

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Software

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Autor: Rafael Fazzolino P. Barbosa

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientadora: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016



Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia de Software da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
de Software.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientador: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016

Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples/ Rafael Fazzolino P. Barbosa. – Brasília, DF, 2016-
49 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2016.

1. Robótica. 2. Auto-Localização. I. Dr. Maurício Serrano. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

CDU 02:141:005.6

Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2013:

Dr. Maurício Serrano
Maurício Serrano

Dra. Milene Serrano
Milene Serrano

Titulação e Nome do Professor
Convidado 02
Convidado 2

Brasília, DF
2016

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (arial ou times, tamanho 12 sem negritos, aspas ou itálico*.

Resumo

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

Palavras-chaves: latex. abntex. editoração de texto.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Processo Metodológico	28
Figura 2 – Funções básicas RoboMind	38
Figura 3 – Funções básicas Scratch	39
Figura 4 – Ambiente de desenvolvimento em Logo	40
Figura 5 – Microprocessador central	42
Figura 6 – Sensor RGB - Lego	42
Figura 7 – Atuador - Lego	42
Figura 8 – Kit Mindsotm completo - Lego	43

Lista de tabelas

Tabela 1 – Cronograma TCC 1	27
---------------------------------------	----

Lista de abreviaturas e siglas

MIT	Massachusetts Institute of Technology
API	Application Program Interface
BPMN	Business Process Model and Notation
IDE	Integrated Development Environment
RAM	Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Problema de Pesquisa	25
1.3	Justificativa	25
1.4	Objetivos	26
1.4.1	Objetivo Geral	26
1.4.2	Objetivos Específicos	26
1.5	Metodologia	26
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	A Robótica e a Auto-Localização	31
2.2	O Problema de SLAM	33
2.3	Robótica Educacional	35
2.3.1	Lego Mindstorms NXT	41
3	SUPORTE TECNOLÓGICO	45
3.1	Engenharia de Software	45
3.1.1	GIT	45
3.1.2	Github	45
3.1.3	Bonita BPMN	45
3.1.4	Linux Mint	45
3.1.5	LaTeX	46
3.1.6	Sublime Text 3	46
	Referências	47

1 Introdução

1.1 Contextualização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, no qual ferramentas autônomas foram desenvolvidas para executar atividades de forma repetitiva e incansável, maximizando a qualidade dos produtos e minimizando o custo e tempo para produção dos mesmos (ROMANO, 2002). Segundo (ROMANO, 2002), a palavra robô é derivada da palavra *robota*, de origem eslava, que significa *trabalho forçado*, ou seja, robôs podem ser considerados ferramentas incansáveis que apoiam o trabalho humano.

Segundo (OLIVEIRA, 2008), a autonomia de um robô é condicionada pela sua capacidade de perceber o ambiente de navegação, interagindo com o meio e realizando tarefas com o mínimo de precisão. Este mínimo, de acordo com (OLIVEIRA, 2008), seria a navegação sem colisão em obstáculos.

Para que robôs sejam capazes de navegar em um ambiente desconhecido sem que haja colisão em objetos e obstáculos, os mesmos necessitam de informações sobre este ambiente. Estas informações são adquiridas utilizando sensores. Como foi apresentado por (COSTA; Okamoto Jr., 2002), no livro de Robótica Industrial, os sensores possuem o dever de fornecer informações ao sistema de controle do robô sobre distâncias de objetos, posição do robô, contato do robô com objetos, força exercida sobre objetos, cor e textura dos objetos, entre outras.

Além de obter dados sobre o ambiente, o robô precisa se auto-localizar para processar as informações obtidas e traçar rotas sem colisões até o ponto de destino. Para isso, foram desenvolvidas muitas formas de auto-localização, algumas delas são citadas por (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), como:

- **Utilização de Mapas:** O robô conhece o mapa onde realizará a navegação à priori, conhecendo os obstáculos e os caminhos possíveis. Possuindo essas informações, o robô irá traçar as rotas mais eficientes para chegar em seu objetivo.
- **Localização Relativa em Grupos:** Esta técnica utiliza a navegação simultânea de muitos robôs, cada robô sabe a posição relativa dos outros robôs, podendo calcular sua posição relativa.
- **Utilização de Pontos de Referência:** Conhecendo pontos de referência que estão distribuídos pelo mapa de navegação, o robô consegue calcular sua posição através da técnica de triangulação.

- **Localização Absoluta com GPS:** A partir desta técnica, é fácil obter a posição absoluta do robô em relação à terra. O grande problema desta técnica é a margem de erro presente no sistema de GPS, inviável para navegações internas.
- **Utilização de Bússolas:** É uma técnica interessante para reconhecimento da orientação do robô, o que facilita muito na navegação do mesmo. Entretanto, as Bússolas são muito frágeis a interferências externas, como por exemplo, a proximidade de materiais ferro-magnéticos ou as fugas magnéticas dos motores presentes no próprio robô.
- **Odometria:** Consiste na medição da distância relativa percorrida pelo robô, utilizando sensores presentes nas rodas do mesmo. Necessita do conhecimento do ponto de origem.

As formas apresentadas anteriormente, para se trabalhar com auto-localização, possuem características únicas que as adequam para diferentes contextos de navegação. Por exemplo, segundo (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), a Utilização de Mapas é uma técnica bastante útil quando se está trabalhando com um ambiente conhecido e estático, porém, em ambientes mutáveis e não conhecidos, essa estratégia se torna um problema. A Localização Relativa em Grupos é a técnica adequada quando a navegação envolve muitos robôs, a qual não necessita de conhecimento prévio do mapa. A Utilização de Pontos de Referência é uma técnica comumente utilizada, é útil quando não se conhece o ambiente de navegação. Entretanto, os pontos de referência, nesse caso, precisam ser conhecidos.

Quando se têm ambientes abertos e amplos, a técnica de Localização Absoluta com GPS é a mais utilizada. Entretanto, sua margem de erro torna a navegação em ambientes pequenos ou fechados inviável, como apresenta (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002). A Navegação com utilização de Bússulas garante um apoio muito útil para orientação do robô. Contudo, essa técnica gera problemas relacionados a interferências externas, como materiais eletromagnéticos próximos à bússula (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002).

A técnica de Odometria é muito utilizada em navegações curtas, em ambientes com o piso regular e plano. Entretanto, segundo (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), esta técnica se caracteriza pela adição de erros a cada centímetro percorrido, por meio de derrapagens e falhas no giro das rodas.

Desse modo, é fácil perceber que cada técnica possui características que se adaptam melhor para diferentes situações. Ao longo deste trabalho, o principal foco de interesse é a navegabilidade de robôs simples e baratos, como os Kit Lego Mindstorms¹. Tais kits possuem poucas opções de sensores e características bem limitadas (HÁMORI; LENGYEL; RESKÓ,

¹ mindstorms.lego.com

2011). Os sensores do kit que serão utilizados neste trabalho são: *Sensor de proximidade*, *sensor RGB*, *sensor de contato* e *sensor odométrico*.

1.2 Problema de Pesquisa

Todas as técnicas de auto-localização apresentadas na seção anterior já foram testadas, comparadas e refatoradas em diferentes contextos, desde a navegação marítima até questões relacionadas à tecnologia aeroespacial (OLIVEIRA, 2008). Porém, sabe-se que, nestes contextos, o *hardware* utilizado para navegação era de alta tecnologia, possuindo processadores de altíssimo desempenho e sensores bem precisos.

Já em um contexto educacional, a infraestrutura disponível nem sempre engloba os critérios necessários para aplicação das técnicas de auto-localização. Um exemplo disso é a utilização, por (OLIVEIRA, 2008), de uma câmera omnidirecional para obter informações sobre o ambiente.

Desse modo, vê-se a necessidade da adaptação de técnicas de auto-localização para o contexto da Robótica Educacional, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da LEGO. Nesses kits, a capacidade de processamento e a precisão dos sensores e dos atuadores são limitadas. A intenção é tomar como base a técnica de mapeamento do ambiente e auto-localização simultâneos (conhecida como problema de SLAM - *Simultaneous Location and Mapping*) (DISSANAYAKE et al., 2001).

A questão de pesquisa que será discutida durante este trabalho é "*Como tratar o problema de SLAM no contexto de robôs simples?*".

1.3 Justificativa

A utilização da Robótica como uma forma de ensinar programação em escolas e faculdades, conhecida como Robótica Educacional (MALIUK, 2009), traz alguns benefícios para o aluno. Conforme colocado pelos autores (GALVAN et al., 2006), (ZHAO et al., 2008), (MALIUK, 2009) e (WAHAB1; AZAHARI2; TAJUDDIN1, 2015), alguns desses benefícios são:

- Maior interesse pelos conteúdos estudados em aula;
- capacidade de trabalhar em grupo;
- aplicação prática do conhecimento teórico;
- multidisciplinaridade.

A Universidade de Brasília utiliza esta abordagem de ensino/aprendizagem durante a disciplina de Introdução à Robótica Educacional, ministrada em 2016, pelo professor Dr. Maurício Serrano. A disciplina utiliza os Kits de robótica Mindstorms, da Lego, para desenvolvimento de soluções dos problemas presentes em um tapete de missões. A organização da disciplina se inspira nos campeonatos de robótica, como o *ciber-rato* (LAU et al., 2002) ou *micro-rato* (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002). Neste tipo de campeonato, a navegação é o quesito mais importante (LAU et al., 2002), a qual deve possuir a menor margem de erro para solucionar as missões.

As missões utilizadas durante a disciplina da UnB são referentes a problemas recorrentes no contexto da robótica mundial. A solução dos problemas é uma adaptação das técnicas existentes para o contexto limitado da disciplina, onde são utilizadas apenas ferramentas presentes no kit *Mindstorms* da Lego. Esta adaptação exige um conhecimento específico sobre a técnica, para que o estudante possa identificar características relevantes e adaptá-las de acordo com o *hardware* disponível.

A disciplina já influenciou dois estudantes de Engenharia de Software a se aprofundarem no contexto da robótica e robótica educacional, gerando dois trabalhos de conclusão de curso, (RINCON, 2015), que desenvolveu um *framework* de definição de trajetórias para robôs móveis, e (RAMALHO, 2015), que desenvolveu um algoritmo para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. O trabalho atual vem para complementar os trabalhos realizados pelos dois alunos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Adaptar técnicas de resolução do problema de SLAM para o contexto de robôs simples, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da Lego, em um primeiro momento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Solucionar o problema de SLAM;
- Propor adaptação pro contexto de robôs simples, na robótica educacional;
- Implementar adaptação.

1.5 Metodologia

Primeiramente, antes de discutir a metodologia a ser seguida para desenvolvimento desta pesquisa, vale ressaltar o marco teórico que sustenta este trabalho. Dentre as di-

versas técnicas e maneiras possíveis de realizar a auto-localização no contexto de robôs autônomos, este trabalho se baseia exclusivamente no conjunto de autores que busca solucionar este problema utilizando a técnica de SLAM. Nesta técnica, a auto-localização é o resultado do processamento de um mapa que é construído simultaneamente pelo próprio robô. Desse modo, este trabalho não busca tratar técnicas de auto-localização baseadas em outras abordagens, como a utilização de mapas prévios, por exemplo.

Este trabalho segue uma metodologia de pesquisa exploratória e com uma abordagem qualitativa, onde são selecionadas, comparadas e analisadas técnicas de resolução do problema de SLAM. De acordo com (OLIVEIRA, 2011), a pesquisa exploratória tem como objetivo ampliar os conhecimentos do pesquisador sobre o tema. O uso da pesquisa exploratória, neste trabalho, se dá pela necessidade do conhecimento sobre as técnicas de resolução do problema de SLAM, com o intuito de realizar adaptações das mesmas para o contexto de robôs simples. Já a abordagem qualitativa, tem como objetivo entender o funcionamento e as técnicas existentes, para buscar uma forma de adaptação para um contexto simplificado, não se importando com dados quantificáveis.

Com o objetivo de identificar o máximo de técnicas possíveis, com os mais diferentes tipos de *hardwares*, será realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas *Auto-localização na Robótica*, *o Problema de SLAM* e *as características dos robôs simples presentes na Robótica Educacional*. As principais fontes de dados em estudo são as bases da CAPES, IEEE e Scopus.

A primeira fase deste trabalho é focada em estabelecer pilares teóricos que sustentem um projeto de adaptação de técnicas durante a segunda fase. Esta primeira fase pode ser sub-dividida em três atividades: *Realizar Pesquisa Bibliográfica*, *selecionar Técnicas* e *Propor Adaptações*. As mesmas estão distribuídas de acordo com o cronograma disposto na tabela 1.

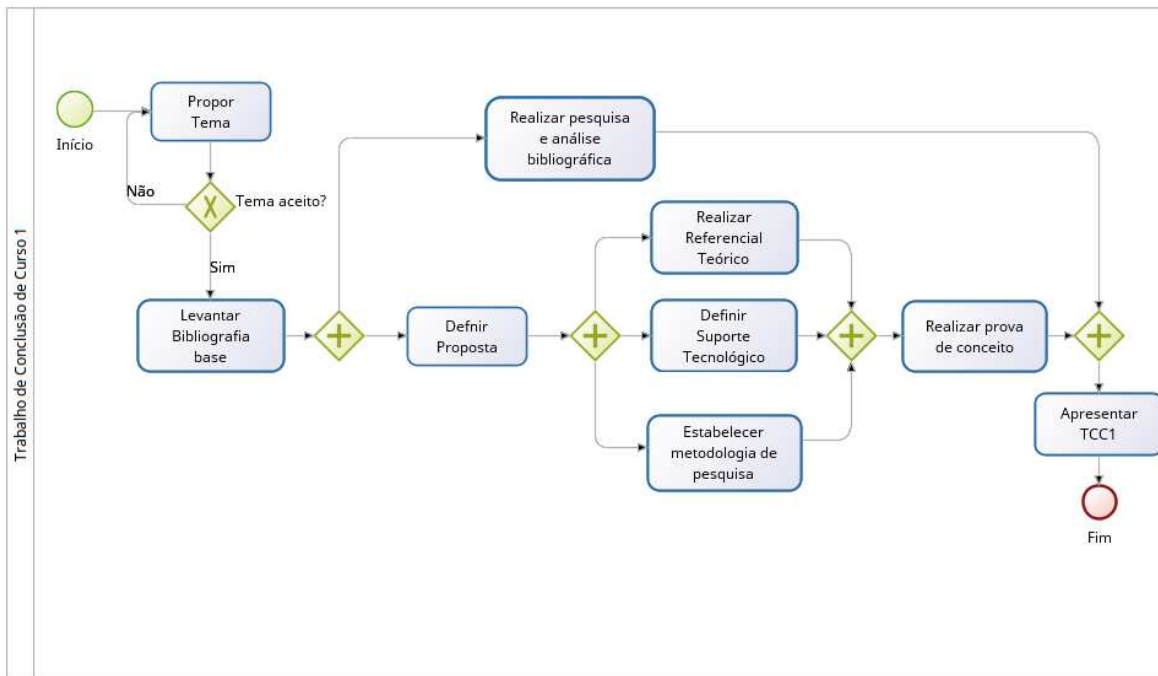
Cronograma	Março	Abril	Maio	Junho
Selecionar Tema	X			
Realizar pesquisa bibliográfica	X	X	X	X
Definir proposta	X			
Escrever referencial teórico		X	X	
Estabelecer suporte tecnológico		X	X	X
Evoluir metodologia		X	X	
Realizar prova de conceito				X
Apresentar TCC 1				X

Tabela 1 – Cronograma TCC 1

Com o objetivo de definir e acompanhar o processo de desenvolvimento da primeira

etapa do trabalho de conclusão de curso, foi modelado um processo metodológico, o qual se encontra na figura 1.

Figura 1 – Processo Metodológico



- **Propor tema:**

A atividade de propor tema engloba desde a escolha do contexto em que se deseja trabalhar, até a definição dos orientadores do trabalho. Após a escolha do contexto e dos orientadores, busca-se definir um escopo que será atacado durante o trabalho, ou seja, o tema. Os orientadores devem validar o tema escolhido para concluir a atividade.

- **Levantar bibliografia base:**

Esta atividade se trata da definição de pilares para o estudo proposto, ou seja, grandes estudiosos da área. Este levantamento garante o entendimento do contexto trabalhado e as possibilidades de atuação, especificando melhor o escopo.

- **Definir Proposta:**

Documentar a proposta de pesquisa para este trabalho. A proposta inclui uma introdução com a contextualização do tema, o objetivo geral e específicos, a justificativa e uma metodologia de pesquisa.

- **Realizar pesquisa e análise bibliográfica:**

A realização da pesquisa bibliográfica simula uma simples revisão sistemática, com o objetivo de ampliar os conhecimentos em relação ao tema, conhecendo trabalhos relacionados ao tema em diversas bases científicas, como *IEEE*, *Scopus*, *Springer* e *CAPES*.

- **Realizar referencial teórico:**

Trata-se da escrita do capítulo dois do trabalho, onde se encontra o referencial teórico do mesmo. Como input para esta atividade, se encontram todas as pesquisas bibliográficas obtidas durante a atividade de *Realizar pesquisa e análise bibliográfica*. Neste capítulo o tema será especificado com mais detalhe.

- **Definir Suporte Tecnológico:**

Nesta atividade são definidas todas as ferramentas e tecnologias utilizadas para a execução deste trabalho.

- **Estabelecer Metodologia de pesquisa:**

Durante esta a atividade, a metodologia de pesquisa inicial, apresentada durante a *proposta*, deve ser evoluída, com o objetivo de adequar as formas de atuação para garantir a qualidade e efetividade do trabalho proposto.

- **Realizar prova de conceito:**

Implementar uma prova de conceito que utilize alguma técnica de mapeamento e auto-localização, utilizando os kits de robótica Mindstorms da Lego.

- **Apresentar TCC 1:**

Apresentar todo o trabalho realizado durante a primeira etapa do trabalho de conclusão de curso para a banca examinadora.

2 Referencial Teórico

Durante esta seção, questões referentes a todo o contexto abordado neste trabalho serão apresentadas e descritas de forma prática para facilitar o total entendimento do tema trabalhado.

2.1 A Robótica e a Auto-Localização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, onde a automação de atividades repetitivas garantiu maior eficiência e, conseqüentemente maior lucro (ROMANO, 2002). Porém, com o passar dos anos, a robótica vem se expandindo e fazendo parte da vida cotidiana de muitos (GALVAN et al., 2006). A robótica é uma importante ferramenta que apóia o trabalho humano em diversos contextos, seja para a limpeza de uma casa (MARTINS, 2008) ou até para explorar novos planetas, por exemplo (MAIMONE; CHENG; MATTHEWS, 2007).

No contexto da robótica móvel, existem por exemplo, os robôs de serviço. Os quais vêm sendo largamente evoluídos pela comunidade de robótica (PINTO, 2008). Ainda segundo (PINTO, 2008), estes robôs, geralmente, desempenham ações que contemplam diversas aplicações, como:

- Aplicações que envolvam risco de vida significativo para humanos (MAIMONE; CHENG; MATTHEWS, 2007);
- Funções economicamente desvantajosas no uso de trabalhadores humanos (ROMANO, 2002);
- Uso humanitário (cadeiras de rodas autônomas, por exemplo);
- Uso educacional (FARROKHSHIAR; KRYSS; NAJJARAN, 2010).

Robôs de serviço capazes de se deslocar livremente pelo ambiente, conhecendo-o, poderão realizar suas atividades de forma mais eficiente (PINTO, 2008), o que garante sua autonomia.

Segundo (ROMANO, 2002), a palavra *automação* traz à mente a noção de que a máquina será capaz de sentir e interagir com o ambiente, conseguindo se localizar e navegar por ele, executando suas atividades. Para que esta navegação seja possível, o robô precisa obter informações sobre o ambiente, as quais são obtidas a partir da utilização de sensores (CHEW et al., 2009a). Segundo (MACHADO, 2003), existem inúmeros tipos de sensores,

desde sensores de toque até sensores de visão ou de som. Os sensores mais utilizados em robôs móveis, segundo (MACHADO, 2003), são:

- *Odômetro:*

São sensores de implementação simples e de baixo custo. Este tipo de sensor conta a quantidade de rotações de cada roda do robô, o que permite calcular o trajeto percorrido pelo mesmo. Esta técnica é conhecida como *dead-reckoning*, como é apresentado por (WON et al., 2008). Segundo (MACHADO, 2003), técnicas como o *dead-reckoning* são bastante suscetíveis a erros, graças ao não alinhamento das rodas, derrapagens das mesmas e até erros no sinal dos sensores.

- *Câmera:*

A utilização de câmeras pode ser bastante útil quando se deseja navegar em um ambiente fechado, construído pelo homem e com características bem definidas, como afirma (MACHADO, 2003). Porém, sua utilização possui uma exigência computacional (OLIVEIRA, 2008) que muitas vezes pode inviabilizá-la.

- *Sonar:*

É um tipo de sensor de proximidade barato e de fácil utilização e, por esse motivo, é bastante utilizado em robôs móveis para ambientes fechados (MACHADO, 2003). Ainda segundo (MACHADO, 2003), em ambientes abertos, este é um sensor falho, devido ao seu alcance limitado e por não ser direcionado.

- *Infravermelho:*

É um tipo de sensor muito semelhante aos sonares, porém estes são direcionados, ou seja, são capazes de identificar a direção do objeto (PINTO, 2008).

- *Laser:*

Também é um tipo de sensor semelhante aos sonares e sensores de infravermelho, porém estes, além de serem direcionados, são mais precisos. O que os tornam equipamentos mais caros (MACHADO, 2003).

A utilização de cada tipo de sensor se dá de acordo com o contexto em que se deseja navegar, levando em consideração a maneira mais viável de entender o ambiente ao seu redor (MACHADO, 2003). Utilizando os sensores, o robô obterá informações sobre o ambiente, e precisa processá-las para *entender* o mesmo. A maneira de processar (analisar) essas informações também depende do contexto da navegação, como mostra (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002).

Para que a navegação ocorra sem colisões em obstáculos, o robô precisa, além de informações sobre o ambiente, informações relacionadas a sua posição em relação a este

ambiente (PINTO, 2008). Para solucionar este problema, uma técnica bastante difundida é a utilização de mapas, como mostra (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002). Nesta técnica, o robô recebe o mapa do ambiente que se deseja navegar a priori e, a partir deste mapa, traça sua trajetória sem obstáculos. Utilizando este mapa e informações do ambiente, o robô é capaz de se auto-localizar no ambiente, navegando com maior precisão (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002).

Porém, esta técnica possui requisitos que, muitas vezes, são inviáveis, como o conhecimento prévio do mapa do ambiente. Caso o objetivo seja navegar em um ambiente desconhecido, onde não há mapa nem pontos de referência já conhecidos, deve-se buscar formas de se auto-localizar e navegar utilizando apenas as informações obtidas pelos sensores. Para isso, vem sendo discutida entre toda a comunidade de pesquisadores em robótica móvel, a resolução do problema de SLAM (Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes Simultâneos). Segundo (DISSANAYAKE et al., 2001), SLAM é considerado, pela comunidade, como o *Santo Graal* da robótica móvel.

2.2 O Problema de SLAM

Auto-localização e Mapeamento de Ambientes Simultâneos (SLAM) é uma técnica muito utilizada para navegação em diferentes contextos, como na navegação marítima, por exemplo (DISSANAYAKE et al., 2001). Segundo (DISSANAYAKE et al., 2001), uma máquina capaz de partir de um ponto de origem desconhecido em um ambiente desconhecido e, utilizando seus sensores, mapear o ambiente, utilizando este mapa, simultaneamente, para se auto-localizar no ambiente faz juz a palavra *robô*. Desse modo, pesquisadores em robótica móvel vêm buscando soluções elegantes para o problema de SLAM (WON et al., 2008).

Inúmeras soluções para o problema de SLAM, em diferentes contextos, já foram desenvolvidas e vêm sendo refinadas, com o intuito de maximizar a efetividade da navegação (PINTO, 2008). Segundo (ADAMS; MULLANE; VO, 2013), graças a natureza imperfeita presente nos sensores, a falta de previsibilidade em ambientes reais de atuação e a necessidade de aproximações para viabilizar a análise de decisões computacionais, a robótica é uma ciência dependente de algoritmos probabilísticos. E por esse motivo, diversas abordagens de análise probabilística podem ser seguidas (ADAMS; MULLANE; VO, 2013).

De acordo com (DISSANAYAKE et al., 2001), a abordagem mais utilizada para resolução do problema de SLAM, é a utilização do filtro de Kalman. (PINTO, 2008) descreve o filtro de Kalman como: "*Um algoritmo recursivo de processamento de informações, proporcionando a estimação ótima do estado de um sistema dinâmico com ruído linear*".

Este filtro utiliza diversas disciplinas, como mostra (PINTO, 2008):

- Mínimos quadrados;
- Teoria das probabilidades;
- Sistemas dinâmicos;
- Sistemas estocásticos;
- Álgebra.

Porém, a utilização da abordagem do filtro de Kalman, geralmente, exige requisitos computacionais de alto custo, dificultando sua utilização em um contexto de robôs simples, onde baixo processamento e pouca memória fazem parte da realidade (MACHADO, 2003).

Em seu trabalho, (DISSANAYAKE et al., 2001) exemplifica este problema, quando quantifica a relação entre o crescimento do requisito computacional necessário para a quantidade de pontos de referência no ambiente, com a utilização do filtro de Kalman. Segundo ele, enquanto a quantidade de pontos de referência aumenta em N , os requisitos computacionais e de armazenamento necessários aumentam em N^2 . (DISSANAYAKE et al., 2001) mostra que este problema pode ser solucionado, em parte, utilizando técnicas de aproximação delimitada, por exemplo. Entretanto, estas técnicas minimizam o problema, mas não o solucionam completamente (DISSANAYAKE et al., 2001).

Outra abordagem bastante utilizada para resolução do problema de SLAM envolve a utilização do filtro de Partículas, que é uma técnica para implementação de um *Filtro Bayesiano* de forma recursiva utilizando o método de *Monte Carlo* (WON et al., 2008). O método de Monte Carlo baseia-se em amostragens aleatórias em grande quantidade com o objetivo de estabelecer o valor de uma grandeza que não é disponível através de uma expressão matemática (MOONEY, 1997) e (NETO, 2015).

O funcionamento desta abordagem se baseia em subdividir o ambiente em partículas espalhas uniformemente, que representam o robô munido de seus sensores (NETO, 2015). Cada partícula é uma hipótese da posição atual do robô (GUIZILINI et al., 2004). O robô e as partículas obtêm informações do ambiente, o robô utilizando seus sensores e as partículas utilizando equações matemáticas para geração destes dados (NETO, 2015). As informações obtidas pelo robô real são comparadas com as informações de cada partícula, excluindo as partículas que não oferecem informações semelhantes às do robô real (NETO, 2015). Com o passar dos ciclos, as partículas que ainda continuam no ambiente representam a posição atual do robô (NETO, 2015).

A partir da comparação entre estas duas abordagens (filtro de Kalman e filtro de Partículas) (NETO, 2015), observou-se que as duas possuem vantagens e desvantagens. O filtro de Kalman converge mesmo com um estado inicial impreciso, fornecendo informações sobre as incertezas presentes em cada estágio e permitindo, ainda, a incorporação de toda a

informação disponível (sensores) para minimizar a margem de erro da estimativa (NETO, 2015). Porém, ele só garante a efetividade da estimativa para sistemas lineares com ruídos gaussianos (NETO, 2015). O mesmo não resolve o problema do sequestro do robô.

Já o filtro de Partículas permite sua utilização em sistemas sem ruído gaussiano, e soluciona o problema do sequestro do robô (SEIFZADEH; WU; WANG, 2009). Entre suas desvantagens se encontra o alto custo computacional e a dificuldade da definição da quantidade ideal de partículas a serem utilizadas (NETO, 2015).

O sequestro do robô, citado acima, é um problema especial de localização global no campo da robótica móvel, onde o desafio deste problema, segundo (MAJDIK et al., 2010), é fazer com que o robô seja capaz de se localizar em um mapa após ser sequestrado (ser retirado de sua posição e colocado em uma posição desconhecida no mapa).

As duas grandes abordagens apresentadas acima são amplamente utilizadas em diversos contextos do mundo real, contemplando questões importantes a serem estudadas e refinadas por estudiosos de engenharia de todo o mundo, desde estudantes que buscam ingressar nesta área até profissionais da área (CHEW et al., 2009b). Desse modo, vê-se a necessidade da adaptação de técnicas de resolução do problema de SLAM, seja a partir de uma abordagem baseada no filtro de Kalman, ou de uma abordagem baseada no filtro de Partículas, para um contexto Educacional. Onde sensores, capacidades de processamento e memória são bastante limitados (ZHAO et al., 2008).

2.3 Robótica Educacional

A utilização da robótica como uma ferramenta de apoio ao aprendizado vem sendo ampliada com o passar dos anos (GALVAN et al., 2006). Principalmente graças ao reconhecimento, por muitos autores, dos benefícios da utilização destas tecnologias como abordagem de ensino, onde os alunos são inseridos no problema real e instigados a solucioná-lo (GALVAN et al., 2006), (NUNES; SANTOS, 2013), (BENITTI et al., 2009).

Entre os benefícios apresentados por (QUARTIERO, 2007) e (COSTA, 2010), pode-se destacar, o maior interesse dos alunos sobre o tema, a abordagem facilitadora para o relacionamento entre aluno, professor e conteúdo, a experiência com trabalho em grupo, a multidisciplinariedade e a construção do conhecimento por parte do aluno.

Referente ao aperfeiçoamento do interesse dos alunos sobre o tema, (NUNES; SANTOS, 2013) e (GALVAN et al., 2006), apresentam motivos deste aperfeiçoamento, como:

- Curiosidade sobre a tecnologia
- Reconhecimento do problema real como um problema cotidiano do aluno
- Utilização da abordagem *Hands-on*

Sobre o aperfeiçoamento da relação entre alunos, professor e conteúdo, (NUNES; SANTOS, 2013), destaca a reformulação do padrão de ensino e aprendizagem durante a aula. De acordo com (NUNES; SANTOS, 2013), no contexto do ensino tradicional, o aluno busca *clonar* o conhecimento do professor, decorando informações para, no futuro, utilizá-los no contexto real. (BENITTI et al., 2009) acrescenta que, esta abordagem, além de limitar o aprendizado do aluno ao conhecimento do professor, minimiza a capacidade de aprendizado do aluno, já que o conhecimento não é construído, e sim repassado.

Já na abordagem da utilização de tecnologias no contexto educacional, a resolução prática do problema atacado faz com que alunos e professores trabalhem lado-a-lado, muitas vezes realizando troca de papéis aluno/professor, como apresentam (NUNES; SANTOS, 2013) e (QUARTIERO, 2007). Desse modo, em muitas ocasiões, os alunos se encontram explicando uma possível solução do problema ao professor, o que acaba com o aprendizado limitado ao conhecimento do professor (COSTA, 2010). (NUNES; SANTOS, 2013) caracteriza o professor como um fio condutor do conhecimento, e não a fonte do mesmo.

Já, de acordo com a relação da experiência do aluno em trabalhos em grupo, a abordagem *Hands-on* garante que todos os envolvidos na solução devem interagir entre si, trocando conhecimento e ideias (GALVAN et al., 2006). Qualquer contexto em que se deseja trabalhar, atualmente, envolve inúmeras atividades de trabalho em grupo (GALVAN et al., 2006). Desse modo, o aperfeiçoamento da capacidade de trabalhar em grupo é uma atividade essencial para o futuro profissional do aluno (COSTA, 2010).

Outra característica importante da utilização da tecnologia como ferramenta de aprendizado, é a multidisciplinariedade (SILVA et al., 2014), já que conteúdos referentes a diversas disciplinas são trabalhados e adaptados para buscar a solução do problema atacado. (GALVAN et al., 2006) sugere a utilização de atividades multidisciplinares para aprendizado de conteúdos base, como matemática e física, minimizando o problema do conhecimento parcial de certos conteúdos.

Além de todos os benefícios apresentados acima, uma forte qualidade da abordagem *Hands-on* é referente a construção do conhecimento por parte do aluno (COSTA, 2010). Esta construção é gerada utilizando conhecimentos básicos de diferentes disciplinas para solucionar um problema que exige a integração de diversos conteúdos, seguindo uma filosofia construcionista, como é apresentado por (NUNES; SANTOS, 2013).

De acordo com (NUNES; SANTOS, 2013), quando o aluno se sente imerso no problema trabalhado, a maneira com que o mesmo aprende é aperfeiçoada, maximizando as relações entre aluno, professor e conteúdo. Este pensamento segue uma filosofia construcionista, a qual, de acordo com (NUNES; SANTOS, 2013), implica no objetivo de ensinar, de forma a produzir o máximo de aprendizagem a partir do mínimo de ensino.

A utilização de aplicações rotineiras do mundo real é uma forma bastante eficaz

de obter máximo interesse dos alunos nos conteúdos apresentados (NUNES; SANTOS, 2013). Desse modo, inserir alunos na resolução de problemas presentes no contexto da robótica móvel, por exemplo, fará com que os mesmos aprendam, com eficiência, diversos temas recorrentes no contexto mundial da robótica móvel (CHEW et al., 2009b), além de conteúdos presentes em diversas disciplinas, como matemática e física (MALIUK, 2009).

O construcionismo é baseado em uma filosofia construtivista (NUNES; SANTOS, 2013), que afirma que o conhecimento não deve ser uma cópia da realidade, e sim uma construção, realizada pelo aluno a partir da sua interação com o contexto do problema (BECKER, 2009).

Segundo (CHEW et al., 2009b), a utilização da robótica no meio da educação traz inúmeros benefícios que vão além dos objetivos diretos da melhoria da aprendizagem. De acordo com ele, sua utilização garante a introdução dos estudantes nos problemas recorrentes do contexto de Engenharia mundial. Esta introdução possui grande importância para a evolução do país, já que a demanda por profissionais qualificados na área de Engenharia, no mundo atual, é ampla (CHEW et al., 2009b). De acordo com (SILVA et al., 2014), em 2014 no Brasil, haviam cerca de 78 mil vagas relacionadas à área de Tecnologia da Informação e apenas 33 mil foram preenchidas, o que comprova a falta de profissionais na área. (SILVA et al., 2014) afirma, ainda, que o motivo para esta falta de profissionais são resultados advindos do baixo interesse por parte dos estudantes brasileiros por ciências exatas.

Grande parte deste baixo interesse, segundo (BECKER, 2009), é devido a metodologia tradicional de ensino, onde os alunos buscam copiar o conhecimento do professor, sem atividades com abordagem construcionista de aprendizado, por exemplo. Uma forma de aumentar o interesse dos alunos, segundo (MALIUK, 2009), é a utilização da robótica como uma ferramenta de apoio ao aprendizado, seguindo uma abordagem construcionista.

Atualmente, de acordo com (SILVA et al., 2014), no Brasil, o ensino de computação e robótica se restringe aos níveis superiores e técnicos, exceto alguns projetos realizados por universidades em escolas de nível fundamental e médio, como (SERRANO; SERRANO, 2014). Esta introdução tem como objetivo introduzir noções lógicas e computacionais na Educação Básica, despertando o interesse dos alunos nas ciências exatas e estimulando-os a ingressar na carreira de Engenharia (SILVA et al., 2014).

Diversas ferramentas já foram desenvolvidas com o objetivo de apoiar a inserção de alunos da Educação Básica no contexto da computação e robótica, entre as utilizadas por (SILVA et al., 2014), (SERRANO; SERRANO, 2014), (CHEW et al., 2009b), estão:

- **RoboMind:**

É um ambiente de desenvolvimento desenvolvido por Arvid Halma, da Universidade de Amsterdam, que tem como objetivo facilitar o ensino de programação para

estudantes do ensino básico. Utiliza um robô virtual para exercitar os conceitos de inteligência artificial e lógica de programação. A linguagem utilizada é chamada Robo/Roo, e permite implementação da movimentação do robô em um ambiente 2D (duas dimensões). As funções básicas da ferramenta¹, são *ver*, *andar*, *pegar*, *pintar*, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Funções básicas RoboMind



- **Scratch:**

É um ambiente de desenvolvimento criado por Lofelong Kindergarten Group(LLK), que é um grupo de pesquisa do MIT. Também tem como objetivo introduzir conceitos de programação a alunos da educação básica. Com a utilização desta ferramenta é possível desenvolver jogos, animações e histórias interativas, de modo visual.

A utilização da ferramenta pode ser visualizada na figura 3, onde são apresentadas funções básicas no modo visual de desenvolvimento do Scratch.

¹ <http://www.robomind.net/pt/index.html>

Figura 3 – Funções básicas Scratch

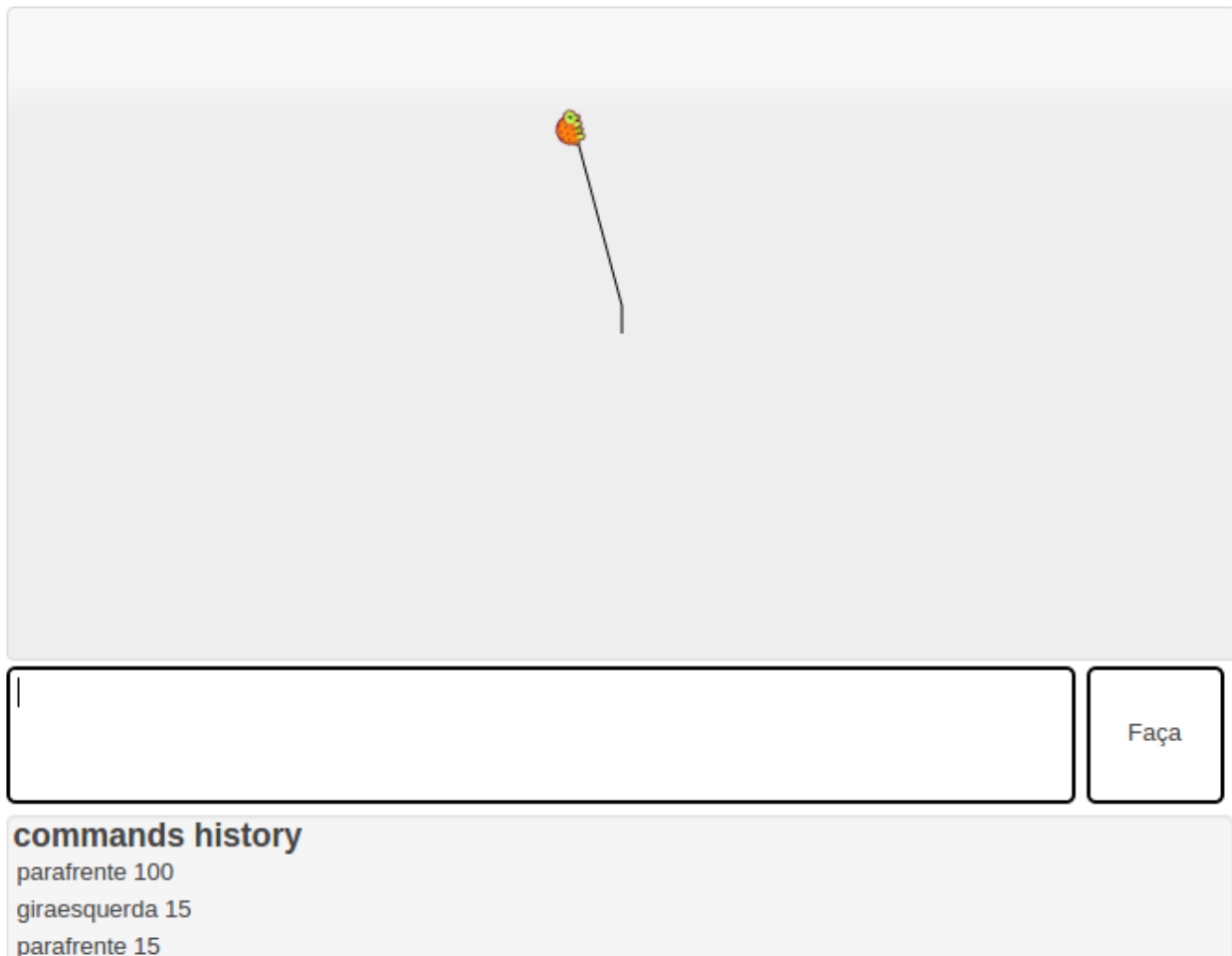


- **Linguagem Logo:**

A linguagem Logo² também foi desenvolvida em 1967, também pelo MIT. É uma linguagem interpretada, bastante utilizada para o desenvolvimento de inteligência artificial no contexto educacional. Sua utilização também é de forma visual, como apresenta a figura 4. A caixa de texto visível na figura 4 recebe os comandos para movimentação do robô virtual em um ambiente 2D (duas dimensões).

² <https://logo.codeplex.com/>

Figura 4 – Ambiente de desenvolvimento em Logo



- **Kodu Game Labs:**

Foi desenvolvido pelo laboratório de pesquisas FUSE (Future Social Experiences), que é mantido pela Microsoft. Esta ferramenta possui uma complexidade que não estava presente nas ferramentas apresentadas anteriormente. Seu objetivo é desenvolver jogos em ambiente 3D (três dimensões) no contexto educacional, facilitando o aprendizado de programação orientada a objetos.

Os jogos desenvolvidos se baseiam na criação de um mundo completo, com personagens, ações e objetos. Os personagens utilizados podem ser inseridos com funções já pré-definidas, ou o usuário pode programar o personagem da forma de desejar, garantindo a flexibilidade e quantidade de possibilidades da ferramenta.

- **Alice:**

Assim como o Kodu Game, a ferramenta Alice também disponibiliza um ambiente tridimensional para desenvolvimento de animações e jogos interativos. Foi desenvolvida por um grupo de pesquisa liderado por Randy Pausch, da Universidade de

Virgínia e Universidade de Carnegie Mellon. Diferentemente do Kodu Game, a ferramenta Alice possui apenas um *Mundo* onde serão implementadas todas as histórias e relações da animação ou jogo. Após análise da ferramenta, (??) cita problemas de instabilidade e *bugs*.

- **Mindstorms Lego:**

Os kits de robótica Mindstorms da Lego, diferentemente de todas as ferramentas apresentadas acima, disponibiliza um ambiente real de desenvolvimento. Envolve a implementação de ações dos atuadores presentes em cada robô, onde estas ações serão executadas se baseando nas informações advindas dos sensores.

Todas estas ferramentas apresentadas são utilizadas em diversos contextos, desde a utilização como apoio ao aprendizado, como mostra (GALVAN et al., 2006), até a utilização em campeonatos e jogos, como mostra (LAU et al., 2002). Segundo (SILVA et al., 2014), existem abordagens que utilizam ferramentas virtuais para facilitar o aprendizado. Porém, segundo (CHEW et al., 2009a), a utilização de ferramentas reais, equipadas com sensores e atuadores garantem maior interesse e introdução do aluno no contexto da engenharia do mundo real. Desse modo, a ferramenta utilizada neste trabalho será o kit de robótica educacional Mindstorm, da Lego, que tem suas características especificadas a seguir.

2.3.1 Lego Mindstorms NXT

Com o passar dos anos, os componentes de *hardware* vêm sendo evoluídos continuamente (GALVAN et al., 2006). Esta evolução faz com que o preço de componentes simples tenda a diminuir, como exemplo temos pequenos processadores poderosos e praticamente descartáveis (GALVAN et al., 2006). Desse modo, esta evolução dos componentes de *hardware*, vem permitindo a utilização dos mesmos em diversos contextos, como educação e entretenimento.

Com o crescimento de demandas relacionadas a estes componentes, nascem os kits de robótica que integram diversos componentes simples, porém poderosos para utilização no contexto educacional e de entretenimento (GALVAN et al., 2006). Entre os kits existentes atualmente no mercado, se destaca o kit de robótica Mindstorm, da Lego, o qual foi desenvolvido na década de 80 por pesquisadores do MIT. O kit utiliza peças de montagem no padrão Lego para construir a estrutura do robô, diversos tipos de sensores e alguns atuadores, para garantir a mobilidade e interação com o ambiente (GALVAN et al., 2006).

Desde o lançamento do kit, na década de 80, o mesmo é utilizado por diversas instituições de ensino como ferramenta de apoio ao aprendizado. O sucesso do kit o garantiu premiações devido a sua reusabilidade, modularidade e simplicidade, tudo isso associado ao seu baixo custo (GALVAN et al., 2006).

O cérebro do kit pode ser observado na imagem 5, onde se encontra um microprocessador disposto de diversos acessos para sensores e atuadores. Em alguns modelos do kit, o cérebro possui uma tela LCD e alguns botões para interação do usuário. Além do cérebro, o kit possui alguns sensores, como o apresentado na figura 6, e atuadores, como na figura 7

Figura 5 – Microprocessador central



Figura 6 – Sensor RGB - Lego



Figura 7 – Atuador - Lego



Além da obtenção do kit completo, como mostra na figura 8, é possível adquirir componentes separados, como sensores e atuadores específicos, o que garante a possi-

3 Suporte Tecnológico

Nesta seção serão apresentadas ferramentas e tecnologias utilizadas para suportar o desenvolvimento deste projeto. Desde a organização e definição da metodologia de pesquisa, até o desenvolvimento dos projetos pilotos durante o trabalho. Esta seção está dividida em *Projeto* e *Engenharia de Software*.

3.1 Engenharia de Software

Neste tópico serão apresentadas ferramentas e tecnologias voltadas ao contexto da Engenharia de Software que são utilizadas durante este trabalho, como por exemplo ferramentas para gerência de configuração e versionamento dos artefatos gerados.

3.1.1 GIT

A ferramenta GIT¹ foi desenvolvida por Linus Torvalds, mesmo criador do Linux, e assim como ele, é *open-source*. Disponibiliza uma eficiente forma de versionamento e gerenciamento de projetos.

3.1.2 Github

O Github² é uma ferramenta mais utilizada para hospedagem remota de projetos GIT. A ferramenta contempla uma *Wiki* para documentação do projeto e sistemas de *Issues* e *Milestones* para gerenciamento de atividades.

3.1.3 Bonita BPMN

Ferramenta para modelagem de processos *BPMN*³, o Bonita⁴ foi escolhido graças a sua facilidade de utilização e portabilidade para sistema Linux.

3.1.4 Linux Mint

O sistema operacional utilizado durante este trabalho será o Linux Mint⁵.

¹ <https://git-scm.com/>

² <https://github.com>

³ <http://www.bpmn.org/>

⁴ <http://www.bonitasoft.com/>

⁵ <https://www.linuxmint.com/>

3.1.5 LaTeX

O LaTeX⁶ é um sistema para criação de documentos utilizando textos *tex*, foi inicialmente desenvolvido por Leslie Lamport, na década de 80. O LaTeX oferece diversos comandos avançados para organização de alto nível de documentos, incluindo facilitadores para citações, bibliografias, fórmulas matemáticas, figuras e tabelas.

3.1.6 Sublime Text 3

O Sublime Text 3⁷, é um editor de texto bastante utilizados por programadores, por possuir apoio para diversas linguagens de programação, incluindo textos em LaTeX.

⁶ <https://www.latex-project.org/>

⁷ <https://www.sublimetext.com/3>

Referências

- ADAMS, M.; MULLANE, J.; VO, B.-N. Circumventing the feature association problem in slam. *IEEE Intelligent transportation systems magazine*, 2013. Citado na página 33.
- BECKER, F. O que é construtivismo? Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Citado na página 37.
- BENITTI, F. B. V. et al. Experimentação com robótica educativa no ensino médio: ambiente, atividades e resultados. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- CHEW, M. et al. Simple mobile robots for introduction into engineering. *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 41.
- CHEW, M. T. et al. Simple mobile robots for introduction into engineering. *International Instrumentation and Measurement*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 37.
- COSTA, A. H. R.; Okamoto Jr., J. *Robótica Industrial - Interação de Robô no Ambiente*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado na página 23.
- COSTA, T. C. A. Uma abordagem construcionista da utilização dos computadores na educação. Universidade Federal de Pernambuco, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- DISSANAYAKE, G. et al. A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem. The University of Sydney, Australia, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 25, 33 e 34.
- FARROKHSIAR, M.; KRYSS, D.; NAJJARAN, H. A teaching tool for the state-of-the-art probabilistic methods used in localization of mobile robots. Okanagan School of Engineering, University of British Columbia, Kelowna, B. C., Canada, 2010. Citado na página 31.
- GALVAN, S. et al. Innovative robotics teaching using lego sets. University of Verona, Italy, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 25, 31, 35, 36 e 41.
- GUIZILINI, V. C. et al. Implementação do dp-slam em tempo real para robôs móveis usando sensores. Universidade Estadual de Campinas, 2004. Citado na página 34.
- HÁMORI Ákos; LENGYEL, J.; RESKÓ, B. 3dof drawing robot using lego-nxt. Óbuda University, Hungary, 2011. Citado na página 25.
- LAU, N. et al. Ciber-rato: Uma competição robótica num ambiente virtual. 2002. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 41.
- MACHADO, K. F. Módulo de auto-localização para um agente exploratório usando filtro de kalman. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 34.

- MAIMONE, M.; CHENG, Y.; MATTHIES, L. Two years of visual odometry on the mars exploration rovers. *Journal of Field Robotics*, Wiley Online Library, v. 24, n. 3, p. 169–186, 2007. Citado na página 31.
- MAJDIK, A. et al. New approach in solving the kidnapped robot problem. Technical University of Cluj-Napoca, Romania, 2010. Citado na página 35.
- MALIUK, K. D. Robótica educacional como cenário investigativo nas aulas de matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 37.
- MARTINS, J. M. F. Melhoramento do desempenho do robot de serviço de limpeza. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado na página 31.
- MOONEY, C. Z. *Monte carlo simulation*. [S.l.]: Sage Publications, 1997. Citado na página 34.
- NETO, A. M. M. da S. Comparação entre o filtro de kalman e filtro de partículas aplicados na robótica móvel. Universidade Estadual de Campinas, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- NUNES, S. da C.; SANTOS, R. P. dos. O construcionismo de papert na criação de um objeto de aprendizagem e sua avaliação segundo a taxionomia de bloom. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 37.
- OLIVEIRA, M. F. de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. Universidade Federal de Goiás, Catalão GO, 2011. Citado na página 27.
- OLIVEIRA, P. R. G. D. Auto-localização e construção de mapas de ambiente para robôs móveis baseados em visão omnidirecional estéreo. São Paulo, Brasil, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 23, 25 e 32.
- PINTO, F. P. V. F. The cleaning robot project aplicação do filtro de kalman na auto-localização de um sistema robótico autônomo. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 33.
- QUARTIERO, E. M. Da máquina de ensinar à máquina de aprender: pesquisas em tecnologia educacional. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- RAMALHO, C. B. Máquina de raciocínio lógico para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. 2015. Citado na página 26.
- RINCON, R. L. Traveller: Um framework de definição de trajetórias para robôs móveis. 2015. Citado na página 26.
- ROMANO, V. F. *Introdução à Robótica Industrial*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 31.
- SANTOS, F. M.; SILVA, V. F.; ALMEIDA, L. Auto-localização em pequenos robôs móveis e autônomos: O caso do robô bulldozer iv. 2002. Citado 5 vezes nas páginas 23, 24, 26, 32 e 33.

SEIFZADEH, S.; WU, D.; WANG, Y. Cost-effective active localization technique for mobile robots. International Conference on Robotics and Biomimetics, 2009. Citado na página 35.

SERRANO, M.; SERRANO, M. Análise de ferramentas para o ensino de computação na educação básica. Universidade de Brasília (UnB/FGA), 2014. Citado na página 37.

SILVA, E. G. da et al. Análise de ferramentas para o ensino de computação na educação básica. XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 36, 37 e 41.

WAHAB1, A. F. A.; AZAHARI2, M. H.; TAJUDDIN1, R. M. An evaluation of robotic education scale in enhancing science achievement. Universiti Teknologi MARA, 2015. Citado na página 25.

WON, D. H. et al. Integration of vision based slam and nonlinear filter for simple mobile robot navigation. Konkuk University Seoul, Korea, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 32, 33 e 34.

ZHAO, S. et al. Research on robotic education based on lego bricks. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 35.