

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**BRUNO LUIZ DE PIZZOL**

**SISTEMA DE TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS INTERATIVOS NO  
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

**PORTO ALEGRE  
2019**

**BRUNO LUIZ DE PIZZOL**

**SISTEMA DE TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS INTERATIVOS NO  
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Monografia apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Tecnólogo em  
Automação Industrial na Universidade Estadual do  
Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

**PORTO ALEGRE**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**P695s Pizzol, Bruno Luiz de.**

**Sistema de transportadores autônomos interativos no contexto da indústria 4.0 / Bruno Luiz de Pizzol. – Porto Alegre, 2019.**

56 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2019.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Biblioteca da UERGS

**BRUNO LUIZ DE PIZZOL**

**SISTEMA DE TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS INTERATIVOS NO  
CONTEXTO DA INDUSTRIA 4.0**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 11 / 07 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



---

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



---

Prof. Dr. André Borin Soares  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



---

Prof. Me. Silvio Cesar Viegas  
Faculdades QI Brasil – QI

**PORTO ALEGRE**

**2019**

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.” John Ruskin.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço os meus pais Gelson, Simone e meu irmão João, pela base de vida, estrutura e por acreditarem em mim.

A minha namorada Camila pela paciência e todo apoio durante este processo.

A minha irmã Jéssica, meu cunhado Paulo e meu sobrinho Peddro por estarem sempre dispostos para me ajudar a qualquer momento.

Aos avós Bruno e Maria, Ernesto (*in memoriam*) e Dorothéa, por me ensinarem os valores da vida.

Ao orientador João por me conduzir neste trabalho, colaborando com o desenvolvimento.

## RESUMO

Ambientes de manufatura industrial têm buscado novos conceitos e tecnologias para poder atender a um mercado, que demanda produtos diversificados e volumes pequenos de fabricação. A mudança no fluxo produtivo durante a fabricação é apresentada como meio de atender o tamanho grau de customização agora exigida. Isto implica que o produto terá fluxos de processos distintos, dependendo da disponibilidade dos recursos. Se um produto será manufaturado pelos recursos A, B e C, outro produto pode ser manufaturado pelos recursos B, C e A. A interação entre máquinas e produtos garante esta flexibilidade no fluxo de processo, dentro do conceito de Indústria 4.0. Contudo, o problema que se apresenta é transportar produtos de uma máquina a outra, em um meio produtivo no qual o fluxo do processo muda a cada etapa de manufatura do produto. O uso de transportadores autônomos, interativos entre si e com o produto, garante esta flexibilidade. As premissas da indústria 4.0 no que diz respeito a flexibilidade, diversidade e auto-organização, devem ser aplicadas a todos elementos da manufatura, incluindo os transportadores, que devem atender a tais requisitos. Este método é então implementado, utilizando veículos guiados autonomamente, com eletrônica embarcada que permite a interação entre si, através de rede *wi-fi*, recebendo solicitações de transporte pelo produto, a cada etapa da sua manufatura, podendo o fluxo produtivo mudar, uma vez que os veículos transportadores podem alcançar a todos recursos produtivos da planta. Esta interação garante a flexibilidade nos transportadores, uma vez que são eles que definem a melhor trajetória a ser seguida para cada solicitação. Como resultado, tem-se um sistema produtivo em que o produto pode alterar a sequência de máquinas nas quais deverá passar, uma vez que os transportadores interativos dão conta de modificar esta rota, propiciando ambientes de manufatura industrial flexíveis tanto lógica como fisicamente, em seu leiaute. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de transportadores autônomos interativos.

**Palavras-chaves:** Transportadores autônomos. Interatividade. Flexibilidade. Auto-organização. Indústria 4.0.

## ABSTRACT

Industrial manufacturing environments have sought new concepts and technologies to meet a market that demands diversified products and small manufacturing volumes. The change in production flow during manufacturing is presented as a means to meet the size of customization required now. This implies that the product will have distinct process flows, depending on the availability of resources. If a product is to be manufactured by resources A, B and C, another product can be manufactured by resources B, C and A. The interaction between machines and products ensures this flexibility in the process flow, within the concept of Industry 4.0. However, the problem is to transport products from one machine to another in a productive environment in which the process flow changes at every stage of the product's manufacture. The use of autonomous conveyors interacting with each other and with the product guarantees this flexibility. Industry assumptions 4.0 regarding flexibility, diversity and self-organization should be applied to all elements of manufacturing, including conveyors, which must meet such requirements. This method is then implemented, using autonomously guided vehicles, with embedded electronics that allows the interaction between them, through wi-fi network, receiving transport requests for the product, at each stage of its manufacture, and the productive flow can change, once transport vehicles can reach all productive resources of the plant. This interaction guarantees flexibility in the conveyors, since they are the ones that define the best trajectory to be followed for each request. As a result, there is a production system in which the product can change the sequence of machines in which it must pass, once the interactive transporters realize to modify this route, providing industrial manufacturing environments flexible both physically and logically, in its layout. This work presents the development of interactive autonomous transporters.

**Keywords:** Autonomous conveyors. Interactivity. Flexibility self-organization. Industry 4.0.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração do problema a ser investigado.....	16
Figura 2 - Esboço do sistema.....	17
Figura 3 - Os quatros estágios da revolução industrial. ....	19
Figura 4 - Exemplo de um FMS.....	20
Figura 5 - Veículo guiado autonomamente.....	22
Figura 6 - Veículo utilizado equipado com laser 2D, telêmetro e sistema de GPS diferencial.....	23
Figura 7 - Módulo <i>wi-fi</i> ESP8266.....	24
Figura 8 - Esteira transportadora com sistema multiagentes. ....	26
Figura 9 - Pequena empilhadeira robótica.....	27
Figura 10 - Representação da posição do veículo. ....	29
Figura 11 - Fluxo do método aplicado. ....	31
Figura 12 - Diagrama ilustrativo do projeto.....	32
Figura 13 - Pista utilizada no projeto. ....	33
Figura 14 - Código da intersecção ....	34
Figura 15 - Microcontrolador ESP 12F e Multiplexador cd74hc4067. ....	35
Figura 16 - Ponte H I298n e Conversor de nível lógico. ....	36
Figura 17 - Placa mãe do transportador.....	37
Figura 18 - Sensores de trajetória e de código.....	38
Figura 19 - Montagem final do transportador. ....	39
Figura 20 - AGV vista inferior. ....	40
Figura 21 - Posição 0 do sensoriamento do AGV. ....	41
Figura 22 - Possibilidades de posições dos sensores de trajetória.....	42
Figura 23 - Medidas do código de intersecção (medidas em milímetros).....	43
Figura 24 - Ponto de acesso. ....	45
Figura 25 - Tela para interação do homem com a máquina.....	46
Figura 26 - Sistema dos transportadores em funcionamento.....	47
Figura 27 - Teste de transporte 1.....	53
Figura 28 - Teste de transporte 2.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Entrada selecionada a partir das combinações.....	35
Tabela 2 - Distribuição de entradas e saídas. ....	37
Tabela 3 - Valores das posições dos sensores. ....	42
Tabela 4 - Relação dos estados dos sensores para cada código de intersecção .....	44
Tabela 5 - Relação de código com ação gerada. ....	45
Tabela 6 - Resultados experimentais na comparação entre transportadores por esteiras e AGVs interativos. ....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIN	<i>Automation and Control Institute</i> (Instituto de Automação e Controle).
AGV	<i>Automated guided vehicle</i> (veículo guiado automaticamente).
AP	<i>Acess point</i> (Ponto de acesso).
DIAL	<i>Distributed Information and Automation Laboratory</i> (Laboratório de Informação Distribuída e Automação).
EKF	<i>Extended kalman filter</i> (Filtro Estendido de Kalman).
ESP	<i>Electronic stability program</i> (Programa eletrônico de estabilidade).
GND	<i>Ground</i> (Terra).
GPS	<i>Global positioning system</i> (Sistema de posicionamento global).
H	Horas.
HTML	<i>Hypertext markup language</i> (Linguagem de marcação de hipertexto).
IDE	<i>Integrated development environment</i> (Ambiente de desenvolvimento integrado).
IHM	Interface homem-máquina.
IP	<i>Internet protocol</i> (Protocolo de internet).
LED	<i>Light emitting diode</i> (Diodo emissor de luz).
MAST	<i>MultiAgent Systems Tool</i> (Ferramenta de sistemas multiagente).
PWM	<i>Pulse width modulation</i> (Modulação de largura de pulso).
RGB	<i>Red, green and blue</i> (Vermelho, verde e azul).
SFM	Sistema flexível de manufatura.
SLAM	<i>Simultaneous localization and mapping</i> (Localização e Mapeamento Simultâneos).
SMA	Sistema multiagentes.
SMF	Sistema de manufatura flexível.
UDP	<i>User datagram protocol</i> (Protocolo de datagrama do usuário).
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.
USB	<i>Universal serial bus</i> (Porta universal).
VCC	Tensão corrente contínua.
WI-FI	<i>Wireless fidelity</i> .

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	PROBLEMÁTICA .....	15
1.2	HIPÓTESE .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1.1	Indústria 4.0.....	18
2.1.2	Sistema flexível de manufatura (SFM) .....	19
2.1.3	Veículos autônomos na indústria.....	21
2.1.4	Sistemas de localização e mapeamento .....	23
2.1.5	Internet das coisas com ESP8266 NODEMCU, ESP-12F.....	24
2.2	PESQUISAS RELACIONADAS .....	25
2.2.1	Capacidades de reconfiguração dinâmica de sistemas de controle industrial baseados em multiagentes .....	25
2.2.2	Sistema de localização para AGVs em ambientes semelhantes a armazéns inteligentes .....	26
2.2.3	Mapeamento e localização simultânea de ambientes dinâmicos aplicados na navegação de veículo autônomo inteligente. ....	28
2.2.4	<b>Sistema multiagente para controle de veículos autônomos</b> .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
4.1	moNTAGEM DOS TRANSPORTADORES .....	39
4.2	SISTEMA DE CONTROLE PARA TRAJETÓRIA.....	40
4.3	SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO .....	43
4.4	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	45
<b>5</b>	<b>ANÁLISE</b> .....	<b>48</b>
5.1	ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE TRANSPORTADORES no processo de manufatura de fluxos produtivos dinâmicos .....	48
5.2	Teste da implementação dos AGVs no processo de manufatura de fluxos produtivos dinâmicos .....	52
5.2.1	Teste 1 .....	52

5.2.2 Teste 2 .....	53
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os requisitos de manufatura industrial apontam uma necessidade de reconfiguração e reprogramação do fluxo de processo, a fim de atender a modificações no produto com as mudanças dos requisitos de mercado (MENDES *et al.*, 2008). Ainda de acordo com os autores, estas mudanças implicam em alterações no processo de fabricação, o que, em muitos casos, significa alterar o leiaute, alterando o fluxo de processo pelo qual o produto a ser manufaturado deve seguir (MENDES *et al.*, 2008).

Tendo por base essa necessidade de revolucionar os meios produtivos é que surgiu a Indústria 4.0, intitulada também como a 4ª Revolução Industrial. Essa revolução permite que os mundos virtuais e físicos se fundam ao redor da planta operacional, através de conexão digital, formando assim uma cadeia de valor integrada (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). Partindo dessa premissa, “o planejamento de recursos e fluxo produtivo necessitam serem constantemente alterados no sistema produtivo, a fim de atender as variações de produtos que são demandados pelo mercado” (PEIXOTO; PEREIRA, 2018, p. 527).

A alta competitividade e a demanda por eficiência proporcionam alterações no sistema de manufatura, o que exige uma maior flexibilização sob diversos aspectos, tais como o volume de produtos produzidos e o tipo de produto (SILVA, 2006). Com base nessa necessidade é que o Sistema Flexível de Manufatura (*Flexible Manufacturing System* - FMS) “vem sendo apresentado como uma opção de tecnologia na automação dos processos condizente com as características de produção de significativa parcela do mercado” (MAGGIO, 2005, p. 2), uma vez que este tem como função o auxílio na recuperação da competitividade, através de melhorias tanto na produtividade quanto na qualidade dos produtos (REZAIE; OSTADI, 2017).

Um dos fatores que tem aumentado a flexibilização do processo fabril é a utilização de robótica móvel, por meio dos Veículos Guiados Autonomamente (*Automated Guided Vehicle* - AGVs), que possuem facilidade de integração com demais sistemas de automação da indústria (ROCHA, 2010). De acordo com Galdames (2011), os AGVs são transportadores projetados para auxiliar a indústria a alcançar o máximo de produtividade com uma quantidade mínima de custos. Além

disso, com os avanços tecnológicos e a redução no custo na área de eletrônica os AGVs passaram a armazenar instruções, nas quais são traçadas rotas em conjunto com o mapa do ambiente, que servem para a tomada de decisão (BARBERA; PEREZ, 2010).

Com a correta definição do posicionamento dos obstáculos, o robô AGV pode ser capaz de montar um mapa e determinar sua posição dentro deste ambiente (VILAS BOAS, 2011), o que permite que a rota seja definida e que a navegação oriunda desta seja realizada de forma autônoma. A navegação consiste em um conjunto de comportamentos que demonstram as iniciativas que devem ser tomadas para que se alcance um objetivo final (SANTOS, 2017). Ainda de acordo com o mesmo autor, “definida a trajetória, um ou mais robôs poderão usar essas ações e comportamentos para alcançar o destino” (SANTOS, 2017, p.23).

Essa comunicação se dá através da internet das coisas (*Internet of Things – IoT*), que tem se destacado no cenário moderno das telecomunicações sem fio, uma vez utiliza como ideia principal a presença difundida ao redor dos indivíduos, por meio de diferentes objetos (AZEVEDO, 2017). A combinação de todos esses fatores origina a problemática desta pesquisa, conforme pode ser evidenciado na seção abaixo.

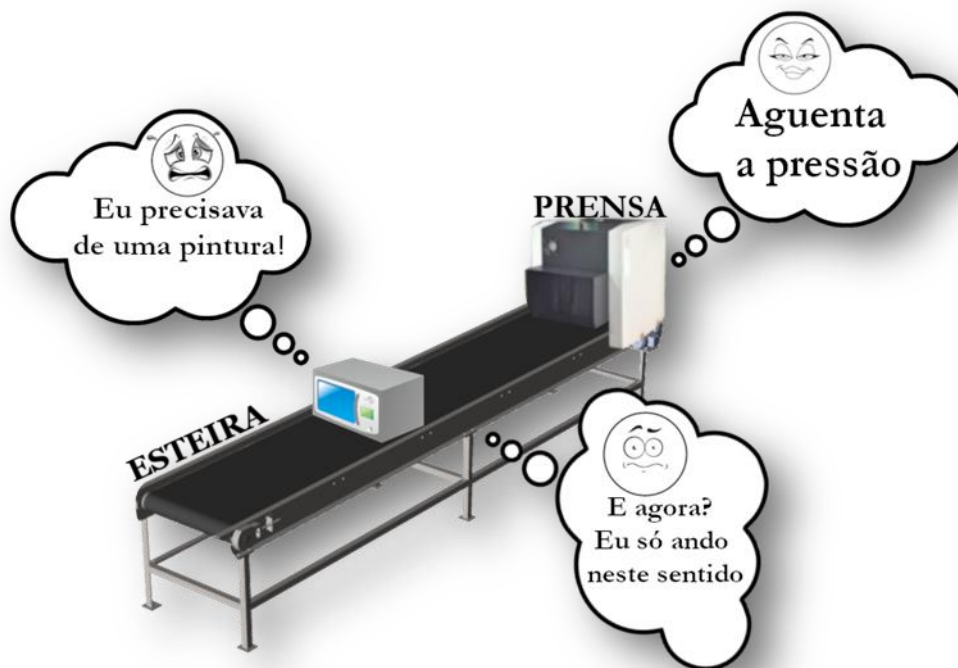
## 1.1 PROBLEMÁTICA

Num ambiente cada vez mais integrado no qual a complexidade a variabilidade e o volume de produção estão em constante mudança, tem-se a necessidade de uma maior coordenação de uma logística interna de produção com os recursos da manufatura. A logística interna de produção é um segmento da indústria automatizada, que é responsável por gerir e controlar a mão-de-obra, bem como os recursos e informações referentes ao processo fabril. Tal fato leva as empresas de manufatura voltarem seus esforços na eliminação de desperdício e de atividades que não acrescentem valor ao produto final (ROCHA, 2010).

Visando corroborar com a necessidade acima, o presente estudo envolve o problema de transportar peças entre máquinas em um sistema de manufatura de fluxo produtivo dinâmico, ou seja, sistema fabril que sofre alterações durante os processos de fabricação. A necessidade de demanda de produtos customizados,

requer um sistema de manufatura que possa se auto-organizar. A Figura 1, observada a seguir, faz uma ilustração do problema.

Figura 1 - Ilustração do problema a ser investigado.



Fonte: Autor (2019).

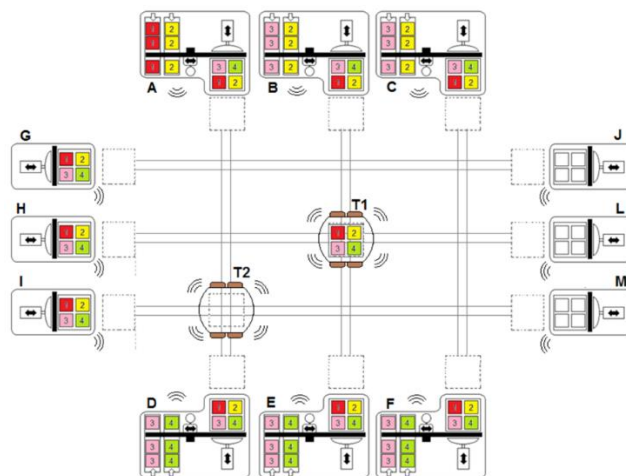
Neste esboço fica evidente que um fluxo de processos não consegue a flexibilidade necessária se o transportador não for tão flexível quanto.

## 1.2 HIPÓTESE

Se apresenta como solução do problema, o uso de transportadores que sejam autônomos com grau de interação, capazes de terem seus serviços solicitados por terceiros, atendendo à necessidade de auto-organização em um sistema de manufatura, se apresenta como solução. A Figura 2 mostra um esboço do sistema proposto.



Figura 2 - Esboço do sistema.



Fonte: Autor (2019).

Nesta figura se percebe dois transportadores, T1 e T2, que compartilham as mesmas rotas para atingir os recursos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, L e M, permitindo que o produto a ser manufaturado possa ser transportado os recursos, com alto grau de flexibilidade. Agregado a proposta de interação entre os AGVs para que ao compartilharem rotas não haja colisão.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar se um sistema de transportadores autônomos interativos pode atender a demanda de transporte em um sistema de fabricação diferenciado, que não seja de produção em linha. Para alcançar o objetivo geral, o trabalho foi segregado nos seguintes objetivos específicos:

- a) Montagem dos transportadores;
- b) Montagem da pista;
- c) Teste do sistema de transporte.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Alguns tópicos devem ser levados em consideração para o melhor entendimento do trabalho. Estes tópicos estão melhores descritos nesta seção e estão divididos entre fundamentação teórica, que traz o conjunto de conhecimentos prévios necessários ao entendimento dos conceitos abordados, e pesquisas relacionadas, que traz os trabalhos já realizados pela comunidade científica com abordagem similar.

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta sessão visa dar o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do projeto, esclarecendo os principais conceitos. Está dividida entre os seguintes itens: indústria 4.0, sistema flexível de manufatura, veículos autônomos na indústria, sistemas de localização e mapeamento e internet das coisas com ESP8266 NodeMCU ESP-12F.

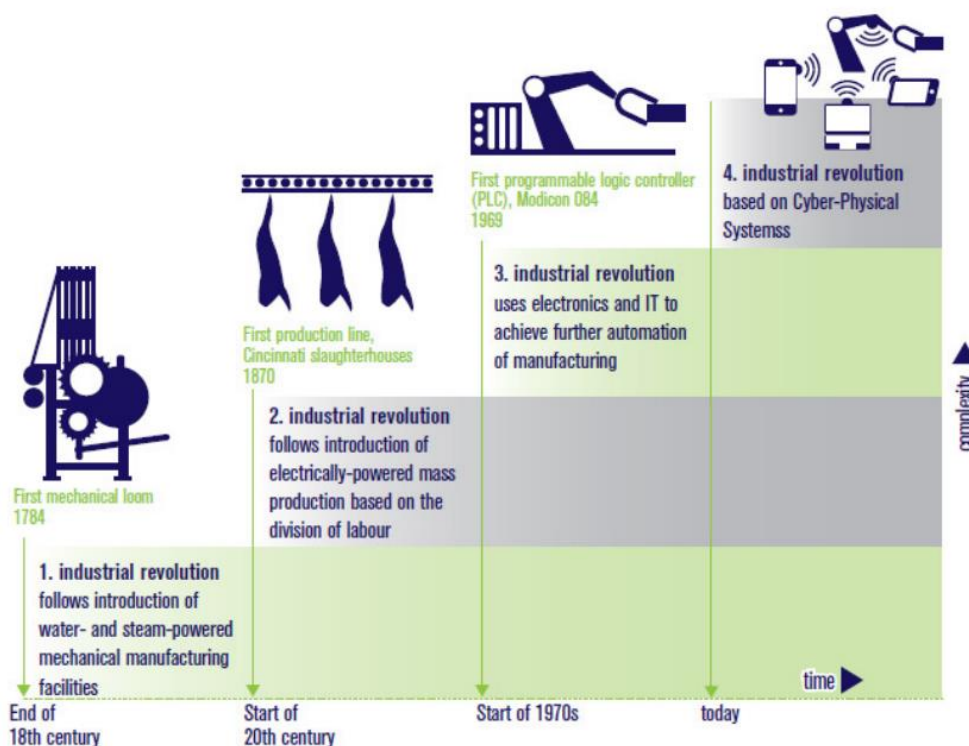
#### 2.1.1 Indústria 4.0

De acordo com Kagermann *et al.* (2013) a Indústria 4.0 é uma iniciativa que foi estabelecida pelo governo Alemão em 2012 para manter a competitividade em indústrias manufatureiras.

Esta nova revolução é caracterizada pelo uso intensivo de tecnologias digitais com o intuito de fabricar novos produtos de forma rápida, com uma ágil resposta à demanda e otimização em tempo real da produção e da cadeia de suprimentos” (AZEVEDO, 2017, p.20).

No futuro as empresas estabelecerão conexões globais que incorporarão os maquinários, bem como sistemas de armazenamento e instalações de produção. Esses sistemas “compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionando ações e controlando umas às outras de forma independente” (Kagermann *et al.* 2013, p. 5). A Figura 3 resume os 4 estágios da revolução industrial.

Figura 3 - Os quatro estágios da revolução industrial.



Fonte: Kagermann *et al.* (2013).

A Indústria 4.0 “é marcada pelo conjunto de mudanças nos processos de manufatura, design, produto, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto” (PEIXOTO; PEREIRA, 2018). De acordo com Schwab (2016), a nova revolução tem como característica o uso intenso de tecnologias digitais, que visam uma maior flexibilidade na cadeia de produção, através da fabricação de novos produtos de forma rápida, com uma resposta ágil às demandas e com maior otimização do tempo. Tendo em vista a necessidade de flexibilização das linhas de produção buscou-se a criação de um novo sistema de manufatura, que são os sistemas flexíveis de manufatura, tópico que será abordado na próxima seção.

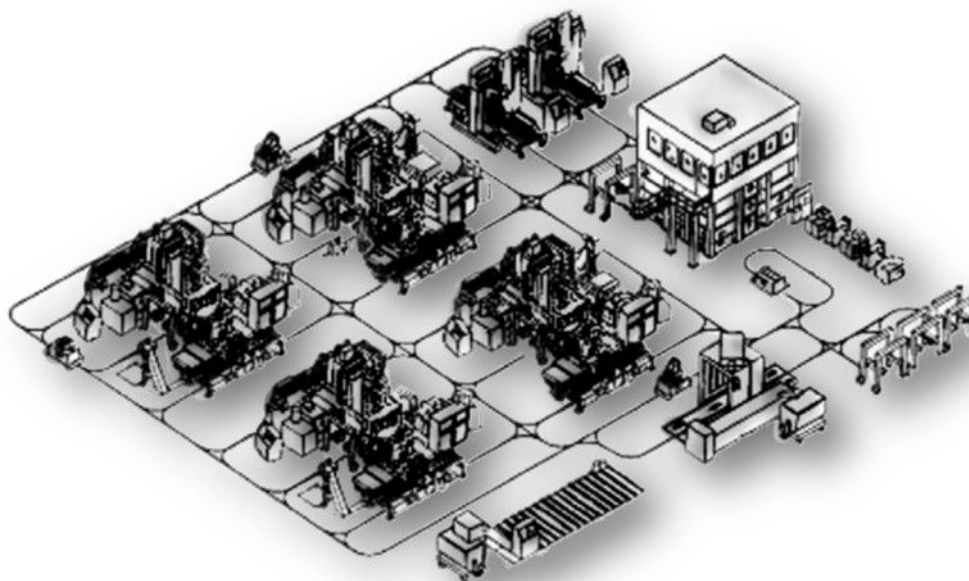
### 2.1.2 Sistema flexível de manufatura (SFM)

Segundo Peixoto (2016), linhas de produção com processos idênticos e

grandes lotes de produção já foram amplamente utilizados. Ainda de acordo com o autor, a demanda por personalização de produtos vai de encontro com a padronização e a produção em massa que deverão ser extintas, uma vez que são incapazes de dar conta da dinâmica necessária para aceitar os desafios modernos. O que permite que empresas de manufatura possam operar em ambientes instáveis é a dimensão denominada flexibilidade (MANCIO; SELITTO, 2017).

Um sistema flexível de manufatura, visto na Figura 4, é um tipo de sistema de manufatura integrada por computador que consiste em um grupo de estações de processamento em que há um sistema de transporte de material e armazenagem local temporária. O sistema de controle é distribuído em computadores dedicados às estações, e tudo, incluindo o tratamento de material, é coordenado por uma estação central de controle (MAGGIO, 2005).

Figura 4 - Exemplo de um FMS.



Fonte: Maggio (2005).

Conforme Rezaie e Ostadi (2007) um sistema de manufatura flexível tem como função o auxílio na recuperação da competitividade por meio de melhorias tanto na produtividade quanto da qualidade dos produtos. Ainda de acordo com os autores, o SFM também “pode contribuir para obter uma vantagem competitiva ao reduzir a vulnerabilidade devido a variações na demanda, variações do portfólio de

produtos e melhorias tecnológicas na produção” (REZAIE, OSTADI, 2007, p.720, tradução nossa). Tal fato corrobora com o exposto por Maggio (2005), que cita que o uso de SFM traz como vantagens a obtenção de alto grau de variedade do produto desejado e um grande nível de volume de produção.

Segundo Groover (2001), o conceito de automação flexível é aplicável a uma variedade de operações de fabricação, uma vez que é altamente automatizado e inclui diversas tecnologias, como por exemplo: unidades de armazenamento de peças, robôs de carregamento de peças e centros de torneamento com Comando Numérico Computadorizado (CNC). A necessidade de uma produção mais ágil e de qualidade por um menor custo cria uma demanda pela flexibilização dos processos, o que leva a uma maior utilização de veículos guiados automaticamente (AGVs) pelo ambiente industrial (ROCHA, 2010), visto que estes atendem à demanda solicitada. Os AGVs serão abordados na próxima seção.

### **2.1.3 Veículos autônomos na indústria**

Na literatura científica tem-se que “sistemas avançados de manufatura automatizada são amplamente utilizados em empresas industriais quando os objetivos de produtividade precisam ser alcançados” (FAZLOLLAHTABAR; ZANDIEH, 2010, p.1, tradução nossa). De acordo com Galdames (2011), os “AGVs (*Automated Guided Vehicle*) são transportadores robóticos projetados para ajudar a indústria a alcançar alta produtividade com um mínimo de custo”, uma vez que estes reduzem os custos incorridos durante a fabricação e aumentam a eficiência de um sistema de manufatura (FAZLOLLAHTABAR, MAHDAVI-AMIRI, 2010).

De acordo com Barbera *et al.* (2003) os AGVs ficaram mais inteligentes devido ao avanço da tecnologia e dos menores custos em microeletrônica e microcomputadores, isto permitiu o armazenamento de instruções sobre rotas e a tomada de decisões. Corroborando com o mencionado anteriormente, tem-se que a capacidade de incorporar autonomia, as operações de alta velocidade, a confiabilidade e a precisão transformam a robótica móvel em uma alternativa atraente quando comparada aos processos manuais tradicionais com situações altamente repetitivas ou de difícil manuseio pelos seres humanos (VIVALDINI,

2010). Um exemplo de AGV industrial está na Figura 5, a seguir.

Figura 5 - Veículo guiado autonomamente.



Fonte: Vivaldini (2010).

Em relação ao um AGV, pode-se dizer que “o sistema utilizado num veículo guiado automaticamente é um sistema manipulador de material que trabalha independentemente, autopropulsado, guiado através de rotas ou caminhos definidos” (CANO, 2006, p.26). Através de um conjunto de sensores, sistemas de controle e atuadores, é possível determinar as melhores opções de rotas e executar estas ações de forma mais segura e confiável (BRANISSO, 2014). Com base nisso, “um AGV pode ter quantas rotas for necessário, basta que cada uma tenha um circuito que emita sinais diferentes de frequência e programá-lo de forma lógica” (SOUZA, ROYER, 2013, p. 9).

De acordo com Vivaldini (2010), um problema chave na logística dos armazéns é a geração de rotas que sejam eficientes, ao passo que a produtividade depende da estratégia de roteamento que é adotada. Tendo em vista tal fato, na seção seguinte, será abordado os sistemas de localização e de mapeamento que são utilizados para o traço das rotas.

### 2.1.4 Sistemas de localização e mapeamento

A navegação autônoma é uma habilidade fundamental para os robôs móveis, independentemente de seu tipo. A navegação tem como desafio a implementação de uma lógica de autonomia robusta e eficaz, uma vez que requer a integração de uma variedade de processos (SEGUNDO, 2017). De acordo com Santana (2011), o principal problema para tornar uma navegação autônoma é efetuar os procedimentos necessários para fazer com que um sistema robótico saia de sua configuração inicial e consiga alcançar uma configuração final percorrendo o caminho que foi planejado, desviando os obstáculos e obedecendo a restrição temporal que foi imposta para que fosse possível o cumprimento da tarefa.

Tarefas de alto nível como planejamento de trajetória, navegação e exploração dependem de um sistema de autolocalização eficiente e preciso (EINSELE, 1997). A tarefa de localização na robótica é basicamente o problema de encontrar as coordenadas e a orientação do robô com relação ao ambiente assumindo que é fornecido um mapa do ambiente (THRUN; BURGARD; FOX, 2005). O veículo utilizado para implementação do sistema está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Veículo utilizado equipado com laser 2D, telêmetro e sistema de GPS diferencial.



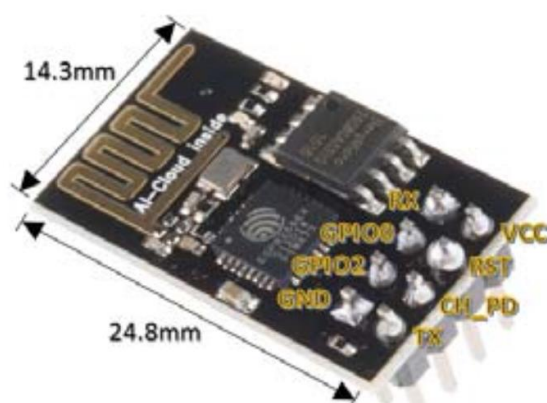
Fonte: Thrun, Burgard e Fox (2005).

Com a correta definição do posicionamento dos obstáculos, o robô pode ser capaz de montar um mapa e determinar sua posição dentro deste ambiente. Como tanto a definição da trajetória como a localização dos obstáculos ou marcações são realizados em tempo real (sem a necessidade de nenhum conhecimento prévio), o SLAM é o primeiro passo em busca da autonomia completa, principalmente se a aplicação for de veículos autônomos não tripulados (VILAS BOAS, 2011), sendo sua principal vantagem a eliminação da “necessidade de infraestruturas artificiais ou um conhecimento topológico a priori do ambiente” (DISSANAYAKE *et al.*, 2001, p. 229, tradução do autor).

### 2.1.5 Internet das coisas com ESP8266 NODEMCU, ESP-12F

Nos últimos anos, o conceito da internet das coisas ganhou um imenso impulso no mundo tecnológico atual, uma vez que ela conecta dispositivos de maneira eficiente, o que melhora a qualidade de vida em vários aspectos. Um dos dispositivos mais utilizados para a aplicação de tal conceito é o módulo transceptor serial *wi-fi* ESP8266 (ROSLI *et al.*, 2018), visto na Figura 7. De acordo com Hunt (2010), Tesla em 1926, disse que “quando a tecnologia sem fio for perfeitamente aplicável, a Terra inteira será convertida em um imenso cérebro, o que de fato é, com todas as coisas sendo partículas de um todo real e rítmico”.

Figura 7 - Módulo *wi-fi* ESP8266.



Fonte: Rosli (2018).

Segundo Azevedo (2017), o termo internet das coisas vem se destacando no



cenário moderno das telecomunicações sem fio, uma vez que este tem como ideia principal a presença difundida ao redor dos indivíduos através de uma grande variedade de coisas ou objetos, como por exemplo sensores, *tags*, atuadores, dentre outros. Para Barai *et al.* (2017) o uso de redes sem fio faz parte de cada vida humana, uma vez que em todos os lugares as pessoas usam *wi-fi*, devido a sua confiabilidade e baixo custo.

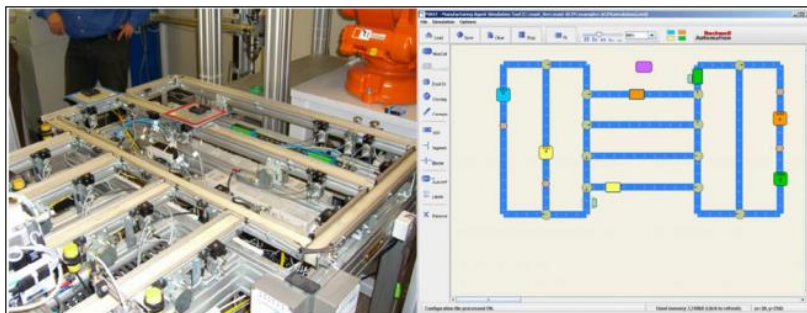
## 2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Muitos artigos científicos abordam a utilização de AGVs como forma de flexibilização dos processos de linhas de produção. Vrba e Marik (2010) e Branisso (2014) utilizam-se de sistemas multiagente para controle dos AGVs. Já alguns dos autores que contribuíram com a temática de mapeamento e localização de AGVs foram Galdames (2011) e Vilas Boas (2011). Na sequência é relatado o conjunto de trabalhos relacionados, a fim de dar visibilidade ao assunto que está sendo estudado.

### **2.2.1 Capacidades de reconfiguração dinâmica de sistemas de controle industrial baseados em multiagentes**

Este estudo propõe o uso de sistemas multiagentes em sistemas de transportes de materiais, onde agentes se integram modularmente e compõe rotas, sendo que cada rota possui um custo atribuído. O sistema de controle se vale das funcionalidades dos agentes para determinar a rota mais econômica. Os agentes desta rota se agrupam para formar este caminho e executar o translado. A Figura 8 apresenta o modelo implementado no estudo.

Figura 8 - Esteira transportadora com sistema multiagentes.



Fonte: Vrba e Marik (2010).

A solução proposta foi implementada no MAST e validada em dois diferentes cenários da vida real, a simulação da célula de empacotamento do DIAL e o controle físico do sistema de transferência de paleta do ACIN. O cenário de teste foi a montagem de três tipos diferentes de produtos (simples, médio e complexo), que diferem no tipo e número de operações da máquina necessárias para montar o produto final. Um total de 52 casos de teste, cada um contendo 7.200 pedidos de clientes gerados aleatoriamente processados em um turno simulado de 24 horas. Um dos objetivos era avaliar a influência do sistema de transporte na eficiência geral da produção, medida como o número de produtos acabados em um turno. Várias condições do sistema de transporte foram emuladas, como diferentes números de paletas usadas para transportar produtos e diferentes condições de falha do transportador, exigindo a seleção de caminhos redundantes. Concluiu-se que, devido à capacidade de reconfigurar o *layout* do sistema, a arquitetura multiagente supera os sistemas convencionais, produzindo 11,8% para uma duração de falha de 2,5h e 46,6% dos produtos para uma duração da falha de 5h (VRBA; MARIK, 2010).

### **2.2.2 Sistema de localização para AGVs em ambientes semelhantes a armazéns inteligentes**

A necessidade de maior flexibilidade nas industriais e serviços forçou um aumento no volume das operações internas de carga de descarga, devido a maior diversidade dos objetos transportados atualmente. Logo, na busca por um fluxo de materiais mais eficiente, as empresas passaram a investir em soluções tecnológicas,

entre elas, o uso de veículos autônomos, por conta do custo mais atrativo e do avanço em relação aos primeiros AGVs utilizados, que até então dependiam de uma infraestrutura adicional para suportar a navegação.

Muitos AGVs modernos possuem movimentação livre e são orientados por sistemas que utilizam sensores para interpretar o ambiente. Sendo assim, tornar os AGVs autônomos despertou o interesse de pesquisadores na área de robótica móvel para o desenvolvimento de sistemas capazes de auxiliar e coordenar a navegação. Novas técnicas de localização, tal como a localização baseada em marcadores reflexivos e a construção de armazéns com leiautes estruturados especialmente para a navegação, viabilizaram o uso de AGVs autônomos. Entretanto sua utilização em armazéns existentes ainda é um desafio. A Figura 9 apresenta o sistema de localização implantado em uma pequena empilhadeira operando em um ambiente real.

Figura 9 - Pequena empilhadeira robótica.



Fonte: Galdames (2011).

Os objetivos deste trabalho são cálculo das rotas, gerenciamento das baterias, navegação e autolocalização. Robôs autônomos precisam de um sistema de autolocalização eficiente e preciso para navegar com segurança, o qual depende de um mapa e da interpretação do ambiente utilizando sensores embarcados. Para

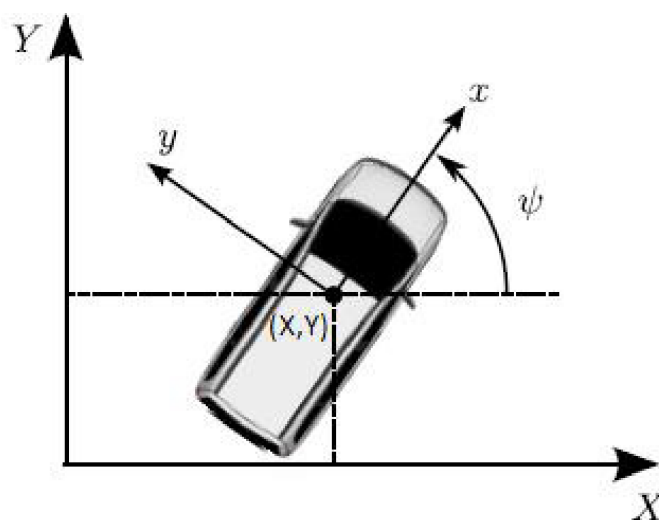
alcançar esse objetivo este trabalho propõe um sistema de autolocalização baseado no filtro de Kalman estendido, *Extended Kalman Filter* (EKF), como solução.

O sistema, com *software* desenvolvido em linguagem C, interage com outros dois sistemas de roteamento e navegação e posteriormente foi implementado em um armazém simulado, utilizando o *software Player/Stage*, fornecendo uma estimativa de localização baseada em odometria e *landmarks* com localização conhecida. Os resultados mostraram que as vantagens oferecidas pelas características padronizadas de um ambiente *indoor*, semelhante a um armazém, podem viabilizar o uso do sistema de autolocalização em armazéns existentes (GALDAMES, 2011).

### **2.2.3 Mapeamento e localização simultânea de ambientes dinâmicos aplicados na navegação de veículo autônomo inteligente.**

Para resolver o problema de localização melhor descrito, este trabalho apresenta um algoritmo de mapeamento e localização simultâneas (SLAM), onde o algoritmo proposto procura eliminar esses erros resolvendo ambos os problemas simultaneamente, utilizando as informações de uma etapa para aumentar a precisão dos resultados alcançados na outra e vice-versa (VILAS BOAS, 2011). Para tal, é utilizado um mapa métrico para representar o ambiente em que o veículo está inserido. Este mapa é construído de forma incremental utilizando a teoria de Bayes e a estimação da posição do veículo é realizada por um Filtro  $\alpha$  (alfa)  $\beta$  (beta), a Figura 10 demonstra a representação da posição do veículo.

Figura 10 - Representação da posição do veículo.



Fonte: Vilas Boas (2011).

A posição do veículo é corrigida por um método de sobreposição de obstáculo. Como metodologia, foi utilizado em um veículo autônomo inteligente (VILAS BOAS, 2011).

#### 2.2.4 Sistema multiagente para controle de veículos autônomos

As pesquisas em veículos autônomos são originadas de dois campos distintos de pesquisa: os sistemas inteligentes de transportes e a robótica móvel. Os AGVs possuem diversas aplicações em setores industriais e comerciais, sendo algumas delas: transporte de materiais e transporte de mercadorias em um centro logístico. Através de um conjunto de sensores, sistemas de controle e atuadores, é possível determinar as melhores opções de rotas e executar estas ações de forma mais segura e confiável.

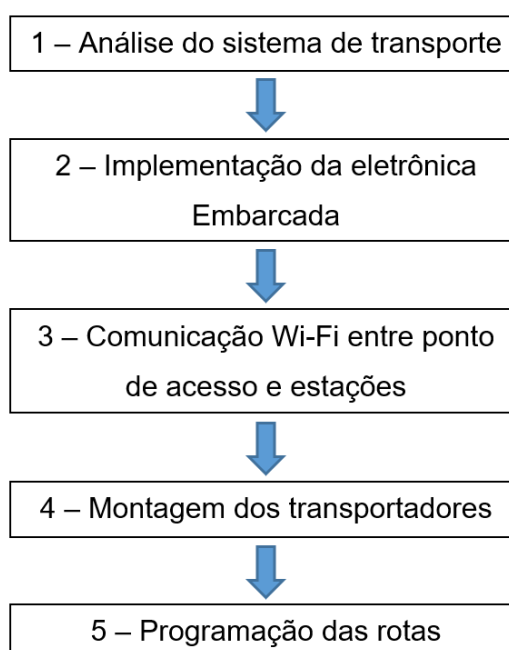
Um dos problemas a ser resolvido quando se trabalha com frota de veículos é a questão de distribuição de tarefas, o que um veículo irá transportar e quando. O sistema proposto possui três tipos de agentes: agente de veículo, agente de ponto de carga e agente de ponto de armazenamento. Os agentes interagem entre si, trocando mensagens a fim de realizar o transporte dos materiais no depósito de forma eficiente. O sistema é implementado na forma de uma simulação de operação

em um depósito, construída na plataforma de simulação de sistemas multiagentes, chamada MASON (BRANISSO, 2014).

### 3 METODOLOGIA

O método utilizado no projeto prevê o uso de um processo de análise dos transportadores e suas funcionalidades para definir a estrutura dos veículos, o formato da pista e a técnica de localização, cujo próximo passo é montar os circuitos de eletrônica embarcada para que seja integrada aos veículos como forma de estações e para integrar o ponto de acesso. O passo seguinte é implementar a comunicação *wi-fi* entre o ponto de acesso e as estações, que será a forma de interação entre os AGVs. Feito isso, dá-se início a etapa de montagem dos transportadores, que serão montados em um chassi de acrílico onde será embarcada a eletrônica montada anteriormente, e, por fim, será realizada a programação das rotas. A Figura 11 mostra o fluxo do método que será aplicado no projeto.

Figura 11 - Fluxo do método aplicado.



Fonte: Autor (2019).

A pesquisa acontece dentro de um universo industrial, no qual se busca dinamismo no transporte de peças ou produtos entre máquinas, provendo um sistema de manufatura flexível. Deste modo, a pesquisa tem uma abrangência qualitativa, visto que o objetivo geral do trabalho se propõe a verificar se um sistema

de transportadores autônomos interativos pode atender a demanda de transporte em um sistema de fabricação diferenciado.

A simulação da planta de manufatura industrial se dá sobre uma plataforma elaborada em MDF, de cor branca, que significará o chão da fábrica. As trajetórias serão confeccionadas com fita adesiva do tipo isolante na cor preta com 18mm de largura. Conforme a solicitação de rota os veículos devem se deslocar de máquina em máquina, provendo uma sequência de manufatura dinâmica, através de uma malha de controle clássico, os veículos devem ser guiados pela fita guia monitorando o percurso com sensores infravermelho, acoplados na parte frontal inferior dos transportadores, e os sensores de código, também acoplados no transportador, serão responsáveis por detectar o código da posição do veículo nas intersecções.

A interatividade entre os transportadores acontece através de um sinal *wi-fi* emitido pelo ponto de acesso, que também faz o gerenciamento da posição através dos códigos recebidos das estações conectadas, e responde com um código de ação que será interpretado pelo veículo, ou seja, os transportadores não trocam informações diretamente um com o outro. O método de implementação do protótipo funcional pode ser visto na Figura 12, a seguir.

Figura 12 - Diagrama ilustrativo do projeto.



Fonte: Autor (2019).

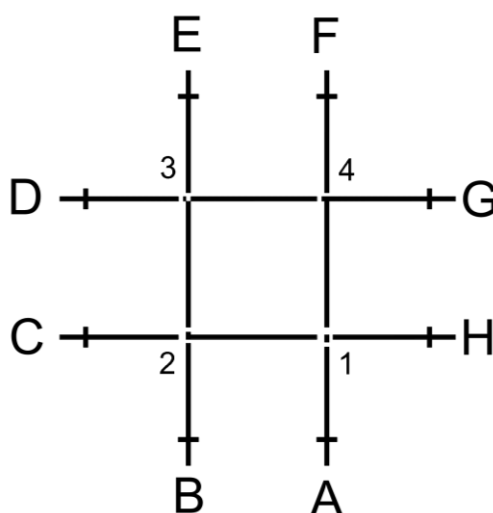


Nesta ilustração se percebe a conexão sem fio entre o transportador e o ponto de acesso, garantindo maior mobilidade ao AGV.

No método proposto os transportadores se deslocarão de um ponto a outro através de uma fita guia, para a localização dos AGVs, onde é utilizada uma técnica que consiste em colocar dois códigos lógicos dispostos de 90° em cada intersecção. A escolha da utilização de fita preta como guia se deu pelo baixo custo e pela facilidade de implementação. Utilizaram-se sensores infravermelhos para detectar tonalidades de cor, na qual, para cada intersecção são necessários 2 códigos, sendo que a pista completa contém 4 intersecções, e necessita de 8 códigos para originar 16 combinações diferentes. Através desta técnica será possível determinar a posição dos transportador toda vez que ele cruzar por qualquer ponto de intersecção.

Os pontos indentificados pelas letras C, D, E, F, G e H, simulam máquinas alocadas em uma planta industrial. Já as intersecções estão identificadas pelos números 1, 2, 3 e 4, de tal modo que os pontos A e B fiquem reservados para descanso dos transportadores. A Figura 13 mostra a pista completa com o identificação dos pontos de máquinas, descanso e intersecções.

Figura 13 - Pista utilizada no projeto.

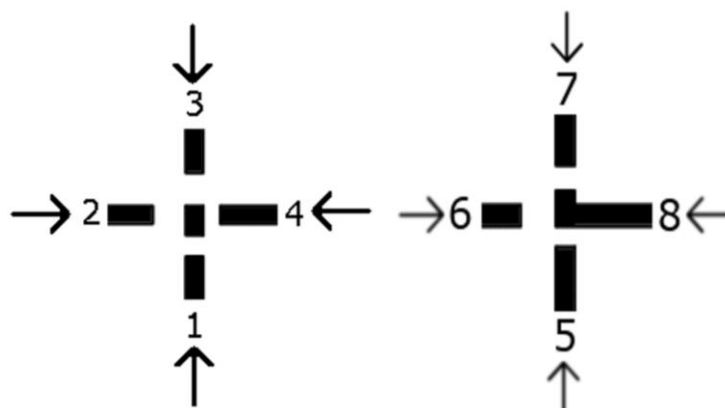


Fonte: Autor(2019).

Os pontos de descanso servirão para quando os veículos estiverem sem requisição de transporte, sendo que estes serão automaticamente direcionados aos espaços e ficarão abrigados em uma garagem se protegendo do ambiente e

também liberando espaço na pista. Na Figura 14, pode-se verificar mais detalhes das intersecções 1 e 2, sendo que as setas indicam a direção que os transportadores podem chegar. Ao passar pelo ponto central da intersecção, o veículo faz a leitura de um código binário de 5 bits, na intersecção 1, os códigos gerados são 1, 2, 3 e 4, na intersecção 2, os códigos são 5, 6, 7 e 8, e assim sucessivamente para as outras duas intersecções.

Figura 14 - Código da intersecção

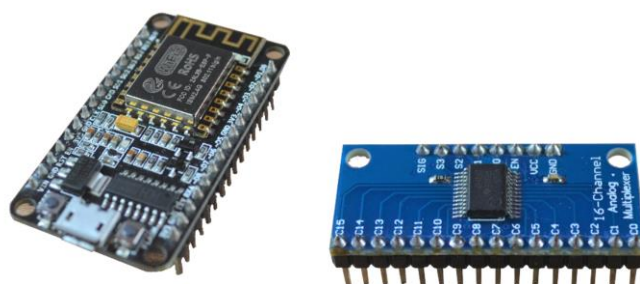


Fonte: Autor (2019).

O microcontrolador utilizado nas estações e no ponto de acesso é o ESP 8266 ESP 12F na versão Nodemcu, que conta com *wi-fi* integrado e conexão USB e pode ser visto na Figura 15. A programação em *software* pode ser feita através das linguagens LUA ou C++, podendo ser programado através da IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb. O microcontrolador possui uma porta analógica (A0) com resolução de 10 bits que ao ser utilizada com a função de programação *analogWrite*, retorna um valor de 0 a 1023 conforme o nível de tensão nesta entrada, que pode variar entre 0V e 3,3V.

Para este projeto são necessárias 8 portas analógicas, sendo 5 para os sensores de código e 3 para sensores de linha. Visto esta necessidade, optou-se em utilizar um multiplexador de sinal, cujo modelo é cd74hc4067 e possui 16 portas que podem servir como entrada ou saída sendo analógica ou digital, as portas utilizadas são C0, C1, C2, C3, C4, C13, C14 e C15, conforme pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Microcontrolador ESP 12F e Multiplexador cd74hc4067.



Fonte: Autor (2019).

Para endereçar a porta na qual será feita a leitura do sinal é necessário utilizar 4 portas de saída do microcontrolador para implementar uma lógica de sinais com o objetivo de especificar a porta de entrada do multiplexador que será lida. A Tabela 1 explica qual é a entrada selecionada a partir de 4 combinações de entrada.

Tabela 1 - Entrada selecionada a partir das combinações.

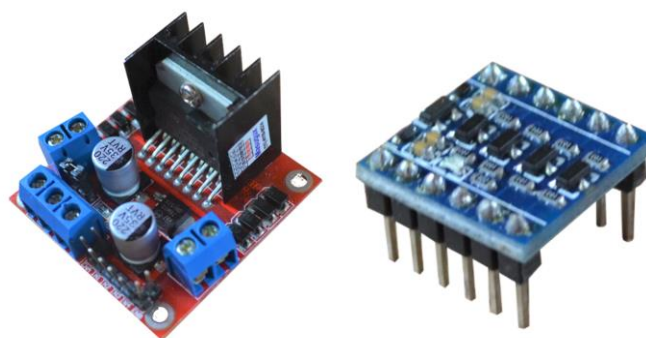
Porta S0	Porta S1	Porta S2	Porta S3	Porta Multiplexador
0	0	0	0	C0
1	0	0	0	C1
0	1	0	0	C2
1	1	0	0	C3
0	0	1	0	C4
1	0	1	0	C5
0	1	1	0	C6
1	1	1	0	C7
0	0	0	1	C8
1	0	0	1	C9
0	1	0	1	C10
1	1	0	1	C11
0	0	1	1	C12
1	0	1	1	C13
0	1	1	1	C14
1	1	1	1	C15

Fonte: Autor (2019).

Para acionamento dos motores, utiliza-se a ponte H modelo I298n, que permite acionar 2 motores ao mesmo tempo e em ambas as direções. Esse acionamento é feito por PWM e controla o nível de tensão na saída para os motores.

A ponte H necessita de um sinal de 5V para acionar os motores, vista a necessidade, utiliza-se um conversor nível lógico de 4 canais bidirecional que é conectado às 4 portas digitais de 3,3V do microcontrolador. Já os pinos convertidos para 5V são conectados no drive nos pinos IN1, IN2, IN3 e IN4. Tanto a ponte H quanto o conversor de nível lógico, podem ser vistos na Figura 16, ilustrada abaixo.

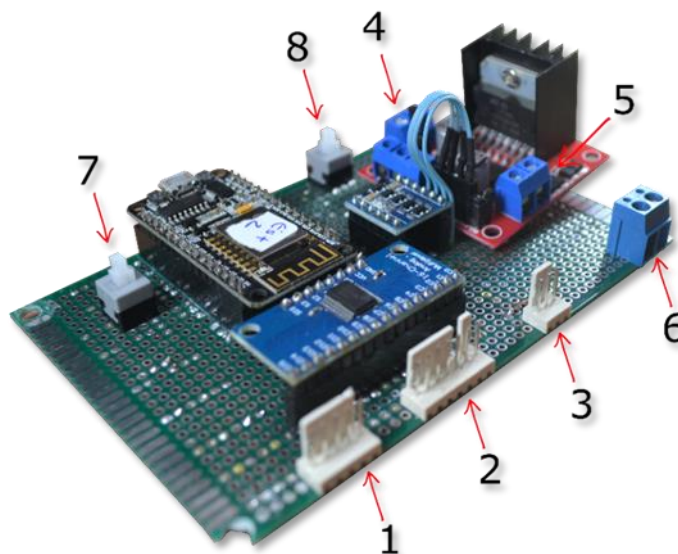
Figura 16 - Ponte H I298n e Conversor de nível lógico.



Fonte: Autor (2019).

Neste projeto utiliza-se o conversor de nível lógico para acionar a ponte H, o que faz necessário alimentação de 3,3V e 5V. Visto a necessidade de conexão entre os circuitos integrados, foi utilizada uma placa ilhada de prototipagem universal confeccionada em fibra de vidro 8cm x 12cm com 1.260 furos para fixar os soquetes, conectores, botões e terminais. Os componentes eletrônicos ficam encaixados nos respectivos soquetes, facilitando a troca, caso se faça necessária. A placa mãe do transportador é vista na Figura 17.

Figura 17 - Placa mãe do transportador.



Fonte: Autor (2019).

As conexões externas de entradas e saídas se fazem por meio de conectores específicos, conforme a Tabela 2.

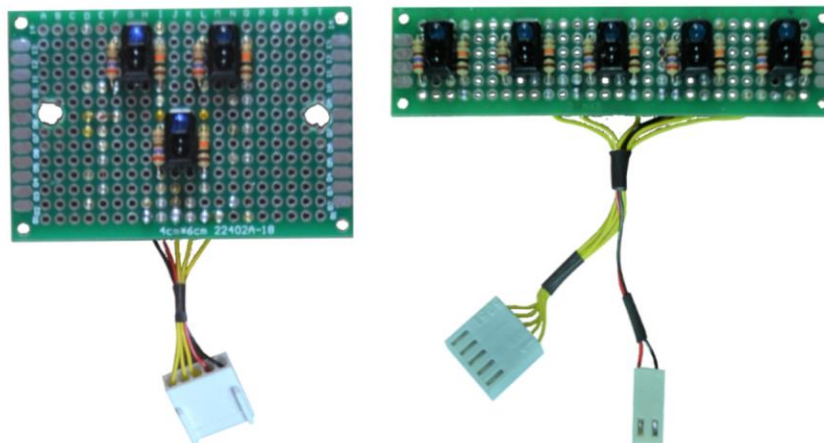
Tabela 2 - Distribuição de entradas e saídas.

1	Conector dos sensores de linha
2	Conector dos sensores de código
3	Conector do Servo motor
4	Terminal do motor 1
5	Terminal do motor 2
6	Terminal da Entrada de alimentação (6V)
7	Botão de liga e desliga da porta D8
8	Botão de liga e desliga geral

Fonte: Autor (2019).

Para sensoriamento tanto da fita guia como dos códigos de intersecção são utilizados sensores infravermelhos modelo TCRT5000 que têm um LED emissor de luz infravermelha e um fototransistor como receptor. Os sensores estão montados em placas ilhadas de prototipagem universal, confeccionada em fibra de vidro, sendo que o tamanho das placas dos sensores de trajetória é de 4cm x 6cm e dos sensores de código de intersecção é de 2cm x 8 cm. Na Figura 18 podem ser vistas as placas do sensor de trajetória e do sensor de código.

Figura 18 - Sensores de trajetória e de código.



Fonte: Autor (2019).

A conexão dos sensores com a placa mãe do transportador se dá por meio de conectores específicos, descritos anteriormente, facilitando assim a reposição dos componentes de maneira ágil. A sessão seguinte apresenta os resultados obtidos no projeto.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no projeto, sendo que primeiramente é apresentada a montagem dos transportadores relatando mais detalhes sobre a implementação dos protótipos, depois é comentado sobre o sistema de controle de trajetória, que tem o objetivo de manter o veículo sobre a fita guia, após é mostrado o sistema de localização dos transportadores e, por fim, é apresentado o funcionamento do sistema.

### 4.1 MONTAGEM DOS TRANSPORTADORES

Para a montagem final, no AGV 1 além do chassi utilizado onde foram acoplados os motores, sensores, eletrônica embarcada, fora utilizado outras 2 chapas de material acrílico, para simular uma plataforma elevadora que fica fixada ao transportador por meio de 4 parafusos. No AGV 2 foram utilizadas as mesmas peças, porém ficou sem a plataforma. A Figura 19 ilustra a montagem final do transportador.

Figura 19 - Montagem final do transportador.

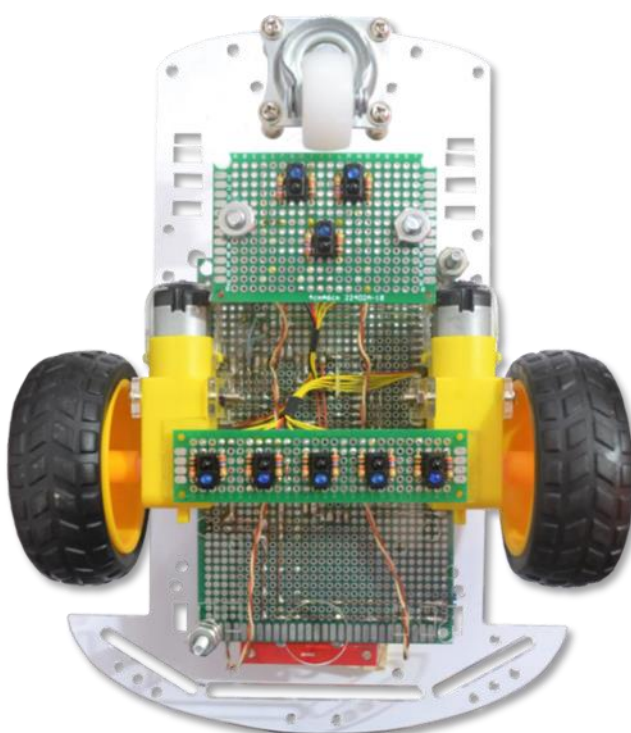


Fonte: Autor (2019).

Os sensores ficam alocados na parte inferior do veículo, de modo que tenham

uma visão sem obstrução do piso. Os sensores de linha estão fixados atrás do rodízio giratório, suspenso por dois parafusos, que possibilitam regular a altura caso for necessário. Os sensores de código estão fixados nas carcaças dos motores paralelos ao eixo das rodas, os motores têm lugares pré-definidos no chassi que foram mantidos na montagem, a Figura 20 mostra a vista inferior do veículo, que é replicada no transportador 2.

Figura 20 - AGV vista inferior.



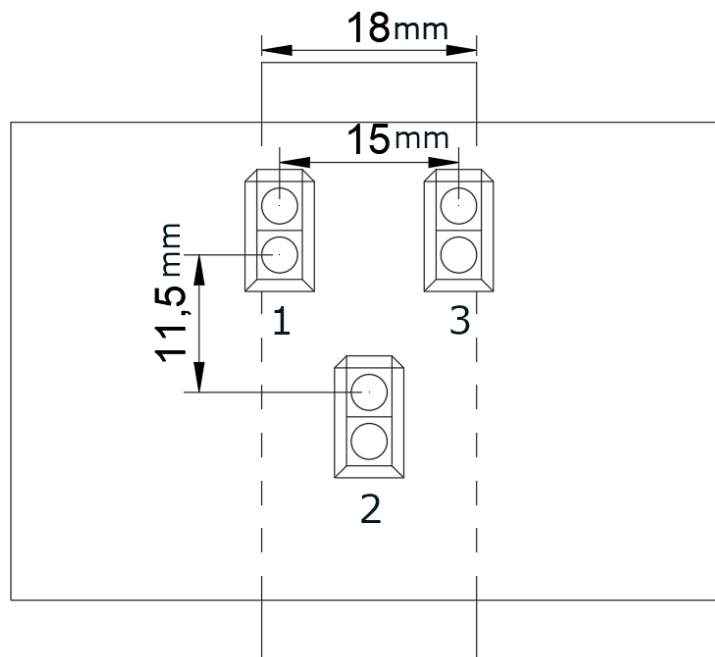
Fonte: Autor (2019).

## 4.2 SISTEMA DE CONTROLE PARA TRAJETÓRIA

O veículo se mantém na trajetória através de uma malha de controle fechada, utilizando um controlador proporcional. Através do acionamento diferencial dos motores o veículo segue a fita guia enquanto estiver indo em direção a alguma intersecção. A Figura 21 mostra como a posição dos sensores de trajetória quando a posição do veículo tem valor zero, que é exatamente no centro da linha, a linha pontilhada é uma representação da fita guia e os sensores estão identificados pelos números 1, 2 e 3.



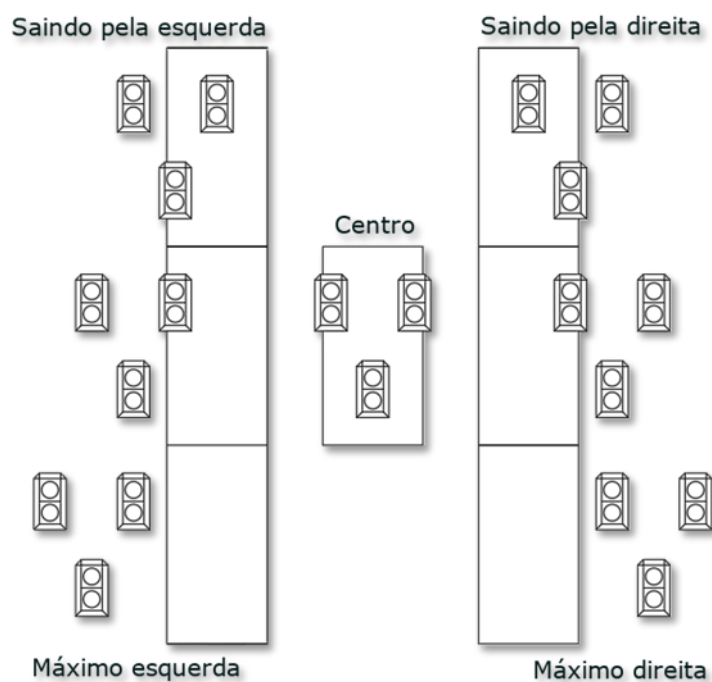
Figura 21 - Posição 0 do sensoriamento do AGV.



Fonte: Autor (2019).

Os valores de posição variam conforme os sensores que estiverem lendo a fita preta, é possível obter 7 posições diferentes dos sensores sobre a fita. As possibilidades de posição dos sensores de trajetória estão ilustradas na Figura 22.

Figura 22 - Possibilidades de posições dos sensores de trajetória.



Fonte: Autor (2019).

Através dos valores de posição, o controle proporcional age no acionamento dos motores, com o intuito de corrigir a posição, mantendo sempre a referência em zero, que é o centro da linha. Os valores de posição referentes aos sensores que estão sobre a fita-guia se encontram na Tabela 2, a seguir.

Tabela 3 - Valores das posições dos sensores.

Valor da posição	Sensores Sobre a linha	Último sensor lido
30	Nenhum	3
20	3	0
10	2 e 3	0
0	1, 2 e 3	0
-10	1 e 2	0
-20	1	0
-30	Nenhum	1

Fonte: Autor (2019).

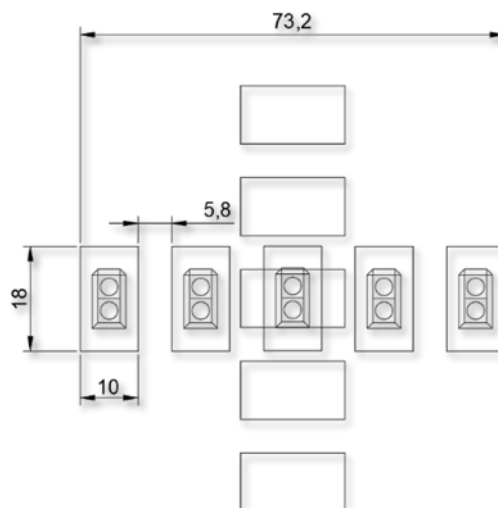
Se o transportador sair completamente da trajetória, o algoritmo salva qual foi

o último sensor que estava sobre a fita guia, fazendo-o voltar sobre a guia. Quando o transportador estiver nas partes do código em que a fita guia não é uma linha contínua, o algoritmo salva que o último sensor que saiu da linha foi o de número 2, fazendo com que, deste modo, o transportador continue andando em linha reta, pois entende que o veículo está trafegando no centro da fita.

#### 4.3 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO

A leitura dos códigos de linha acontece em cada intersecção, através dos sensores de código. O valor lido em cada sensor varia de 0 a 1.023, sendo que foram feitos testes para captar os valores e estipulou-se um valor de calibração para que quando a variável estiver maior que 380 entende-se que esta está detectando algum *bit* ativo na leitura. O valor de calibração estipulado levou em consideração os testes feitos para que sirva de filtro e não detecte algum código no momento errado. Uma representação da leitura de código e as principais medidas dos códigos de intersecção estão apresentadas na Figura 23, a seguir.

Figura 23 - Medidas do código de intersecção (medidas em milímetros).



Fonte: Autor (2019).

No momento em que o transportador detecta um código, ele o envia para o ponto de acesso, que após recebê-lo calcula a rota através dos pontos de origem e destino propostos pelo usuário e devolve um código de ação que é interpretado

novamente pelo AGV. Uma vez que foram definidos 5 *bits*, tem-se a possibilidade de usar os códigos que geram números decimais de 0 a 31. Foram descartados os códigos que contêm menos de 2 *bits* ativos e códigos que se geram o mesmo número lidos em ambas as direções, pelo fato de que se o código possuir menos de 2 *bits* ativos tem-se muito espaço vazio na intersecção, o que pode atrapalhar o controle do veículo, e os que geram o mesmo número foram removidos para evitar duplicidade. Na Tabela 3 estão predispostas as dezessete combinações que foram utilizadas para determinar as posições dos AGVs.

Tabela 4 - Relação dos estados dos sensores para cada código de intersecção

Sensor Código 1	Sensor Código 2	Sensor Código 3	Sensor Código 4	Sensor Código 5	Código Intersecção	Intersecção	Decimal
0	0	1	0	1	1	1	5
0	0	1	1	0	2		6
1	0	1	0	0	3		20
0	1	1	0	0	4		12
0	0	1	1	1	5	2	7
0	1	1	0	1	6		13
1	1	1	0	0	7		28
1	0	1	1	0	8		22
0	1	0	1	1	9	3	11
1	0	0	1	1	10		19
1	1	0	1	0	11		26
1	1	0	0	1	12		25
0	1	1	1	1	13	4	15
1	0	1	1	1	14		23
1	1	1	1	0	15		30
1	1	1	0	1	16		29
1	1	1	1	1	25	Máquina	31

Fonte: Autor (2019).

O código 25 ficou reservado para o transportador detectar o ponto de máquina origem, para levantar a plataforma, ou de máquina destino, para abaixar a plataforma. Os demais códigos fazem parte das 4 intersecções, que além de informar a localização também informam a direção em que o veículo está trafegando.

Além dos 16 códigos de posição gerados na pista, também são gerados 7 códigos de ação, que definem os movimentos dos transportadores. A relação de códigos com a ação gerada pode ser vistos na Tabela 4, conforme segue.

Tabela 5 - Relação de código com ação gerada.

Código	Ação
1	Andar
2	Parar
3	Seguir reto
4	Rotacionar 90° para a direita
5	Rotacionar 90° para a esquerda
6	Levantar plataforma e rotacionar 180° para a direita
7	Abaixar plataforma e rotacionar 180° para a esquerda

Fonte: Autor (2019).

Na próxima sessão será melhor detalhada a forma de comunicação dos AGVs.

#### 4.4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O ponto de acesso é responsável pelo gerenciamento das rotas dos transportadores. A eletrônica do ponto de acesso fica dentro de uma caixa plástica que serve para proteção do circuito, Nesta montagem tem-se uma chave para ligar e desligar o circuito e dois LEDs RGBs para informar alguns estados de comunicação das estações 1 e 2, por exemplo, quando o ponto de acesso recebe um pacote ele emite um sinal luminoso na cor azul e quando realiza o envio de um pacote emite um sinal luminoso na cor verde. A Figura 24 mostra o conjunto do ponto de acesso.

Figura 24 - Ponto de acesso.

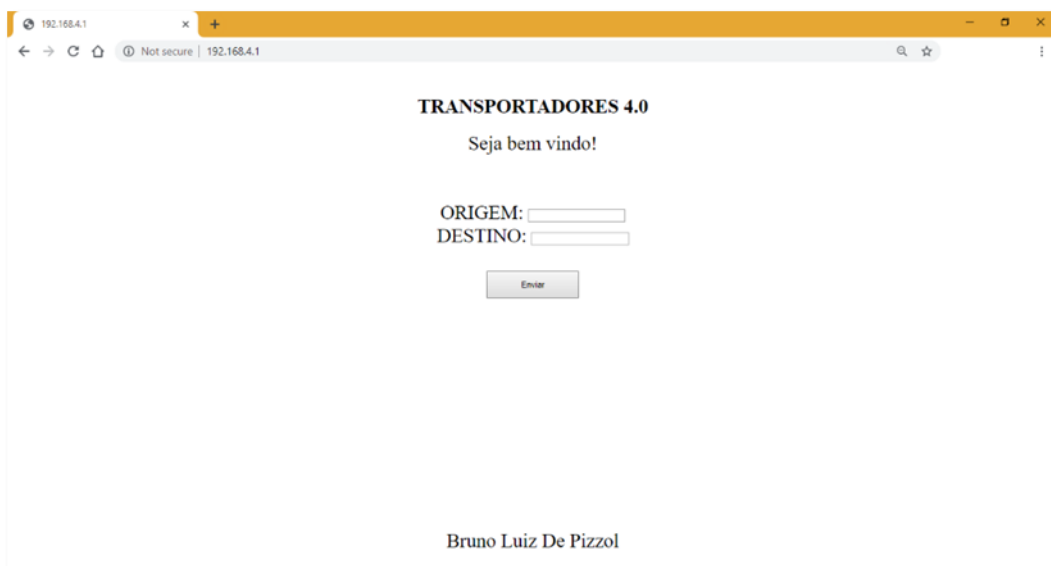


Fonte: Autor (2019).

O código de ação é calculado pelo ponto de acesso no momento em que ele

recebe o código de qualquer uma das estações, e este leva em consideração a disponibilidade do transportador, a posição e o ponto de origem e destino. Com a ação calculada, o ponto de acesso envia um pacote para a estação recorrente, que fica em estado de repouso esperando o código, após receber, instantaneamente a estação entra em funcionamento perfazendo a ação recebida. A ordem de origem e destino se dá pelo usuário, que ao conectar o *smartphone* ou *notebook* na rede “TRANSPORTADORES 4.0” transmitida pelo ponto de acesso, acessará o endereço “http://192.168.4.1” via *browser* onde encontra-se uma página de interação e algumas informações, vista na Figura 25.

Figura 25 - Tela para interação do homem com a máquina.



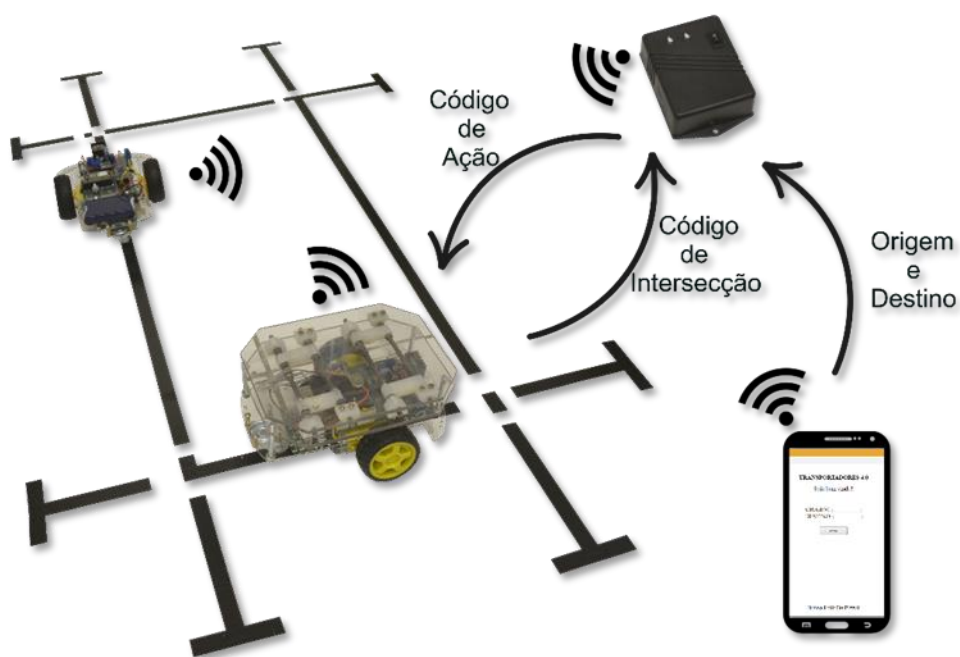
Fonte: Autor (2019).

A página de interface é programada na linguagem HTML e fica hospedada dentro do ponto de acesso, que funciona como um *host*, no qual o usuário define os pontos de origem e destino conforme os campos dispostos na página e clica no botão enviar. A partir deste momento o ponto de acesso recebe uma solicitação de carregamento, na qual se verifica qual a disponibilidade dos transportadores, se ambos estiverem disponíveis, a próxima verificação é qual está mais perto do ponto de coleta. Decidido qual veículo irá fazer o transporte, o próximo passo é escolher a rota, com base na posição do outro transportador.

Existem somente 2 rotas que os transportadores podem fazer para chegar ao destino, sendo a rota A o caminho mais curto que é priorizado na escolha caso o

caminho esteja livre e a rota B escolhida quando a anterior estiver ocupada, tendo em vista que esta é mais longa e sempre será utilizada como segunda opção. A Figura 26 retrata a simulação de interação dos transportadores com o ponto de acesso e a interface de usuário utilizada.

Figura 26 - Sistema dos transportadores em funcionamento.



Fonte: Autor (2019).

Inicialmente os transportadores conectam-se ao ponto de acesso e permanecem em seus pontos de descanso, ao receber um código de ação, o transportador entra em funcionamento até chegar em alguma intersecção, no momento em que detecta um código, o veículo para e envia o código para o ponto de acesso através de um pacote UDP para o endereço de IP e uma porta específica para cada transportador.

## 5 ANÁLISE

Nesta seção serão abordadas as correlações dos resultados obtidos neste trabalho com as pesquisas relacionadas. Visando estabelecer tal correlação a análise foi segregada em duas partes, sendo a primeira a direcionada a comparação de diferentes tipos de transportadores em processos de manufatura de fluxos produtivos e a segunda destinada a testes, a fim de verificar se foi possível alcançar a hipótese definida.

### 5.1 ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE TRANSPORTADORES NO PROCESSO DE MANUFATURA DE FLUXOS PRODUTIVOS DINÂMICOS

Os resultados esperados para um sistema de manufatura avançado, dentro do conceito de Indústria 4.0, com funcionalidades para produção diversificada, customizada e com lotes pequenos de produção, são funcionalidades de transporte que atendam a manufatura na sua flexibilidade desejada. Para evidência destas funcionalidades fora ensaiado um processo de manufatura em um cenário onde os transportadores são implementados por esteiras transportadoras e um cenário com AGVs interativos, que se propõe a responder as mudanças do fluxo de produção do objeto, implementado por agentes. A Tabela 5 apresenta o comportamento AGV interativos, com rotas customizadas, nos preceitos da Indústria 4.0, frente aos sistemas de transporte por esteiras e aos sistemas de transporte por esteiras que utilizam multiagentes, a luz do trabalho de Vrba e Marik (2010), realizados em planta de manufatura avançada experimental de laboratório.

Tabela 6 - Resultados experimentais na comparação entre transportadores por



## esteiras e AGVs interativos.

<b>Métrica</b>	<b>Transportadores por esteiras</b>	<b>Esteiras multiagentes</b>	<b>AGV interativos, com rotas customizadas</b>
Competências requeridas para instalação.	Requer competências em mecânica, pois a alteração da estrutura da planta é baixa.	Requer competências em mecânica, elétrica, automação e computação, pois além da instalação de rotas, há necessidade de implementar os agentes.	Requer competências em mecânica, automação e computação, pois requer a implementação de rotas.
Integração com processo industrial existente.	Fácil integração, bastando conexão com o controlador lógico programável local.	Requer que tanto o transportador quanto o controlador lógico programável tenham funcionalidades de agentes.	Fácil integração, bastando conexão com o ponto de acesso local.
Mudança no fluxo de processo do produto durante a produção.	Não é possível realizar esta demanda sem a parada do sistema.	Possível, para qualquer alteração que o produto solicitar, desde que a esteira esteja livre.	Possível, para qualquer alteração que o produto solicitar.
Flexibilidade para atender a mudanças de leiaute da planta de manufatura.	Não há flexibilidade, uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras.	Não há flexibilidade, uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras.	Possível, para qualquer alteração entre máquinas, com inserção, exclusão ou mudança de posição destas.
Sistemas de localização e mapeamento	Não utilizado sistema de localização e mapeamento	Utiliza sensores em cada uma das posições	Utiliza códigos binários que informam a posição e a direção do AGV
Interação entre transportadores	Não há interação entre esteiras, fazendo com que só se possa transportar um produto por vez.	Utilizam-se condutores físicos para a comunicação entre os agentes, o que permite que se possa transportar um produto por vez em cada segmento de esteira.	Utiliza sistema de comunicação <i>wi-fi</i> , o que permite uma quantidade maior de transportadores operando simultaneamente.

Fonte: Autor (2019).

Analisando-se os resultados obtidos na comparação do tipo de transportador utilizado para flexibilização do processo de manufatura de fluxos produtivos dinâmicos tem-se que as competências requeridas para instalação das esteiras são menos complexas que as da implantação de AGVs, sendo que as esteiras transportadoras necessitam apenas de competências mecânicas, ao passo que as esteiras multiagentes necessitam de competências mecânicas, elétricas, de

automação e de computação, devido ao fato de que estas requerem a implantação dos agentes. Aliado a diferença de competências necessárias a instalação tem-se também a necessidade de implantação das rotas para os transportadores automaticamente guiados, que visa a interação entre eles, para que seja possível “desviar peças de trabalho em uma rede complexa e redundante de rotas de transporte para entregá-las do local A ao local B” (VRBA; MARIK, 2010, P. 214, tradução do autor).

Com relação a integração do transportador com o processo industrial existente, verificou-se que para os transportadores que envolvem esteiras há fácil integração, pois se refere a uma integração simples, que necessita apenas que a esteira se conecte com o controlador lógico programável local. Já para o AGV, tem-se também uma interação fácil, pois requer que o veículo automaticamente guiado se conecte ao ponto de acesso utilizando conexão móvel, fato que distingue as esteiras dos AGVs, permitindo uma maior liberdade de locomoção.

Quando a comparação é realizada no âmbito da mudança no fluxo de processo do produto durante a produção tem-se que os transportadores esteiras são mais estáticos, uma vez que não se pode fazer alterações no fluxo de processos durante a produção, sendo necessário o congelamento da produção, já para as esteiras que utilizam sistema multiagentes é possível que se façam tais mudanças no fluxo de processos durante a produção, uma vez que há diversos caminhos que podem ser percorridos, desde que estes contenham uma esteira. Nos AGVs a mudança no fluxo se mostra plausível, devido ao fato de os AGVs serem mais flexíveis, o que lhes permite “lidar com as mudanças no ambiente, como flutuações de demanda, e reavaliar decisões a fim de aproveitar oportunidades” (BRANISSO, 2014, p. 33).

Conforme verificado nos parágrafos anteriores, os AGVs possuem maior flexibilidade para atender a mudanças de leiaute da planta de manufatura, pois permite qualquer alteração entre máquinas, com inserção, exclusão ou mudança de posição destas. Já as esteiras são mais restritas, impossibilitando a flexibilidade, pois uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras. A flexibilidade é um dos preceitos da Indústria 4.0, uma vez que ela permite uma mudança no processo de manufatura, design e demais operações do processo produtivo, agregando valor à cadeia organizacional e no ciclo de vida do produto (PEIXOTO; PEREIRA, 2018).

Quanto aos sistemas de localização e mapeamento, tem-se que as esteiras tradicionais não utilizam nenhuma ferramenta para informação de sua localização e de mapeamento, visto que não possuem tecnologias sofisticadas e nem interação que lhes permite a tomada de decisão. As esteiras com tecnologia multiagentes efetuam sua localização e mapeamento através de sensores, dispostos em pontos específicos da esteira, sistema que vai ao encontro do sistema de localização utilizado pelos AGVs, que utiliza códigos binários nas intersecções para que se tenha ciência da posição em que os transportadores se encontram, para que se tenha a decisão de qual ação perfazer. Tal fato demonstra que tanto a esteira multiagentes quanto o AGV possuem navegação autônoma, uma vez que ambos os sistemas trabalham com a saída de uma configuração inicial que permite alcançar uma configuração final percorrendo o caminho que foi planejado (MEDEIROS, 2011).

Por fim tem-se a questão da interação dos transportadores, na qual em esteiras tradicionais não se faz presente, visto que nessas esteiras normalmente se transporta em somente um sentido. Já nas esteiras multiagentes tem-se a presença de sensores, que permitem que sejam transportados produtos em mais de um sentido, sendo que cada produto deve estar em um segmento específico de cada esteira. Nos AGVs essa interação se deu através de conexão sem fio, o que facilita a comunicação entre os transportadores e permite que se tenha maior mobilidade no chão de fábrica.

O que se nota, a título de análise, é que em aplicações de baixa complexidade as esteiras transportadoras se apresentam como boas soluções, devido aos requisitos de competências específicas para sua instalação serem poucas e de fácil integração. Porém, ao se tratar de manufaturas com necessidade de alterações no fluxo de processo de fabricação do produto ou alterações de leiaute das máquinas, então os transportadores por AGVs interativos se prestam melhor, pois atendem aos requisitos sem a necessidade de intervenção no processo produtivo.

Além do descrito acima, tem-se também que a capacidade de incorporar autonomia, as operações de alta velocidade, a confiabilidade e a precisão transformam a robótica móvel em uma alternativa atraente quando comparada aos processos manuais tradicionais com situações altamente repetitivas ou de difícil

manuseio pelos seres humanos (VIVALDINI, 2010). Por isso, feitas as comparações necessárias, tem-se agora a análise da interação entre os transportadores por meio do ponto de acesso.

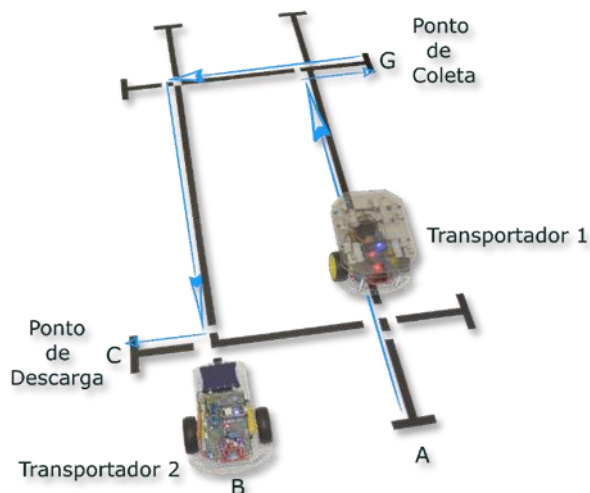
## 5.2 TESTE DA IMPLEMENTAÇÃO DOS AGVS NO PROCESSO DE MANUFATURA DE FLUXOS PRODUTIVOS DINÂMICOS

Visando responder a problemática proposta neste trabalho foram realizados dois testes para validação da implementação dos AGVs no processo de manufatura de fluxos produtivos. Nestes testes foi proposto um ponto de origem e um ponto de destino, no qual o objetivo era observar o comportamento dos transportadores quando estes eram submetidos a uma mesma trajetória.

### 5.2.1 Teste 1

O primeiro teste teve como intuito a transferência de um produto do ponto G (origem) ao ponto C (destino) sendo que ambos os AGVs se encontravam em seus pontos de descanso (ponto A para o AGV 1 e ponto B para o AGV 2), conforme pode ser visto através da Figura 27.

Figura 27 - Teste de transporte 1.



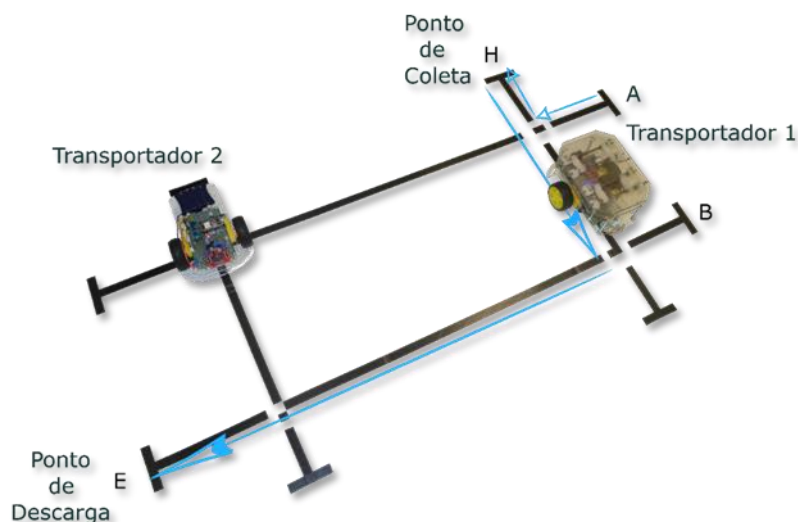
Fonte: Autor (2019).

Verificamos que o AGV que efetuou a trajetória foi o AGV 1, tendo em vista que este estava mais perto da origem. Através da figura se pode verificar também como foi a trajetória desse AGV. Nota-se que nas linhas o AGV se mostrando estável durante a trajetória como um todo. Contudo, se verificou que há uma pequena oscilação na direção do AGV nas intersecções, uma vez que nestas se encontram os códigos que definem o sentido a ser seguido, sendo este composto quadrados brancos e quadrados pretos, o que faz com que o AGV tenha uma dificuldade para leitura do código por este não ser uma linha contínua. O problema identificado foi resolvido no algoritmo, no qual se propôs que quando os sensores saem de cima da linha o algoritmo salva a última posição, fazendo com que o AGV retorne a posição anterior.

### 5.2.2 Teste 2

O segundo teste visou o traslado de um produto cuja origem era o ponto H e o destino o ponto E, sendo que o AGV 1 estava no ponto de descanso (ponto A), enquanto o AGV 2 estava na intersecção de número 4, conforme pode ser evidenciado na Figura 28.

Figura 28 - Teste de transporte 2.



Fonte: Autor (2019).

Foi possível verificar que o AGV que se encontrava mais perto da origem era o AGV 1, e foi este que efetuou a trajetória definida. Através da figura pode-se verificar o percurso realizado pelo AGV para entrega dos produtos. Nota-se que o AGV 1 optou pela rota mais comprida, uma vez que o AGV 2 estava localizado na intersecção 4, que era caminho da rota mais curta para que se chegasse ao destino final. Novamente identificamos a oscilação na direção do AGV nas intersecções, devido ao fato de os códigos serem compostos por quadrados brancos e pretos, dificuldade evidenciada pelo fato de estes não estarem em uma linha contínua. Tal fato também foi resolvido através do algoritmo, da mesma forma que no teste 1.

Após efetuados os testes verificamos que a hipótese foi validada, uma vez que foi possível utilizar transportadores autônomos (AGVs) que interagissem entre si para atender as necessidades de auto-organização de um sistema de manufatura.

## 6 CONCLUSÃO

A hipótese de uso de AGVs com grau de interação com o produto, máquinas e entre si se confirmou, pois faz com que a manufatura de produtos diversificados e com alto grau de customização possa ser implementada, uma vez que o traslado entre as máquinas são solicitados a cada passo do processo de manufatura do produto, podendo este definir o novo traslado segundo sua alocação de máquina que realizou. Além de agregar a previsão de colisão entre os AGVs, que ocorre através da interação entre os AGVs, definindo a disponibilidade de cada trecho da rota traçada para cumprir o traslado.

Em um ambiente de manufatura de indústria 4.0, não basta somente o produto e as máquinas interagirem para produção diversificada, customizada e em baixos lotes de produção, sem que haja intervenções no meio produtivo. É necessário também que os sistemas de transporte do produto até as máquinas tenham um grau de interação que permitam alteração de rotas e que estas sejam definidas pelo produto a cada etapa da manufatura, também sem a necessidade de intervenção no processo. Agregado a possibilidade de mais de um transportador ocupar o mesmo espaço de trabalho, com soluções ao risco de colisão.

São os transportadores 4.0 que se somam aos demais processos de manufatura, ofertando funcionalidades que auxiliam na implementação de indústria 4.0, amplamente através de programação, microprocessadores e sistema de controle.

Para trabalhos futuros sugere-se implementar um sistema multiagentes para controle da interação entre os transportadores. Outra sugestão é aumentar a quantidade de intersecções, deste modo possibilitará um número maior de máquinas na planta industrial. Também um ponto a ser destacado é melhorar a interface com o usuário, corroborando com mais informações visuais e um sistema supervisória de forma a monitorar o trajeto bem como a carga das baterias.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. T. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil.** 2017. 177f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.

BARAI, S.; BISWAS D.; SAL, B. Estimate Distance Measurement using NodeMCU ESP8266 based on RSSI Technique. In: Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements Applications (CAMA), 2017, Japan. **Proceedings...** Japan: IEEE, 2017; p. 170–173.

BARBERA, H. M.; PEREZ, D. H. Development of a Flexible AGV for Flexible Manufacturing Systems. **Industrial Robot: An International Journal**, [s.l.], v. 37, n. 5, p.459-468, 24 ago. 2010.

\_\_\_\_\_.; QUINONERO J.P.C.; IZQUIERDO M.A.Z.; SKARMETA A.G. i-Fork: a Flexible AGV System Using Topological and Grid Maps. In: 2003 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE OF ROBOTICS AND AUTOMATION, 20., 2003, Taipei. **Proceedings...** New York: IEEE, v.2, p.2147-2152.

BRANISSO, L. B. **Sistema Multiagente para Controle de Veículos Autônomos.** 2014. 127f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CANO, C. E. V. **Técnica de Navegação de um Robô Móvel Baseado em um Sistema de Visão para Integrá-lo a uma Célula Flexível de Manufatura.** 2006. 154f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2006.

DISSANAYAKE, M. W. M. G.; NEWMAN, P.; CLARCK, S.; DURRANT-WHYTE, H. F.; CSORBA, M. A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 229-241, jun. 2001.

EINSELE, T. Real-time Self-location in Unknown Indoor Environment Using a Panorama Laser Range Finder. In: IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 10., 1997, Grenoble. **Proceedings...** New York: IEEE, p.697-702

FAZLOLLAHTABAR, H; MAHDAVI-AMIRI, N. A Bi-criteria AGV-based Flexible Jobshop Manufacturing Network having Uncertain Parameters. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING SYSTEMS MANAGEMENT AND ITS APPLICATIONS, 2., 2010, Sharjah. **Proceedings...** New York: IEEE, p. 1-6.

\_\_\_\_\_.; ZANDIEH, M. Cost Optimization in an AGV-based Automated Manufacturing System Associated with Product Inspection and Machine Reliability.



In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING SYSTEMS MANAGEMENT AND ITS APPLICATIONS, 2., 2010, Sharjah. **Proceedings...** New York: IEEE, p. 1-6.

GALDAMES, J. P. M. **Sistema de Localização para AGVs em Ambientes Semelhantes a Armazéns Inteligentes**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Dinâmica de Máquinas e Sistemas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems and Computer – Integrated Manufacturing**. New Jersey: Hall, 2001.

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, **Proceedings...** 9th Hawaii International Conference on System Sciences. Koloa, 2016, p.3928-3937.

HUNT, I.; DRAPER, W. W. **Lightning in his hand: the life story of Nikola Tesla**. 1. ed. Denver: Sage Books, 1964.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**. Frankfurt; Main: National Academy of Science and Engineering, 2013, p. 13-78.

MAGGIO, E. G. R. **Uma Heurística para a Programação da Produção de Sistemas Flexíveis de Manufatura Usando Modelagem em Redes de Petri**. 2005. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de São Carlos, 2005.

MANCIO, V. G.; SELLITTO, M. A. Sistemas Flexíveis de Manufatura: Definições e Quadro de Trabalho para Futura Pesquisa. **Revista Gestão Inovação e Tecnologias**, Aracaju/SE, v. 7, n. 2, p.3760-3773, 26 jun. 2017.

MENDES, J. M.; LEITÃO, P. J.; COLOMBO A. W.; RESTIVO, F. A. Service-Oriented Control Architecture for Reconfigurable Production Systems. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS -INDIN2008, 2008, Daejeon. **Proceedings...** New York: IEEE, 2008.

PEIXOTO, J. A. **Sistema Minimamente Invasivo Baseado em Agentes Aplicado em Controladores Lógicos Programáveis**. 2016. 224f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, L. M. Indústria 4.0 na Auto-Organização dos Sistemas Produtivos. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p.525-538, 23 out. 2018.

REZAIIE, K.; OSTADI, B. A mathematical model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems. **Applied Mathematics and**

**Computation**, v.184, n.2, p.729-736, 2007.

ROCHA, L. A. F. da. **Logística Flexível Baseada em AGVs**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

ROSLI, R. S.; HABAEBI, M.; ISLAM, M. R. Characteristic Analysis of Received Signal Strength Indicator from ESP8266 WiFi Transceiver Module. In: 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE), 7, 2018, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: BEEI, 2018.

SANTANA, A. M. **Localização e Mapeamento Simultâneos de Ambientes Planos Usando Visão Mononuclear e Representação Híbrida do Ambiente**. 2011. 151f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

SANTOS, V. C. **Uma Abordagem Híbrida para Planejamento Exploratório de Trajetórias e Controle de Navegação de Robôs Móveis Autônomos**. 2017. 111f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2017.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. **VINT research report**, p. 1-39, 2016.

SEGUNDO, A. H. F. N. **Um Algoritmo para Localização e Mapeamento Simultâneos com uma Câmera RGB-D**. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Estadual do Ceará, 2017.

SILVA, R. M. da. **Controle de Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura**. 2016. 207p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016.

SOUZA, J.; ROYER, R. Implantação de um Sistema AGV – Veículo Guiado Automaticamente um Estudo de Caso. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador: ABEP, 2013, p. 1-16.

THRUN, S.; BURGARD, W.; FOX D. **Probabilistic Robotics**. Cambridge: MIT Press, 2005. ISBN 978-0-262-20162-9.

VILAS BOAS, E. R. **Mapeamento e Localização Simultânea de Ambientes Dinâmicos Aplicados na Navegação de Veículo Autônomo Inteligente**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, 2011.

VIVALDINI, K.C.T. **Roteamento Automático de Empilhadeiras Robóticas em Armazém Inteligente**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

VRBA, P.; MARIK, V. Capabilities of Dynamic Reconfiguration of Multiagent-Based Industrial Control Systems. **IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans**. [S. l.], v. 40, n. 2, p. 213-223, 2010.