



CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ANTEPROJETO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MATHEUS DUTRA DE OLIVEIRA

FUSÃO DE DADOS PARA O SISTEMA MOBILYSA

MATHEUS DUTRA DE OLIVEIRA

FUSÃO DE DADOS PARA O SISTEMA MOBILYSA

Parte manuscrita do anteprojeto do trabalho de conclusão de curso do aluno Matheus Dutra de Oliveira, apresentada à Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Guarapari, como requisito parcial para aprovação na disciplina TCC I – Trabalho de Conclusão de Curso I.

Prof. da Disciplina: Prof. Dr. Alexandre Pereira do Carmo

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Pereira do Carmo Beltrano

Aluno: Matheus Dutra de Oliveira

Guarapari

2021

MATHEUS DUTRA DE OLIVEIRA

FUSÃO DE DADOS PARA O SISTEMA MOBILYSA

Parte manuscrita do anteprojeto do trabalho de conclusão de curso do aluno Matheus Dutra de Oliveira, apresentada à Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Guarapari, como requisito parcial para aprovação na disciplina TCC I – Trabalho de Conclusão de Curso I.

Aprovado em 01 de Agosto de 2019

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Pereira do Carmo Beltrano
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Pereira do Carmo
Instituto Federal do Espírito Santo
Prof. da Disciplina

Profa. Dra. Fulana de Tal
Instituto Federal do Espírito Santo
Examinadora

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma	18
---------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	JUSTIFICATIVA	8
3	OBJETIVOS	10
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1	LOCALIZAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS EM AMBIENTES INTERNOS	11
4.1.1	Odometria	11
4.1.2	Localização utilizando <i>Wi-Fi</i>	12
4.1.3	localização utilizando visão computacional em espaços inteligentes	13
4.2	FUSÃO DE DADOS	14
4.2.1	Filtro de Kalman	15
4.2.2	Filtro de Kalman Estendido	15
4.2.3	<i>UKF (Unscented Kalman Filter)</i>	15
4.2.4	Redes neurais artificiais	15
5	METODOLOGIA	16
6	VIABILIDADE TÉCNICA	17
7	CRONOGRAMA	18
	REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que no Brasil há mais de seis milhões e meio de pessoas que são portadoras de deficiência visual e que existem menos de duzentos cães guias no país (IBGE, 2010). Isso se deve ao fato que o treinamento de um cão-guia custa, em média, R\$50.000,00, pois o mesmo é diferenciado e realizado somente em alguns lugares do Brasil. Desse modo, o difícil acesso a locais de treinamento para cães-guias e a demora e custo elevado para treinar o mesmo reduzem as possibilidades de pessoas portadoras de deficiência visual terem esse recurso.

O cão-guia robô Lysa descrito em (COTTA *et al.*, 2019), é composto por funções que imitam um cão guia convencional como sensores que avisam aos deficientes visuais, por meio de mensagens de voz gravadas, a existência de buracos, obstáculos e riscos de colisões. Algoritmos de navegação que usam *GPS (Global Positioning System)* estão sendo desenvolvidos para que o usuário possa informar a sua rota para que a Lysa o conduza até seu destino. Contudo, como apresentado em (RODRIGUES *et al.*, 2013), o *GPS* resolve razoavelmente o problema da localização em ambientes externos, porém, infelizmente o mesmo não tem potência suficiente para permitir que seja feita a localização em ambientes internos (escolas, museus, shoppings, por exemplo).

Um espaço pode ser considerado inteligente quando mesmo possuir um sistema capaz de observar o meio através de uma rede de sensores (câmeras, microfones, termômetros, por exemplo) e tomar decisões de acordo com as necessidades do usuário através de atuadores (robôs móveis, telas de informação, eletrodomésticos automatizados, entre outros) (CARMO *et al.*, 2020).

Com o intuito de resolver o problema da localização e navegação do robô Lysa em ambientes internos, criou-se o MobiLysa, onde o mesmo usa a infraestrutura de um espaço inteligente para guiar a Lysa até o seu destino final. A localização do robô nesse sistema é feita utilizando visão computacional através da rede de câmeras presentes no local e a mesma é enviada até o controlador do robô por meio de um barramento de mensagens onde todos os serviços podem se comunicar (COTTA *et al.*, 2019).

Embora Imagens possam fornecer uma riqueza de informações e com o devido proces-

samento podem gerar dados de localização bastante precisos, contar com apenas um método para localizar o robô pode ser não satisfatório nos diversos tipos de ambientes internos, pois os mesmos podem apresentar zonas mortas (lugares que não são visualizados por nenhuma das câmeras presentes na rede), gerando então, vários lugares no mapas onde o robô não irá conseguir se localizar e conseqüentemente não concluir seu processo de navegação com sucesso. Ademais, como apresentado em (RAMOS *et al.*, 2012), um sistema que possui vários dados de localização fundidos apresenta robustez contra interferência, redução de ambigüidade e na incerteza e maior confiabilidade.

Desse modo, a proposta deste trabalho é introduzir ao MobiLysa um serviço para a navegação do robô Lysa, fazendo com que o mesmo possa se localizar em zonas mortas e que o sistema como um todo consiga navegar por toda a área prevista no mapa. Somado a isso, um algoritmo de fusão sensorial será adicionado para que o robô receba localizações precisas que serão compostas pela união dos sensores embarcados no robô e a localização feita por visão computacional utilizando as câmeras do ambiente.

2 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da tecnologia presente na vida das pessoas há uma crescente necessidade de propor soluções que façam indivíduos com algum tipo de deficiência levarem uma vida cada vez mais normal. Lysa, o cão guia robô, é um projeto desenvolvido pela startup capixaba Vixsystem e de responsabilidade social que tem como objetivo auxiliar pessoas com deficiência visual proporcionando-lhes uma melhor qualidade de vida. Contudo, a Lysa por si só não é capaz de navegar de maneira autônoma em ambientes internos.

Com intuito de resolver esse problema, foi idealizado o MobiLysa, cujo o mesmo é um serviço que utiliza de uma infraestrutura de um espaço inteligente para fornecer a Localização e Navegação para o robô Lysa em Ambientes Internos. Atualmente, o sistema localiza o robô pelas imagens que são obtidas da rede de câmeras do espaço com uso de técnicas de visão computacional.

Contudo, para que o robô consiga se localizar por todo o ambiente no qual o mesmo deseja navegar, faz se necessário o estudo e implementação de um serviço que faça ele se localizar com os dados vindos de sensores embarcados no próprio robô. Desse modo, mesmo se navegação se direcionar para uma área sem cobertura de câmeras o robô Lysa vai se manter o mais próximo possível do caminho planejado.

O objetivo inicial desse anteprojeto foi levantar trabalhos que tratam de localização de robôs baseada apenas em dados de odometria, sensores inerciais, odometria visual e até o uso de outras técnicas mais específicas como em (RODRIGUES *et al.*, 2013), que propôs uma técnica de localização de robôs móveis em ambientes internos utilizando wi-fi. Desse modo, o objetivo dessa etapa foi levantar soluções economicamente viáveis para que um serviço que faça a Lysa navegar em zonas mortas possa ser implementado.

A navegação em zonas mortas também será implementada como um novo serviço, o qual deverá interagir com o serviço de navegação já existente baseado em visão computacional. Sendo assim, como em (SHEN; TICK; GANS, 2011) e outros trabalhos que serão apresentados na seção de bibliografia usam o filtro de Kalman estendido

para a realização da fusão sensorial de diversos tipos de sensores de observação e predição.

Portanto, como técnicas para a construção do serviço de navegação em zonas mortas, espera-se usar dados de sensores embarcados do robô (odometria, sensores inerciais, Wi-fi, entre outros). Para interação desse serviço com o serviço já existente no MobiLysa será realizada uma fusão sensorial utilizando técnicas probabilísticas como por exemplo o filtro de kalman estendido.

3 OBJETIVOS

Desenvolver um novo serviço para o sistema MobiLysa, no qual o mesmo visa resolver o problema da navegação do robô em ambientes que não possuam cobertura total de câmeras. Sensores embarcados no robô serão utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Somado a isso, um algoritmo de fusão de dados será implementado para a integração dos serviços de navegação disponíveis no MobiLysa.

- Estudar diferentes técnicas de localização de robôs móveis em ambientes internos, com o objetivo de aplicar técnicas que resolvam o problema da navegação da Lysa em zonas mortas e sejam financeiramente viáveis.
- Estudar diferentes técnicas probabilísticas de fusão de sensores, com o objetivo de aplica-las a fusão de dados de localização de robôs móveis.
- Projetar, construir um serviço de fusão de dados para o sistema Mobilysa, onde o mesmo irá fundir os dados de localização de diferentes fontes sensoriais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 LOCALIZAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS EM AMBIENTES INTERNOS

Localizar um robô móvel consiste no desafio de determinar sua postura (pose) em relação a um referencial específico (por exemplo, o mapa do ambiente em que o robô se encontra). Contudo, existe dificuldade de se obter resultados precisos, por consequência das fontes de incerteza, este problema é comumente chamado de estimação de postura (*pose estimation*). A estimação da postura é feita de forma estocástica por meio de um algoritmo probabilístico, o qual mantém hipóteses sobre possíveis locais do mapa em que o robô possa estar (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Como descrito em (RODRIGUES *et al.*, 2013), definir a postura precisa do robô não é tarefa fácil pois ela geralmente não pode ser determinada diretamente. O maior empecilho para essa determinação são os ruídos intrinsecamente ligados às características dos sensores. Como os sensores são a base para a percepção do ambiente pelo robô, a sua localização acaba sendo inferida através dos dados ruidosos oriundos destes sensores. A dificuldade chave disto decorre do fato de que um único tipo de sensor de medição é normalmente insuficiente para determinar a postura. desse modo, o robô deve integrar os dados provenientes de dois ou mais tipos de sensores (RAMOS *et al.*, 2012), preferencialmente com características e naturezas distintas, para evitar que estejam sujeitos ao mesmo tipo de ruído.

Devido à ausência do sinal GPS em ambientes fechados, surge a necessidade de introduzir algumas técnicas de localização que são mais específicas para esse tipo de ambiente e que possivelmente serão utilizadas para a realização da fusão de dados. Desse modo, as técnicas de localização por odometria, Wi-fi e visão computacional em espaços inteligentes serão definidas abaixo.

4.1.1 Odometria

Como descrito em (COTA *et al.*, 2019), o conceito de odometria consiste em desenvolver um modelo matemático que descreve como os movimentos selecionados de juntas induzem movimento no veículo como um todo, e então integrar esses movimentos

específicos ao longo do tempo com o intuito de criar um modelo da posição e orientação atual do veículo.

A arquitetura comumente utilizada em veículos com rodas é a diferencial, onde a mesma é composta por duas rodas paralelas montadas em um eixo comum, controladas por motores separados.

Contudo, para computar o movimento das rodas são utilizados *encoders* (sensores que computam a velocidade de giro de uma roda). Sendo assim, quando a roda escorrega, o movimento é computado; porém o robô não se desloca. Dessa forma, esse erro será computado e propagado por todo o cálculo de deslocamento, somando-se a outros erros e causando imprecisão. Ademais, como feito em (SHEN; TICK; GANS, 2011) pode-se adicionar uma IMU (Unidade de Medição Inercial) para ajudar na detecção e correção rápida dos erros de postura do robô.

4.1.2 Localização utilizando *Wi-Fi*

Os avanços na tecnologia dos aparelhos móveis já permitem uma localização precisa de utilizadores com recurso a dispositivos sem-fios. Uma forma prática e bastante utilizada é utilizar os sinais *Wi-Fi* recebidos pelo utilizador dos diferentes *access points*. Portanto, as técnicas mais utilizadas são:

- *RSS(Really Simple Syndication)* e lateração. Baseiam-se na combinação das medições de *RSS* de um cliente para vários *access points* com modelos de propagação, de forma a obter a distância aos *access points*. Utilizando técnicas de Trilateração, a posição estimada do cliente é calculada, relativamente à posição conhecida dos *access points* (TORRES, 2018).
- *Fingerprinting*. Utiliza-se apenas os dados de *RSS*. Numa primeira fase são medidos os dados de *RSSI (Received signal strength indication)* em relação a vários *access points*, assim como a posição do cliente durante essas medições. Estes dados são guardados numa base de dados. Na fase de localização os dados atuais de *RSSI* são comparados com a base de dados retornando a posição de maior proximidade encontrada. A maior limitação destes sistemas é a

suscetibilidade a mudanças no ambiente, como a adição ou remoção de mobília (TORRES, 2018).

4.1.3 localização utilizando visão computacional em espaços inteligentes

Espaços inteligentes podem ser descritos como ambientes interativos equipados com uma rede de sensores (câmeras, microfones, ultrassons) que são capazes de extrair informações do meio, e um conjunto de atuadores (robôs, dispositivos móveis, telas informativas), que podem ser controlados por diferentes serviços computacionais para agir e modificar o ambiente. Além de controlar os atuadores, os serviços computacionais podem se comunicar com outros serviços através de um barramento de mensagens e analisar as informações adquiridas para ajudar na execução de tarefas e tomada de decisões (CARMO *et al.*, 2020).

Conforme descrito na figura 1, atualmente no sistema Mobylisa, a localização do robô Lysa é feita através de um serviço computacional que consome as imagens da câmera do ambiente e identifica um marcador do tipo ArUco em cima do robô. A localização desse marcador está em pixel e por isso a mesma é encaminhada para um outro serviço computacional que é responsável por entregar a localização do ArUco no referencial do mundo. Essa localização encaminhada para o controlador do robô para que o mesmo possa enviar os comandos de velocidade para o robô lysa poder consumi-las.

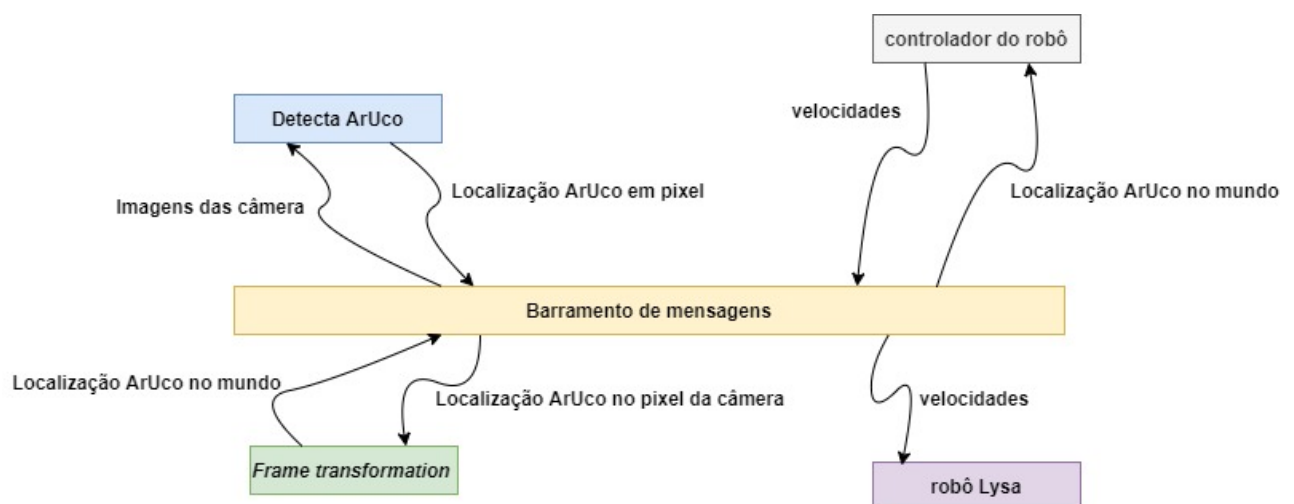


Figura 1: Localização no sistema Mobylisa

Como pode-se observar, esse método de localização usam sensores que não estão embarcados no robô o que difere dos métodos clássicos como a odometria.

4.2 FUSÃO DE DADOS

Os termos Fusão de Dados pode ser também mencionado como Fusão de Sensores, Integração de Múltiplos Sensores, Fusão de Múltiplos Sensores e Fusão da Informação. Todos esses termos são utilizados para se referir a aplicações que visam à combinação de informações providas de múltiplas fontes de dados (RAMOS *et al.*, 2012).

As vantagens desse tipo de abordagem se dar pela melhor tolerância a falhas devido ao uso de múltiplos sensores, pois caso algum falhe, os outros fornecem a informação correta, maior confiabilidade, pois a leitura de um sensor pode ser confirmada por outros sensores que efetuam a leitura do mesmo ambiente, combinação de informações, pois pode haver sensores que meçam diferentes aspectos do ambiente, combinando para fornecer uma nova informação, redução de ambiguidade e na incerteza, robustez contra interferência, pois pode haver diversos tipos de sensores diferentes que não são afetados pelo mesmo tipo de ruído (RAMOS *et al.*, 2012). Somado a isso, no caso específico do sistema Mobilysa, a fusão de dados resolvera o problema da navegação em zonas mortas, pois na falta da localização vinda das câmeras, o algorítmico de fusão entregará uma localização provida somente dos sensores do robô.

Em (SHEN; TICK; GANS, 2011), foi proposto uma técnica de localização baseado em visão(câmeras) de pose e velocidade baseado em *Homography matrices* contínuas e discretas, IMU e odometria. A odometria visual consiste em uma câmera em cima do robô onde a mudança de pose é determinada pela maneira discreta da *Homography matrices*, enquanto a forma contínua é utilizado para estimar a velocidade da câmera a todo o tempo. A IMU mede a velocidade angular e os *encoders* nas rodas mede a velocidade linear. Para realizar a fusão sensorial o sistema usa um filtro de Kalman que funde as informações da odometria visual, IMU e encoders e diminui erros devido a imperfeições dos sensores utilizados. Para fins de comparação, o sistema completo foi comparado com um sistema simplificado contendo apenas os dados da IMU e dos *encoders*, onde mesmo sem a odometria visual o robô apresentou uma resposta satisfatória na realização da tarefa.

No trabalho de (RAMOS *et al.*, 2012), foi proposto uma técnica de *SLAM* (*Simultaneous localization and mapping*) para robôs terrestres. O autor realizou uma fusão sensorial

entre a odometria e o sistema de medição inercial utilizando o *EKF* (*Extended Kalman Filter*). A fusão de sensores trouxe uma grande vantagem, pois além de melhorar o resultado, podendo ser implementada em baixo nível, ou seja, próximo ao sensor. Isso possibilita uma redução considerável de processamento, pois o controle do robô se detém apenas com a questão de SLAM.

A fusão sensorial de câmera e IMU para localização de dispositivo móveis é apresentada também na implementação de (HESCH *et al.*, 2014). O sistema de odometria visual-inercial utiliza um *EKF* para fundir as medições das câmeras e IMU.

Para a fundir um sonar e *laser scanner*, (ALVES, 2019) utilizou redes neurais artificiais. Os resultados foram considerados satisfatórios, tendo em vista que, a técnica de fusão sensorial se mostrou mais precisa do que a média das medidas dos sensores.

O trabalho de (MARTINS *et al.*, 2011) realizou a fusão da odometria e GPS utilizando o *UKF* (*Unscented Kalman Filter*), afim de fazer uma comparação com a técnica do *UKF*. Os resultados obtidos na comparação foram muito similares, ou seja, ambos os filtros reduziram os efeitos de deriva da odometria e de saltos/dados aberrantes advindos do GPS.

Como pode-se concluir, na literatura existem algumas técnicas diferentes que se propõem a resolver o problema da fusão de dados. Para diminuir os erros nos sistemas lineares pode ser utilizada a fusão de dados através do filtro de Kalman, e para o caso não linear pode ser utilizado filtros como o Filtro de Kalman Estendido (*EKF*) ou o *UKF*, contudo, técnicas como redes neurais artificiais também são abordadas para esse tipo de problema. Assim, será feita uma introdução abaixo sobre as técnicas de fusão de dados apresentadas nesse parágrafo.

4.2.1 Filtro de Kalman

4.2.2 Filtro de Kalman Estendido

4.2.3 *UKF* (*Unscented Kalman Filter*)

4.2.4 Redes neurais artificiais

5 METODOLOGIA

Inicialmente, pretende-se realizar testes no robô para ver o desempenho do mesmo em tarefas se localizando com o uso do seus próprios sensores (odometria, odometria com a IMU, por exemplo)

Em seguida, será analisada as técnicas de fusão de dados como *EKF (Extended Kalman Filter)*, *UKF (Unscented Kalman Filter)*, entre outras para a escolha do filtro a ser utilizado na fusão de sensores.

Depois de analisado o filtro a ser utilizado na integração dos sensores, será construído um algoritmo para a fusão de dados de localização do robô.

O algoritmo de fusão de dados será adaptado para ser um serviço computacional ("fusor de dados" na figura 2) que se comunicará com o espaço inteligente. A figura 2 representa o que se espera do funcionamento da localização do robô no sistema Mobylysa após a criação do serviço de integração sensorial.

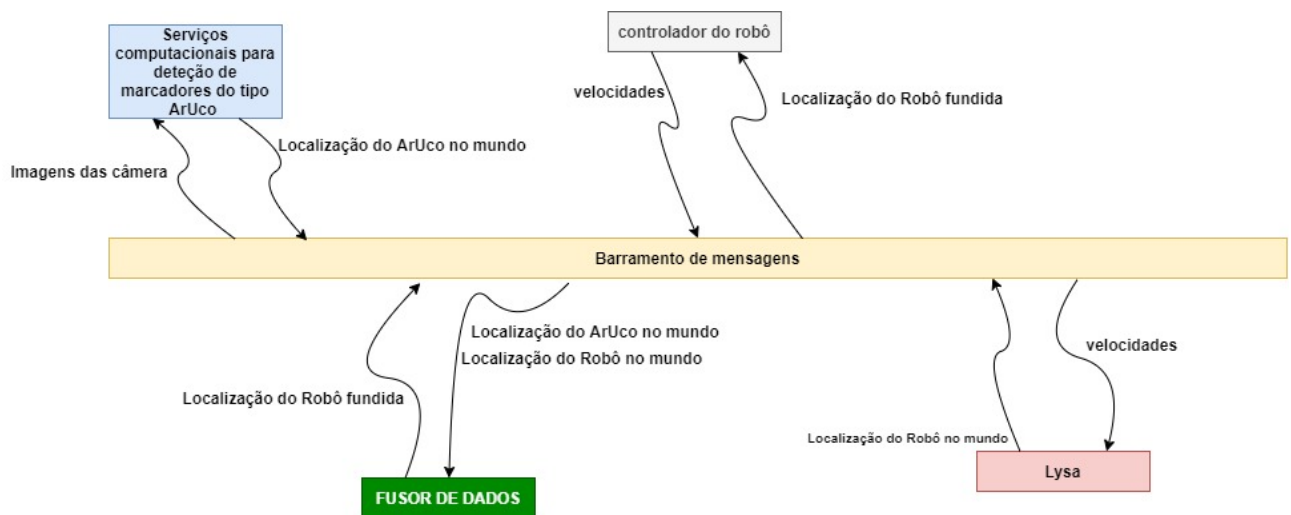


Figura 2: Localização do robô no Sistema Mobylysa após a criação do fusor de dados.

Somado a isso, pretende-se realizar teste de tarefas para a validação do serviço de fusão de dados. Os testes serão feitos em espaços com e sem cobertura total de câmeras.

6 VIABILIDADE TÉCNICA

Para a realização do projeto proposto, primeiro se faz necessário de um espaço inteligente com todos os serviços de localização existentes que envolvem o Mobilysa sendo executados. Contudo, existe um espaço no IFES (instituto federal do espirito santo) com os serviços sendo executados atualmente.

Somado a isso, necessita-se de um robô com tração diferencial que tenha sensores que possam fornecer dados de localização para a realização da fusão sensorial e realização de testes de validação do algoritmo. Atualmente, o IFES possui um robô adaptado para funcionar em espaços inteligentes, portanto, o mesmo será utilizado para a realização do algoritmo e execução dos testes.

7 CRONOGRAMA

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Fazer testes no robô para testar o desempenho da estimativa de posição utilizando seus sensores embarcados	X	X	X																
Construir o algoritmo de fusão de dados				X	X	X	X	X	X										
Transformar o algoritmo em um serviço computacional										X	X	X							
Fazer testes de validação do serviço												X	X	X	X				
Defender e Realizar os ajustes																X	X	X	X

Tabela 1 – Cronograma

REFERÊNCIAS

- ALVES, P. V. R. Fusão sensorial de um sonar e de um laser scanner utilizando redes neurais artificiais. Universidade Federal do Maranhão, 2019.
- CARMO, A. P. do *et al.* Uso de um espaço inteligente baseado em visão computacional para o controle de formação de robôs móveis. In: SBC. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva**. [S.l.], 2020. p. 171–180.
- COTA, E. *et al.* Avaliação de técnicas de odometria aplicadas a um dispositivo robótico móvel. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA**. [S.l.: s.n.], 2019. v. 1, n. 1.
- COTTA, W. A. A. *et al.* Mobilysa-sistema de localização e controle do cão-guia robô lysa para ambientes internos baseado em visão computacional. In: SBC. **Anais Estendidos do XXV Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web**. [S.l.], 2019. p. 159–162.
- HESCH, J. A. *et al.* Camera-imu-based localization: Observability analysis and consistency improvement. **The International Journal of Robotics Research**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 33, n. 1, p. 182–201, 2014.
- IBGE. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. [S.l.]: Ibge Rio de Janeiro, 2010.
- MARTINS, R. *et al.* Localização em robótica terrestre: Fusão entre odometria por múltiplos encoders e gps. **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI**, p. 1043–1048, 2011.
- RAMOS, D. C. *et al.* Aplicação de técnicas de fusão sensorial para mapeamento e localização simultâneos para robôs terrestres. 2012.
- RODRIGUES, D. P. *et al.* Estudo comparativo de métodos de localização para robôs móveis baseados em mapa. [sn], 2013.
- SHEN, J.; TICK, D.; GANS, N. Localization through fusion of discrete and continuous epipolar geometry with wheel and imu odometry. In: IEEE. **Proceedings of the 2011 American Control Conference**. [S.l.], 2011. p. 1292–1298.
- TORRES, J. L. V. C. Sistema de localização indoor para o robô telemóvel"robobo". 2018.