II Congresso Aeroespacial Brasileiro

De 16 a 19 de setembro

SENTINELA ROBÓTICO DE DEFESA S.P.E.A.R.

Vinícius Hardt Schreiner[a]; Carlos Gabriel de Araujo Gewehr[a]; Emílio Garcêz Ferreira[a]; Guilherme Zarzicki[a]; Thiago Rodrigues Garcia[a]; Roberto Begnis Hausen[a]; Daniel Fernando Tello Gamarra[a]

[a] Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº 1000, Santa Maria, RS, Brasil.

Resumo: *O presente trabalho busca relatar o processo de desenvolvimento do protótipo de um sentinela robótico automatizado. O artigo descreve o projeto mecânico desenvolvido, de modo a suportar diferentes equipamentos, sensores, e movimentação da plataforma, o projeto elétrico para a execução do movimento, e o projeto de software, que controla o sistema. O protótipo desenvolvido integrou a parte mecânica, elétrica e de software, e é capaz de seguir autonomamente um alvo em movimento por meio de visão computacional, além de ser controlável de forma manual.*

Palavras-chave: *Defesa, Robótica, Segurança, Visão Computacional.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os países emergentes têm investido fortemente em tecnologias de defesa com intuito de promover a manutenção da segurança nacional. O Brasil é um país com extensa área de fronteiras que necessitam de auxílio tecnológico para preservação de todo território nacional. É importante ressaltar que a indústria nacional de defesa vem crescendo de forma exponencial, como exemplo é possível destacar a cidade de Santa Maria, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, que conta com o Polo de Defesa e Segurança.

Segundo (Marcondes, 2018), no ano de 2003 foi lançado o primeiro conceito de sentinela robótico, conhecido como *Samsung SGR-A1*, fruto de uma parceria entre o governo da Coréia do Sul, empresas privadas e instituições de ensino, liderada por uma subsidiária da empresa *Samsung*, *Samsung Techwin*, e a Universidade da Coréia. Após três anos, os protótipos foram empregados na zona desmilitarizada que separa a Coréia do Sul da Coréia do Norte, onde são utilizados até os dias atuais. Outras tecnologias similares existentes são: o sistema *Sentry Tech* israelense, empregado no monitoramento e defesa da Faixa de Gaza, assim como os sistemas *CIWS (Close-in Weapon System)*, utilizados em navios militares para detecção e ataque à mísseis e aeronaves inimigas caso penetrem as outras camadas defensivas. Todos estes possuem, em variadas capacidades, alguns elementos como operação remota do equipamento, e automação do processo de mira, assim como um alto custo de desenvolvimento e manutenção.

O objetivo deste trabalho é descrever o projeto e o desenvolvimento de um protótipo funcional de um sentinela robótico automatizado modular (Sentinela de Proteção de Espaço Automatizada Robótica) de baixo custo, com a possibilidade de fácil acoplamento de diferentes armamentos e sensores, como telêmetro, visão noturna e térmica, adequando o conceito à realidade brasileira. Adicionalmente, com o emprego de visão computacional, é possível o rastreamento automático de potenciais ameaças nos mais diversos ambientes e climas. O protótipo descrito foi implementado seguindo o enfoque em baixo custo de produção em todos os escopos, a fim de ser produzido um protótipo funcional, capaz de demonstrar todas as principais funcionalidades e ambições do projeto.

O artigo encontra-se dividido em cinco seções, sendo a primeira uma breve introdução; a segunda sobre o uso do protótipo no contexto atual brasileiro, a terceira descreve os materiais e métodos utilizados; a quarta

vinicius.schreiner@ecomp.ufsm.br

onde serão apresentados os principais resultados obtidos; e finalmente, a última seção aborda as conclusões do trabalho.

2. UTILIZAÇÃO DO PROJETO NO CONTEXTO BRASILEIRO ATUAL DE DEFESA

A utilização de torres operadas remotamente em veículos blindados é muito difundida atualmente, com o objetivo de não expor o atirador da viatura ao risco de ser alvejado enquanto opera o equipamento. O Brasil possui alguns equipamentos desse tipo em uso pelas forças armadas, como o REMAX e o TORC30, ambos fabricados pela empresa ARES em parceria com o Centro Tecnológico do Exército, que têm a capacidade de portar armamentos de calibres como 7.62mm e 12,7mm no REMAX, e 30mm no TORC30. A utilização desse tipo de equipamento diminui a exposição do atirador do veículo e traz maior segurança para a tripulação.

No contexto brasileiro de defesa, o projeto pode ser situado dentro de três aplicações distintas: embarcado junto a veículos das forças armadas, como por exemplo o sistema ASTROS II, o veículo multi-propósito AV-VBL e o veículo de patrulha AGRALE MARRUÁ, onde é empregado armamento para autodefesa, que pode ser automatizado através do S.P.E.A.R.; no monitoramento de fronteiras, em uso estacionário, possibilitando a automação da segurança de fronteira através de operação do equipamento de forma remota, reduzindo custo de pessoal em atividades de patrulha; e na fortificação das defesas de posições de interesse, também em uso estacionário, possibilitando o aumento da segurança de um perímetro estabelecido.

O emprego do S.P.E.A.R. junto às Forças Armadas Brasileiras é justificado nos seguintes pontos: minimizar a perda de vidas e material, aumento da performance e eficiência em combate, e a capacidade de ser utilizado em uma ampla gama de veículos por ter um peso muito reduzido e a capacidade de utilizar armamento de calibres menores, como 5,56mm e 9mm, ou ainda armamento com munição menos letal.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O sentinela robótico descrito neste artigo utiliza diversos conhecimentos de várias áreas da engenharia. Tal integração é comum a outras plataformas robóticas que integram a visão computacional, projeto e o controle em robôs móveis (Pfitscher *et al*., 2019) e manipuladores (Gamarra, Cuadros, 2015).

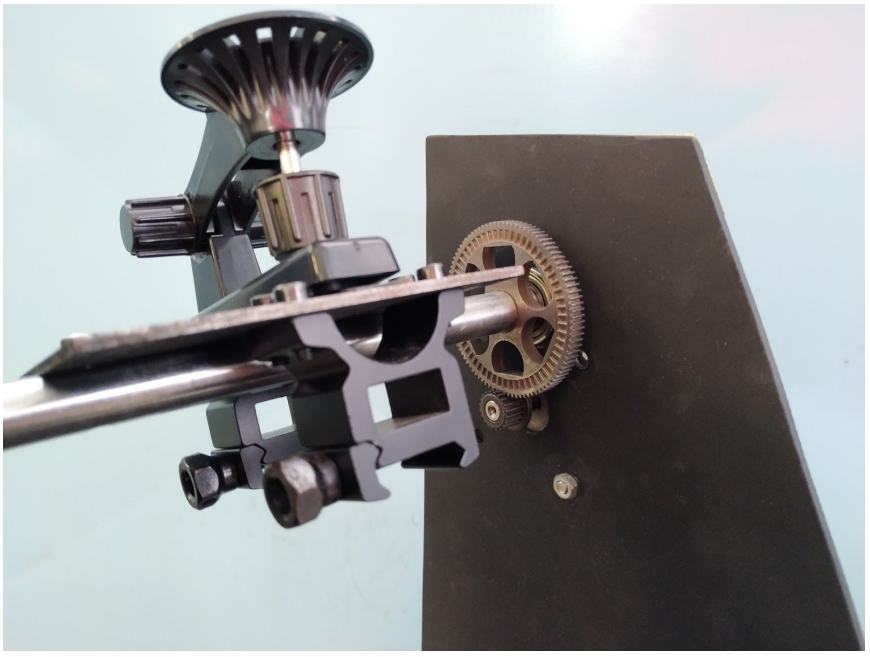
Visando colocar em prática a ideia, foi iniciado no ano de 2017 o processo de construção de um *mockup,* a fim de comprovar a viabilidade da proposta. Após o resultado positivo da avaliação do *mockup*, foi iniciado no ano de 2018 o projeto de um protótipo, descrito detalhadamente neste trabalho. O projeto foi dividido em três partes básicas, de modo a determinar de forma mais específica os esforços a serem realizados por cada equipe, sendo essas, os grupos de projeto elétrico, mecânico e de *software*.

3.1 Projeto Mecânico

Por se tratar da plataforma base de todo o projeto, a parte mecânica do mesmo foi projetada a fim de atender a uma gama de requisitos, tais como: capacidade de rotação 360º horizontal e 90º vertical (englobando assim todo o espaço útil em torno da mesma), robustez mecânica, dimensões apropriadas para o acoplamento de armamento e sensores de controle.

A parte superior da estrutura é móvel, feita de aço carbono de 3 mm e possui uma interface para fixação de equipamentos diversos, como suporte para a câmera utilizada para o processamento de imagens e suporte para *trilho Picatinny*, também conhecido como *MIL-STD-1913 rail* ou ainda *STANAG 2324 rail*, que é padrão em grande parte dos armamentos atuais, como no fuzil Imbel A2 e carabina Taurus T4, ambos de fabricação nacional. Essa interface está acoplada a um eixo que possui dois rolamentos e uma engrenagem acoplada em um dos motores da estrutura, responsável pela rotação do eixo vertical da estrutura, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Interface e mecanismos de movimentação do eixo vertical.



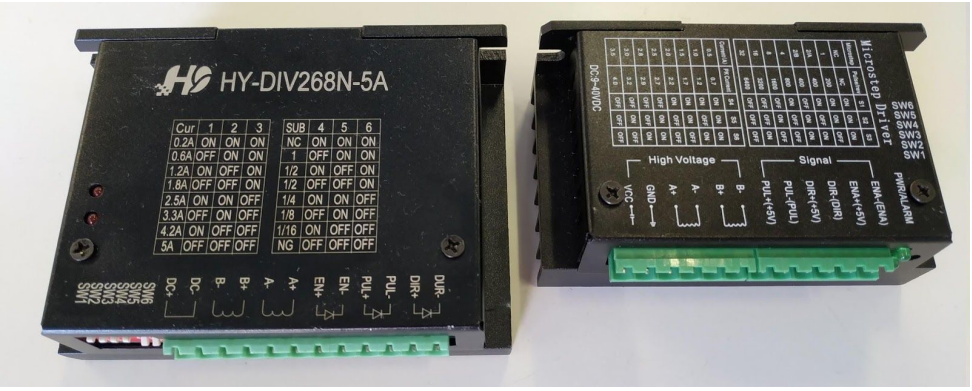
Fonte: arquivo pessoal. (2019)

3.2 Projeto Elétrico

Nesta estão contidos todos os equipamentos presentes no escopo do projeto (sensores, *drivers*, motores, cabeamento e microcontroladores), e juntamente com a plataforma mecânica formam a estrutura física do projeto, baseada em todos os pré-requisitos estabelecidos na fase de concepção do projeto.

A parte elétrica do projeto consiste de dois motores de passo, com precisão de 1.8º por passo, sendo que o maior motor responsável por movimentar o eixo horizontal possui um torque de 1,27 Nm, e o menor capaz de fornecer um torque de 0,49 Nm para movimentar o eixo vertical. Cada motor é acionado individualmente por um *driver*, sendo os mesmos capazes de alimentar os motores com uma corrente de até 5 A, e 4 A respectivamente, e ambos operam com tensões de até 40 V.

Figura 2: Drivers acionadores dos motores.



Fonte: arquivo pessoal. (2019)

A escolha dos motores e dos *drivers* foi baseada em exigências de precisão, força e de velocidade final de rotação da plataforma, oferecendo a precisão e agilidade necessárias para seguir um alvo. Os *drivers* oferecem a possibilidade de ser utilizado micropasso que viabiliza limitar a rotação realizada por um passo, possibilitando obter maior precisão, porém reduzindo a velocidade de rotação.

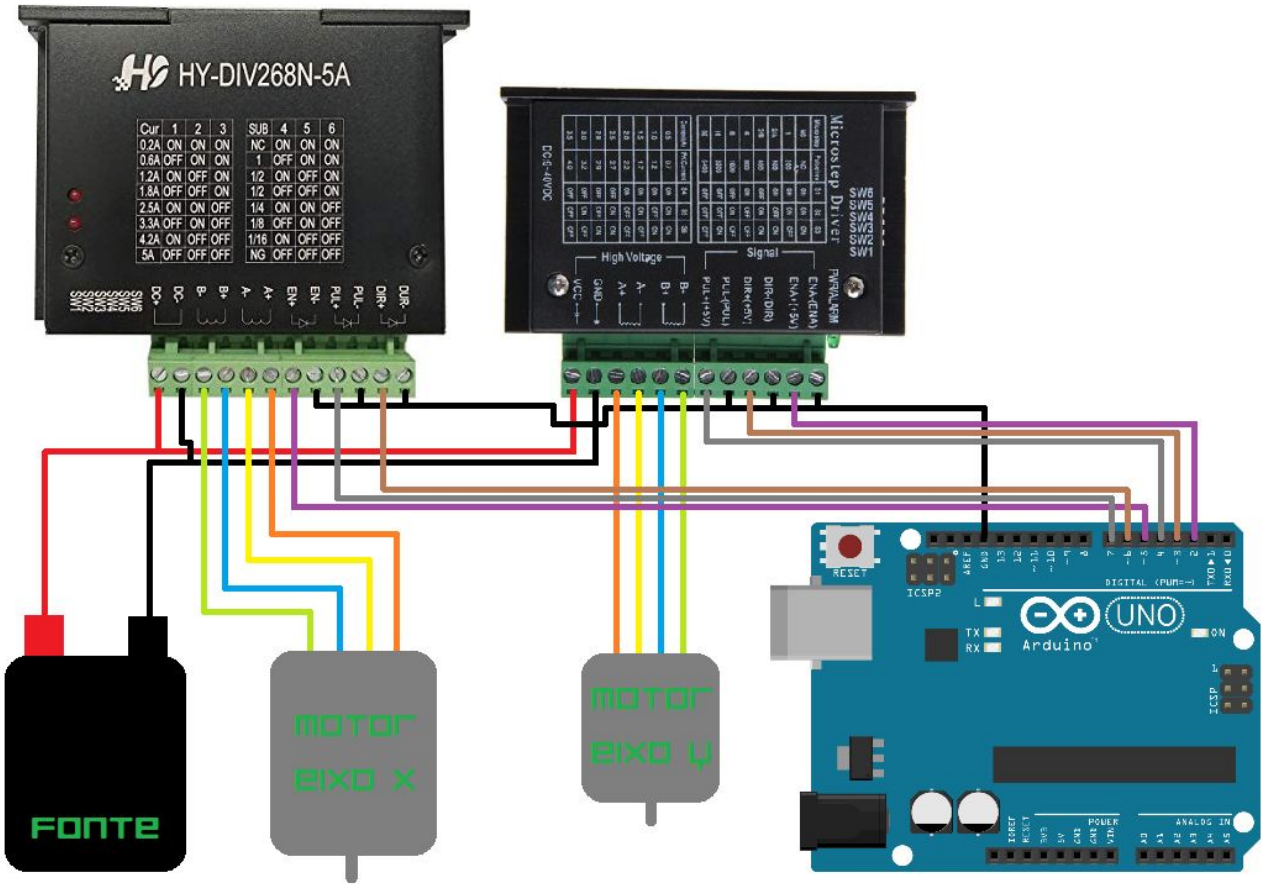
Tabela 1: Relação de micropassos dos motores.

Micropasso	Precisão por passo
1	1.8º
1/2	0.9°
1/4	0.45°
1/8	0.225°
1/16	0.1125°
1/32	0.0562°

Fonte: arquivo pessoal (2019).

O cabeamento entre os motores de passo e *drivers* devem obedecer uma sequência determinada pelas bobinas dos motores, caso essa ordem não for obedecida os motores não funcionarão adequadamente, portanto, foi definido um padrão de cores e foram utilizados fios com as mesmas características dos fios originais dos motores, a fim de garantir que toda a potência necessária para o funcionamento dos motores seja transmitida de forma eficaz e sem causar aquecimento significativo. Na Figura 3 pode ser visto o esquemático elétrico do projeto.

Figura 3: Esquemático elétrico.



Fonte: arquivo pessoal. (2019)

3.3 Projeto de Software

O projeto de *software* se trata de um dos elementos mais críticos e essenciais do projeto, pois é nesta etapa onde é feito o controle do acionamento da parte elétrica e a consequente movimentação da parte mecânica. Durante o processo de levantamento de requisitos e desenvolvimento foi objetivado o contato com indivíduos e instituições relacionadas a área de defesa, a fim de moldar o projeto às necessidades reais do contexto atual de guerra e defesa. Um dos requisitos mais importantes desde o início é implementar tanto um controle manual quanto automatizado utilizando visão computacional, fato que permite diferentes modos de operação da plataforma, utilizando ambos controles de maneiras individuais ou mistas, podendo ser a operação feita de modo manual ou automatizado com acionamento manual do armamento, sendo este o mais autônomo possível dentro das Regras de Engajamento das Forças Armadas Brasileiras.

O tópico de *software* pode ser dividido em quatro aspectos: a parte de visão computacional, a partir da qual a plataforma é capaz de seguir um alvo de forma autônoma; de comunicação serial, que trata o recebimento e envio de dados entre um computador, responsável pelo processamento dos dados (imagem, movimentação do *joystick*, usado no controle manual da plataforma), e o controlador, que efetivamente converte os comandos recebidos do computador em sinais de controle e acionamento dos motores; o controle manual do protótipo, onde as ações a serem executadas são determinadas por um operador humano; e

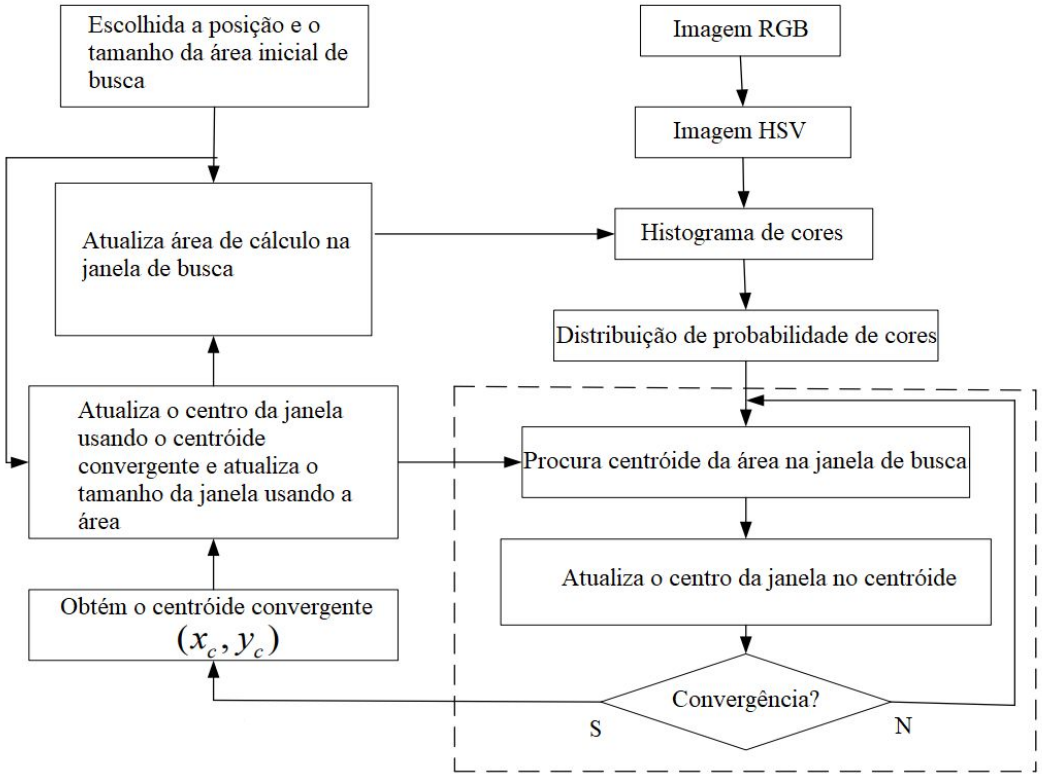
finalmente o controle automatizado, realizado pelo processamento de imagens capturadas pela câmera acoplada ao dispositivo.

O microcontrolador utilizado nesta etapa é a plataforma de prototipagem *Arduino Uno* sendo essa escolhida devido a sua facilidade de uso e disponibilidade no mercado. A plataforma é baseada na família de microcontroladores *ATmega* da fabricante *Atmel*, com arquitetura RISC AVR de 8 bits. O modelo utilizado no protótipo possui controle digital e PWM de saídas, e para o problema proposto, apresenta-se mais do que suficiente (Schreiner *et al*., 2018).

3.3.1 Visão computacional

O componente de *software* de reconhecimento e processamento de imagens utilizado no protótipo é o algoritmo *Continuously Adaptative Mean Shift (CAMShift)*, contido na biblioteca *open source OpenCV* originalmente desenvolvida pela empresa *Intel*. O nome da biblioteca significa em tradução literal "visão computacional aberta", e é disponibilizada nas linguagens *C*, *Java* e *Python*. Nesta estão inclusas várias funções para processamento de imagens e visão computacional, necessárias aos requisitos do projeto de autonomamente seguir alvos móveis (Li, 2013). Atribui-se a preferência para o uso dessa biblioteca devido a grande disponibilidade de recursos livremente acessíveis, assim como sua fácil manipulação na linguagem *Python*, onde toda a base em *software* do projeto que será executada em computador foi implementada. Na Figura 4 é possível observar o fluxograma de funcionamento do algoritmo CAMShift.

Figura 4: Fluxograma de funcionamento do algoritmo CAMShift.

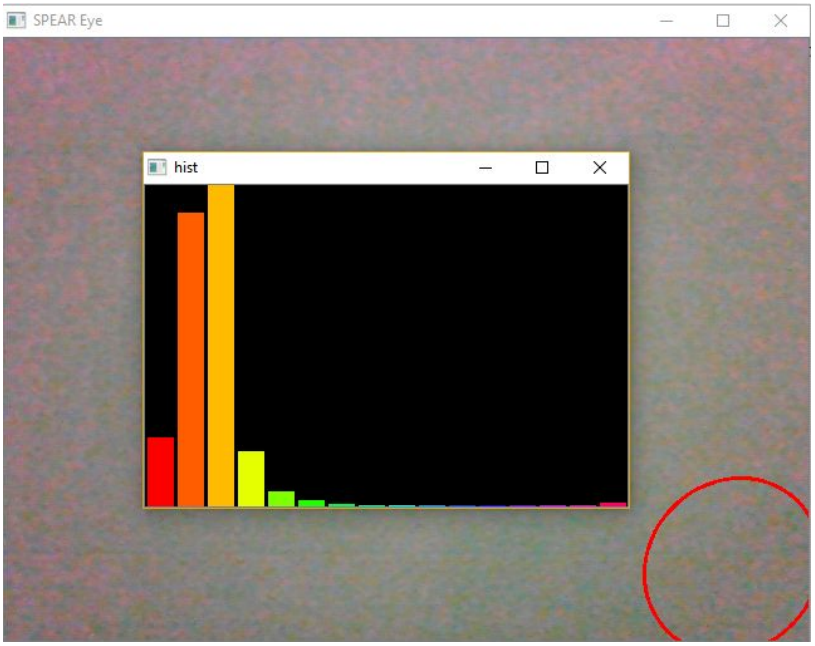


Fonte: Li (2013).

O algoritmo CAMShift segue o objeto de interesse de acordo com a informação de cor de cada quadro da entrada de vídeo. Primeiramente a imagem de entrada no espaço de cores RGB é recodificada no espaço de

cores HSV, e então é calculado um histograma de cores dentro de uma janela de busca inicial, de tamanho e posição pré-determinados.

Figura 5: Captura de tela de um histograma gerado pelo algoritmo CAMShift.



Fonte: arquivo pessoal (2019).

A partir desse histograma é obtida uma distribuição de probabilidade de cores por pixel da imagem, e de acordo com esta distribuição, é calculado o centróide da janela de busca (elipse vermelha na Figura 5). Do centróide obtido é definida uma nova janela de busca, centrada no centróide obtido na etapa anterior, onde é repetido o método até ser obtido um centróide convergente (o procedimento descrito consiste no algoritmo Mean Shift). Apoś caracterizada convergência a partir do algoritmo Mean Shift, é adaptado o tamanho da janela de busca (algoritmo CAMShift) proporcionalmente a concentração dos pontos de interesse dentro do *threshold* de cor do objeto sendo seguido. A janela tem sua área reduzida, se os pontos de interesse estão concentrados (permitindo uma maior precisão) ou ampliada, se os pontos de interesse estão difusos (permitindo convergência a possíveis novos pontos de interesse, fora da janela de tamanho fixo do algoritmo Mean Shift) dentro da janela de busca (François, 2004). O emprego do algoritmo CAMShift permite o melhor rastreamento de alvo que rotacionam ou mudam sua distância em relação à fonte de imagens (no protótipo, a câmera acoplada) através do ajuste do tamanho da janela de busca (Bradski, 1998).

3.3.2 Controle automatizado

O modo automatizado tem como objetivo o acompanhamento de um alvo designado baseado em padrão de cor, de acordo com o algoritmo CAMShift, conforme a subseção 3.3.1 Para operação nesse modo, ao executar o software de controle automatizado é aberta uma janela denominada *Spear Eye* (conforme Figura 5) no qual o usuário tem acesso a imagem da câmera montada em cima da interface onde são acoplados os equipamentos, e nessa mesma janela basta selecionar o objeto ou pessoa a ser designado como alvo.

Selecionado o alvo, o algoritmo reconhece a predominância de cores do mesmo e estabelece uma marcação elipsóide vermelha ao redor do alvo, como resultado, o mesmo retorna as coordenadas do centróide

da elipse, e por consequência, do alvo, que são calculadas e enviadas ao controlador dos motores. Como a resolução da câmera que é utilizada no protótipo é de 640x480 pixels, e o protocolo de comunicação desenvolvido trabalha com o envio de dois *bytes* (16 *bits*), podem ser enviados dois números de 0 a 255, para isso a coordenada do centróide do elipsóide precisa ser remapeada na orientação horizontal de 1 a 640 pixels para um valor entre 0 e 255. O mesmo processo é feito para o eixo vertical. Esse processo é feito a cada iteração do algoritmo de visão computacional, continuamente informando ao controlador a posição do alvo dentro da imagem adquirida pela câmera.

Os dados remapeados são então enviados para o controlador, onde os valores são recebidos e feito o acionamento dos motores de modo a manter o alvo centralizado com o centro da câmera, e por conseguinte, com o restante da estrutura. É necessário ressaltar que no modo de controle automatizado ainda é necessário uma seleção inicial do alvo feita por operador humano.

3.3.3 Controle manual

O controle manual é feito à partir de um *joystick* USB conectado a um computador, onde os dados vindos do *joystick* são recebidos, e então tratados em um programa na linguagem *Python*. Tais dados consistem nos valores de posição, e estado dos botões do *joystick*, que são enviados para o microcontrolador e, de acordo com a posição do *joystick*, aciona os *drivers* de modo que os motores rotacionem a estrutura metálica na direção desejada.

Figura 6: *Joystick* utilizado no controle manual do protótipo.



Fonte: arquivo pessoal. (2019)

3.3.4 Comunicação serial

Para a comunicação entre o computador que faz o processamento de imagens e recebimento dos dados do *joystick* e o Arduino, se fez necessário padronizar o envio de dados a fim de tornar a comunicação eficiente. Para isso foi desenvolvido o protocolo SSP2 (*Spear Serial Protocol V2*), o qual consiste no envio de dois

bytes de dados (dois números de 8 *bits* cada), sendo o primeiro *byte* o *header* onde é identificado qual valor está sendo enviado, e o segundo o valor efetivo. O máximo valor representável por um número binário *unsigned* de 8 *bits* é em decimal 255, logo é possível mandar valores de coordenadas somente entre 0 e 255.

Tabela 2: Padronização de *headers* do protocolo.

Header	Descrição
1	Coordenada horizontal do joystick
2	Coordenada vertical do joystick
3	Coordenada horizontal da elipsóide
4	Coordenada vertical da elipsóide
5	Botões primários do joystick
6	Botões secundários do joystick

Fonte: arquivo pessoal (2019).

No modo de operação manual o controlador somente receberá comunicações com *headers* 1, 2, 5 ou 6, e no modo de operação automatizado, *headers* 3 ou 4.

4. RESULTADOS

No início do desenvolvimento do projeto foram determinados requisitos a serem cumpridos, dentre eles os mais importantes sendo a estrutura ser capaz de ser operada manualmente via joystick e fazer o acompanhamento de um alvo em movimento portando armamento com características reais. A estrutura desenvolvida para o protótipo demonstrou ser robusta e resistente, suportando movimentações bruscas com armamento e equipamentos acoplados.

A estrutura também recebeu uma pintura especial na cor preto fosco, pois o aço utilizado na parte superior tem a característica de oxidar com facilidade devido ao alto teor de carbono. Na Figura 7 é possível observar a estrutura montada, onde está equipada uma câmera com lente grande angular e um rifle de ar comprimido utilizado na prática de *airsoft* modelo M4A1 calibre 6mm, com massa de 3,6Kg.

Figura 7: Protótipo S.P.E.A.R. finalizado, com armamento e câmera.



Fonte: arquivo pessoal. (2018)

Durante todos os testes e calibrações realizadas não foi observada nenhuma falha que inviabiliza o funcionamento do equipamento. Os motores e *drivers* se mostraram adequados aos requisitos de torque, velocidade e precisão. O projeto de *software* foi avaliado como suficientemente robusto, capaz de confiavelmente seguir um alvo móvel em modo automatizado e realizar os movimentos estimulados através de *joystick* em modo manual. Finalmente, o projeto mecânico do protótipo é capaz de suportar o peso e movimentação de todos os equipamentos acoplados, sem apresentar deformações nas placas metálicas ou ruídos significativos.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho busca relatar o processo de projeto e desenvolvimento de um protótipo funcional de sentinela robótico automatizado, que conta com suporte de visão computacional, modularidade e possibilita o acoplamento de diferentes armamentos e equipamentos adicionais. Desta forma, estão detalhados os três ramos básicos que compõem o projeto: projeto elétrico, mecânico e de *software*. O protótipo final é capaz de detectar e seguir um alvo em movimento utilizando processamento de imagens, e ainda oferece um modo de controle manual conforme regras atuais de engajamento em combate.

Por fim, é esperado por meio deste trabalho, incentivar ainda mais o constante avanço nos estudos da tecnologia de defesa no país, com intuito de colaborar para a proteção de todo território nacional e o desenvolvimento de futuros avanços tecnológicos no país.

5.1 Trabalhos futuros

A estrutura atual do protótipo foi desenvolvida utilizando materiais reciclados de outros projetos ou fruto de doações, e foram comprados apenas os *drivers* dos motores de passo. Espera-se futuramente acoplar câmeras de melhor qualidade, e se possível, com funcionalidades como visão térmica e noturna, a fim de melhorar a qualidade da detecção e processamento de imagens e melhorar ainda mais a efetividade da plataforma. Após a finalização do protótipo, a linha de desenvolvimento a ser seguida será a integração de detecção de ameaças com base na identificação de armas utilizando redes neurais artificiais e inteligência

artificial, treinando o algoritmo para reconhecer armas (Al-Qubaa, Tian, 2012), o que estenderá o uso deste tipo de tecnologia a detecção, prevenção e antecipação de ações como atentados, ataques terroristas, sequestros e outros crimes.

6. REFERÊNCIAS

Al-Qubaa, A., Tian, G.Y., 2012. “Weapon Detection and Classification Based on Time-Frequency Analysis of Electromagnetic Transient Images”. In International Journal on Advances in Systems and Measurements v. 5 n.3 e 4.

Bradski, G.R., "Real time face and object tracking as a component of a perceptual user interface," Applications of Computer Vision, 1998. WACV '98. Proceedings., Fourth IEEE Workshop on , vol., no., pp.214,219, 19-21 Oct 1998

François, A.R.J., 2004. “CAMShift Tracker Design Experiments with OpenCV and SAI”. In Defense Technical Information Center.

Gamarra, D.F.T., Cuadros, M.A.S.L., 2015. “Forward models for following a moving target with the Puma 560 robot manipulator”. In Inteligência Artificial, v.18, p.31.

Li, D.Y., 2013. ”An Efficient Moving Target Tracking Strategy Based on OpenCV and CAMShift Theory”. In Proceedings of 3rd International Conference on Multimedia Technology. Guangzhou, China.

Marcondes, K.M., 2018. “Sistema Automatizado para detecção de alvos e disparo de projéteis de airsoft”. Trabalho de Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

Pfitscher, M., Welfer, D., Nascimento, E.J., Cuadros, M.A.S.L., Gamarra, D.F.T., 2019. “User activity gesture recognition on kinect sensor using convolutional neural networks and FastDTW for controlling movements of a mobile robot”. In Inteligência Artificial, v. 22, p.121-134.

Schreiner, V.H., Pustilnik, M.V., Bocca, E.W., Valente, R.L., 2018. “Desenvolvimento de um kit de robótica de baixo custo para aplicação em escolas públicas”. In Anais XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Salvador, Brasil.

Abstract: The present paper describes the development process of a prototype of a robotic automated sentry, aimed at defense applications. It demonstrates the mechanical and electrical projects that characterize the device, as well as the software components that control it. The developed prototype integrates the work done in the mechanical, electrical and software areas, and, as of the date of publication, has managed to reliably follow a moving target, while being controlled either manually by a human operator, or autonomously, through image processing and computer vision.

Keywords: *Defense, Robotics, Security, Movement Tracking.*