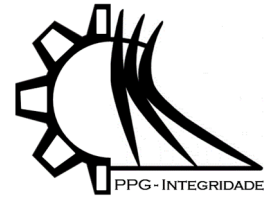


ISSN 2447-6102



Artigo

Desenvolvimento de um Sistema de Navegação para Aplicação em Cadeira de Rodas Automatizada de Baixo Custo

Morais, L.E.S.¹, Cardozo, M.S.² e Ximenes, T.S.S.^{2,*}

¹ Discente da Faculdade de Tecnologia da Unicamp; l182938@dac.unicamp.br

² Discente da Faculdade de Tecnologia da Unicamp; m185093@dac.unicamp.br

³ Docente da Faculdade de Tecnologia da Unicamp; talia@unicamp.br

* Correspondência: talia@unicamp.br

Received: 30/05/2025; Accepted: 03/06/2025; Published: 10/06/2025

Resumo: Desde pessoas que nasceram com alguma condição física até aquelas que adquiriram a necessidade devido a situações como envelhecimento ou acidentes, o campo das tecnologias assistivas tem se desenvolvido cada vez mais com o passar dos anos. Dessa forma, destacam-se as soluções personalizadas para cada tipo de deficiência. No contexto da deficiência motora, existem soluções que auxiliam as pessoas com tais deficiências na sua adaptação e melhor convivência social, como é o caso do desenvolvimento de cadeiras de rodas automatizadas. O desenvolvimento de cadeiras de rodas inteligentes, mais especificamente as cadeiras de rodas automatizadas, assim como qualquer automação de sistemas de locomoção, pode ser feito de diferentes maneiras. Além disso, em virtude da complexidade de tais soluções, além da baixa demanda quando comparada a outros mercados, o custo para a aquisição de cadeiras de rodas autônomas é consideravelmente alto, sendo inacessível a uma grande parcela do público que o necessita. É com base nisso que o projeto a seguir propõe o desenvolvimento de um sistema de navegação autônomo destinado à construção de cadeiras de rodas de baixo custo de produção e manutenção. Portanto, foi desenvolvido um sistema com locomoção manual, controlado pelos comandos do operador, e de maneira autônoma, que utilizou um sistema de navegação simples, econômico e confiável.

Palavras-chave: Tecnologias assistivas; Sistema de navegação; Cadeira de rodas automatizada.

Abstract: From people born with a physical condition to those who acquired them due to aging or accidents, the field of assistive technologies has had significant advancements over the years. In this way, customized solutions for each type of disability stand out. In the context of motor disabilities, there are solutions that assist individuals in adapting and enhancing social integration, such as the motorized wheelchairs. The development of smart wheelchairs, specially the automated ones, like any automation of mobility systems, can be done in various ways. Moreover, due to the complexity of those solutions and their low demand when compared to other products markets, the acquisition cost of autonomous smart wheelchairs is considerably high, making it inaccessible to a large portion of those who need it. Based on it, this project proposes the development of an autonomous navigation system intended for the construction of low-cost production and maintenance wheelchairs. Therefore, a system was developed with manual mobility, controlled by the operator's commands, and autonomous mobility, using a simple, economical, and reliable navigation system.

Keywords: Assistive technology; Navigation system; Smart wheelchair.

1. Introdução



Segundo uma pesquisa do IBGE, o Brasil apresentou, em 2024, cerca de 203 milhões de pessoas, das quais 9% apresentam algum tipo de deficiência e dentro dessa parcela, 52% se enquadram em deficiência física e a previsão para um futuro próximo é que esse número aumente (Governo Federal, 2024). Isso aponta uma necessidade em criar tecnologias facilitadoras para as pessoas que enfrentam esse desafio todos os dias, com o intuito de fornecer um conforto e qualidade de vida melhor. A área de tecnologia assistiva se trata do campo de estudo responsável por desenvolver novos meios de melhorar a mobilidade e condição para pessoas com necessidades específicas (Yussif et al. 2016). Um exemplo de aplicação de tecnologia assistiva pode ser visto em (Ziza e Ximenes, 2022), em que é desenvolvido um sistema de monitoramento de queda específico para aplicação com pessoas idosas em suas residências.

Um dos principais objetos de estudo dessa área é o uso de ferramentas robóticas para melhorar o cotidiano do usuário, como é o caso das cadeiras de rodas motorizadas (Simpson, 2005), que pode ser feito por duas abordagens: autônoma e semi-autônoma, dependendo do grau de controle possuído pelo usuário. Para a classe de dispositivos autônomos, um dos principais pilares é o sistema de localização e mapeamento, o SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*), que serve como alicerce para a navegação autônoma. Esse sistema permite que a cadeira de rodas se movimente e interaja com o ambiente com o mínimo possível de intervenção humana (Silva, et al 2022), assim como ocorre em veículos autônomos e robôs aspiradores.

Dentro do campo de desenvolvimento de cadeiras de rodas inteligentes, uma série de soluções foram desenvolvidas. Em Nadjib et al (2021), uma solução de controle de movimentação por aplicativo Android é sugerida para a manipulação da cadeira, mas já não comporta aquelas pessoas com problemas motores nas mãos. Já em Hou et al (2020), a solução proposta é fundamentada no uso de um sistema de navegação com base em comandos de voz, que já é uma solução capaz de resolver os problemas da solução anterior. Em Abdulsada et al (2019), a solução proposta visa já resolver também o problema daqueles que, além da dificuldade motora dos membros inferiores e superiores, também possuem dificuldades de fala, sendo uma solução que tem como base a leitura de um acelerômetro para locomoção.

Dessa forma, as soluções apresentadas anteriormente se mostram ótimas para a navegação do usuário da cadeira, sendo adaptado às mais diversas condições desse. Entretanto, ao pensarmos em soluções mais sofisticadas e com maiores possibilidades, alguns projetos, como Hamadi (2020) fazem uso de uma câmera 3D, um Kinect, para que a navegação da cadeira se dê com base no acompanhamento de um guia. Sendo essa solução dedicada às pessoas que, além das dificuldades citadas e solucionadas pelos projetos anteriores, possuam também algum tipo de dificuldade visual.

Considerando o problema apresentado e algumas soluções descritas na literatura, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema SLAM utilizando componentes comuns, de forma que seja possível a sua utilização para a confecção de cadeiras de roda autônomas de baixo custo. Com isso, um novo passo pode ser dado no campo das soluções de cadeiras de rodas, uma vez que o sistema se torna agora independente de pessoas guiando o sistema da cadeira.

2. Materiais

Tendo em vista a complexidade de alguns sistemas de locomoção (SLAMs) existentes (NVIDIA-ISAAC-ROS, 2024), para que a solução proposta seja de baixo custo, um novo sistema de posicionamento deve ser confeccionado de forma a ser adaptado para rodar em soluções simples. Assim, com o intuito de substituir os caros sistemas LiDAR (*Light Detection and Ranging*) rotativos e as câmeras 3D presentes nos sistemas SLAM comerciais, optou-se por utilizar o sensor de profundidade presente na câmera do *Kinect* do *Xbox*. Este dispositivo, disponível em algumas residências e de baixo custo em comparação com as alternativas mencionadas, também está acessível no Laboratório de Sistemas Embarcados (Lab SE) da Faculdade de Tecnologia da Unicamp.

Para que todas as informações sejam processadas localmente e com uma baixa latência, a melhor escolha à disposição no Lab SE da Faculdade de Tecnologia foi a placa Raspberry Pi 4, plataforma com processador ARM que apresenta um ótimo desempenho energético, uma boa capacidade de processamento de dados dos *Kinect*, e um relativo baixo custo. Algumas tentativas feitas com outras placas de desenvolvimento como ESP32-CAM e versões anteriores da Raspberry Pi 4, também presentes no Lab SE não demonstraram sucesso devido à dificuldade de conexão com o *Kinect* e à falta de capacidade de processamento.

Como o objetivo do projeto é implementar esse sistema em uma cadeira de rodas, é necessário que ele possua sua própria fonte de alimentação. Para isso, foi utilizada uma bateria 12V, originalmente de uma moto, devido ao seu tamanho compacto e capacidade de fornecer energia suficiente para os componentes responsáveis pelo controle e

locomoção. Além da bateria, foi necessário o uso de uma placa reguladora de tensão para atender tanto aos motores, que exigem 12V, quanto à Raspberry Pi, que opera em 5V. Como o *Kinect* requer alimentação externa por meio de uma fonte de corrente alternada (CA) de 127V, foi implementada uma fonte adicional para converter os 12V em corrente contínua (CC) da bateria de moto para os 127V em CA, necessários para a alimentar o *Kinect*.

Devido à indisponibilidade de uma cadeira de rodas para ser utilizada como plataforma do protótipo, a montagem dos equipamentos foi adaptada para uma plataforma já existente no Lab SE da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, conforme ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3. Esta plataforma foi utilizada para a realização de testes e validação do projeto.



Figura 1. Visão frontal da plataforma montada.

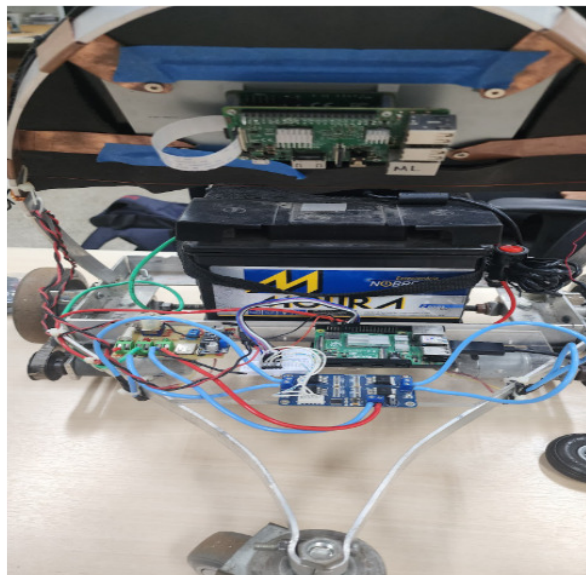


Figura 2. Visão traseira da plataforma montada.

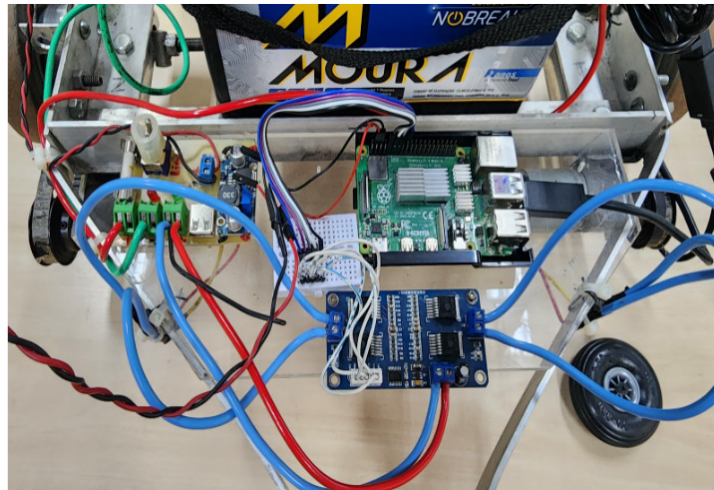


Figura 3. Montagem dos componentes de controle.

3. Metodologia

Com base nos equipamentos mencionados, primeiro foi realizado um estudo em como estabelecer um ambiente de desenvolvimento adequado para o uso do Kinect como plataforma de trabalho. Para conduzir esse estudo, optou-se pelo uso do sistema operacional Ubuntu assessorado da linguagem de programação Python, que junto com as bibliotecas OpenCV e LibFreenect, foi capaz de garantir um ambiente mais estável e open source.

A partir do conhecimento técnico em programação com Python e do uso do sistema operacional Ubuntu, espera-se estabelecer um ambiente base funcional para o desenvolvimento de testes simples com o intuito de compreender melhor o funcionamento da plataforma e as possíveis abordagens a serem tomadas para a confecção do SLAM, tomando ainda como base alguns métodos já utilizados por outros sistemas.

Após esse estudo e o estabelecimento da configuração inicial, foram realizados testes de uso no sistema de locomoção mostrado na Figura 1. Com base nesse caso de uso, uma análise do método SLAM desenvolvido foi realizada de forma a compreender sua eficácia, possíveis aprimoramentos e falhas, assim constituindo um estudo acerca do seu possível uso em cadeiras de rodas de baixo custo.

Em resumo, a abordagem de métodos adotada combina uma base teórica com a aplicação prática por meio de testes, utilizando ferramentas acessíveis e eficazes para compreender melhor o desempenho e eficácia da plataforma que está sendo investigada. Assim, o desenvolvimento do projeto pode ser dividido em três etapas.

3.1. Desenvolvimento do sistema de visão

Como primeiro passo para a confecção de uma cadeira funcional, primeiro foi necessário o desenvolvimento de um sistema capaz de detectar obstáculos para, a partir da identificação deles, comandar a locomoção da cadeira. Por meio da utilização da biblioteca libfreenect mencionada anteriormente, os dados de distância medidos pelo Kinect são recebidos como uma matriz de 480 linhas por 640 colunas.

Com base nessa recepção de dados de distância, para que o SLAM composto seja simples, sua ideia de funcionamento foi identificando objetos no caminho. Para isso, seu campo de visão foi dividido em três setores: esquerdo, central e direito. Assim que um objeto é identificado como próximo à cadeira no setor central, a mesma deve rotacionar de forma a identificar um caminho livre, ou menos obstruído, a ser percorrido. Para o caso de não haver caminhos disponíveis, a cadeira irá parar automaticamente para evitar acidentes.

3.2. Desenvolvimento da locomoção guiada

Além da navegação autônoma, a fim de incorporar um controle manual à locomoção da cadeira, a segunda etapa de desenvolvimento foi a confecção de um sistema de locomoção guiada pelo próprio usuário. Para esse sistema, a locomoção foi feita através de comandos inseridos em um teclado numérico a ser posicionado em um dos braços da cadeira. Dessa forma, com base em ambos os modos, o usuário pode adequar melhor o funcionamento da cadeira à sua situação ou condição.

3.3. Integração dos sistemas

Por fim, a última etapa do projeto foi a integração dos modos de funcionamento da cadeira de forma a possibilitar uma alternância entre os modos sem prejudicar seu funcionamento.

4. Resultados e Discussões

Para que fosse possível o uso do Kinect de forma confiável, primeiramente consultou-se o manual técnico do sensor e, então, foram realizadas medições para comprovação dos dados. A Tabela 1 mostra os limites medidos.

Tabela 1. Resultados da medição dos limites do sensor de proximidade.

Alcance do sensor do Kinet V1 em centímetros (cm)	
Alcance mínimo	50
Alcance máximo	320

Tendo os dados obtidos acima, foram realizadas manipulações nos valores obtidos pelo Kinect a fim de tornar o processamento mais simples, dessa forma, foi utilizada uma abordagem de usar valores médios das medições do sensor. A matriz de informações fornecida pelo sensor do Kinect, como mencionado anteriormente, apresenta 480 linhas e 640 colunas. Contudo, ao levar em consideração que as medições de distância que estivessem na parte superior da matriz medida não iriam interferir na decisão da locomoção, foi realizado um corte na parte superior da matriz, passando de 640x480 para 640x240. Esse corte foi fundamental para a detecção, uma vez que os dados superiores iriam interferir a média realizada posteriormente, assim tornando o sistema de detecção mais passível a erros.

A partir dessa 'meia matriz', que representa o campo de visão do sensor, foi decidido que o campo apresentaria 3 seções (lateral esquerda, central, lateral direita), porém a quantidade de colunas de cada seção não seria igual, visto que o 640 não é múltiplo de 3. Dessa forma, foram removidas as duas primeiras e duas últimas colunas da matriz do campo de visão, com o intuito de tornar a quantidade de colunas do campo múltipla de 3. Portanto, a nova matriz do campo de visão do sensor passou a ter 636 colunas e 240 linhas e cada seção foi representada por uma matriz de 212 colunas e 240 linhas, 212x240.

Com a matriz do campo de visão de 636x240, foram realizadas manipulações matemáticas com o intuito de calcular a média de cada coluna. Assim, o resultado foi uma matriz de médias com 636 linhas e 1 coluna, onde o valor de cada elemento foi a média aritmética das distâncias medidas naquela coluna, 636x1. A partir dessa matriz de médias, foi feita uma nova matriz 3x1, em que cada elemento dessa matriz é a média aritmética das medições médias em cada seção, composta por 212 elementos. Todas essas manipulações matemáticas foram diagramadas e podem ser melhor visualizadas na Figura 4.

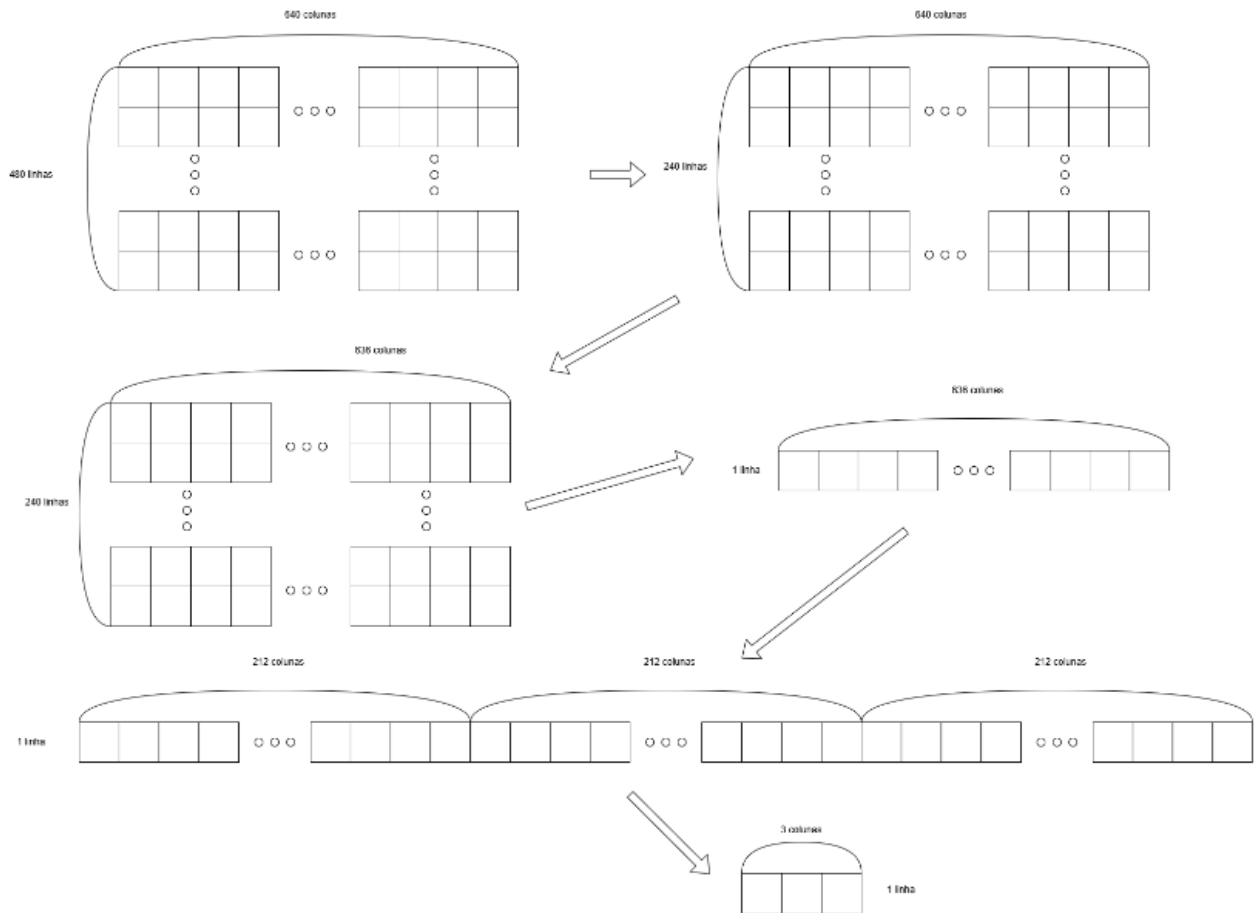


Figura 4. Ilustração da manipulação de matrizes para obtenção de valor médio.

Com isso, foram estipulados alguns cenários de testes para obter um limitador aceitável e eficiente para a locomoção autônoma, onde o primeiro cenário foi realizado no corredor do laboratório (ambiente apertado, Figura 5 a) e o segundo cenário foi realizado em uma sala de laboratório (ambiente aberto, Figura 5b).

Com base nesses cenários, os resultados da captação de dados de distância medidos pelo Kinect estão inseridos nas Tabelas 2 e 3, e são vistos na Figura 6, que mostra as médias obtidas. A Figura 7 mostra a visualização do sensor Kinect com linhas que indicam a divisão dos setores (linhas esquerda e direita) e o centro do sensor (linha central).

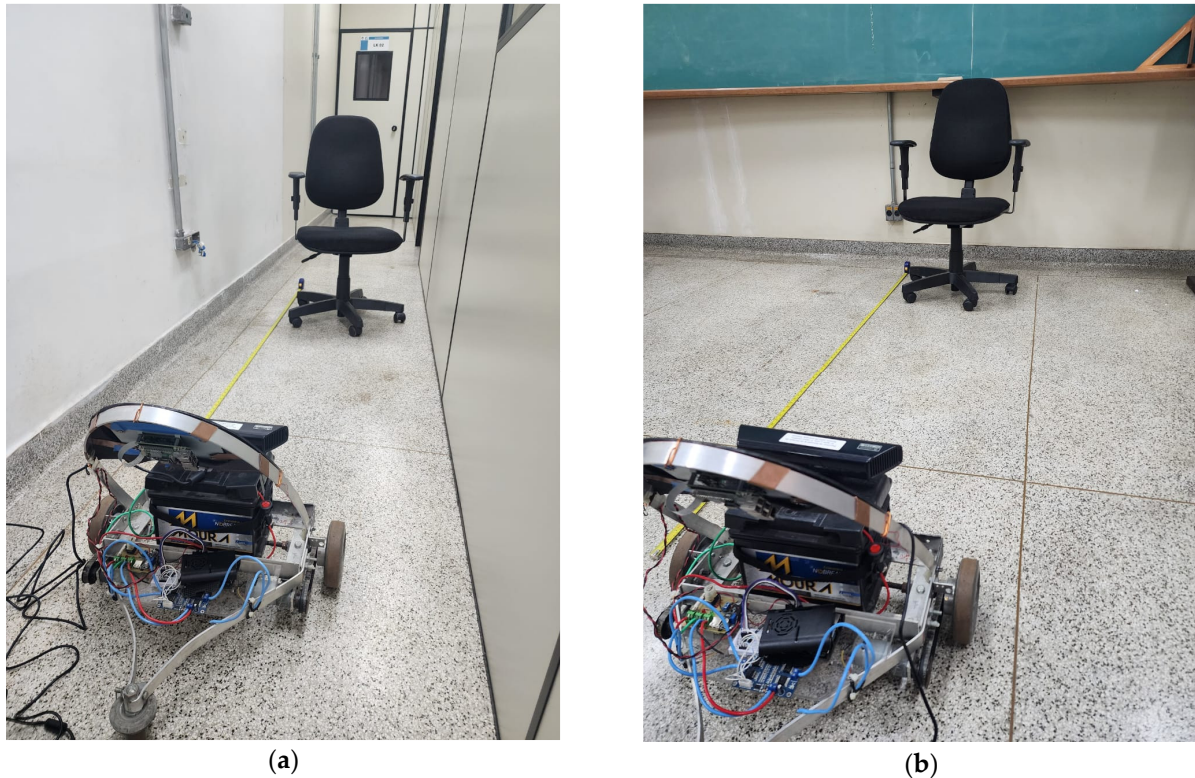


Figura 5. Imagens dos testes em diferentes cenários: (a) Medição em ambiente fechado; (b) Medição em ambiente aberto.

Tabela 2. Resultados das medições em ambiente fechado.

Cenário de teste	Médias obtidas em centímetros (cm)		
	Lateral esquerda	Central	Lateral direita
Corredor de 1m de largura sem obstáculo	108	145	110
Corredor de 1m de largura com obstáculo a 90 cm	112	129	110
Corredor de 1 m de largura com obstáculo a 105 cm	115	125	110
Corredor de 1 m de largura com obstáculo a 144 cm	108	139	110
Corredor de 1 m de largura com obstáculo a 190 cm	108	139	110

Tabela 3. Resultados das medições em ambiente aberto.

Cenário de teste	Médias obtidas em centímetros (cm)		
	Lateral esquerda	Central	Lateral direita
Ambiente aberto sem obstáculo	110	107	118
Ambiente aberto com obstáculo a 90 cm	120	93	120
Ambiente aberto com obstáculo a 105 cm	112	100	120
Ambiente aberto com obstáculo a 144 cm	111	107	118
Ambiente aberto com obstáculo a 190 cm	110	109	117

PROBLEMS	OUTPUT	DEBUG CONSOLE	TERMINAL	PORTS
			Média Esquerda: [94.55915881], Média Central: [106.38852201], Média Direita: [100.4932783]	
			Média Esquerda: [94.41212657], Média Central: [107.13820755], Média Direita: [100.06819969]	
			Média Esquerda: [94.37040094], Média Central: [106.97922563], Média Direita: [100.85957154]	
			Média Esquerda: [94.44467374], Média Central: [106.69730739], Média Direita: [100.21073113]	
			Média Esquerda: [94.37790881], Média Central: [106.81157626], Média Direita: [100.77319182]	
			Média Esquerda: [94.35461871], Média Central: [107.39827044], Média Direita: [99.97156053]	
			Média Esquerda: [94.45762579], Média Central: [107.25878538], Média Direita: [100.12551101]	
			Média Esquerda: [94.53592767], Média Central: [106.79005503], Média Direita: [100.42110849]	
			Média Esquerda: [94.38107311], Média Central: [106.46629324], Média Direita: [100.72588443]	
			Média Esquerda: [94.56601808], Média Central: [106.83274371], Média Direita: [100.65982704]	
			Média Esquerda: [94.40043239], Média Central: [106.77914701], Média Direita: [100.49970519]	
			Média Esquerda: [94.34168632], Média Central: [106.62517689], Média Direita: [100.44237421]	
			Média Esquerda: [94.45516903], Média Central: [107.18482704], Média Direita: [100.21159591]	
			Média Esquerda: [94.41576258], Média Central: [107.29386792], Média Direita: [101.07159984]	
			Média Esquerda: [94.43899371], Média Central: [107.15013758], Média Direita: [100.49412343]	

Figura 6. Output do console com as medições.

Ainda com base na Figura 7 é possível ver que a angulação do Kinect faz com que haja grande captação do chão, identificado pela cor azul na imagem. Por consequência, observa-se que as médias finais serão influenciadas por essas medições, resultando em possíveis erros.

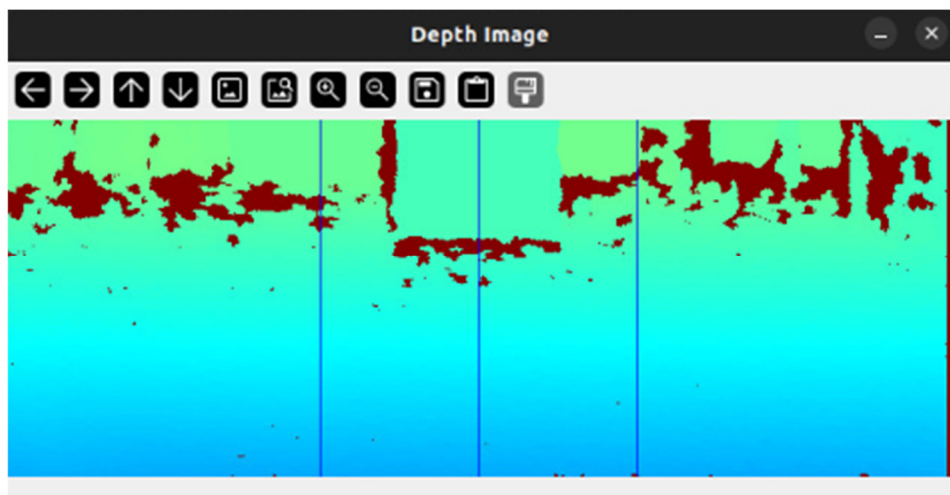


Figura 7. Janela criada com os dados do Kinect e OpenCV para auxiliary no processo de medição.

A partir dos testes realizados, foi então definido o valor limitante de: 80 centímetros, para garantir o funcionamento do sistema autônomo de maneira segura e eficiente.

Além disso, foi possível também realizar comparações entre os cenários testados, como mostrado nos gráficos das Figuras 8, 9 e 10 que comparam cada um dos setores nos dois cenários de teste.

A partir das comparações, pode-se evidenciar que as médias laterais em ambiente fechado se mostraram menores que no ambiente aberto, resultado já esperado, uma vez que o sensor passa a ler as paredes com mais ocorrências. Já em relação ao comparativo das médias centrais, o comportamento ao longo dos testes se mostraram similares, porém com valores distintos.

Para o sistema manual de locomoção, foi utilizada uma abordagem mais simples, que garantisse uma certa autonomia ao condutor, mantendo eficiência e segurança. Sendo assim, foi utilizado um teclado conectado à Raspberry, para que, por meio de pressionamentos de teclas, ações como andar para frente, lados e para trás, fossem realizadas.

Sendo assim, pode-se evidenciar que o sistema proporciona ao usuário uma independência ao se locomover, seja ela feita de maneira manual, por meio de comandos do teclado, ou de maneira autônoma, garantindo que o usuário não corra o risco de sofrer uma colisão.

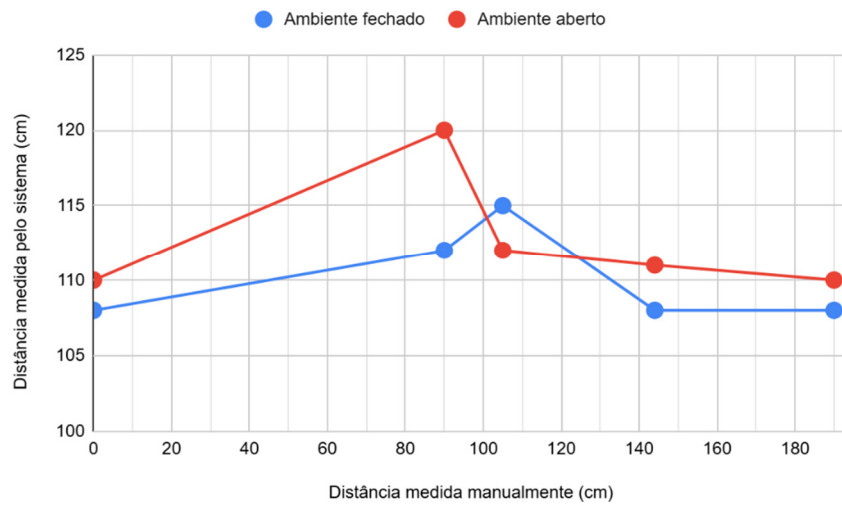


Figura 8. Gráfico comparativo das médias no setor lateral esquerdo.

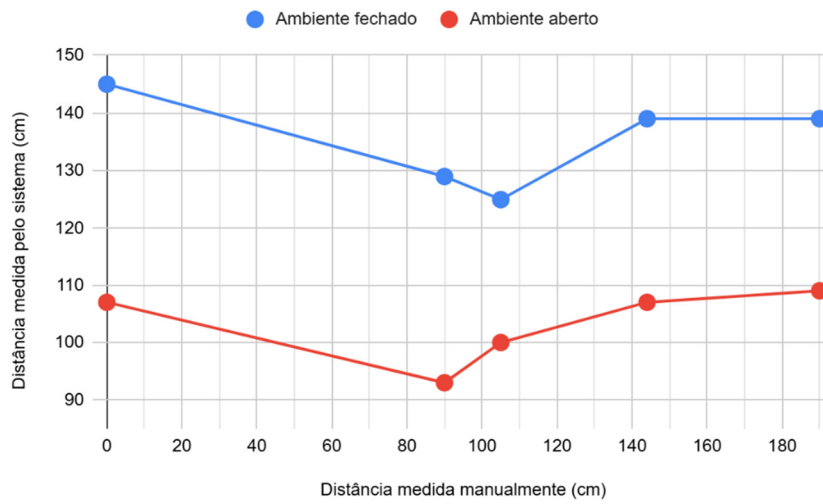


Figura 9. Gráfico comparativo das médias no setor central.

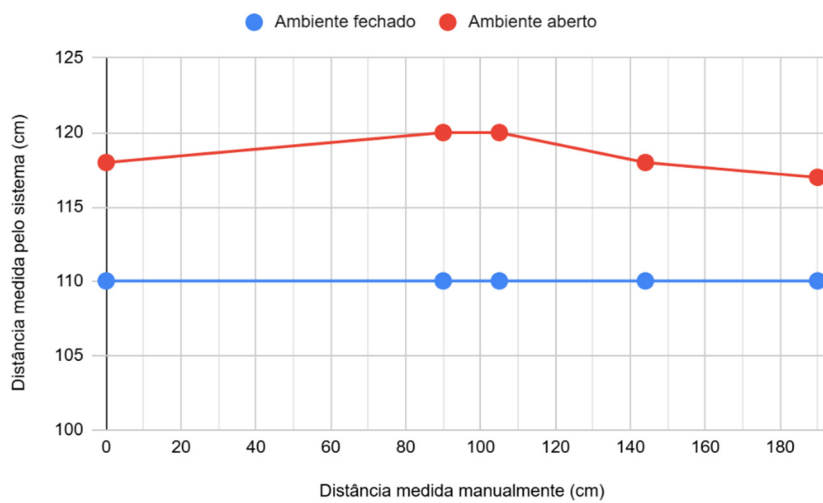


Figura 10. Gráfico comparativo das médias no setor lateral direito.

As Figuras 11 e 12 mostram os fluxogramas do código de funcionamento dos sistemas de navegação autônoma e manual, respectivamente.

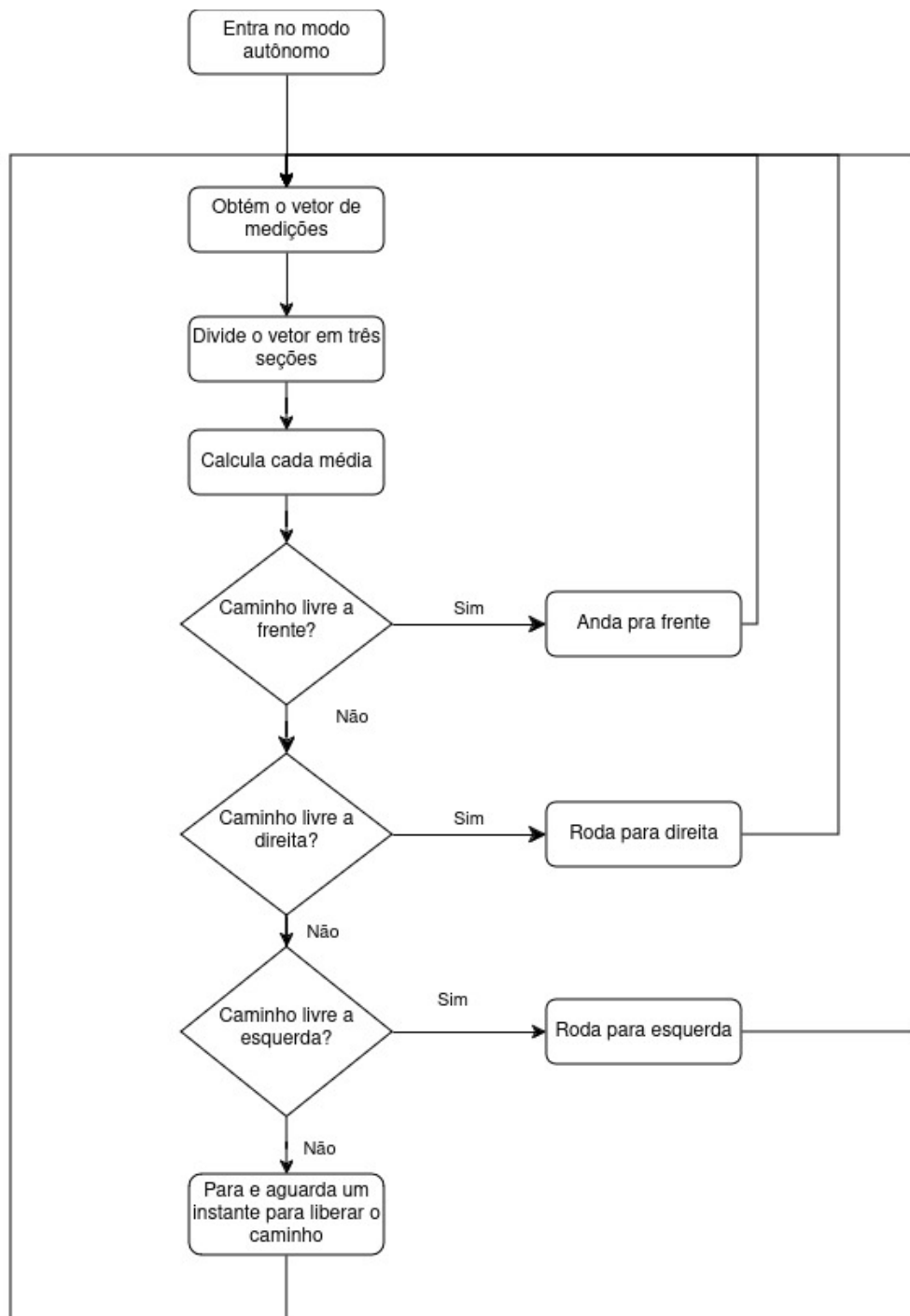


Figura 11. Fluxograma do funcionamento do modo autônomo.

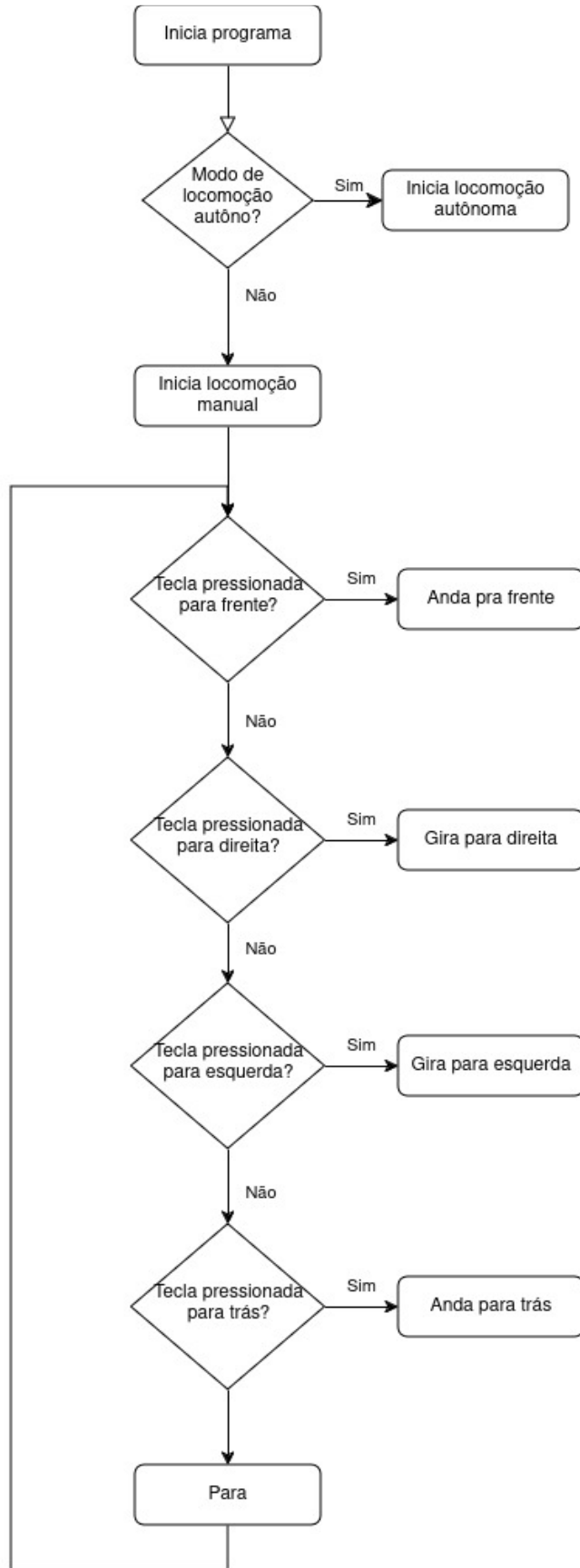


Figura 12. Fluxograma do funcionamento do Sistema de locomoção.

5. Conclusões

O protótipo de sistema de locomoção se mostrou eficiente, garantindo uma confiabilidade para o usuário, ao proporcionar segurança em casos onde poderiam ocorrer colisões quando utilizado o sistema autônomo ou uma boa precisão na locomoção ao usar os comandos manuais. Além disso, ao final do desenvolvimento, os autores evidenciaram possíveis melhorias a serem implementadas no sistema, como a integração com algum tipo de localizador, como GPS, melhorando mais ainda a experiência do serviço autônomo; e também adições de sensoriamento de estabilidade, com o objetivo de garantir que em cenários extremos de falha no sistema e colisões, mensagens de avisos sejam emitidas para terceiros.

Além dessas melhorias, uma ideia que se mostrou bastante promissora ao longo do desenvolvimento do sistema é a de aumentar a precisão do sistema de locomoção autônoma por meio de um campo de visão com mais setores, com o objetivo de reduzir a influência de objetos ou situações inesperadas, como recorrência na medição de paredes em ambientes fechados e do chão, em ambientes abertos.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo..

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. Governo Federal. IV RELATÓRIO NACIONAL DE CUMPRIMENTO DA CONVENÇÃO INTERAMERICANA PARA ELIMINAÇÃO DE TODAS AS FORMAS DE DISCRIMINAÇÃO CONTRA AS PESSOAS COM DEFICIÊNCIA (CIADDIS) E O PROGRAMA DE AÇÃO PARA A DÉCADA DAS AMÉRICAS PELOS DIREITOS E PELA DIGNIDADE DAS PESSOAS COM DEFICIÊNCIA (PAD). Ministério dos direitos humanos e da cidadania, 2024. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/pessoa-com-deficiencia/acoes-e-programas/RELATORIOOEA2024PORTUGUES_final.pdf >. Acesso em: 13 fev. 2025.
2. Yussif, S.; Soar, J.; Hafeez-Baig, A. Older people, assistive technologies, and the barriers to adoption: A systematic review. *International journal of medical informatics*, 94:112–116, 2016.
3. Ziza, L. N.; Ximenes, T. S. S. Desenvolvimento de um sistema para o monitoramento de acidentes domésticos de idosos utilizando Visão Computacional. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*. 2022, Vol.8, N° 1, 36-47.
4. Simpson, R. C.. Smart wheelchairs: A literature review. *Journal of rehabilitation research and development*, 2005. 42(4) : 423.
5. Silva, C. B.; Ares, V. E. et.al. FastSLAM 1.0 aplicado em uma cadeira de rodas inteligente. Em XIV Encontro de Alunos e Docentes do DCA/FEEC/UNICAMP (EADCA), Ago, 2022.
6. Nadjib, F. A. et al. Electric Wheelchair Using Blynk Smartphone Application. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021, 794 012124.
7. Hou, T. K. et al. Arduino based voice controlled wheelchair. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020, 1432 012064.
8. Abdulsada, H. F. et al. Intelligent control system of a wheelchair for people with quadriplegia paralysis. *IJUM Engineering Journal*, 2019, Vol. 20, No. 1.
9. Hamadi, H. et al. Human tracking control system using Kinect sensors on wheelchair based on Arduino. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020, 1436 012003
10. NVIDIA-ISAAC-ROS. GitHub - NVIDIA-ISAAC-ROS/isaac_ros_visual_slam: Visual SLAM/odometry package based on NVIDIA-accelerated cuVSLAM. GitHub. Disponível em: <https://github.com/NVIDIA-ISAAC-ROS/isaac_ros_visual_slam>. Acesso em: 5 nov. 2024.