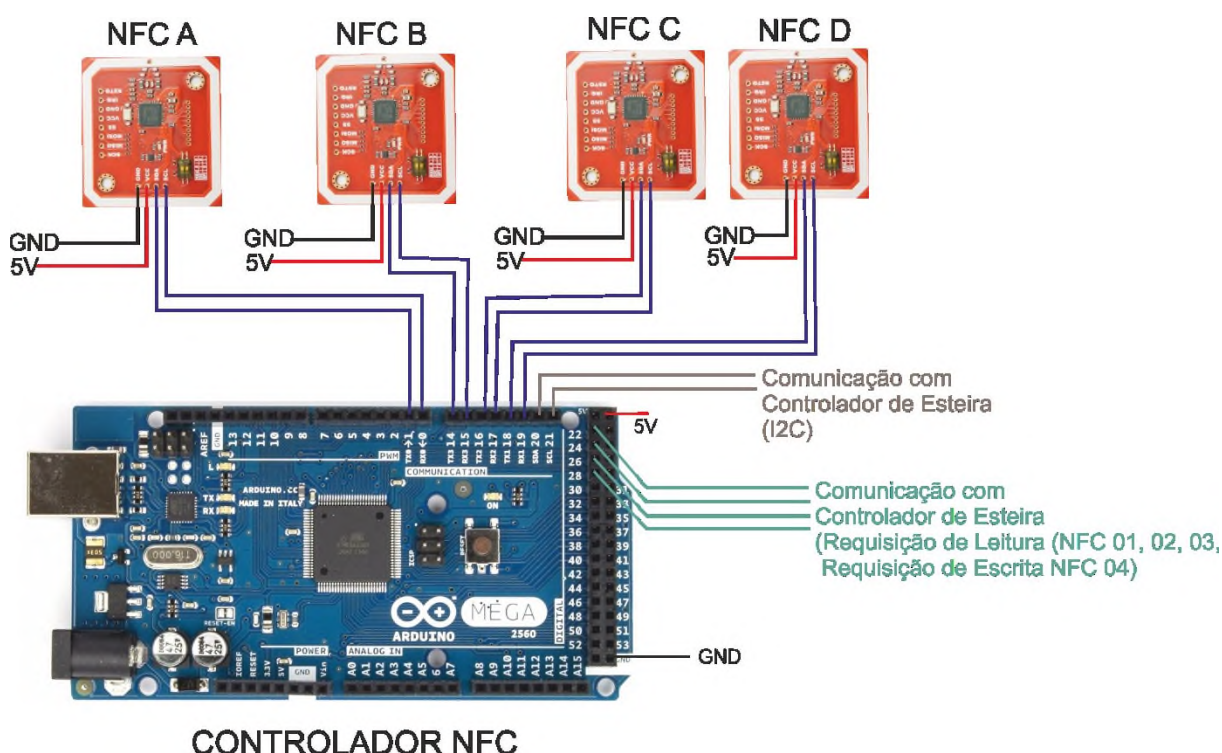


Figura 46: Circuito para Controlador NFC

Por fim, a Célula Flexível de Manufatura contém um Controlador Central, que hierarquicamente está acima dos controladores citados anteriormente, conforme é possível verificar na Figura 44. Este controlador é conectado um Device Ethernet, que por sua vez permite o envio de informações para o sistema supervisório pela rede.

São funções do Controlador Central:

- Realizar o controle do motor de passo do AVG (conectado a barra roscada do Núcleo de Montagem), deslocando o AVG em dois sentidos distintos (portas lógicas PWM 10 a 13);
- Realizar o controle do motor de passo do braço robótico, possibilitando seu giro em 360° em torno do eixo Y, e assim garantindo o atendimento do braço robótico nos estoques de peças (portas lógicas PWM 4 a 7);
- Posicionar o servomotor presente no braço robótico para efetuar seu deslocamento angular (porta 41);
- Comunicar com os dois sensores ultrassônicos, de modo que se possa realizar a verificação da qualidade de montagem, e assim, informar ao Controlador de Esteira sobre o resultado da validação. As portas lógicas que utilizadas para comunicação com os sensores ultrassônicos são 31, 33, 35 e 37.
- Realizar a leitura dos receptores laser 3A, 3B, 3C através das portas lógicas 49, 51, e 53, para que se o deslocamento do AVG ao longo da barra roscada seja orientado nas posições centrais e de fim de curso.
- Comunicar via rede Ethernet (roteador), de modo que se possa enviar e receber informações do sistema supervisório sobre todo o processo de montagem.

A Figura 47 apresenta o circuito para o Controlador Central.

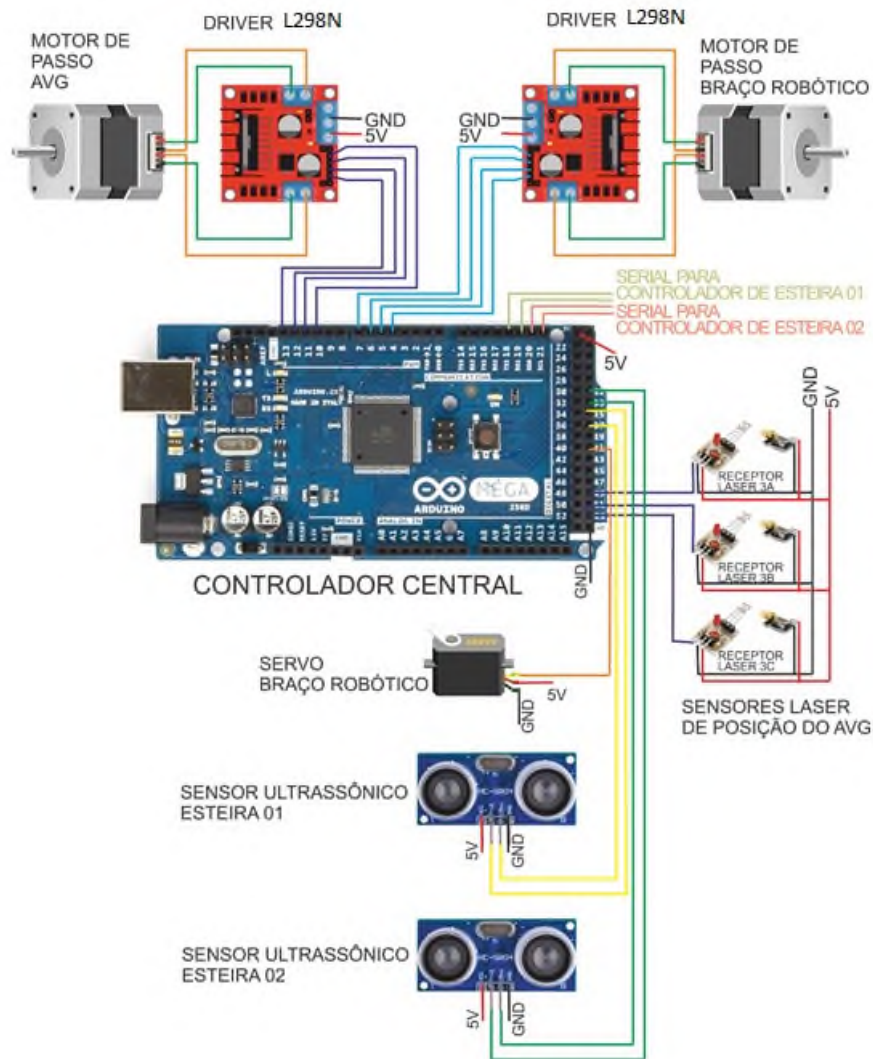


Figura 47: Circuito para Controlador Central

3.2.6. DEFINIÇÃO DE PROCESSOS DA CÉLULA

3.2.6.1. MACROPROCESSO

Durante o processamento de produto pela Célula Flexível de Manufatura, ocorrem quatro processos em sequência dentro de um ciclo de processamento.

- Leitura Inicial da Peça C
- Montagem de Peças A/B em C.
- Análise de Conformidade das Peças
- Escrita final na Tag C e Armazenamento

Os mecanismos da CFM foram projetados de modo que se contemple todos os requisitos abordados anteriormente. Ainda, outros aspectos como a disponibilidade de materiais, bem como a experiência do MAPL em alguns elementos mecânicos, e o custo de materiais foram considerados na escolha do modelo da CFM e seus processos.

A realização de cada processo acontece com a participação de elementos diversos, de forma que os sistemas de comunicação projetados, que trocam informações entre microcontroladores é responsável pela lógica e sincronia dos elementos mecânicos, tornando o processo inteligente, e assim fundamentado em recursos que a Indústria 4.0 utiliza.

A seguir será apresentado o macroprocesso da Célula Flexível de Manufatura. O macroprocesso representa uma visão global da execução de um ciclo de processamento. Assim a produção ocorre na Célula de modo que os quatro processos citados anteriormente ocorrem em cadeia, até que a entrega do produto montado. Em seguida, será explicado em detalhes as ações de cada processo, incluindo o devido diagrama de comunicação para subprocesso.

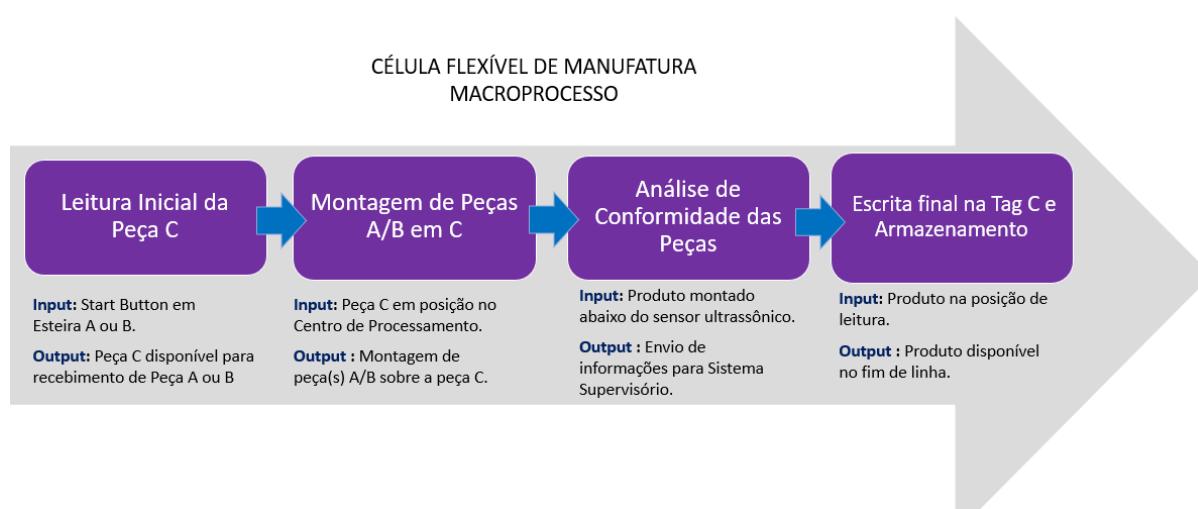


Figura 48: Macroprocesso de Célula Flexível de Manufatura

Em seguida será apresentado os detalhes para os 4 processos presentes na Célula Flexível de Manufatura. Será abordado no fluxograma os Pontos de Posicionamento mencionados no item 3.2.2, bem como todas as informações já mencionadas sobre os mecanismos de comunicação evidenciados nos circuitos de cada controlador.

É muito importante salientar que quando um receptor laser apresenta seu sinal como falso, o mesmo está indicando que a peça ou produto se encontra no local em que o receptor é referência, pois o feixe de laser emitido pelo seu respectivo emissor foi bloqueado pela peça posicionada. Os receptores laser nos fluxogramas também são descritos pela sigla RCLA. Por exemplo, o receptor laser A, é descrito como RCLA-A, assim como o receptor laser F, é descrito como RCLA-F.

As ações nos fluxogramas possuem legenda de cor de modo que:

- Amarelo se refere à uma ação efetuada pelo Controlador Central
- Azul se refere à uma ação efetuada pelo Controlador de Esteira

- Verde se refere à uma ação efetuada pelo Controlador de Esteira

3.2.6.2.PROCESSO DE LEITURA INICIAL DA PEÇA C

Este processo é iniciado quando é colocado uma peça C sobre alguma das esteiras e quando o Start Button é acionado no devido Controlador de Esteira. Conforme o fluxograma descrito na Figura 49, a tag RFID da peça C é lida por um NFC controlado pelo Controlador de NFC, e as informações desta tag seguem em cadeia até chegar no Sistema Supervisório. Este processo é finalizado no momento em que a peça C está disponível para seguir para os Pontos de Posicionamento 2 ou 3, que se refere ao processo de recepção de peças do tipo A, ou B.

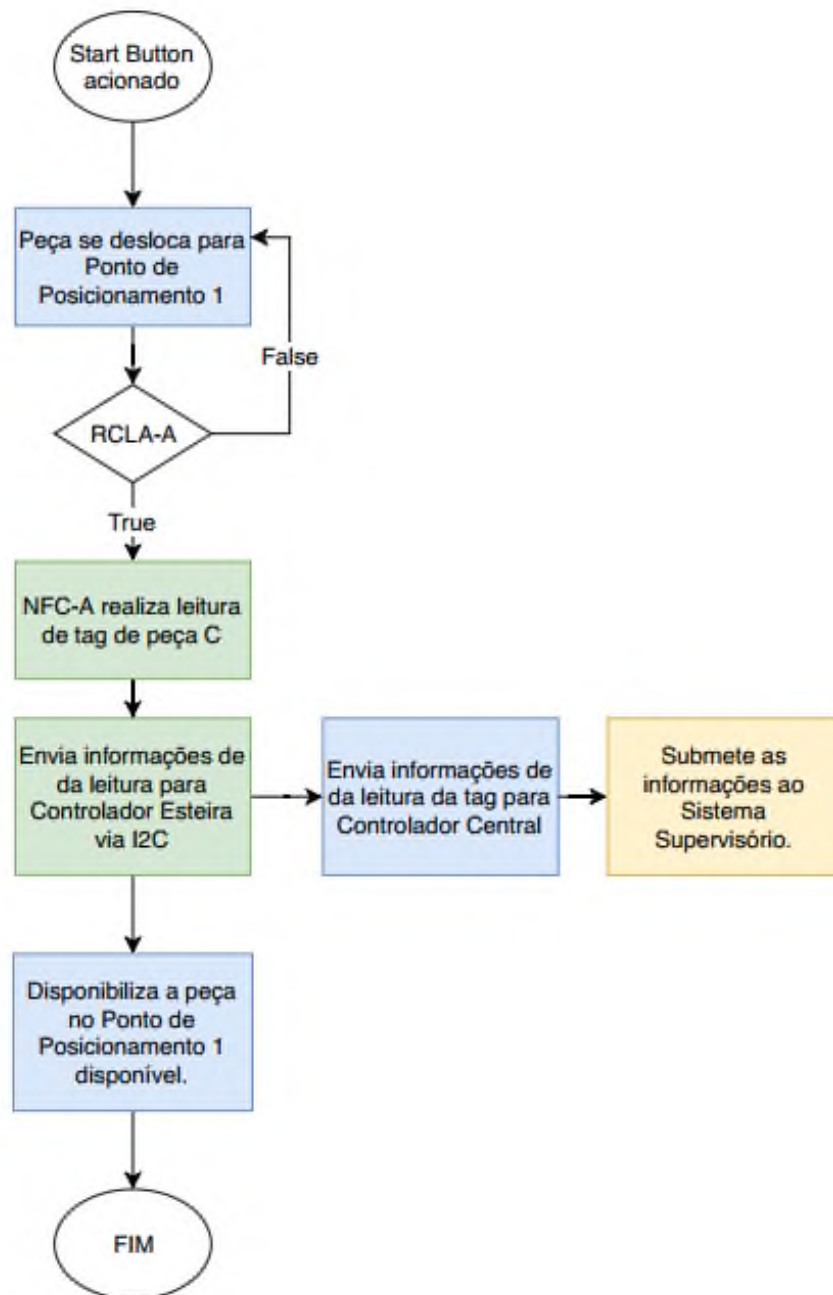


Figura 49: Processo de Leitura Inicial da Peça C

3.2.6.3.PROCESSO DE RECEBIMENTO DE PEÇAS A\B EM C

Este processo se refere a entrega de peças A e B por parte do centro de montagem atuando em sincronia com as áreas de armazenamento. Neste processo, os controladores devem ter configuração específica para resolução de casos de concorrência no processo que podem envolver escassez de peças e assim deve-se estabelecer com código no Controlador a priorização de qual esteira deve receber elementos nestas situações.

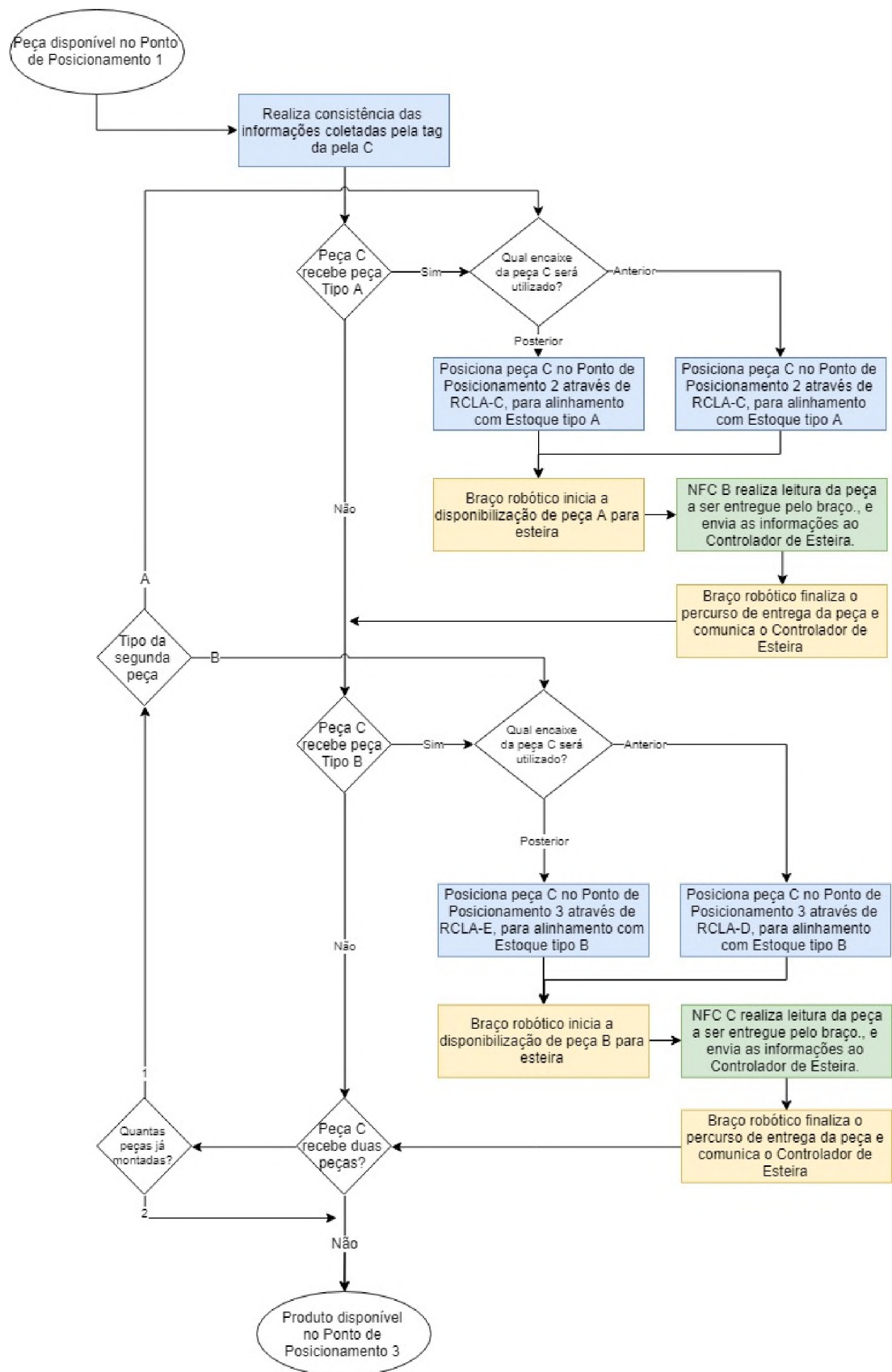


Figura 50: Processo de Recebimento de Peças A/B em C

3.2.6.4.PROCESSO DE ANÁLISE DE CONFORMIDADE DE PEÇAS

A análise de Conformidade é realizada através da leitura do sensor ultrassônico que por sua vez compara os valores as dimensões de altura verificadas no produto com os tamanhos previamente conhecidos para cada peça, e assim, pode-se verificar se a peça foi devidamente encaixada, já que as falhas de encaixe fazem com haja variações de altura na superfície superior do produto.

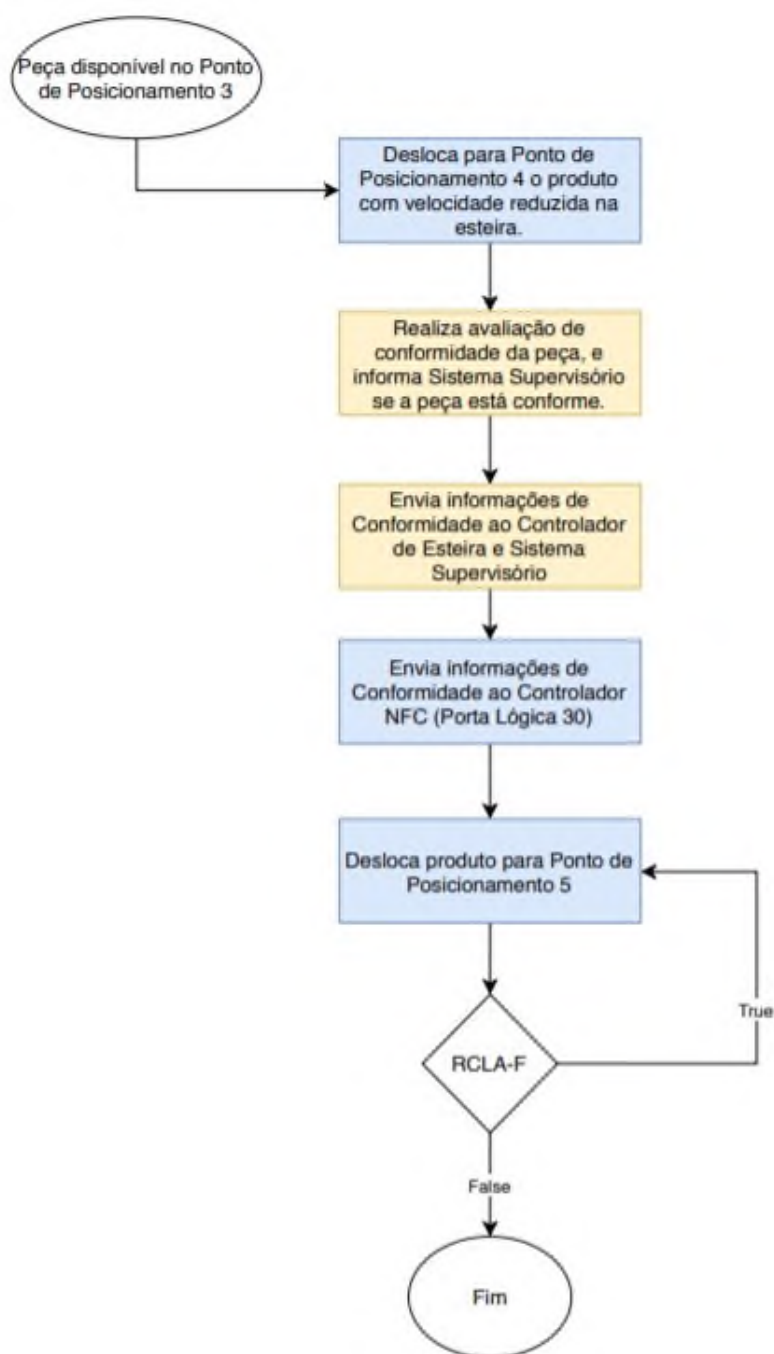


Figura 51: Processo de Análise de Conformidade de Peças

3.2.6.5.PROCESSO DE ESCRITA FINAL NA TAG C E ARMAZENAMENTO

Por fim a Célula, através deste processo, escreve na tag do produto montado, as informações do ciclo de trabalho que realizou a montagem, e assim, evidenciando a produção descentralizada, e ainda permitindo que seja implantado métodos de PNRD e IPNRD, conforme indicado na referência bibliográfica deste tema¹.

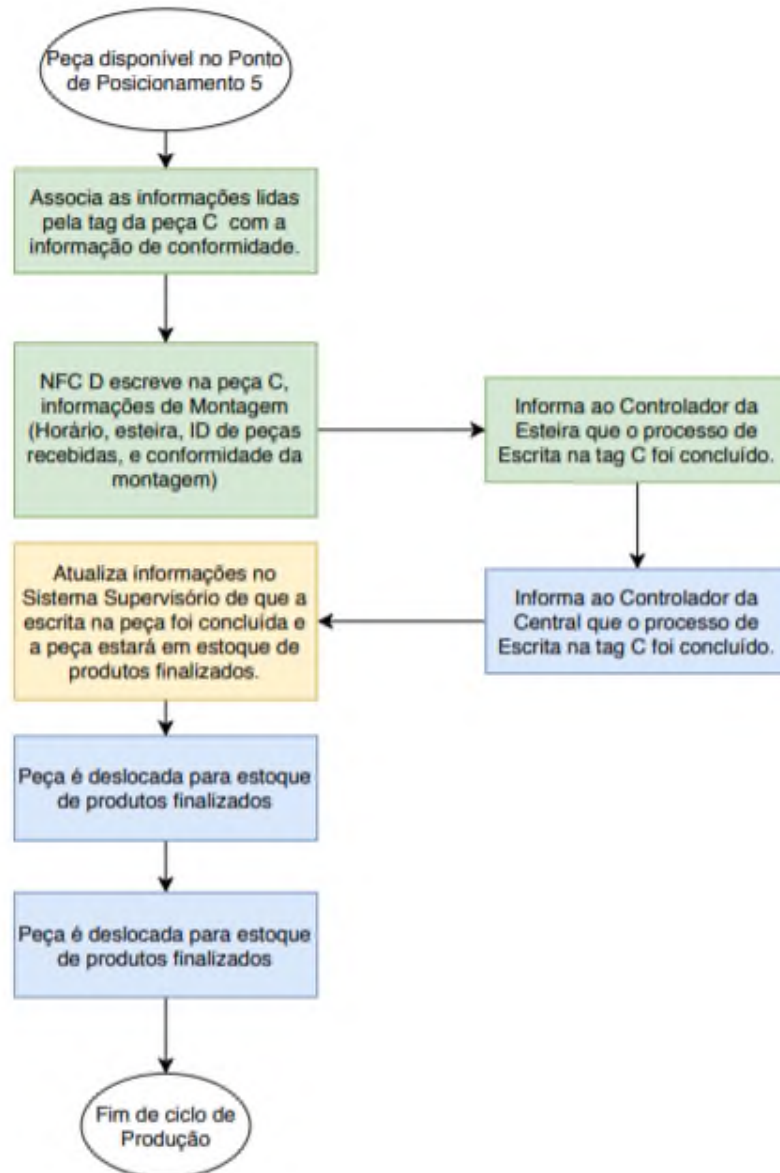


Figura 52: Processo de Escrita Final na Tag C e Armazenamento

¹ A obra indicada como referência para PNRD e IPNRD é o artigo: TAVARES, José J. P. Z. D. S.; DA SILVA, Carlos E.; DE SOUZA, Alexandre R.; FONSECA João P. S. MONITORAMENTO DE PROCESSO DA INDÚSTRIA 4.0 ATRAVÉS DA PNRD INTEGRADA COM CPN TOOLS. In: XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018, João Pessoa, 2018.

3.3. TESTES DOS PROCESSOS DA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

Neste texto serão abordados os testes referentes aos processos de Comunicação da Célula Flexível de Manufatura, que envolvem os Controladores, responsáveis por sincronizar as ações entre núcleos. Os testes de cinemática e dinâmica que envolvem os elementos da Célula, devem ser propostos e desenvolvidos durante o processo de construção da bancada após a devida impressão de elementos por manufatura aditiva e sua montagem.

3.3.1. TESTES DE COMUNICAÇÃO E REDE DE CONTROLADORES

Para o presente trabalho, foram executados os testes para os processos de comunicação que envolvem a planta da Célula Flexível de Manufatura. Assim, fez-se os seguintes testes: Processo de Leitura e Escrita de tag RFID *Device* NFC PN532; Comunicação I2C entre o Controlador NFC e Controlador de Esteira, e por fim, o teste da comunicação Serial UART que está situada entre o Controlador de Esteira e o Controlador Central.

3.3.1.1. PROCESSO DE LEITURA E ESCRITA DE TAGS RFID PELO DEVICE NFC PN532

Este teste realiza o processo de leitura e escrita de *tags* RFID que estarão afixadas nas peças por leitores NFC PN532, que conforme já exposto, estão presentes em ambas as esteiras. Para o desenvolvimento deste teste, realizou-se a chamada das funções de leitura e escrita pelo código através da Comunicação Serial, entre o Controlador NFC e o computador. A Figura 53 apresenta o resultado do teste pelo código exposto no Apêndice A deste trabalho, em que para uma dada tag com identificação de série número 62, tem-se as informações iniciais 3 e 4. Posteriormente, realiza-se um processo de escrita nesta tag em que as informações 3 e 4 são substituídas pelas informações 1 e 2, o que aponta o funcionamento dos processos que fazem parte do escopo deste teste.

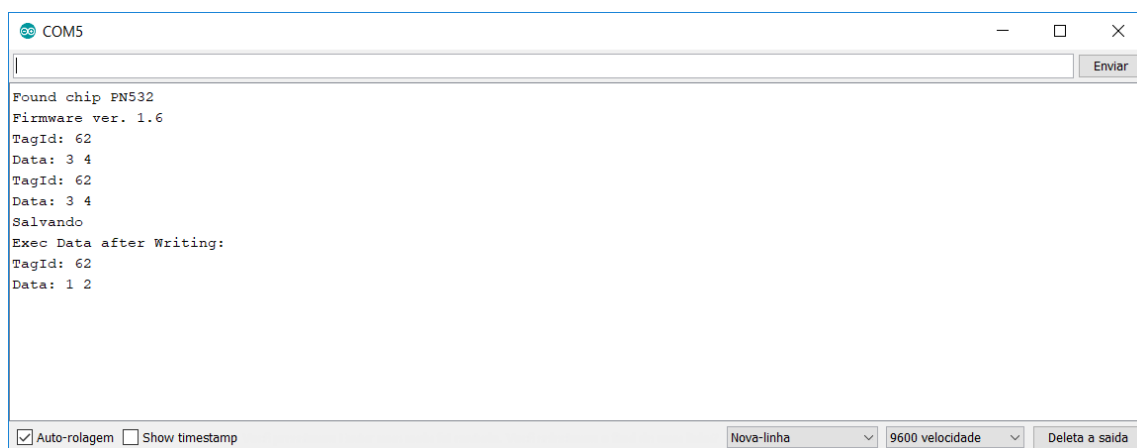


Figura 53: Resultado de Leitura e Escrita de Tag pelo NFC

3.3.1.2.COMUNICAÇÃO I2C ENTRE CONTROLADOR NFC E CONTROLADOR DE ESTEIRA

Este teste faz a comunicação de dados entre um Controlador NFC com um Controlador de esteira, conforme previsto no projeto. Assim o Controlador NFC, ao receber as informações de leitura do Device NFC PN532, ele passa os dados da tag através do mecanismo de comunicação I2C. A Figura 54 representa o resultado, de modo que as informações presentes “3 4” na tag com número de série 62, são armazenadas por este controlador, e o mesmo dispara a *string* “tagdata” pela comunicação I2C. Durante o processo de implementação, sugere-se que o Controlador por sua vez faça o tratamento das informações da *tag*, e assim, coloque-as devidamente no conteúdo da *string*, de modo que o Controlador de Esteira receba tais dados. É importante ressaltar que neste processo I2C, a configuração dada foi que o Controlador Master é o Controlador de Esteira e atua como leitor, e o Controlador NFC é um *slave* que atua como *writer*.

Por fim, tem-se os resultados de recepção de dados pelo Controlador de Esteira expostos na Figura 55, em que tal controlador recebe a informação da *string* “tagdata”, comprovando este processo de comunicação entre os controladores envolvidos neste teste.

Os códigos embarcados nos controladores *Master (reader)* e *Slave (Writer)* se encontram no Apêndice B deste trabalho.

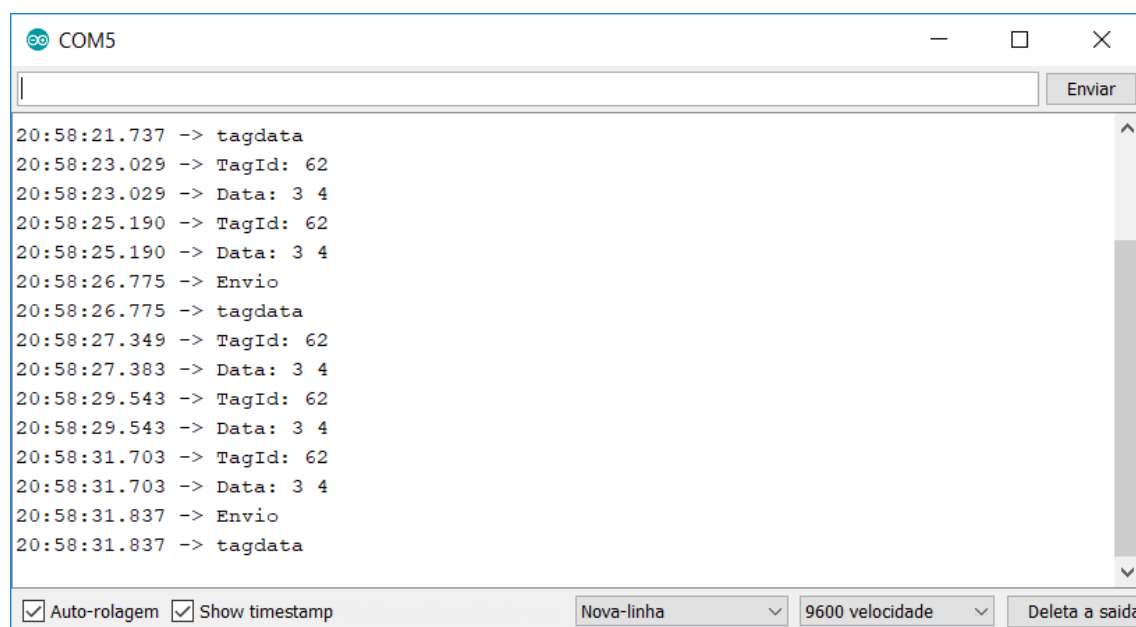


Figura 54: Envio de Informações da *tag* pelo Controlador NFC

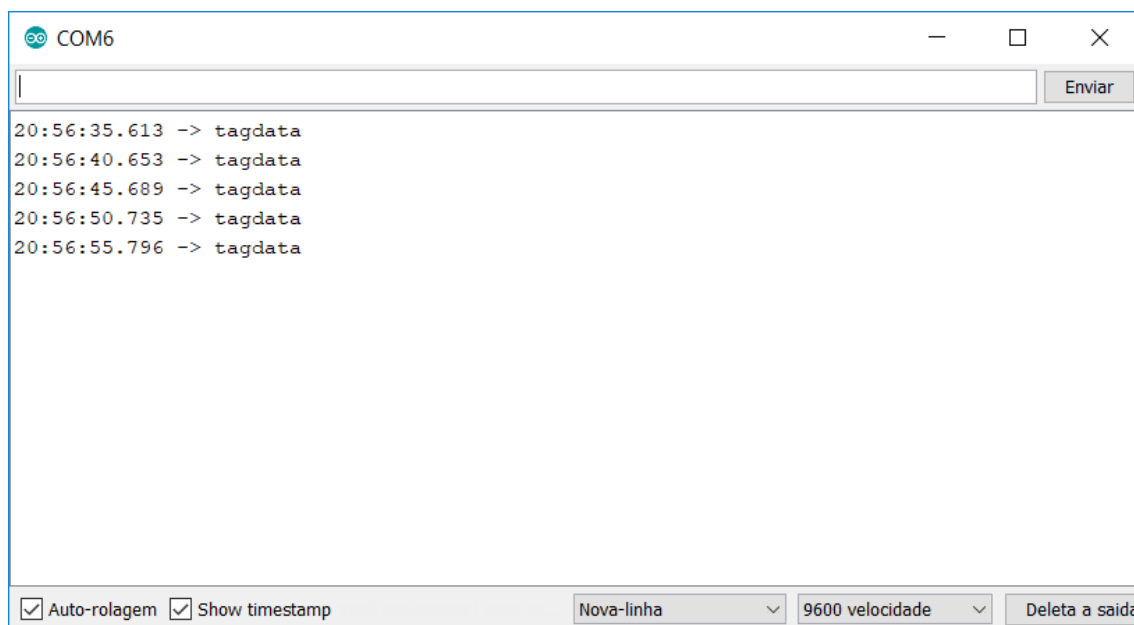


Figura 55: Recebimento de dados pelo Controlador de Esteira pela comunicação I2C.

3.3.1.3.COMUNICAÇÃO SERIAL UART ENTRE CONTROLADOR DE ESTEIRA E CONTROLADOR CENTRAL

Este teste utiliza dois códigos expostos no Apêndice C deste trabalho, de forma que ocorre a transferência de dados através de uma *string*. Assim, para evidenciar este teste foi feita o acionamento e desligamento de um *led* presente no Controlador Central, que receberá as devidas informações neste processo de comunicação.

Conforme pode-se verificar no código para Controlador de Esteira ao enviar um caractere for “a”, a informação ao chegar no Controlador Central, irá efetuar o acionamento do led. De modo, caso o caractere for “x”, ocorrerá o desligamento do led no Controlador Central. As informações “a” ou “x” são inseridas através de comunicação serial entre o Controlador de Esteira e o computador, de modo que se possa fazer o controle simples de acionamento do led, e assim comprovar a transferência de informações na Comunicação Serial. Por fim, para o processo de implementação da Célula e sua rede sugere-se que seja incluído as informações da tag, que anteriormente foram lidas e repassadas pelo Controlador NFC, na *string* que transfere informações do Controlador de Esteira para o Controlador Central.

3.4.ORÇAMENTO PREVISTO PARA A CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

A Tabela 6 apresenta os valores em Reais (R\$) e quantidade dos componentes que serão utilizados para a construção da Célula Flexível de Manufatura. O laboratório MAPL já possui as impressoras 3D disponíveis, assim para os elementos de bancada que serão construídos por este processo de manufatura aditiva, será considerado a compra apenas do filamento. Para os

demais itens foi feita a cotação através de diversos sites, já que todos os itens relacionados são de grande disponibilidade.

Tabela 6. Previsão de Investimentos para Célula Flexível de Manufatura

Item	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Mesa Bancada	1	R\$ 900,00	R\$ 900,00
Perfis em Alumínio (1m)	4	R\$ 32,00	R\$ 128,00
Filamento ABS Premium Preto Sépia	1	R\$ 123,00	R\$ 123,00
Lonas Para Esteiras Transportadoras	2	R\$ 150,00	R\$ 300,00
Motor de Passo Nema 17	4	R\$ 90,00	R\$ 360,00
Driver Motor LM298	4	R\$ 15,90	R\$ 63,60
Servo Motor	1	R\$ 36,50	R\$ 36,50
Arduino MEGA	5	R\$ 111,70	R\$ 558,50
Device NFC PN532	8	R\$ 83,90	R\$ 671,20
HC-SR04 – Sensor Ultrassônico	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00
Módulo Receptor Laser	15	R\$ 16,90	R\$ 253,50
Módulo Emissor Laser	15	R\$ 4,90	R\$ 73,50
Barra roscada (1m)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Rolamentos	6	R\$ 2,00	R\$ 12,00
Elementos de Fixação (parafusos, porcas, arruelas), tipos M2, M5, M8.	Vários	-	R\$ 100,00
	Total		R\$ 3.605,80

4. CONCLUSÃO

Este presente trabalho realizou o projeto de uma Célula Flexível de Manufatura de acordo com os requisitos levantados anteriormente durante sua idealização. Núcleos, processos, e redes foram utilizadas para conceber um sistema automatizado, flexível, e robusto suficiente para atender demandas de produção descentralizadas, e ainda com a capacidade de solucionar, através de lógica computacional, casos de concorrência.

É verificado que os processos internos da Célula Flexível de Manufatura possuem alta complexidade, vista pelo funcionamento de seus componentes, bem como na concepção lógica de sua rede que torna síncrona as ações dos Núcleos de trabalho presentes na Célula de Manufatura. Para superar as dificuldades, foi necessária a intensa pesquisa de referenciais teóricos, assim como o intenso relacionamento profissional com a equipe do MAPL, que por diversas vezes colocou sugestões essenciais para o Projeto.

Analisando os objetivos específicos propostos neste trabalho, temos que cada um foi contemplado com sucesso, pois realizou-se o desenho CAD da planta, bem como estabelecidos e planejados toda rede de componentes e locais onde a produção ocorre.

Com a construção deste projeto, a Célula será disponibilizada no laboratório, o que permite que diversos conteúdos de automação, manufatura, e redes possam utilizar o modelo proposto para abordar diversos conteúdo da Engenharia.

Por fim, analisando aos requisitos adotados para o projeto inicialmente, e os testes com os componentes de hardware propostos, podemos verificar que os núcleos de trabalho, e processos estabelecidos atingem os requisitos propostos, e assim concluímos que os objetivos propostos foram alcançados em sua plenitude.

5. PROJETOS FUTUROS

Processos de Desmontagem de Peças

É proposto para a Célula Flexível de Manufatura a implantação de processos de desmontagem, uma vez que os processos atuais da Célula apenas contemplam a devida montagem de peças A, B, e C.

Implantação da PNRD e IPNRD

A CFM permite a realização de leitura e gravação e tags RFID e ainda contempla um processo de produção descentralizado. Deste modo, é de grande enriquecimento a implantação das Redes de Petri na Célula, de modo que obtenha diversos ganhos, conforme aponta a referência bibliográfica deste tema em TAVARES et al. (2018).

Desenvolvimento do Sistema Supervisório

A Célula permite que as informações do Controlador Central sejam trafegadas para um roteador, através da rede ethernet. Deste modo, para análise de informações, bem como gerar uma interface na rede, de modo que se possa visualizar os processos em tempo real dentro de um ciclo de trabalho, sugere-se o desenvolvimento de um Sistema Supervisório que por sua vez tem como base de informação disponível pela rede Ethernet.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACURA. AcuSmart Label 1K. Disponível em: <http://www.acura.com.br/pt/produtos/etiqueta-rfid/item/acusmart-label-1k>. Acesso em 11 de junho de 2019, 14:30.

AfixGraf. RFID: Soluções para Identificação Automática de Dados. Disponível em: <http://www.afixgraf.com.br/rfid/> . Acesso em 01 de junho de 2019, 11:50.

ARDUINO E CIA. Controle de motor de passo com ponte H L298N. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/2014/08/ponte-h-l298n-motor-de-passo.html> . Acesso em 05 de junho de 2019, 16:30.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR6177:2016. Transportadores contínuos – Transportadores de correia – Terminologia. Rio de Janeiro.

AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil. 2017. Tese (Doutorado em Sistemas Eletrônicos) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.3.2017.tde-28062017-110639. Acesso em: 2019-06-21.

BARENJI, Ali Vatankhah; BARENJI, Reza Vatankhah; HASHEMIPOUR, Majid. A frameworks for structural modelling of an RFID-enabled intelligent distributed manufacturing control system. South African Journal of Industrial Engineering, v. 25, n. 2, p. 48-66, 2014.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen D. Máquinas elétricas e conversão eletromecânica de energia. New York: McGraw-Hill, 2014.

CHARRETT, Thomas OH; KISSINGER, Thomas; TATAM, Ralph P. Workpiece positioning sensor (wPOS): A three-degree-of-freedom relative end-effector positioning sensor for robotic manufacturing. Procedia CIRP, v. 79, p. 620-625, 2019.

Flexible Manufacturing System (FMS). Disponível em: <http://studiumbook.com/flexible-manufacturing-system-fms/>. Acesso em 10 de junho de 2019, 16:50.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics, v. 210, p. 15-26, 2019.

GAO, Yuan et al. A contactless measuring speed system of belt conveyor based on machine vision and machine learning. Measurement, 2019.

GROOVER, M. P. Fundamentos da Moderna Manufatura. 5 ed. São Paulo: LTC, 2017. 444 p.

GTAI GERMAN TRADE & INVEST. Smart Factory - The Future of Automated Manufacturing. Disponível em: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/invest,t=smart-factory--the-future-of-automated-manufacturing,did=626030.html> . Acesso em 11 de junho de 2019, 12:00.

JAVED, Adeel. Building Arduino Projects for the Internet of Things: Experiments with Real-World Applications. [S.l.]: Apress, 2016.

KAPITANOV, A. V. Manufacturing System Flexibility Control. *Procedia Engineering*, v. 206, p. 1470-1475, 2017.

KOVAL, L.; VAŇUŠ, J.; BILÍK, P. Distance Measuring by Ultrasonic Sensor. *IFAC-PapersOnLine*, v. 49, n. 25, p. 153-158, 2016.

MADEIRA, Daniel. Protocolo I2C – Comunicação entre Arduinos. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/i2c-comunicacao-entre-arduinos/>>. Acesso em 16 de junho de 2019, 18:50.

MARCONDES, Marcelo De Araújo. Desenvolvimento de um programa para cálculo de componentes mecânicos e estruturais para transportadores de correia. 2011. Dissertação de Mestrado – Escola de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MCGUIRE, Patrick M. *Conveyors: application, selection, and integration*. CRC Press, 2009.

MCROBERTS, Michael. *Arduino básico*. São Paulo: Novatec, 2011. 453 p.

MELCONIAN, Sarkis. *Elementos de máquinas*. São Paulo: Érica, 2000. 342p

MOTA, Allan. O que é Servomotor? Controlando um Servo com Arduino. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-servomotor>> . Acesso em 05 de junho de 2019, 16:50.

NETTO, Antonio Valerio; POLITANO, Paulo Rogério; PORTO, Arthur José V. Sistema de Comunicação de Dados em uma Célula Flexível de Manufatura. XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Rio Grande do Sul, 1997.

NHON, P. N. Q. et al. Intelligent control of rehabilitation robot: Auto tuning PID controller with interval type 2 Fuzzy for DC servomotor. *Procedia Computer Science*, v. 42, p. 183-190, 2014.

RFID INOVA CODE. AMOSTRA Beacon com SENSOR. Disponível em: <<http://rfidinovacode.com.br/produto/amostra-beacon-nacional-sensor/40340>>. Acesso em 11 de junho de 2019, 14:13.

RODRIGUES, Bernardo Henrique de Moraes. Robô Cartesiano Cnc: Projeto e construção de um robô cartesiano multifuncional. 2017. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SILVA, Carlos Eduardo Alves da. Desenvolvimento de Biblioteca para Aplicações de PNRD e PNRD Invertida Embarcadas em Arduino. 2017. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. Projeto de engenharia mecânica. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração de Produção. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703p.

SOUZA, Fábio. Arduino - Comunicação Serial. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-comunicacao-serial>>. Acesso em 16 de junho de 2019, 19:50.

TAVARES, José J. P. Z. D. S.; DA SILVA, Carlos E.; DE SOUZA, Alexandre R.; FONSECA João P. S. MONITORAMENTO DE PROCESSO DA INDÚSTRIA 4.0 ATRAVÉS DA PNRD INTEGRADA COM CPN TOOLS. In: XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018, João Pessoa, 2018.

APÊNDICE A

```

// definições do leitor
#include <Pn532NfcReader.h>
#include <PN532_HSU.h>
#include <Wire.h>
uint16_t data[] = {0, 0};
uint16_t data1[] = {0, 0};
//Rotines related with the configuration mof the RFID reader PN532
PN532_HSU pn532hsu(Serial1);
NfcAdapter nfc1 = NfcAdapter(pn532hsu);
//Creation of the reader and PNRD objects
Pn532NfcReader* reader1 = new Pn532NfcReader(&nfc1);
Pnrd pnrd1 = Pnrd(reader1,2,1, false, false);
uint32_t tagID = 0xFF;

void leituraTag();
void salva();

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  reader1->initialize();
  Wire.begin(8);          // join i2c bus with address #8
}

void loop() {
  char incomingByte = Serial.read();
  incomingByte = '1';
  if(incomingByte == '1'){ //leitura do serial é em char. 1- leitura ; 2 gravacao
    leituraTag();

  }else if(incomingByte == '2'){
    //data[0] = 1; //muda valor - valores predefinidos
    //data[1] = 2; //muda valor - valores predefinidos
    //salva();
    leituraTag();

    if ((data[0] == 1) and (data[1] == 2)){
      data[0] = 3;
      data[1] = 4;

    } else {
      data[0] = 1; //muda valor - valores predefinidos
      data[1] = 2; //muda valor - valores predefinidos
    }

    salva();
  }
}

```

```

    }
}

void leitura(){

}

void salva(){
    delay(100);
    Serial.println("Salvando");
    pnr1.setTokenVector(data);
    if(pnr1.saveData() == WriteError::NO_ERROR){
        //Serial.println("Tag configurated successfully.");
        //Serial.println("Verificando");
        //leitura();
    }else{
        Serial.println("Erro");
    }
    delay(500);          // espera por um segundo
    Serial.println("Exec Data after Writing:");
    leituraTag();
}

void leituraTag(){
    data[0] = 0;
    data[1] = 0;
    tagID = 0xFF;
    delay(100);
    pnr1.setAsTagInformation(PetriNetInformation::TOKEN_VECTOR);
    ReadError readError = pnr1.getData();
    if(readError == ReadError::NO_ERROR){
        pnr1.getTokenVector(data);
        tagID = pnr1.getTagId();
        Serial.print("TagId: ");
        Serial.println(tagID);
    } else {
        Serial.println("erro na leitura");
    }
    data1[0] = data[0];
    data1[1] = data[1];

    Serial.print("Data: ");
    Serial.print(data1[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(data1[1]);
    Wire.write("hello ");
    //Serial.println("Gustavo: End Reading!");
}

```

APÊNDICE B

```

// Wire Slave Sender
// by Nicholas Zambetti <http://www.zambetti.com>
// Demonstrates use of the Wire library
// Sends data as an I2C/TWI slave device
// Refer to the "Wire Master Reader" example for use with this
// Created 29 March 2006
// This example code is in the public domain.
// definições do leitor
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <Pn532NfcReader.h>
#include <PN532_HSU.h>
uint16_t data[] = {0, 0};
uint16_t data1[] = {0, 0};
//Rotines related with the configuration mof the RFID reader PN532
PN532_HSU pn532hsu(Serial1);
NfcAdapter nfc1 = NfcAdapter(pn532hsu);
//Creation of the reader and PNRD objects
Pn532NfcReader* reader1 = new Pn532NfcReader(&nfc1);
Pnrd pnrd1 = Pnrd(reader1,2,1, false, false);
uint32_t tagID = 0xFF;

void leituraTag();
void salva();
#include <Wire.h>
char Str1[8] = {'t', 'a', 'g', 'd', 'a', 't', 'a', '\0'};
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Wire.begin(8);
    Wire.onRequest(requestEvent);
    Serial.begin(9600);
    reader1->initialize();
}
void loop() {
    // Inicio de Loop de NFC
    char incomingByte;
    incomingByte = '1';
    if(incomingByte == '1'){ //leitura do serial é em char. 1- leitura ; 2 gravacao
        leituraTag();
    }else if(incomingByte == '2'){
        //data[0] = 1; //muda valor - valores predefinidos
        //data[1] = 2; //muda valor - valores predefinidos
        //salva();
        leituraTag();
        if ((data[0] == 1) and (data[1] == 2)){
            data[0] = 3;
        }
    }
}

```

```

        data[1] = 4;
    } else {
        data[0] = 1; //muda valor - valores predefinidos
        data[1] = 2; //muda valor - valores predefinidos
    }
    salva();
}
delay(2000);
// FIM de Loop de NFC
}

// function that executes whenever data is requested by master // this function is registered as
an event, see setup()
void requestEvent() {
    Wire.write(Str1); // respond with message of 7 bytes
    Serial.println("Envio");
    Serial.println(Str1);
    // as expected by master
}

void salva(){
    delay(100);
    Serial.println("Salvando");
    pnr1.setTokenVector(data);
    if(pnr1.saveData() == WriteError::NO_ERROR){
        //Serial.println("Tag configurated successfully.");
        // Serial.println("Verificando");
        // leitura();
    }else{
        Serial.println("Erro");
    }
    delay(500); // espera por um segundo
    Serial.println("Exec Data after Writing:");
    leituraTag();
}

void leituraTag(){
    data[0] = 0;
    data[1] = 0;
    tagID = 0xFF;
    delay(100);
    pnr1.setAsTagInformation(PetriNetInformation::TOKEN_VECTOR);
    ReadError readError = pnr1.getData();
    if(readError == ReadError::NO_ERROR){
        pnr1.getTokenVector(data);
        tagID = pnr1.getTagId();
        Serial.print("TagId: ");
        Serial.println(tagID);
    } else {
        Serial.println("erro na leitura");
    }
}

```

```

    data1[0] = data[0];
    data1[1] = data[1];

    Serial.print("Data: ");
    Serial.print(data1[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(data1[1]);
    //Serial.println("Gustavo: End Reading!");
}

```

```

// Wire Master Reader
// by Nicholas Zambetti <http://www.zambetti.com>
// Demonstrates use of the Wire library
// Reads data from an I2C/TWI slave device
// Refer to the "Wire Slave Sender" example for use with this
// Created 29 March 2006
// This example code is in the public domain.

```

```

#include <Wire.h>
#define slaveAdress 0x08
void setup() {
    Wire.begin();    // join i2c bus (address optional for master)
    Serial.begin(9600); // start serial for output
}
void loop() {
    Wire.requestFrom(slaveAdress, 7); // request 6 bytes from slave device #8
    char response;
    while (Wire.available()) { // slave may send less than requested
        response = Wire.read(); // receive a byte as character
        Serial.print(response); // print the character
    }
    delay(5000);
    Serial.println(" ");
}

```

APÊNDICE C

```
// CODIGO PARA CONTROLADOR DE ESTEIRA
// Include the Software Serial library
#include <SoftwareSerial.h>
// Define a Software Serial object and the used pins
SoftwareSerial softSerial(14, 15); // RX, TX
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  softSerial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Check for received characters from the computer
  if (Serial.available()) {
    // Write what is received to the soft serial
    softSerial.write(Serial.read());
  }
}
```

```
// CODIGO PARA CONTROLADOR CENTRAL
// Include the Software Serial library
#include <SoftwareSerial.h>
// Define a Software Serial object and the used pins
SoftwareSerial softSerial(8, 9);
// LED Pin
int LED = 13;
void setup() {
  softSerial.begin(9600);
  pinMode(LED, OUTPUT);
}
void loop() {
  // Check if there is anything in the soft Serial Buffer
  if (softSerial.available()) {
    // Read one value from the soft serial buffer and store it in the variable com
    int com = softSerial.read();
    // Act according to the value received
    if (com == 'x') {
      // Stop the LED
      digitalWrite(LED, LOW);
    }
    else if (com == 'a') {
      // Start the LED
      digitalWrite(LED, HIGH);
    }
  }
}
```