



FERRAMENTA ROBÓTICA PARA TRABALHO COM FOTOGRAFIA AVANÇADA

Roberto de Castro Souza Pinto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre.

Orientador: João Roberto de Toledo Quadros
Coorientador: Eduardo Soares Ogasawara

Rio de Janeiro,

Maio 2019

FERRAMENTA ROBÓTICA PARA TRABALHO COM FOTOGRAFIA AVANÇADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre.

Roberto de Castro Souza Pinto

Banca Examinadora:

Presidente, Professor D.Sc. João Roberto de Toledo Quadros (CEFET/RJ) (Orientador)

Professor D.Sc. Eduardo Soares Ogasawara (CEFET/RJ) (Coorientador)

Professora D.Sc. Aline Gesualdi Manhães (CEFET/RJ)

Professor D.Sc. Joel André Ferreira dos Santos (CEFET/RJ)

Professor Ph. D. Paulo Fernando Ferreira Rosa (IME)

Rio de Janeiro,

Maio 2019

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

P659 Pinto, Roberto de Castro Souza
Ferramenta robótica para trabalho com fotografia avançada /
Roberto de Castro Souza Pinto.—2019.
108f. : il. (algumas color.) , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2019.

Bibliografia : f. 100-108

Orientador : João Roberto de Toledo Quadros

Coorientador : Eduardo Soares Ogasawara

1. Inteligência computacional. 2. Robótica. 3. Fotografia -
Técnicas digitais. 4. Ciência da computação. I. Quadros, João
Roberto de Toledo (Orient.). II. Ogasawara, Eduardo Soares
(Coorient.). III. Título.

CDD 006.3

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao sofrido povo brasileiro que indiretamente financiou a minha pesquisa. Espero sinceramente poder ajudar a reverter a situação em que se encontram, ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - *Finance Code* 001. Gostaria de agradecer ao Cefet/RJ pelo financiamento parcial desta pesquisa. Gostaria muito de agradecer a minha família pela paciência durante o período de elaboração desse trabalho. Agradeço também ao professor João Roberto de Toledo Quadros, que com sua ajuda e apoio me levou a concluir esta pesquisa. Finalmente, agradeço muito ao meu amigo Diogo Martins Rembold, peça fundamental na ajuda e na disponibilização de suas oficinas de eletrônica, mecânica e impressão 3D, que foram fundamentais para a construção do TiIBOT.

RESUMO

Ferramenta Robótica para Trabalho com Fotografia Avançada

Pesquisas científicas em diversas áreas do conhecimento tem feito uso da técnica cinematográfica de vídeos *time-lapse* para melhor observar diversos fenômenos da natureza. Essa técnica consiste na criação de vídeos por meio da captura de imagens com uma frequência menor do que quando são reproduzidos, criando uma sensação em que o tempo parece passar mais rápido que o normal. Eventos da natureza, tais como, crescimento de plantas, movimentos de marés, rochas e geleiras, que levam até meses para ocorrer, podem ser vistos em poucos segundos. Pântanos, desertos e até locais submersos, são os lugares de difícil acesso e onde normalmente esses fenômenos ocorrem e precisam ser observados. Câmeras configuradas em modo de disparo contínuo e/ou acopladas a equipamentos especiais que controlam o disparo da câmera, são utilizados para esse fim e estão sujeitos aos efeitos das intempéries desses lugares. Além disso, há um alto custo envolvido com esses equipamentos, sua manutenção e operação. Nesse trabalho é apresentado o TilBOT, uma ferramenta robótica equipada com uma câmera fotográfica embarcada que vem a atender aos requisitos operacionais associados a configuração, aplicação e custo para obtenção de dados não convencionais do tipo fotografias e vídeos *time-lapse* e, além de possuir características diferenciais das ferramentas hoje utilizadas para obtenção de dados científicos dessa natureza. Dentre essas novas características se cita a capacidade de utilizar-se do tempo ocioso no processo de captura de imagens para esse tipo de mídia e as novas implementações de mobilidade da ferramenta, com seus vários motores confeccionados para multiposicionamento e de operação da câmera. O TilBOT executa as instruções contidas em um projeto fotográfico que o instrui a movimentar a sua câmera, sendo capaz, com isso, de capturar imagens para a geração de múltiplos vídeos *time-lapse* a partir de uma mesma coordenada, utilizando-se de um só equipamento, diminuindo a complexidade do processo e reduzindo custos operacionais de obtenção dos dados. Desta feita, o TilBOT é uma ferramenta que facilita a construção de projetos científicos e educacionais que fizerem uso desse tipo de dados não-convencional, no caso, as imagens e os vídeos *time-lapse*. O TilBOT também pode ser utilizado para a captura de imagens de fotografias digitais avançada para uso em sistemas educacionais, de modo que se possa construir projetos fotográficos com panorâmica horizontal, vertical e 360° imersiva e empilhamento de imagens nas áreas de biologia, geografia e astronomia.

Palavras-chave: Robótica; Fotografia avançada; Panorâmica; *Time-lapse*; Inteligência Computacional; Ensino

ABSTRACT

Robotic Tool to Create Multi Time-Lapse Videos

Scientific research in several areas of knowledge has made use of the cinematic technique of time-lapse videos to better observe various nature's phenomena. This technique consists of creating videos by capturing images with a lower frequency than when they are reproduced, creating the feeling where time seems to pass faster than normal. Nature events such as plant growth, tidal, rocks and glaciers movements, which take up to months to occur, can be seen in a few seconds. Swamps, deserts and even submerged sites are the places of difficult access and where normally these phenomena occur and need to be observed. Cameras configured in continuous shooting mode and / or coupled with special equipment that controls camera shooting are used for this purpose and are subject to the weather effects of these places. In addition, there is a high cost involved with these equipments, their maintenance and operation. In this work the TilBOT is presented, a robotic tool equipped with an on-board camera that meets the operational requirements associated with configuration, application and cost to obtain non-conventional data such as time-lapse photographs and videos and, in addition to possessing characteristics of the tools used today to obtain scientific data of this nature. Among these new features is the ability to use idle time in the process of capturing images for this type of media and the new implementations of tool mobility, with its various motors made for multiposition and camera operation. TilBOT performs the instructions contained in a photographic project that instructs her to move the camera, being able to capture images for the generation of multiple time-lapse videos from the same coordinate, using only one device, simplifying the process and reducing operational costs of obtaining data. Because of this, the is a tool that facilitates the construction of scientific and educational projects that make use of this type of unconventional data, in the case of images and time-lapse videos. TilBOT can also be used for capturing advanced digital photographic images for use in educational systems, so that photographic projects can be constructed with horizontal, vertical and enfused 360° panoramas and image emulation of the areas of biology, geography and astronomy.

Keywords: Robotics; Advanced photography; Panoramic; Time-lapse; Computational intelligence; Education

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Tempos de um projeto de captura de imagens para geração de vídeos <i>time-lapse</i> . Como normalmente o tempo de captura de uma fotografia é da ordem de uma fração do segundo, os tempos mostrados nesta figura estão desproporcionais propositalmente para possibilitar a visualização de t_p , que na proporção real não seria visível devido a sua reduzida dimensão em relação a t_i . Adaptado de (LIU; LI, 2012)	16
Figura 2 –	Projeto de monitoramento de área costeira com nove câmeras	18
Figura 3 –	Projeto de monitoramento de área costeira com o TilBOT	19
Figura 4 –	Principais componentes de uma câmera fotográfica digital	23
Figura 5 –	Componentes internos de uma câmera fotográfica digital moderna e esquema de funcionamento do processo fotográfico	24
Figura 6 –	Luke: Um robô fotográfico autônomo	32
Figura 7 –	ROSBOT: Um robô autônomo de baixo custo	35
Figura 8 –	Sequência temporal de um projeto de geração de múltiplos vídeos <i>time-lapse</i>	44
Figura 9 –	Visão superior do posicionamento da câmera do TilBOT em um projeto multi <i>time-lapse</i>	44
Figura 10 –	Integrated Development Environment (IDE) do OpenSCAD do projeto de um componente do TilBOT	47
Figura 11 –	Módulo de Sustentação e Movimento	48
Figura 12 –	Módulo de Suporte da Câmera	49
Figura 13 –	Suporte da câmera fotográfico	49
Figura 14 –	Primeiro protótipo do TilBOT com todos os componentes montados	50
Figura 15 –	Esquema do circuito eletrônico do TilBOT	52

Figura 16 – Diagrama representativo do fluxo de sinais dos componentes eletrônicos do <i>hardware</i>	53
Figura 17 – Componentes eletrônicos e mecânicos do TilBOT	55
Figura 18 – AppTilBOT - Ambiente de desenho do App Inventor 2	56
Figura 19 – AppTilBOT - Ambiente de codificação do App Inventor 2	57
Figura 20 – AppTilBOT - Controle remoto	57
Figura 21 – AppTilBOT - Opções gerais	58
Figura 22 – AppTilBOT - Configuração de projeto de vídeo <i>time-lapse</i>	59
Figura 23 – AppTilBOT - Configuração de projeto de vídeos multi <i>time-lapse</i>	60
Figura 24 – AppTilBOT - Configuração de projeto de vídeo <i>hyper-lapse</i>	61
Figura 25 – AppTilBOT - Configuração do projeto de fotografia 360° imersiva	62
Figura 26 – Diagrama de classes do Subsistema de Controle do TilBOT	63
Figura 27 – IDE do Arduino	67
Figura 28 – Botões de conexão do AppTilBOT	69
Figura 29 – Cenário de avaliação de projeto multi <i>time-lapse</i> com dois vídeos	73
Figura 30 – Configuração do AppTilBOT de um projeto multi <i>time-lapse</i> com dois vídeos	74
Figura 31 – TilBOT montado para execução de projeto imersiva 360°	80
Figura 32 – Fotografia final de um projeto fotográfico 360° imersiva de uma residência	80
Figura 33 – Fotográfico 360° imersiva com Motorola Moto G ⁴ plus	81
Figura 34 – Fotografia panorama horizontal do Praia Clube São Francisco	83
Figura 35 – Imagens de amostra de um vídeo <i>hyper-lapse</i>	83
Figura 36 – Primeira fotografia digital produzida em um computador em 1957	86
Figura 37 – Imagem do planeta Marte produzida pela sonda Mariner IV	87
Figura 38 – Montagem de fotografia panorâmica	88
Figura 39 – Panorâmica Estádio Olímpico - Jogos Pan-americanos 2007	88
Figura 40 – Fotografia 360° imersiva equiretangular feita em Niterói - RJ	89
Figura 41 – Fotografia de rastro de estrelas (empilhamento de imagens)	91
Figura 42 – Empilhamento de imagens com o <i>software</i> Hugin	91
Figura 43 – Empilhamento de imagens (foco)	92
Figura 44 – Lynx 3 Axis Slider da Cinetics (CINETICS, 2018)	94

Figura 45 – GIGA Pan (GIGAPAN SYSTEMS, 2018)	94
Figura 46 – <i>Ultra Light Pano Head</i>	95
Figura 47 – Intervalômetro	95
Figura 48 – Impressora Movtech 3D do tipo "impressora de extrusão"	96
Figura 49 – Impressora 3D Prusa I3	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesquisa inicial realizada na plataforma <i>Scopus</i>	26
Tabela 2 – Tabela comparativa dos artigos relacionados aos assuntos principais da dissertação	38
Tabela 3 – Projeto multi <i>time-lapse</i> com N imagens desmembradas em três vídeos <i>time-lapse</i>	46
Tabela 4 – Especificações técnicas da placa Arduino Nano	51
Tabela 5 – Desempenho dos projetos multi <i>time-lapse</i> executados	75
Tabela 6 – Amostra de imagens do projeto de avaliação 23 de geração de vídeos multi <i>time-Lapse</i>	76
Tabela 7 – Teste com câmera estática para geração de vídeos <i>time-lapse</i>	77
Tabela 8 – Especificação de algumas câmeras no mercado	78
Tabela 9 – Tabela dos principais equipamentos disponíveis no mercado fotográfico para a criação de fotografias avançadas	93

LISTA DE CÓDIGOS

Código 1 – Mensagem XML referente ao projeto de fotográfico de geração de vídeos multi <i>time-lapse</i>	42
Código 2 – Dados de um projeto fotográfico para a geração de uma fotografia 360° imersiva	69
Código 3 – Mensagem XML de um projeto fotográfico para a geração de uma vídeo <i>time-lapse</i>	69
Código 4 – Script de separação e geração dos múltiplos vídeos <i>time-lapse</i> contidos em um diretório	97
Código 5 – Método do <i>software</i> do Arduino embarcado no TiIBOT, cuja finalidade é o acionamento da câmera fotográfica	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile-Butadiene-Styrene
BASIC	Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code
CAD	Computer-aided Design
CCD	Charge-coupled Device
DC	Direct Current
DSLR	Digital Single-Lens Reflex
FDM	Fused Deposition Modeling
HDR	High-dynamic-range Imaging
IDE	Integrated Development Environment
ISO	International Organization For Standardization
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor De Luz)
MDF	Medium Density Fiberboard
PVC	Policloreto De Vinil
QR	Quick Response Code
URL	Uniform Resource Locator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
WIFI	Wireless Fidelity

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Vídeo <i>Time-Lapse</i>	15
1.2	Motivação	17
1.3	Objetivos	19
1.4	Estrutura da Dissertação	21
2	Conceitos Preliminares	23
2.1	Fotografia Digital	23
2.2	Fotografia Digital Avançada	25
3	Revisão Bibliográfica	26
3.1	Robótica	27
3.2	Fotografia Avançada e Vídeos <i>Time-Lapse</i>	29
3.3	Robótica Aplicada a Fotografia	32
3.4	Características dos Artigos	36
4	Definição e Desenvolvimento do Tilbot	40
4.1	Requisitos levantados	40
4.2	Inovações introduzidas	41
4.2.1	Projeto Fotográfico	42
4.2.2	Técnica Multi <i>Time-Lapse</i>	43
4.3	Estrutura de <i>Hardware</i> e <i>Software</i> do TilBOT	46
4.3.1	Armadura do TilBOT	46
4.4	<i>Hardware</i> de Controle do TilBOT	50
4.4.1	Microcontrolador	50
4.4.2	Circuito Eletrônico	52
4.5	<i>Softwares</i> do TilBOT	55
4.5.1	AppTilBOT	56

4.5.2	Subsistema de Controle	62
4.5.3	Integração dos Módulos	68
5	Avaliação Experimental	72
5.1	Avaliação de Projetos Multi <i>Time-Lapse</i>	72
5.1.1	Ambiente de Avaliação	72
5.1.2	Metodologia	73
5.1.3	Resultados Obtidos	75
5.2	Avaliação do Projeto 360° Imersiva	78
5.2.1	Ambiente de Avaliação	79
5.2.2	Metodologia	79
5.3	Avaliação de Outros Projetos de Fotografia Avançada	82
5.3.1	Metodologia e Resultados Obtidos	83
6	Conclusão	84
A	Apêndices	86
A.1	Breve Histórico da Fotografia Digital	86
A.2	Sobre a Fotografia Digital Avançada	87
A.2.1	Fotografia Panorâmica	88
A.2.2	Fotografia 360° Imersiva	89
A.2.3	Empilhamento de Imagens	90
A.3	Equipamentos para a Fotografia Digital Avançada	92
A.4	Intervalômetro	94
A.5	Impressão 3D	96
A.6	Códigos de Geração de Vídeos Multi <i>Time-Lapse</i>	97
A.7	Código Embarcado no TilBOT Responsável pelo Disparo da Câmera Fotográfica	99
	Referências	99

1- Introdução

Há cada vez mais informações que anteriormente pertenciam somente ao mundo analógico, e hoje estão sendo convertidas com representação para o mundo digital (THOUVENIN, 2018). Essas informações migradas para o mundo digital são cada vez mais complexas e suas representações computacionais são ditas como representação de dados não-convencionais. Os dados não-convencionais são complexos em sua estrutura de gerência e precisam de novas técnicas de busca e armazenamento para serem manipulados (DE ANDRADE; ARAÚJO, 2000). Um exemplo de dados dessa natureza são os dados multimídia e, entre eles, vídeos e suas variações. Uma variação dos dados multimídia do tipo vídeo são os denominados vídeos *time-lapse*, que se constituem em uma técnica cinematográfica em que as imagens que compõem o vídeo (Ralph D. LORENZ; JACKSON; BARNES, 2010; LIU; LI, 2012).

Vídeos *time-lapse* são dados multimídia utilizados também para mapear informações adequadas às pesquisas de informações que requerem tanto a obtenção do vídeo propriamente dito, como sua gerência por meio da variável do tempo. Esse tipo de dado multimídia tem sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, em função do fato de se utilizar múltiplas imagens com o fim de obter dados específicos sobre fenômenos da natureza ou que necessitem de verificação temporal.

A tecnologia associada a vídeos *time-lapse* fazem uso de técnicas similares as usadas em cinematografia, de modo que o movimento é capturado por uma sequência de quadros obtidos tanto por câmeras fotográficas, quanto filmadoras, em um determinado intervalo de tempo, e visualizados em um intervalo de tempo bem menor. Ações e movimentos que geralmente duram um longo período de tempo, às vezes dias ou até anos, podem ser vistos em alguns segundos. Por exemplo, o crescimento de plantas e movimento de rochas são muito lentos, levam um longo tempo para mudar de um estado para outro, por isso são melhor observados através da tecnologia dos vídeos *time-lapse* (BENNETT; MCMILLAN, 2007; KAMRIANI, 2016; LIU; LI, 2012). Dentre essas áreas de pesquisa destacam-se a geologia, oceanografia, meteorologia, biologia, dentre outras, com trabalhos tais como: a observação do movimento de rochas e de redemoinhos de poeira (*Dust Devil*) no Vale da Morte na Califórnia (Ralph D. LORENZ; JACKSON;

BARNES, 2010), monitoramento do movimentos de geleiras com suas erupções e enchentes em Fuego-Patagônia no Chile Central (LLANOS; NOCETI; CASASSA, 2017), observação dos efeitos do despejo de munição na vida marinha do Havá (EDWARDS et al., 2016), observação de espécies marinhas e movimento das marés no ecossistema de manguezais no Japão (TEZUKA et al., 2016) e outros.

Para capturar essas imagens e produzir vídeos *time-lapse* é necessário a utilização de câmeras configuradas para disparo em modo contínuo e/ou equipamentos especiais de controle dos disparos das câmeras. Como descrito em (Ralph D. LORENZ; JACKSON; BARNES, 2010), o custo, não só dos equipamentos mas de todos os processos que envolvem a sua utilização, é um fator importante em um projeto de monitoramento, uma vez que, a maioria das vezes os equipamentos são instalados em lugares remotos, tais como, desertos, pântanos, áreas de mangue e até mesmo no fundo do mar. Esses ambientes são hostis à câmera e aos outros componentes de *hardware*, o que dificulta o processo de instalação, manutenção dos equipamentos, troca de baterias e a aquisição dos dados produzidos.

Torna-se importante, tanto do aspecto de custo, quanto dos aspectos de praticidade e operação, ter-se uma nova ferramenta que trate da mitigação das dificuldades e problemas acima descritos, permitindo a concentração da gerência e instalação de equipamentos em uma mesma localização, reduzindo o processo de manutenção e de deslocamento de equipes de suporte. O uso dessa nova ferramenta vai permitir uma maior abrangência de área de pesquisa para obtenção de vídeos, assim como, um uso mais racional de equipamentos. Também vai incrementar a qualidade dos vídeos criados e contribuir para aumentar a viabilidade dos projetos de captura de imagens da pesquisa em si.

1.1- Vídeo *Time-Lapse*

Os vídeos *time-lapse* são dados multimídia que se utilizam atualmente de técnicas específicas de fotografia digital. Seu propósito é criar imagens de um diferente ponto de vista para o espectador, sendo utilizado nas áreas de entretenimento, educação e em trabalhos de pesquisa científica (LIU; LI, 2012). Um vídeo *time-lapse* pode ser produzido

por uma filmadora ou câmera fotográfica acoplada a um tipo de dispositivo de apoio, e serem configuradas no modo de disparo contínuo para capturar a cena por meio de uma série de fotografias, em uma frequência específica. Essas câmeras e equipamentos geralmente são acopladas sobre um tripé ou colocadas sobre uma superfície firme o bastante para impedir trepidações que interfiram na qualidade do vídeo produzido. Os dispositivos de apoio constituem-se em braços ou aparatos de movimentação e controle da câmera fotográfica, que auxiliam à obtenção de fotografias para montagem de vídeos. O intervalômetro é um exemplo desse tipo de dispositivo de apoio bastante utilizado, e se comunica com a câmera por meio de cabos, conexão *bluetooth* ou *Wifi* como visto no apêndice A.4.

A Figura 1, ilustra as sequências dos tempos de um processo de captura de imagens destinadas a posterior geração de um vídeo *time-lapse*. t_p é o tempo total de captura de cada uma das fotografias, t_i é o tempo de espera entre o término de uma fotografia e o início de outra, o intervalo T é o tempo entre início de uma fotografia ao início da seguinte, enquanto T_T é o tempo total do processo de captura de todas as fotografias. t_i é também o tempo ocioso da câmera e de que se vale a nova técnica de produção de vídeos multi *time-lapse* para produzir vários vídeos com um mesmo equipamento.

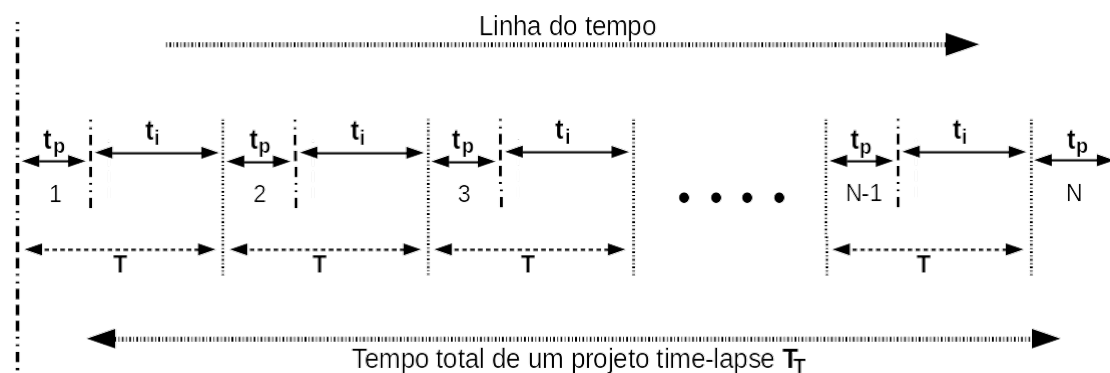


Figura 1 – Tempos de um projeto de captura de imagens para geração de vídeos *time-lapse*. Como normalmente o tempo de captura de uma fotografia é da ordem de uma fração do segundo, os tempos mostrados nesta figura estão desproporcionais propositalmente para possibilitar a visualização de t_p , que na proporção real não seria visível devido a sua reduzida dimensão em relação a t_i . Adaptado de (LIU; LI, 2012)

A fotografia *time-lapse* é uma técnica muito semelhante aos filmes em que a sensação de movimento é criada por uma sequência de quadros capturados em um determinado intervalo de tempo. Processos em que ocorre prolongadas transformações de um estado para outro, às vezes por dias ou meses, podem ser vistos em alguns

segundos por meio de um vídeo *time-lapse*, criando uma sensação de que o tempo passa mais rapidamente que o normal. 25 a 30 quadros por segundo é a taxa de aquisição dos quadros usada para um filme convencional, e quando reproduzido na mesma taxa, reproduz o movimento idêntico ao do mundo real. Normalmente, o intervalo de tempo entre os quadros nos vídeos *time-lapse* é de, pelo menos, um quadro por segundo e é reproduzido na taxa de um filme normal. Esses tipos de vídeos são úteis quando os movimentos na vida real são lentos o bastante para não serem percebidos pelos olhos humanos. Como exemplo de eventos melhor observados por meio de vídeos *time-lapse* há o crescimento de plantas e movimento das marés (CHYLINSKI, 2012; LIU; LI, 2012).

1.2- Motivação

Como visto no trabalho de (Ralph D. LORENZ; JACKSON; BARNES, 2010) nas pesquisas com vídeos *time-lapse* no Vale da Morte - Califórnia, a frequência utilizada é de uma captura de imagem a cada 45 segundos, sendo esse o menor intervalo de tempo encontrado dentre os trabalhos que utilizam a técnica de vídeos *time-lapse* (AHN; BOX, 2010; Ralph D LORENZ; MYERS, 2005; EDWARDS et al., 2016; TEZUKA et al., 2016; NORRIS et al., 2014; LLANOS; NOCETI; CASASSA, 2017). Como a captura de uma única fotografia nesse tipo de projeto normalmente é da ordem de uma fração de segundo, constatou-se que o equipamento fotográfico fica ocioso a maior parte do tempo. A utilização dessa oportunidade é a principal proposta deste trabalho, para que uma ferramenta robótica faça uso desse tempo ocioso de maneira otimizada para movimentar e posicionar a câmera utilizando-se de uma mesma plataforma, sem alteração de peças ou reposicionamento manual, de modo a capturar imagens a partir de diferentes ângulos e perspectivas, e assim, produzir múltiplos vídeos *time-lapse*. Com o desenvolvimento dessas novas características, a ferramenta se torna um componente de precisão acurada para trabalhos de pesquisa científicos que façam uso desse tipo de dado não convencional.

Um exemplo das vantagens do uso desse tipo de dispositivos para projetos de vídeos *time-lapse* é visto nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 apresenta o monitoramento de uma área costeira, utilizando-se de um mecanismo comum de obtenção de vídeos *time-lapse*,

que é o uso de várias câmeras (nove), em posicionamento fixo, para obter as fotografias destinadas à geração de vários vídeos que possibilitem cobrir toda a área desejada.

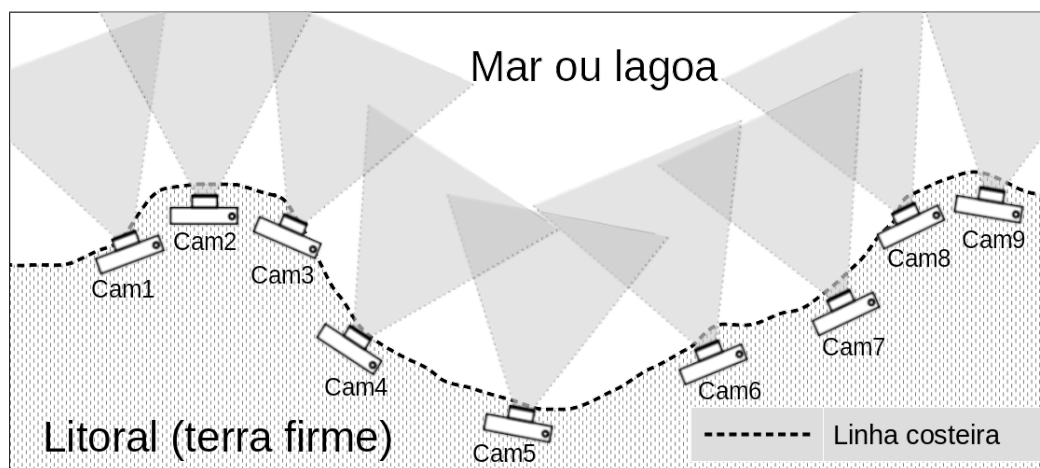


Figura 2 – A figura acima mostra um projeto de monitoramento de uma área costeira, monitorado por um conjunto de nove câmeras capturando imagens destinadas a cobrir toda a área

Com a ferramenta robótica que movimenta e controla uma única câmera fotográfica, aproveita-se o tempo ocioso do intervalo de tempo entre a captura de uma imagem e a seguinte, característica dos vídeos *time-lapse*, sendo possível gerar vários vídeos com um número menor de equipamentos. Como geralmente esses equipamentos são instalados em lugares remotos de difícil acesso como mangues e pântanos, todo o processo é racionalizado e os custos são reduzidos consequentemente.

A Figura 3, mostra a mesma área da Figura 2, sendo explorada por três ferramentas robóticas (BOT1, BOT2 e BOT3) equipadas com câmeras fotográficas que, devido à flexibilidade de movimentação dessas câmeras, são também capazes de cobrir áreas 360° em torno da ferramenta incluindo-se as áreas em terra, que não eram cobertas com a solução tradicional. A mesma distribuição de equipamentos mostrado na Figura 2 anteriormente, pode ser coberta com equipamentos tradicionais, entretanto, nesse caso seria preciso a utilização de onze câmeras, o que aumentaria os custos de equipamentos e operação sensivelmente.

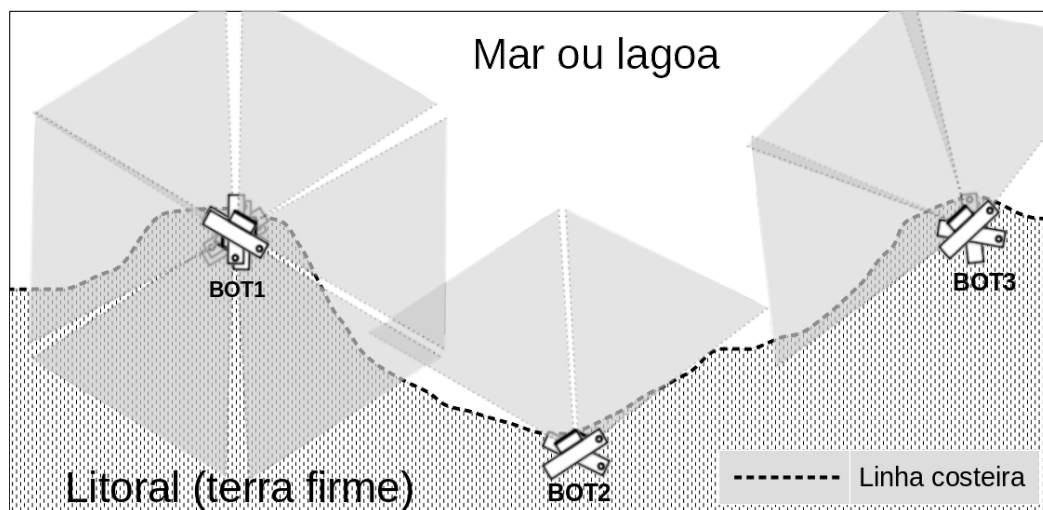


Figura 3 – A figura mostra a mesma área da Figura 2 sendo monitorada com três ferramentas robóticas que utilizam uma câmera com diferentes ângulos de visão

1.3- Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta robótica denominada TiIBOT (**TiIBOT** acrônimo: **T**ime-lapse **R**o**B**OT), com capacidade de controlar e movimentar uma câmera fotográfica, para obtenção de imagens e vídeos a serem utilizados em ambiente de pesquisa científica. Essa ferramenta é capaz de cobrir uma área maior que um simples equipamento fotográfico e capturar uma quantidade de imagens suficientes para produzir múltiplos vídeos time-lapse a partir de uma mesma coordenada geográfica, com somente um equipamento fotográfico. O cumprimento desse objetivo vai depender de que o TiIBOT possa efetuar um conjunto de objetivos secundários para o desenvolvimento deste trabalho, que são os seguintes:

- gerenciar as relações de uso do tempo associado aos vídeos *time-lapse*;
- movimentar a câmera em vários sentidos, se movimentar para frente e para trás com diversas velocidades e controlar a câmera fotográfica embarcada;
- monitorar a área pesquisada com abrangência de 360°, diferente dos equipamentos atualmente utilizados, que não se movimentam e não possuem controle automatizado de fixação de ângulo de obtenção de fotografias;
- definir os projetos fotográficos, descrito em detalhes no item 4.2.1, que são compos-

tos por instruções de como o TilBOT deve proceder com a finalidade de capturar as imagens que irão compor a fotografia ou o vídeo finais;

- desenvolver solução que permita ao usuário definir cada tipo de projeto fotográfico desejado;
- desenvolver funcionalidades para executar os vários projetos fotográficos relacionados a cada tipo de fotografia avançada, que é definida em detalhes na seção 2.2, e que se constitui na utilização de várias fotografias iniciais editadas e processadas para se chegar a uma única fotografia final.

O TilBOT foi projetado para ser um instrumento de pesquisa científica com o diferencial de ser capaz de realizar muitas funções associadas à obtenção de fotografias digitais avançadas, compondo-se de um conjunto único de equipamento, com Módulo de Sustentação e Movimento, Módulo de Suporte da Câmera, *hardware* e *software* próprios. O TilBOT também foi concebido para ser uma plataforma para tratar outras técnicas avançadas de fotografia digital, além dos vídeos *time-lapse*, tais como, modelos 3D, astrofotografia, 360° imersivas, panoramas imersivos e outros, que exigem diferentes tipos de dispositivos para controlar a câmera.

O TilBOT é uma plataforma modular, simples, funcional e de mais fácil manipulação. Possui ainda como *hardware* principal uma plataforma eletrônica de código aberto que tem em comum usabilidade e interface homem-máquina, sendo equipado com um microcontrolador embutido e um *software* próprio capaz de controlar suas engrenagens e atuadores de sustentação e movimento. A configuração do TilBOT permite também movimentar tanto a câmera, quanto o módulo a qual ela está acoplada, de forma independente com uma velocidade de movimento sincronizado. Também é possível controlar a frequência dos disparos e os vários movimentos para frente, para trás ou em círculos.

As ações e funções do TilBOT permitem programá-lo para que obtenha uma série de fotografias, que vão compor o que é chamado de projeto fotográfico. Este projeto fotográfico é configurado por meio de um *software* instalado em um dispositivo móvel denominado AppTilBOT, descrito com mais detalhes no capítulo 4.5.1, por meio do qual todos os passos que o TilBOT deverá seguir para executar o projeto, são definidos pelo usuário. Por fim, o projeto fotográfico criado deve ser transferido ao TilBOT por meio de uma conexão remota (tipo *bluetooth*) (NETWORKING, 2001), onde o processo de captura

das imagens é executado (FAI et al., 2002).

Posteriormente, as imagens capturadas pela câmera do TilBOT devem então ser baixadas para um computador onde serão os dados de entrada para vários *softwares* de processamento de imagens específicos que processarão esses arquivos e criarão os vídeos *time-lapse*, panoramas ou as outras fotografias avançadas. A aplicação do TilBOT envolve desde seu uso por pesquisadores das diversas áreas do conhecimento, além de fotógrafos amadores avançados, profissionais ou para projetos de propósito definido, tais como ensino e pesquisa científica (LIU; LI, 2012; EDWARDS et al., 2016).

Por necessitarem de trabalhosos processos de obtenção e de pós-processamento, as fotografias digitais avançadas requerem acurácia e muito tempo de edição pelo usuário. Essas técnicas de fotografia são explanadas em detalhes na seção 2.2. O TilBOT é uma ferramenta robótica que reduz essa complexidade, facilitando seu uso para áreas educacionais e de pesquisa, no qual, por exemplo, os biólogos podem observar os movimentos da natureza com mais perspicácia, tais como, o crescimento de plantas e flores. Esse tipo de ferramenta também pode ser usado para observar movimentos de geleiras, marés, observação de animais e fenômenos atmosféricos e geológicos (Ralph D. LORENZ; JACKSON; BARNES, 2010; EDWARDS et al., 2016; TEZUKA et al., 2016; NORRIS et al., 2014; LLANOS; NOCETI; CASASSA, 2017).

1.4- Estrutura da Dissertação

Este trabalho está organizado da seguinte maneira, após este capítulo 1 de introdução, o Capítulo 2 descreve brevemente conceitos sobre fotografia essenciais para o entendimento deste trabalho como um todo. O Capítulo 3 aborda os trabalhos relacionados aos temas desta dissertação que são: robótica e fotografia. O capítulo 4 aborda desde os requisitos para o desenvolvimento do TilBOT, seus vários módulos, a eletrônica e os módulos de *software* existentes, até a integração desses módulos com a estrutura mecânica da ferramenta robótica, com os motores, atuadores e o circuito eletrônico embarcados. Esse capítulo apresenta também os novos conceitos introduzidos pelo TilBOT, a modelagem da ferramenta robótica e o processo de desenvolvimento deste projeto.

Em seguida o capítulo 5 descreve processos de avaliação da ferramenta, com os passos a serem seguidos para validar seu desempenho, funcionalidades e os resultados obtidos com os projetos fotográficos executados pelo TiIBOT. As conclusões e as considerações finais são abordadas no capítulo 6. O Apêndice A traz um breve histórico da fotografia digital e seus principais marcos, descreve as principais técnicas de fotografia digital avançada, e finalmente, expõe alguns dos equipamentos utilizados como suporte para a captura de fotografias digitais avançadas.

2- Conceitos Preliminares

2.1- Fotografia Digital

A fotografia é uma série de processos físico, mecânico e óptico que consiste em representar a imagem de um objeto em uma fotografia. Esses processos são análogos ao que acontece internamente com o olho humano e envolve o conjunto câmera, objetiva e obturador (ADAMS, 1995). Os raios de luz provenientes de uma fonte luminosa são refletidos pelo objeto fotografado, atravessando as lentes da objetiva da câmera e são capturados pelo sensor Charge-coupled Device (CCD), onde a imagem é processada e armazenada em algum meio digital (KOBAYASHI, 2005). A Figura 4a é um exemplo de uma objetiva e seu diafragma, a Figura 4b ilustra um obturador de uma câmera digital, enquanto a Figura 4c mostra um sensor CCD atual.

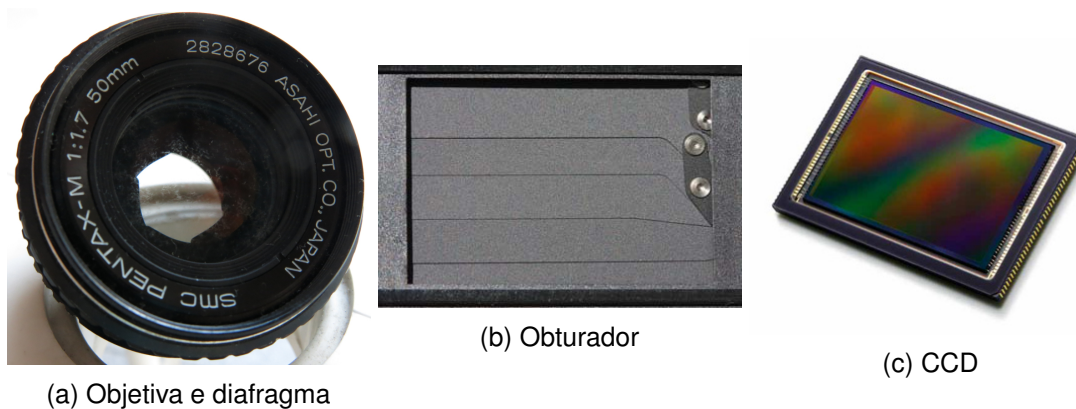


Figura 4 – (a) Objetiva Pentax 50 mm, (b) Obturador de uma câmera digital (SNAPOHOLIC, 2018) e (c) CCD CMOS Copyright© 2011 Gadgetophilia

Na fotografia digital o padrão International Organization for Standardization (ISO) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018) é a medida de sensibilidade do sensor CCD. Quanto menor é o seu valor, menor é a sua sensibilidade a luz e quanto maior é o ISO, maior é a sensibilidade que, por outro lado, causa um significativo aumento de ruído na imagem a medida que o ISO aumenta, semelhante ao efeito granulação na fotografia convencional.

Além da objetiva ser composta de várias lentes que tem a finalidade de direcionar o feixe de luz para o interior da câmera, dentre outras funções, as objetivas atualmente também possuem um componente mecânico chamado diafragma. Esse componente é composto de várias lâminas metálicas que se abrem e fecham e assim, controlam a quantidade de luz que passa pela objetiva. O diafragma pode ser visto também na Figura 4a.

Enquanto o diafragma controla a quantidade de luz, o obturador controla o intervalo de tempo em que a luz sensibiliza o sensor CCD. Há alguns anos o obturador era um componente mecânico composto por uma cortina com várias lâminas metálicas que se abriam e fechavam em intervalos de até 1/8000 segundo. Atualmente as câmeras digitais mais modernas são equipadas com obturadores eletrônicos que, embora tenham a mesma finalidade, são capazes de operar a uma velocidade muito maior, isto é, um tempo de exposição muito menor e sem os problemas de latência gerados pelo movimento de abertura e fechamento das cortinas do obturador mecânico.

A Figura 5, ilustra o esquema básico do funcionamento de uma câmera fotográfica digital e seus principais componentes, sem entretanto entrar em detalhes que estão fora do escopo deste trabalho.

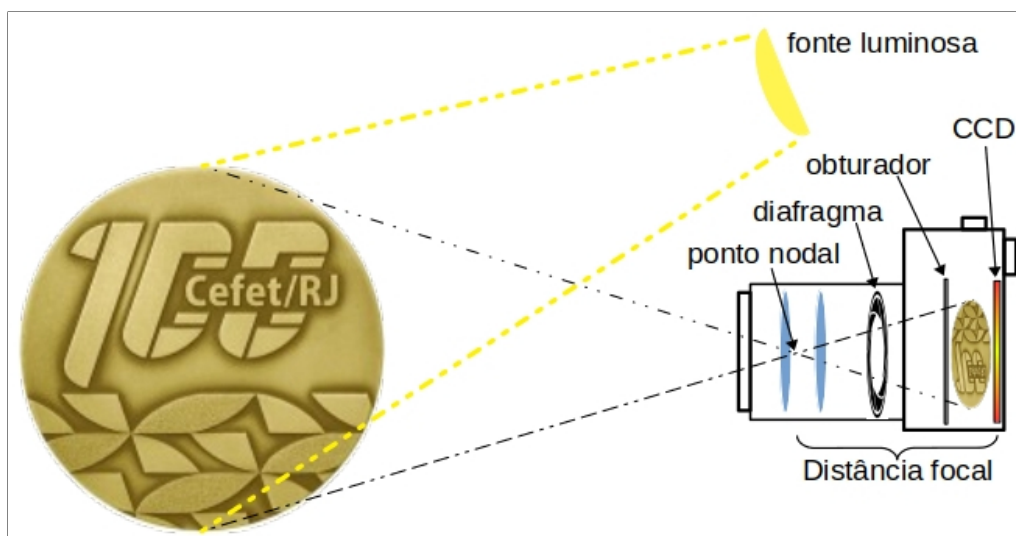


Figura 5 – Componentes internos de uma câmera fotográfica digital moderna e esquema de funcionamento do processo fotográfico

Os feixes luminosos provenientes da fonte luminosa (Sol) atingem todo o objeto a ser fotografado. Parte da luz é absorvida pelo objeto e parte é refletida em todas as direções, inclusive para a objetiva da câmera fotográfica. Esses feixes então, atravessam

a objetiva, passam pelo orifício do diafragma e atingem o obturador, que em seu estágio de repouso está completamente fechado. Quando o botão de disparo é pressionado, o obturador se abre e os feixes de luz sensibilizam o CCD, onde a imagem é capturada e o obturador é fechado interrompendo o processo. A imagem é em seguida armazenada em um dispositivo de memória. Normalmente, esse tempo de abertura e fechamento do obturador é uma fração do segundo, fazendo da captura da imagem um processo muito rápido.

Outros conceitos fundamentais para o entendimento do processo fotográfico, são: o foco, a profundidade de campo, o ponto nodal e a distância focal. O foco é o ponto onde os raios de luz originários de um ponto do objeto a ser fotografado se convergem. A profundidade de campo é a distância entre os objetos mais próximos e mais distantes da cena que aparecem com nitidez aceitáveis em uma imagem. O ponto nodal é o ponto de interseção entre os eixos ópticos dos feixes de luz que entram pela objetiva da câmera. Finalmente, a distância focal é a distância entre o ponto nodal e o CCD da câmera.

2.2- Fotografia Digital Avançada

Fotografia Digital Avançada é o termo definido aqui neste trabalho para designar um tipo de fotografia em que, para se atingir o resultado final que pode ser um vídeo ou uma fotografia, é necessário um trabalho de pós-processamento de no mínimo duas imagens. Em caso da geração de vídeos, esse processamento pode envolver milhares de imagens fotográficas.

Dentre os tipos de fotografia avançada se destacam os vídeos *time-lapse*, as várias técnicas de empilhamento de imagens e a fotografia panorâmica, como detalhado nos apêndices A.2.

3- Revisão Bibliográfica

Duas linhas de pesquisa distintas foram seguidas para a realização desse trabalho, como visto na Tabela 1.

Pesquisa de Trabalhos Relacionados	
String de busca	Número de artigos retornados
TITLE-ABS-KEY(photograph robot) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2010))	117
TITLE(timelapse) OR TITLE(time-lapse) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, English)) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "2019 OR LIMIT-TO PUBYEAR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "2017 OR LIMIT-TO PUBYEAR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "2015 OR LIMIT-TO PUBYEAR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "2013 OR LIMIT-TO PUBYEAR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "2011 OR LIMIT-TO PUBYEAR")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Geophysics") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Electrical Resistivity") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Carbon Sequestration") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "ElectricConductivity") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Tomography") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Electrical Resistivity Tomography")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Time-lapse Seismic") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Seismic Waves")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2010))	97

Tabela 1 – Pesquisa inicial realizada na plataforma *Scopus*

Inicialmente buscou-se por trabalhos que tivessem relação com fotografia e com robótica. Para isso, foi elaborada uma busca na plataforma *Scopus* (SCOPUS, 2019) a

partir do ano de 2010 com as palavras-chave: "robot" e "photograph". O resultado dessa busca revelou um significativo número de artigos no idioma japonês, o que impossibilita a sua leitura vide a dificuldade em traduzi-los. Assim, a busca foi filtrada para selecionar somente o idioma inglês que resultou no retorno de 117 artigos. A técnica de *Snowballing* foi empregada em artigos considerados relevantes para o trabalho com a finalidade de encontrar outros artigos pertinentes.

A outra busca na plataforma *Scopus* destinou-se a encontrar artigos relacionados aos vídeos *time-lapse*. Inicialmente a busca procurou somente pela palavra-chave "time-lapse" ou "timelapse" e o idioma inglês, entretanto essa busca retornou um grande número de artigos não exatamente ligados a fotografia *time-lapse*, e sim, as outras áreas de interesse, tais como, geofísica e medicina. Alguns filtros foram acrescentados à busca para excluir esses termos o que culminou com a segunda linha da Tabela 1 que resultou em 97 artigos que, assim como a primeira busca, levou a descoberta de outros artigos por meio da utilização da técnica de *Snowballing*.

3.1- Robótica

Em termos de ferramentas robóticas, foram examinadas situações nas quais o uso de instrumentos robóticos ou automatizados pudessem ser usados para redução de custos com suporte local, ou redução de riscos a vida humana. Um campo da robótica que trata de resolver tais situações é o da robótica móvel, que trabalha com a ideia de reproduzir ferramentas que possam se movimentar de forma autônoma, se guiando pelos conceitos de visão espacial, navegação cognitiva e tratamento semântico do caminho (KOSTAVELIS; GASTERATOS, 2015). No trabalho de Thrun [2006] verifica-se os aspectos principais de robôs móveis, que são:

- Fusão de sensores: para adquirir e integrar os dados obtidos dos sensores, realizando uma compensação dos limites de alcance e precisão de cada sensor, através da fusão dos dados;
- Desvio de obstáculos: no qual se detecta obstáculos e evita-se a colisão com eles,
- Auto-Localização: para determinar a localização do robô no ambiente (posição e

orientação), com ou sem o uso de um mapa do ambiente, de modo a poder planejar e executar o deslocamento seguindo uma determinada trajetória; e

- Mapeamento do ambiente: utilizado para exploração e construção de um mapa do ambiente, para o robô reconstruir o mapa do ambiente, identificando onde existem obstáculos e calculando novos caminhos.

As ferramentas robóticas móveis podem ser utilizadas para resolver ou verificar problemas cujo risco humano, ou custo de suporte presencial humano, seja alto. Como exemplos, há a utilização de robôs móveis para detectar problemas em dutos de óleo, tarefa que é dificultosa para seres humanos (NEGRI et al., 2019), para verificação de usinas nucleares, cujo risco de acesso humano seja alto (TSITSIMPELIS et al., 2019), teste de plataformas aéreas em ambiente aquático (BORREGUERO; VELASCO; VALENTE, 2019), entre outras aplicações que demandem substituição de mão de obra humana.

O uso de ferramentas robóticas móveis também pode ser aplicado ao campo do entretenimento e diversão, para a construção de jogos educacionais. No trabalho de (QUADROS et al., 2016), é tratado o desenvolvimento de uma ferramenta robótica móvel, controlada por rede *bluetooth* (ADOMNICA; FOURNIER; MASSON, 2018), que tem o propósito tanto de divertir os usuários, como propor fixação de saberes, através de um jogo, no qual, respostas certas fazem a ferramenta robótica andar para frente e erradas, para trás. Vencendo o jogo aquele que colocar a ferramenta robótica na linha de chegada primeiro. Existem outros tipos de ferramenta robóticas para tratar de situações que necessitem de automação, sem interferência direta humana. Em (Ralph D LORENZ; MYERS, 2005) para resolver o problema da alta taxa de captura de imagens, gerando imagens não utilizáveis, ajustou-se câmeras fotográficas simples com microcontroladores PICAXE-08M (REVOLUTION EDUCATION LTD, 2018) para controlá-las, de modo a fazer uso de sensores para coletar dados atmosféricos e assim evitar a captura de imagens em momentos não desejados.

3.2- Fotografia Avançada e Vídeos *Time-Lapse*

Muitos fenômenos da natureza são difíceis de prever e entender. Em várias situações a utilização de imagens é a solução encontrada para estudá-los e entendê-los melhor. Em (LIU; LI, 2012), são abordadas as características técnicas que fazem dos vídeos *time-lapse* uma ferramenta largamente utilizada nas áreas de biomedicina, fenologia, geologia, oceanografia e outras áreas de pesquisa científica.

O estudo de fenômenos geofísicos e meteorológicos utilizando-se de vídeos *time-lapse* são abordados em (Ralph D. LORENZ; JACKSON; BARNES, 2010). Nesse trabalho são descritas as dificuldades de se obter imagens, estudar e entender fenômenos de curta duração como tornados de poeira do deserto no Vale da Morte-Califórnia e em *Gates Pass* em Tucson-Arizona, que possuem influência inclusive em acidentes aéreos (Ralph D LORENZ; MYERS, 2005) e, estudos sobre alagamentos em uma região chamada *Racetrack Playa* no Vale da Morte - Estados Unidos. Embora câmeras de vídeo não sejam as ideais nesse tipo de estudo, esse trabalho exemplifica dois casos nos quais imagens desse tipo câmera auxiliaram a conclusão de fenômenos da natureza.

No terremoto de Kobe no Japão, imagens de câmeras instaladas em carrinhos de mercado ajudaram a inferir o local da falha e seu movimento, e em Nuuk na Groelândia, onde as imagens de câmeras em estacionamentos foram utilizadas para reconstruir a trajetória de um meteorito. Entretanto, devido a alta taxa de captura de imagens, câmeras de vídeo não são convenientes nesse tipo de pesquisa, e esse trabalho abordou várias alternativas interessantes, com uso de câmeras fotográficas simples e controladas por circuitos eletrônicos caseiros, que obtiveram um melhor resultado. Esses circuitos fazem uso de sensores para coletar dados atmosféricos e assim evitar a captura de imagens em momentos não desejados. Ainda enfatiza a grande capacidade de armazenamento de dados dos cartões de memória atuais e a necessidade de redução do consumo de energia pelos equipamentos utilizados.

Um circuito eletrônico foi montado com o microcontrolador PICAXE-08M (REVOLUTION EDUCATION LTD, 2018) para controlar uma câmera fotográfica. Ele pode ser programado pela linguagem de programação Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code (BASIC) para analisar os dados dos vários sensores e controlar o disparo da câmera, dando flexibilidade ao projeto. Os equipamentos de baixo custo para geração de

vídeos *time-lapse* viabilizam a sua utilização em lugares remotos e inóspitos e, embora não permitam uma análise dos dados em tempo real, esses podem ser posteriormente estudados em um ambiente apropriado de laboratório.

Inicialmente foram avaliadas duas soluções de câmeras: uma Brinno GardenWatchCam (BRINNO INC., 2018) destinada a observação em horticultura; e a solução da Harbotronics de maior custo e dimensões, que utiliza uma câmera Digital Single-Lens Reflex (DSLR), que pelas suas grandes dimensões têm impacto visual e restrições em *Racetrack Playa* em decorrência de ser um parque nacional e se tratar de um lugar de atração turística. Experimentos iniciais foram conduzidos com a câmera *Flycam-One* (CAMONETEC, 2018), muito utilizada em aeromodelos e produz imagens coloridas de 640 por 480 *pixels* e as armazena em um cartão de memória. Outros experimentos foram realizados com a câmera Vista Quest VQ1005 (VISTAQUEST CORPORATION, 2018). Problemas com o circuito e/ou com o armazenamento dos dados no cartão foram percebidos em decorrência da tensão das baterias diminuir até um determinado nível, exigindo que controles no circuito eletrônico fossem criados para detectar esse problema e bloquear a operação do equipamento. Em todos os casos se obteve sucesso em obter as imagens, o que ajudou a compreensão e evolução dos dois fenômenos estudados.

Também em *Playa* no Parque Nacional do Vale da Morte, utilizou-se de vídeo *time-lapse* para estudar e entender o fenômeno do rastro deixado pelas rochas deslizantes que se movimentam em uma superfície desértica, descrito em (NORRIS et al., 2014). Esse é um fenômeno descoberto em 1948 e que vem intrigando os pesquisadores desde então. Devido a natureza severa do ambiente no entorno de *Playa* e a dificuldade de acesso, aliado ao fato das rochas se moverem muito esporadicamente, muitas vezes sem movimento por vários anos a uma década, a observação desse fenômeno tem sido muito dificultada. Várias câmeras *time-lapse* foram instaladas, capturando imagens com a frequência de uma imagem por hora, com vista para a região sudeste de *Playa* junto com outros equipamentos meteorológicos e de posicionamento. Os pesquisadores passaram a visitar o local de 5 a 8 vezes ao ano para baixar os dados e trocar baterias.

Empilhamento de foto é o trabalho de (BRECKO et al., 2014), que inicialmente descreve a dificuldade que sempre houve para registrar espécimes do micromundo por meio de fotografias. Quando do advento das objetivas destinadas a essa técnica surgiram, problemas tais como, pequena profundidade de campo apareceram e comprometeram a obtenção de imagens nítidas o suficiente para terem seu objeto estudado com acurácia.

Com o aparecimento das técnicas digitais, vários *softwares* desenvolvidos por pesquisadores e companhias de laboratórios, criaram a técnica de empilhamento de imagens que combina partes em foco de fotografias capturadas com o foco em diferentes planos do objeto fotografado, combinando-as em uma única fotografia final em que esse objeto está inteiramente em foco. Inicialmente essa técnica exigia equipamentos especiais de alto custo, que somente cabiam no orçamento de grandes empresas. No trabalho é apresentado uma técnica de baixo custo e alta qualidade com o emprego de equipamentos comerciais. Também foi realizado um comparativo com a utilização de vários *softwares* e com as imagens produzidas com a nova técnica proposta.

Movimentos de camadas de gelo, inundações, enchentes e outros fenômenos relacionados as atividades de geleiras são abordados em (LLANOS; NOCETI; CASASSA, 2017). O grande desafio do estudo desse trabalho é capturar as imagens destinadas a produzir vídeos *time-lapse* com equipamentos de menor custo e transmitir as imagens em tempo real a partir de lugares remotos. A estrutura montada para atingir esse objetivo é composta de uma câmera Nikon D5500 (NIKON DO BRASIL LTDA, 2018) montada dentro de uma caixa plástica a prova d'água, conectada a uma placa *Raspberry Pi 3* (UPTON, 2012), que é conectada a um *access point 2.4 GHz Wireless Fidelity (WiFi)*, alimentado por duas baterias de lítio de 5000 mAh 7.4V. Esse equipamento obteve sucesso na transmissão de imagens a uma distância de 15Km, o que permitiu a análise das imagens em tempo real.

A utilização de vídeos *time-lapse* para estudo do comportamento de espécies marinhas em locais de despejo de resíduos químicos de armas ao sul de *Pearl Harbor* O'ahu, Havaí, é o trabalho de (EDWARDS et al., 2016). Para essa pesquisa foram utilizados dois tipos de equipamentos submarinos. O primeiro é um equipamento profissional WHOI-MISO (WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION, 2018) equipado com uma câmera *Nikon Coolpix 995* (NIKON CORPORATION, 2018); e o outro é o *KidCam*, um equipamento de baixo custo desenvolvido por três estudantes de ensino médio da escola *Iolani School* em Honolulu no Havaí, e que é munido de uma simples câmera *Canon PowerShot SD1000* (CANON U.S.A., INC., 2018) de custo muito baixo.

A preocupação com o custo dos equipamentos para captura de imagens destinadas a geração de vídeos *time-lapse*, destinados a observação da vida marinha em planícies de marés no Japão, é abordado no trabalho de (TEZUKA et al., 2016). Foram observados comportamentos de peixes, aves, enguias, moluscos e ostras, inclusive, para

conhecer espécies migratórias comercialmente disponíveis e/ou ameaçadas. Câmeras *time-lapse* Optio WG-1 e WG-20 (OPTIO..., 2019) e uma Exilim ZS-35 (EX-ZS35..., 2019) modificadas, foram colocadas a uma altura de 20-25 cm do fundo do mar, a profundidades que variam de 2 a 3 metros e com uma angulação de 10° para baixo, com o propósito de capturar imagens com a frequência de 1 fotografia a cada 2 minutos, que foram extraídas regularmente em períodos de dias ou semanas.

3.3- Robótica Aplicada a Fotografia

Como visto anteriormente, é útil para robôs móveis a aplicação de sensores que possam identificar imagens do ambiente no qual o mesmo está inserido. Uma ferramenta robótica autônoma capaz de se locomover entre grupos de pessoas evitando a colisão com elas e outros obstáculos do local, é abordado em (ZABARAUSKAS; CAMERON, 2014). Trata-se de Luke, uma ferramenta robótica projetada para identificar pessoas, enquadrá-las e fotografá-las com sua câmera fotográfica acoplada.



Figura 6 – Luke: Um robô fotográfico autônomo

Luke foi montado sobre uma plataforma *Turtlebot* (OPEN SOURCE ROBOTICS FOUNDATION, INC, 2018) e é equipado com um sensor *Microsoft Kinect* (MICROSOFT CORPORATION, 2018) destinado identificação dos objetos do ambiente. Carrega uma câmera fotográfica *point-and-shot* montada sobre um tripé de alumínio de baixo custo e um dispositivo móvel, responsável por prover a comunicação do computador da ferramenta robótica com a Internet via conexão *WiFi*. Todo o *hardware* é alimentado por baterias de

ion lítio de 2200mAh, com exceção das baterias internas do computador. O controle da ferramenta robótica é feito por um computador montado acima da plataforma do *Turtlebot* executando o *software* sobre o sistema operacional Ubuntu 12.04 LTS (HELMKE, 2017), que faz uso do Kinect para se localizar e detectar os obstáculos, e dispara a câmera fotográfica no momento adequado determinado pelo seu *software*. O *software* do Luke está subdividido em três camadas:

1. A primeira camada do *software* é a responsável pelo deslocamento da ferramenta robótica, fazendo-a evitar e desviar dos obstáculos encontrados no ambiente. Isso é feito por meio da leitura dos dados dos sensores do *Kinect*;
2. Rastrear pessoas detectando o posicionamento de seus rostos em um ambiente não estruturado, é tarefa da segunda camada, que precisa lidar com a presença de múltiplas pessoas, e assim poder enquadrá-las na imagem final com um algoritmo baseado nas quatro regras de enquadramento a seguir:
 - regra dos terços, onde o objeto central da fotografia deve estar localizado na interseção das linhas imaginárias vertical e horizontal, que dividem a imagem em três partes iguais;
 - regra da metade, onde um objeto fotografado não deve ficar na metade horizontal ou vertical da imagem;
 - regra da extremidade, que orienta a não cortar um objeto humano da fotografia;
 - e regra dos espaços vazios, em que o usuário não deve deixar muitos espaços sem informação em fotografias de pessoas.
3. a última camada de *software* de Luke envolve emitir uma aviso por voz sobre seu estado corrente e exibir na tela do dispositivo móvel o código Quick Response Code (QR) indicativo da Uniform Resource Locator (URL) do *site* Flickr (FLICKR, 2018) para onde a fotografia foi transferida.

Em 2013 Luke atuou em um evento público com centenas de pessoas fazendo um total de 103 fotografias, sendo capaz de evitar obstáculos e pessoas. Somente uma vez foi necessário a intervenção humana para evitar que Luke saísse do evento por um corredor. Mais de 50% das fotografias de Luke foram avaliadas por um grupo de pessoas como "boa" ou "muito boa".

Ferramentas robóticas móveis e autônomas, destinadas a fotografar pessoas em eventos sociais também é o assunto abordado em (Z. BYERS et al., 2003; Zachary BYERS et al., 2004). A ferramenta robótica que opera como um "*Event Photographer*" foi projetado para se locomover e procurar potenciais pontos interessantes para fotografar pessoas. A identificação de pessoas é feita por meio de um algoritmo de detecção que procura na imagem por pontos aglutinados de cor da pele. Em seguida ele utiliza um sensor a laser para calcular a distância e o tamanho das faces detectadas. As faces são classificadas por cor da pele, tamanho e altura do solo. Ele se dirige ao lugar escolhido, identifica uma boa composição de imagem, ajusta a câmera fotográfica e logo em seguida faz a fotografia. Ele executa essa função até não mais encontrar objetivos de interesse para fotografar no local que está e recomeça o ciclo de busca por outro ponto interessante onde haja algum agrupamento de pessoas. A altura da ferramenta robótica e da câmera são constantes e ela assume que as pessoas a serem fotografadas estão em posição em pé, isto é, eretos. Seus algoritmos partem do princípio que os potenciais alvos de suas fotografias estão dentro de um determinado intervalo de distância e, caso uma pessoa candidata a ser fotografada esteja fora dos parâmetros estabelecidos ela é descartada de ser fotografada.

As regras de composição de imagens descritas em (ZABARAUSKAS; CAMERON, 2014), tais como, regra dos terços, espaços vazios, não cortar pessoas, etc, também são consideradas no trabalho. A plataforma robótica móvel iRobot B21r (IROBOT CORPORATION, 2018) é utilizada com base para a ferramenta robótica, que ainda carrega uma câmera de vídeo e uma câmera fotográfica, que são utilizadas respectivamente para detectar os pontos de interesse e capturar as imagens. Conta ainda com um computador e um sensor de busca à laser embarcados. As fotografias capturadas são transferidas para o computador, e então são enviadas para uma *workstation* externa via *WiFi* onde podem ser visualizadas, impressas ou ainda enviadas via *e-mail*. Essa ferramenta robótica foi testada em vários eventos do mundo real, incluindo eventos de casamento e a conferência SIGGRAPH 2003 (ACM SIGGRAPH, 2019), onde a ferramenta robótica operou por 40 horas em um período de cinco dias, interagindo com mais de 5 mil pessoas. Nesse evento ela capturou mais de 3 mil fotografias, das quais mais de mil foram, ou impressas ou enviadas por *e-mail* para alguém, o que significou que as imagens capturadas foram consideradas boas o bastante para serem divulgadas.

Um robô móvel e autônomo de baixo custo também é o tema de (FU; X. ZHANG,

2015). ROSBOT é uma ferramenta robótica que faz uso de várias funcionalidades dos diversos pacotes de código livre do sistema operacional ROS (Robot Operating System) (ROS. . . , 2019) e do pacote de desenvolvimento Intel RealSense SDK (KIT. . . , 2019), que se caracteriza por ser uma tecnologia de percepção de profundidade e rastreamento, projetadas como plataforma de código aberto com capacidade de fornecer às máquinas o entendimento do mundo ao seu redor por meio de análise de imagens de câmeras. Esse é um robô que tem a capacidade de se deslocar em um ambiente com obstáculos dinâmicos inclusive, reconhecendo rostos de pessoas e capturando imagens. ROSBOT pode ser visto na Figura 7.



Figura 7 – ROSBOT: Um robô autônomo de baixo custo

Em (GAGO, 2018), para obter as fotografias de plantações e verificar a existência de pragas, faz-se uso de uma ferramenta robótica de voo automatizado, denominada *drone*. Esse drone ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) possui uma câmera e um modo de transmissão automático, para se comunicar via rede com um servidor que armazena e compila as fotografias comparando com padrões preexistentes, a fim de achar padrões relativos a pragas.

No trabalho de (ALVES DA SILVA et al., 2018), é tratado a utilização de robôs móveis aéreos para obtenção de fotografias em busca de padrões de identificação de desmatamento ou florestas ainda não atingidas por problemas ambientais, para auxílio na verificação de danos a natureza. Esse uso é comum na maioria das aplicações de ferramentas robóticas para uso com material fotográfico, no qual as fotos são comparadas a padrões para identificação de alguma situação a ser examinada. Um grande número de ferramentas robóticas associadas a fotografia, conforme visto, são voltadas para reconhe-

cimento de padrões ou entretenimento, contudo faz-se importante o desenvolvimento de ferramentas que possam fazer uso de técnicas de fotografias avançadas, tais como vídeos *time-lapse*, com vistas a redução de custo e otimização dos procedimentos associados a obtenção desse tipo de dado.

3.4- Características dos Artigos

A Tabela 2, exibe os artigos referenciados nesta dissertação, identificando-os de acordo com os assuntos por eles abordados.

Tabela Comparativa Artigo - Característica

Título do Artigo	Fotografia		Pesquisa fenô- menos da natureza	Vídeo Time- Lapse	Tipo
	Empilha- mento de imagens	Robótica			
Glacier velocities from time-lapse photos: technique development and first results from the Extreme Ice Survey (EIS) in Greenland			✓	✓	
Computational Time-Lapse Video				✓	
Experimental Design of a Mobile Landing Platform to Assist Aerial Surveys in Fluvial Environments					UAV
Drone na Auditoria Ambiental: Potencialidades e Aplicações					UAV

Focus stacking: Comparing commercial top-end set-ups with a semi-automatic low budget approach. A possible solution for mass digitization of type specimens	✓				
Say Cheese! Experiences with a Robot Photographer		✓			AUT
An autonomous robot photographer		✓			AUT
Time-lapse camera studies of sea-disposed chemical munitions in Hawaii			✓	✓	
ROSBOT: A low-cost autonomous social robot		✓			AUT
What makes a photograph memorable?		✓			
Fusão Multissensorial para aplicação em robô de monitorização Agrícola					UGV
Semantic mapping for mobile robotics tasks: A survey					AUT
Time-lapse photography applied to educational videos				✓	
Real-time transmission of time-lapse imagery of glaciers in the southern Andes			✓	✓	
Inexpensive time-lapse digital cameras for studying transient meteorological phenomena: Dust devils and playa flooding			✓	✓	

Dust Devil hazard to aviation A review of United States air accident reports			✓		
A modular mobile robotic architecture for defects detection and repair in narrow tunnels of CFRP aeronautic components					AUT
Sliding rocks on Racetrack Playa, Death Valley National Park: First observation of rocks in motion			✓	✓	
Development of a teaching tool using robotic concepts and programming					EDU
Tidal Flat Observation and Monitoring Using Still Video and Network Cameras			✓	✓	
A review of ground-based robotic systems for the characterization of nuclear environments					UGV
Extended depth-of-field via focus stacking and graph cuts	✓				
Total:	8	4	7	8	

* UAV - Unmanned Aerial Vehicles (Veículo Aéreo Não Tripulado)

* UGV - Unmanned Ground Vehicles (Veículo Terrestre Não Tripulado)

* AUT - Robô autônomo

* EDU - Robótica educacional

Tabela 2 – Tabela comparativa dos artigos relacionados aos assuntos principais da dissertação

Dos 22 artigos listados na Tabela 2, 7 estão relacionados à pesquisas de fenômenos da natureza e 8 abordam a utilização de vídeos *time-lapse* e, embora haja

artigos sobre robótica e fotografia de entretenimento, como o viés desta dissertação é a geração de vídeos como ferramenta de auxílio à pesquisa de fenômenos da natureza, os artigos que abordam esses assuntos tiveram maior impacto e influência no desenvolvimento deste trabalho. Observou-se que em todos eles, optou-se pelo desenvolvimento de soluções caseiras para o equipamento de captura de imagens, com pouca ou nenhuma capacidade de movimentação da câmera fotográfica. Como o TilBOT é capaz de movimentar a câmera 360° na horizontal e 160° na vertical, vislumbrou-se a oportunidade de utilizá-lo de forma otimizada, e assim possibilitar a visualização mais abrangente nas pesquisas científicas de observação de fenômenos da natureza.

4- Definição e Desenvolvimento do Tilbot

4.1- Requisitos levantados

A partir da análise dos trabalhos relacionados estudados, verificou-se a possibilidade de desenvolvimento de uma ferramenta automatizada, própria para oferecer um ambiente de menor custo e maior capacidade de suporte, em relação a obtenção de fotos do tipo *time-lapse*, própria para ambientes de aquisição de dados científicos. Dessa forma, devido as deficiências para controle automatizado e a inflexibilidade de alterações nos equipamentos existentes para obtenção de vídeos *time-lapse*, faz-se importante o desenvolvimento de uma ferramenta robótica móvel de apoio as atividades de obtenção desse tipo de fotografia avançada. Para melhor dimensionar as necessidades e características de utilização dessa ferramenta, como instrumento científico, alguns requisitos foram observados, a partir da análise das pesquisas relacionadas e estudadas neste trabalho.

Como pode ser visto no apêndice A.2, a fotografia digital avançada é um Universo de várias técnicas fotográficas e que é ampliada a cada dia com o surgimento de novas ideias, auxiliado pelo aparecimento das mais novas e sofisticadas câmeras fotográficas, cada vez mais poderosas em termos de recursos e capacidade. Como normalmente a fotografia digital avançada requer a utilização de grande quantidade de recursos, o surgimento de uma nova câmera sempre desperta a capacidade mais criativa do usuário, levando-o a idealização de técnicas inéditas. Assim, como requisitos funcionais do projeto do TilBOT temos:

- possibilidade de utilização da ferramenta para diversas técnicas de fotografia digital avançada (panorâmicas vertical e horizontal; vídeos *time-lapse*; vídeos multi *time-lapse* e vídeos *hyper-lapse*;
- capturar imagens para geração de uma fotografia 360° imersiva, sem a necessidade de capturar a imagem do nadir (ASTRONOMICAL. . ., 2019), uma vez que normalmente não há informação nesse ponto;

- capacidade de adaptar-se para utilizar diversos equipamentos comuns e especiais de fotografia para a execução do projeto fotográfico;
- flexibilidade de movimentação da câmera na horizontal de 360° e 160° vertical.

São requisitos não funcionais da ferramenta:

- capturar imagens para a geração de múltiplos vídeos *time-lapse*, de maneira que cada um dos vídeos gerados tenham um intervalo de tempo menor que 45 segundos, que é o menor tempo dos vídeos *time-lapse* observados nos artigos avaliados neste trabalho;
- regulagem do nível do TilBOT ajustando manualmente a altura dos motores de tração e da roda de apoio na parte traseira da ferramenta, para ajustá-lo ao desnível do solo;
- possuir baixo custo de produção, permitindo sua serialização industrial com mais facilidade;
- possuir baixo custo de manutenção, permitindo que se possa substituir os equipamentos não-automatizados ou móveis, sem grandes investimentos;
- capacidade de configuração do projeto fotográfico por meio de aplicativo amigável em dispositivo móvel;
- comunicação entre aplicativo AppTilBOT e o TilBOT via conexão *wireless (bluetooth)*.

A partir desses requisitos, o TilBOT foi proposto como ferramenta robótica adequada aos propósitos de se ter uma ferramenta autônoma, móvel, de baixo custo, para uso em obtenção de fotografia avançadas, com foco principal para uso em projetos científicos que necessitem de vídeos *time-lapse*.

4.2- Inovações introduzidas

O TilBOT tem, como concepção original, o projeto fotográfico com todas as características sobre os processos envolvidos ao longo das fases de execução de uma

fotografia digital avançada, e a técnica para obtenção de múltiplos vídeos *time-lapse*, denominada Vídeos Multi *Time-Lapse*.

4.2.1 Projeto Fotográfico

O projeto fotográfico é um termo definido neste trabalho e consiste de uma série de instruções a serem executadas pelo TilBOT, para a realização de um determinado trabalho. Essas instruções são comandos para o TilBOT executar uma ação, tais como, sentido e velocidade de movimentação do próprio TilBOT, movimentação horizontal e vertical da câmera, ordem para efetuar uma captura de imagem com a câmera, dentre outras.

O Código abaixo, exibe as instruções contidas em um projeto fotográfico para a geração de múltiplos vídeos *time-lapse*. Esses dados são utilizados pelo Subsistema de Controle embarcado do TilBOT para executar o projeto fotográfico. A execução desse projeto culmina na captura de 1.000 imagens no total, que permite a geração de dois vídeos *time-lapse* com 500 imagens cada um, com um intervalo de tempo de 500 milissegundos entre cada imagem, como exibido no campo *<time-btwn-cycles>*.

Código 1 – Mensagem XML referente ao projeto de fotográfico de geração de vídeos multi *time-lapse*

```
<?xml version = "1.0" encoding = "UTF-8"?>
<proj-multi-time-lapse>
  <general>
    <shutter-speed>1/125</shutter-speed><!-- fraction of a sec-->
    <focus>>true</focus><!-- focus before taking pic-->
    <time-btwn-cycles>500</time-btwn-cycles><!-- thou of second-->
    <no-cycles>1000</no-cycles>
  </general>
  <time-lapse-cycle>
    <time-lapse>
      <horizontal-angle>0</horizontal-angle>
      <vertical-angle>90</vertical-angle>
```

```

    <focus-length>50</focus-length><!-- in millimeter -->
</time-lapse>
<time-lapse>
    <horizontal-angle>60</horizontal-angle>
    <vertical-angle>90</vertical-angle>
    <focus-length>50</focus-length><!-- in millimeter -->
</time-lapse>
</time-lapse-cycle>
</proj-multi-time-lapse>

```

O projeto fotográfico é configurado por meio das interfaces visuais do aplicativo AppTiBOT em um dispositivo móvel e descrito na seção 4.5.1. O projeto fotográfico é transferido para o TiBOT por meio de uma ação do usuário para que seja então executado.

4.2.2 Técnica Multi *Time-Lapse*

Nos trabalhos e pesquisas analisados para este trabalho, percebeu-se que a frequência de captura das imagens para geração de vídeos *time-lapse* é muito baixa, sendo 45 segundos o menor intervalo de tempo entre as capturas de imagens. Devido a essa característica, há um tempo ocioso do equipamento de obtenção de fotos e vídeos e da câmera durante a ação de captura das imagens. A observação desse evento permitiu que se introduzisse na concepção do TiBOT, uma inovadora técnica de obtenção de imagens a partir de pontos de observação variáveis, denominada de multi *time-lapse*.

O diagrama da Figura 8, ilustra a sequência temporal de um processo de captura de imagens para a elaboração de múltiplos vídeos com **N** ciclos fotográficos, de acordo com o número de vídeos *time-lapse* que se deseja produzir. Assim como no diagrama do vídeo *time-lapse* da Figura 1, os intervalos de tempo também estão desproporcionais para possibilitar a melhor visualização. t_p é o tempo total de captura de cada uma das fotografias do projeto. T_m e T_n são os intervalos de tempo entre o término de uma fotografia e o início de outra e quando o TiBOT movimenta a câmera posicionando-a para a próxima captura, tempos esses que podem ser idênticos caso as distâncias angulares envolvidas na movimentação horizontal da câmera sejam as mesmas. t_i é o intervalo

de tempo que a ferramenta robótica necessita para movimentar a câmera de volta para a posição inicial de captura da primeira fotografia do ciclo, T_1 é o tempo entre início de uma fotografia ao início da seguinte, T_c é o tempo total de cada ciclo do vídeo *time-lapse*, enquanto $T_T = N \times T_c$ é o tempo total do projeto.

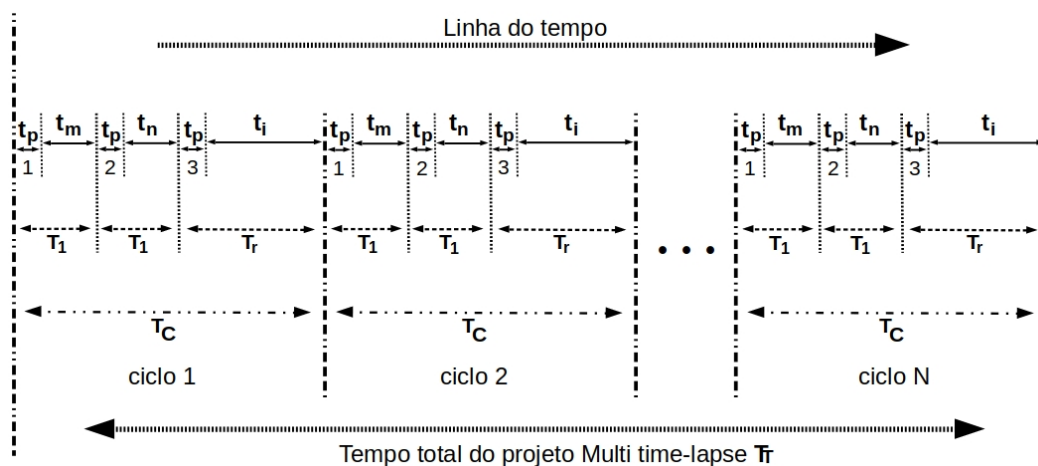
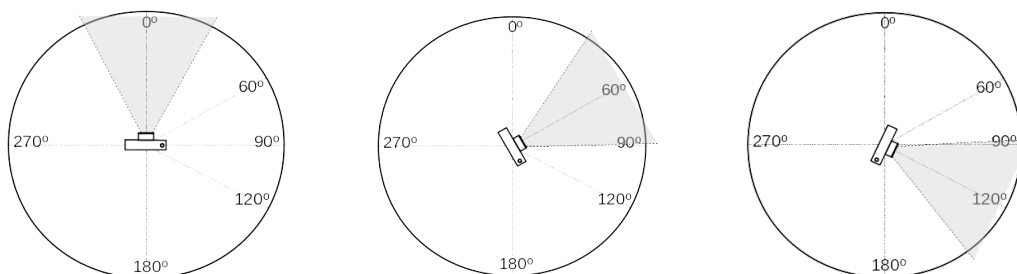


Figura 8 – Sequência temporal de um projeto de geração de múltiplos vídeos *time-lapse*. Adaptado de (LIU; LI, 2012)

Essa nova técnica consiste em movimentar a câmera, sempre a partir das mesmas coordenadas, e capturar outras imagens de ângulos diferentes. Ao término da captura desse ciclo de imagens, a câmera retorna a posição inicial e aguarda o tempo necessário para recomençar o ciclo novamente. Por exemplo, para se gerar três vídeos *time-lapse* a partir de uma determinada coordenada com a frequência de uma fotografia por minuto e cobrir um espectro de 180° , o TiIBOT seria programado se deslocar 60° horizontalmente para capturar imagens a 0° , 60° e 120° a cada minuto, como visto nas três imagens da Figura 9.



(a) Câmera posicionada a 0° (b) Câmera posicionada a 60° (c) Câmera posicionada a 120°

Figura 9 – As figuras (a), (b) e (c) acima, mostram a visão superior de como somente um TiIBOT posicionaria sua câmera para capturar imagens destinadas a geração de três vídeos *time-lapse* a partir de uma mesma coordenada

O intervalo de tempo entre a captura das imagens a partir de um mesmo ângulo em um projeto multi *time-lapse*, dependerá muito do número total de vídeos que se deseja gerar, uma vez que, o TilBOT precisa de um tempo para movimentar a câmera de uma posição para a outra. Como na maioria dos trabalhos de pesquisa abordados para a realização desse trabalho, o custo e a simplicidade da solução para a captura de imagens é uma preocupação geral, essa nova técnica vem a atender essa necessidade, não só ampliando o espectro da área monitorada, mas reduzindo os custos totais da pesquisa.

Após o término da execução de um projeto multi *time-lapse*, os arquivos que contém as imagens do projeto são transferidos do cartão de memória para um único diretório em um computador. O Pseudocódigo 1 é então executado e move os arquivos correspondentes a cada vídeo para um diretório específico. Com os arquivos já separados por diretório, os diversos vídeos são gerados.

Procedure 1 Pseudocódigo do *script* responsável pela geração dos múltiplos vídeos *time-lapse*

Entrada: Dir TLDir NomeARQUIVO NumTimeLapse

Se *ArgumentosEntrada* <> 3 **Então**

Imprima "Deve haver 3 parâmetros de entrada!"

 FIM SCRIPT

Fim Se

Para *IX* ← 1, *NumTimeLapse* **do**

Se Diretorio-IX EXISTE **Então**

 REMOVER arquivos diretório-IX

 REMOVER Diretorio-IX

Senão

Imprima "Criando diretório-IX"

 CRIAR Diretório-IX

Fim Se

Fim Para

IX ← 0

Para *NomeARQUIVO* ← *Dir* **do**

Se NomeARQUIVO EXISTE **Então**

Imprima "Movendo arquivo 'NomeARQUIVO'"

 MOVER NomeARQUIVO PARA Diretório-IX

Fim Se

 "*IX* ← *IX* + 1"

Fim Para

Para *IX* ← 1, *NumTimeLapse* **do**

Imprima "Gerando Vídeo Time-Lapse IX"

 GERAR Vídeo Time-Lapse Diretório-IX

Fim Para=0

O código do *Bash script* original utilizado para a geração dos vídeos Multi *Time-*

Lapse, pode se visto na Apêndice A.6.

A Tabela 3 exibe a ordem em que os arquivos contendo as imagens de um projeto multi *time-lapse* são organizadas pelo *script* anterior, para que esse possa montar os vários vídeos do projeto. Essa tabela é um exemplo de um projeto de vídeos multi *time-lapse* com três vídeos.

Três vídeos <i>time-lapse</i> desmembrados							
Vídeo Desmembrado	Imagem Selecionada						
Primeiro vídeo <i>time-lapse</i>	1°	4°	7°	10°	13°	...	N°-2
Segundo vídeo <i>time-lapse</i>	2°	5°	8°	11°	14°	...	N°-1
Terceiro vídeo <i>time-lapse</i>	3°	6°	9°	12°	15°	...	N°

Tabela 3 – Projeto multi *time-lapse* com N imagens desmembradas em três vídeos *time-lapse*

4.3- Estrutura de *Hardware* e *Software* do TilBOT

TilBOT é uma ferramenta robótica móvel, composta de uma estrutura de *Hardware* (incluindo-se aí a armadura do robô) e um conjunto de *softwares* destinados tanto para a configuração, como para a execução dos projetos fotográficos. A estrutura de *hardware* é formada pela armadura, componentes eletrônicos e mecânicos responsáveis pelas movimentações tanto de posicionamento do TilBOT, quanto da movimentação circular de 360° na horizontal e 160° na vertical.

4.3.1 Armadura do TilBOT

O TilBOT possui um projeto de armadura própria, que visa a construção de uma ferramenta de pequena estatura e tamanho, para facilitar o acoplamento de câmeras, desde as mais simples até as mais complexas, mas que também permitisse ser colocada em qualquer tipo de terreno, sem que fosse necessário muitas adaptações a estrutura da armadura do robô. Essa armadura serve como proteção e é o habitáculo dos componentes eletrônicos do robô e da câmera sobre ele acoplada; ela é composta de um Módulo de

Sustentação e Movimento e um módulo de suporte da câmera. Esses componentes da armadura do TilBOT foram projetados na ferramenta de modelagem OpenSCAD (KINTEL, 2019) e impressos inicialmente na impressora 3D Movtech (MOVTECH INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE TECNOLOGIA LTDA, 2018) e posteriormente com a impressora Anet A8 modelo Prusa I3 (PRUSA PRINTERS, 2018). OpenSCAD é um *software* Computer-aided Design (CAD) aberto que permite a elaboração de modelos em 3D, em que o usuário constrói os objetos 3D por meio de uma linguagem de programação própria. A Figura 10 exibe uma parte do código em OpenSCAD utilizado na armadura e nos componentes mecânicos do TilBOT.

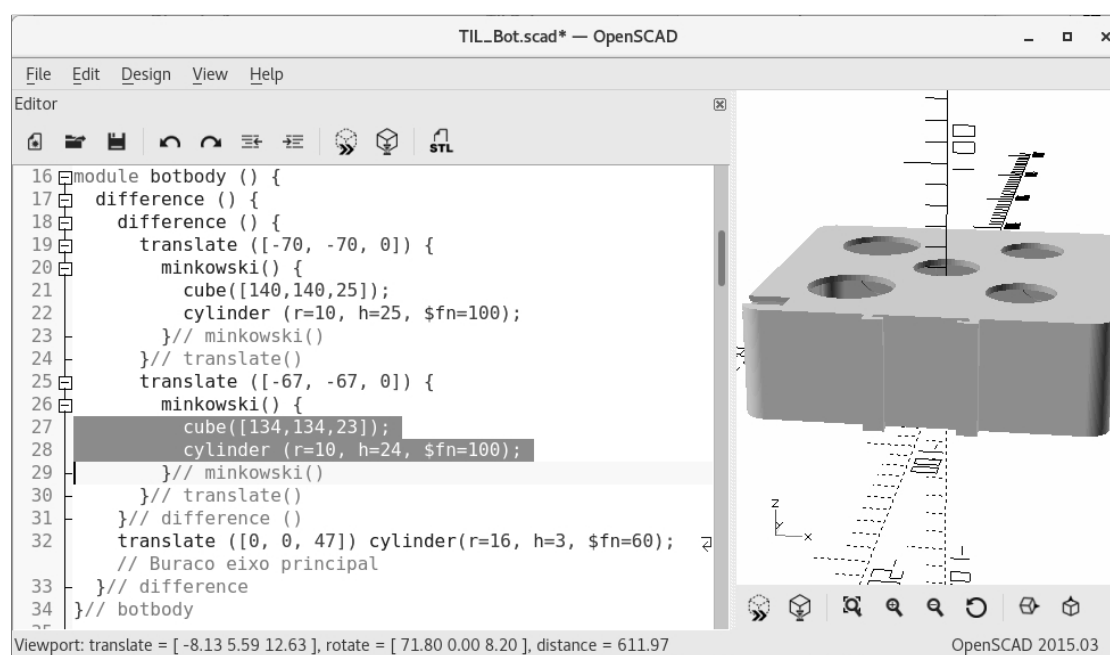


Figura 10 – Código do OpenSCAD utilizado nos módulos do TilBOT. A janela à esquerda da IDE é o editor destinado ao desenvolvimento do código, enquanto a janela à direita exibe o objeto criado

O Módulo de Sustentação e Movimento é o principal e um dos maiores módulos do TilBOT e constitui a base da ferramenta robótica. Ele foi projetado para permitir o acoplamento de dois motores Direct Current (DC) com rodas em cada lado do módulo, responsáveis pela tração da ferramenta robótica. Há ainda uma terceira roda na parte traseira desse módulo que é livre e, além de fazer o terceiro apoio com o solo, é responsável pelo direcionamento do conjunto. Todas as três rodas são conectadas ao módulo por meio de cavidades que permitem ajustar a altura das rodas e assim, regular o nível da ferramenta robótica em relação ao terreno. O ajuste de altura da ferramenta robótica é feito com a ajuda de um pequeno nível de câmera fotográfica conectado a parte de

cima do módulo. Há cinco aberturas na parte de cima do módulo, a central se destina ao acoplamento de um eixo destinado a conectar esse módulo ao Módulo de Suporte da Câmera. As outras cavidade tem somente a função de redução de peso. Dentro do módulo estão instalados o circuito eletrônico que contém o microcontrolador, as conexões para todos os motores e atuadores e a saída do cabo de controle da câmera fotográfica. Todos esses componentes são alimentados por três baterias de íon lítio de 3,7 V que também foram armazenadas dentro do módulo. Esse módulo pode ser visto na Figura 11.

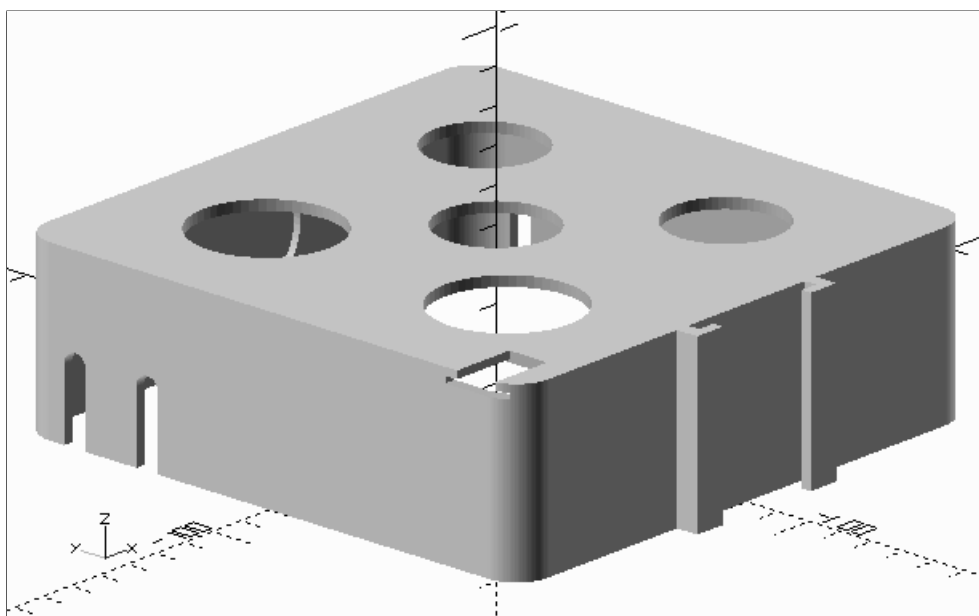


Figura 11 – Módulo de Sustentação e Movimento

Outro módulo importante é o Módulo de Suporte da Câmera da Figura 12, que se localiza acima do Módulo de Sustentação e Movimento. Entre os dois módulos há um rolamento feito a partir de uma lâmina de plástico de 1 mm e 6 esferas de plástico, e que é atravessada pelo eixo de conexão dos dois módulos. Esse rolamento permite que o Módulo de Suporte da Câmera gire suavemente 360° em torno do eixo de conexão entre esses dois módulos principais. A esse eixo foi conectado um anel de contato (*slip ring*), um equipamento elétrico/mecânico que permite a conexão elétrica entre os componentes dos Módulos de Sustentação e Movimento, e o Módulo de Suporte da Câmera, e que possibilita a rotação para ambos os sentidos sem que haja problemas com os cabos elétricos. Uma engrenagem de 48 dentes faz parte desse eixo e que, conectada a outra engrenagem de 24 dentes acoplada a um motor de passo, possibilita o movimento horizontal do Módulo de Suporte da Câmera e, conseqüentemente, o movimento da câmera fotográfica.

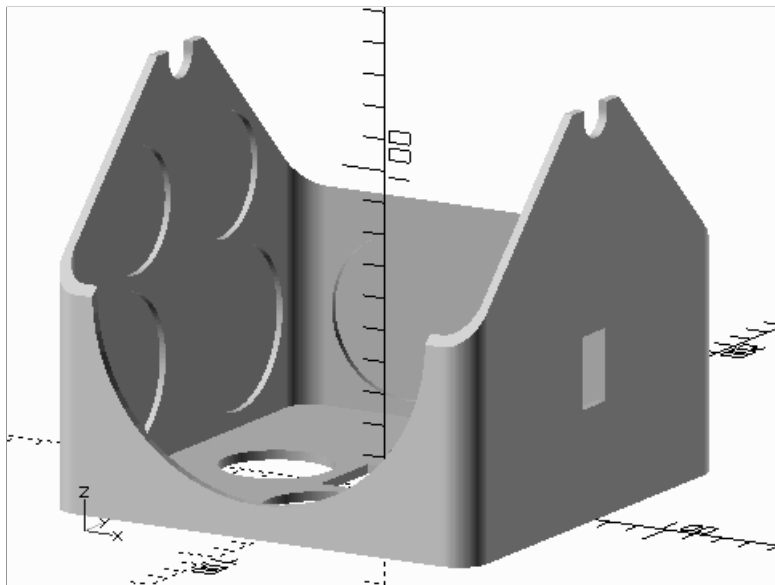


Figura 12 – Módulo de Suporte da Câmera

A Figura 13 exibe o suporte à câmera fotográfica que é instalado nas cavidades superiores do Módulo de Suporte da Câmera e é responsável pelo movimento vertical da câmera fotográfica. Esse suporte foi projetado especialmente para a câmera *Canon PowerShot G15* (INC, 2012), de modo que o peso da câmera fique balanceado no suporte, e assim, permita que seja possível a sua movimentação na vertical com suavidade por um servo motor simples.

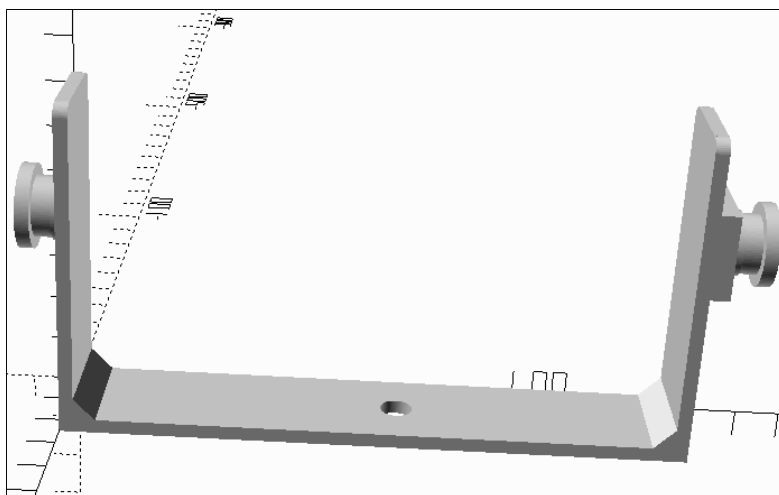


Figura 13 – Suporte da câmera fotográfico instalado acima do Módulo de Suporte da Câmera. Esse suporte é específico para câmera *Canon PowerShot G15*, pois o peso da câmera é balanceado no eixo horizontal do suporte facilitando o seu movimento pelos atuadores. O orifício do parafuso de acoplamento da câmera ao suporte está posicionado de maneira a deixar a objetiva da câmera bem no centro da ferramenta robótica

A Figura 14 mostra o protótipo do TiIBOT com os módulos principais, já com a câmera instalada e conectada ao circuito eletrônico da ferramenta robótica.

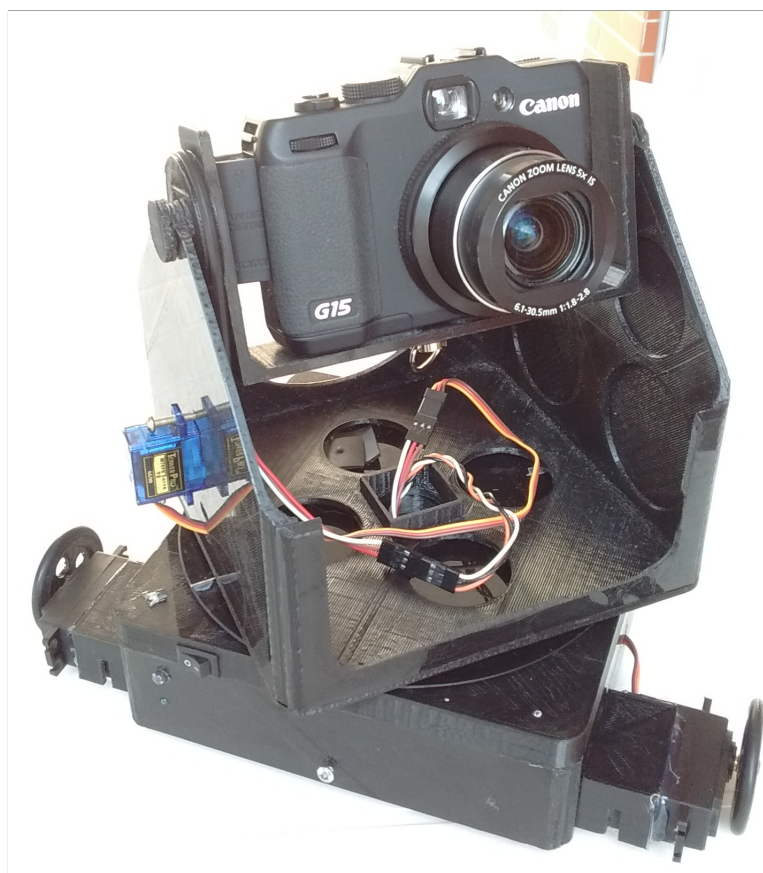


Figura 14 – Primeiro protótipo do TiIBOT com todos os componentes montados

4.4- Hardware de Controle do TiIBOT

4.4.1 Microcontrolador

Para atender aos requisitos obtidos a partir da análise dos trabalhos e pesquisas que serviram de base para esta dissertação, foi escolhido o microcontrolador *ATMEGA328* (ATMEGA328. . . , 2019), associado a uma placa Arduino Nano, que se caracteriza por ser uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, e que tem suas características descritas na Tabela 4:

Tabela 4 – Especificações técnicas da placa Arduino Nano

Arduino Nano	
Microcontrolador	<i>ATmega328</i>
Memória Flash	32 Kb (2 Kb para bootloader)
Velocidade de clock	16 Mhz
Nº de pinos analógicos	8
Corrente DC por pino I/O	40 mA
Pinos I/O digitais	22 (6 dos quais são PWM)
Saídas PWM	6
Consumo de força	19 mA
Dimensões	18 x 45 mm
Peso	7 gramas

O *ATmega328* é um microcontrolador simples, criado pela *Atmel* (MICROCHIP TECHNOLOGY INC., 2018), baseado em arquitetura Harvard (HARVARD. . ., 2019), e pertencente à família de microcontroladores megaAVR. É baseado em arquitetura RISC, e pertence a família de microcontroladores *megaAVR*, como pode ser visto acima. Possui 8 portas analógicas e 22 pinos digitais, o que a habilita como plataforma para suportar o controle dos dois motores de tração do TilBOT, os atuadores de movimento horizontal e vertical e a pequena placa para conexão *bluetooth*.

A corrente de 40 mA suficiente o bastante para alimentar todos os componentes eletrônicos do circuito. O reduzido consumo de energia possibilita que a ferramenta robótica possa ser alimentada por um conjunto de três baterias de 3,7 Volts de 5800 mAh de íon lítio ou seis baterias de níquel de 1,5 Volts de 2500 mAh, recarregáveis e disponíveis no mercado, o que permite uma autonomia de 305 e 131 horas, respectivamente. Além disso, tem a quantidade de portas suficientes para a conexão com vários componentes da ferramenta robótica, tais como: sensores, Light Emitting Diode (Diodo emissor de luz) (LED)s e outros componentes eletrônicos da ferramenta robótica.

4.4.2 Circuito Eletrônico

O circuito eletrônico da placa de controle do TiIBOT é apresentado na Figura 15.

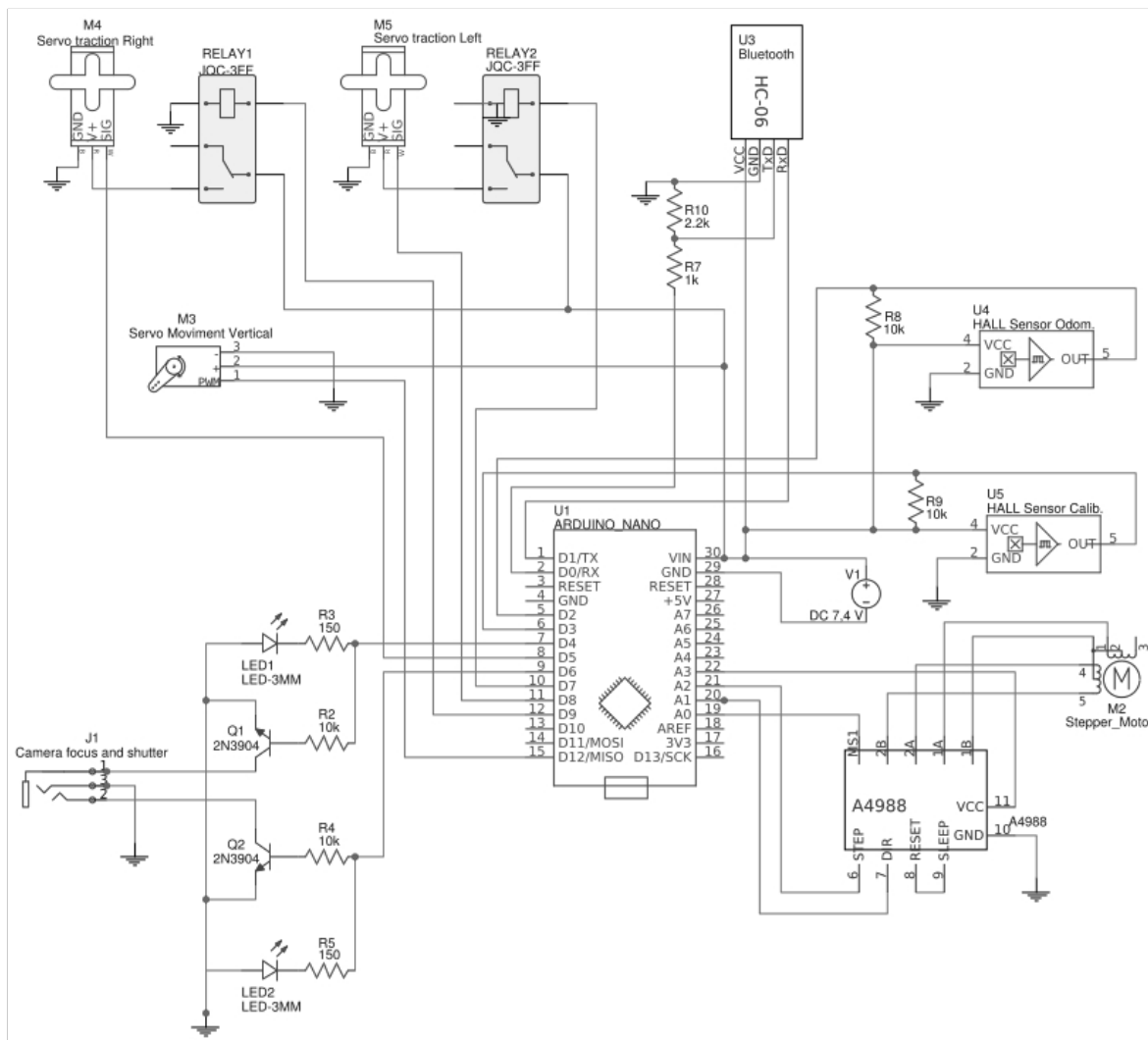


Figura 15 – Circuito eletrônico do TiIBOT desenvolvido na plataforma EasyEDA (EASYEDA, 2018) onde é possível visualizar todos os componentes eletrônicos, motores, *drivers* e atuadores do *hardware* do TiIBOT, e suas conexões

Esse circuito apresenta o microcontrolador *Atmega*, na placa Arduino Nano, com as conexões para os outros componentes da parte relativa ao controle do TiIBOT. Esses componentes são os motores, atuadores e os demais componentes eletrônicos da ferramenta robótica. Nessa placa há conexões para dois diodos tipo LED, um verde e outro branco, que tem a respectiva função de sinalizar o foco e o disparo da câmera, enquanto os dois sensores magnéticos (sensor de efeito hall) são destinados a calibrar o Módulo de Suporte da Câmera e ao funcionamento do odômetro localizado na roda livre na parte de trás da ferramenta robótica.

Para o entendimento do funcionamento do sistema de controle, a Figura 16 apresenta um diagrama de sistemas físicos, baseado em apresentação em blocos, dos sinais de controle e entrada e saída dos subsistemas do hardware do TiIBOT.

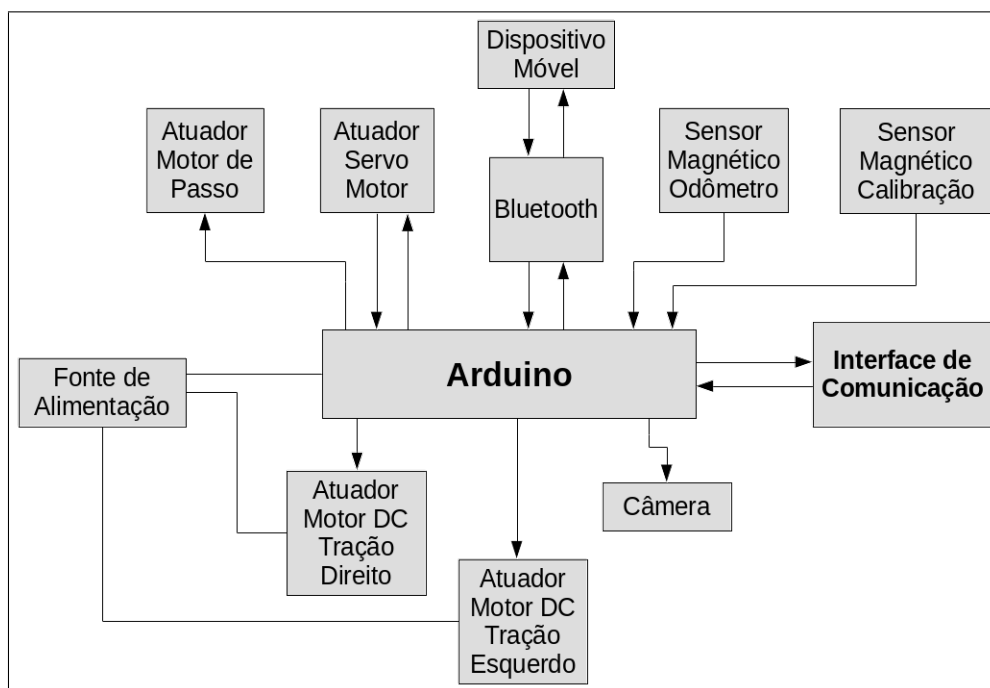


Figura 16 – Diagrama representativo do fluxo de sinais dos componentes eletrônicos do hardware

Nessa figura, a descrição de cada componente do diagrama de sistemas físicos é:

1. Fonte de alimentação: é um conjunto de três baterias de íon lítio de 3,7 V cada, ligadas em série e que alimentam os seguintes componentes:
 - os dois motores DC responsáveis pela tração do robô;
 - placa do Arduino Nano;
 - placa *driver* do motor de passo incumbido do movimento horizontal da câmera;

- placa responsável pela comunicação *bluetooth*;
2. Placa do Arduino Nano: responsável por executar o *software* do Subsistema de Controle e permitir a conexão com os outros componentes de *hardware* do circuito;
 3. Atuador motor DC: são dois motores responsáveis pela tração da ferramenta robótica;
 4. Atuador servo motor: encarregado do movimento vertical do suporte da câmera fotográfica;
 5. Atuador motor de passo: responsável pelo movimento horizontal do Módulo de Suporte da Câmera;
 6. Placa *bluetooth*: responsável pela comunicação do Subsistema de Controle com o AppTilBOT;
 7. Sensor magnético odômetro: faz a leitura dos ímãs instalados na roda de livre da ferramenta robótica;
 8. Sensor magnético de calibração: destinado a calibrar a posição do Módulo de Suporte da Câmera com o Módulo de Sustentação e Movimento. A calibração é uma etapa que deve ser feita no início da operação da ferramenta robótica;

A Figura 17 exibe a imagem do circuito eletrônico do TilBOT montado segundo o esquema acima apresentado, que é acoplado no Módulo de Sustentação e Movimento da armadura da ferramenta robótica. Esse circuito foi montado em uma placa de cobre de 100 x 55 mm e presa por meio de ranhuras a armadura da ferramenta robótica. A placa do Arduino Nano é conectada a placa de cobre por meio de conectores e a placa do circuito *bluetooth* foi soldada direto na placa de cobre. Há duas placas menores, uma onde são acoplados dois relés de controle da corrente de alimentação dos dois servo motores de tração, e a outra onde é conectado o *driver* A4988 (A4988_DMOS_MICROSTEPPING_DRIVER_WITH_TRANSLATOR. . . , 2019) que controla o motor de passo *NEMA 17* (NEMA17-SCHNEIDER. . . , 2019), responsável pela movimentação horizontal da câmera do TilBOT. Na parte de cima à direita há o interruptor para ligar e desligar a corrente das baterias que alimenta o circuito. Essas baterias, que são três, são ligadas em série e acondicionadas em um suporte específico. Na mesma imagem também é possível ver as engrenagens que fazem com que o motor de passo

rotacione o eixo que conecta os dois módulos principais da armadura da ferramenta robótica. Ao eixo central foi acoplado um anel de contato (*slip ring*) de seis fios que viabiliza a conexão dos cabos de controle da câmera e do servo motor responsável pelo movimento vertical da câmera, e que permite que os dois módulos principais do TilBOT girem sem que haja problemas com esses fios.



Figura 17 – Componentes eletrônicos e mecânicos do TilBOT montados no Módulo de Sustentação e Movimento. Na imagem é possível identificar o motor de passo, relés, *driver*, dois LEDs e as baterias de íon lítio. As engrenagens do motor de passo e do eixo principal também podem ser vistas na imagem

4.5- Softwares do TilBOT

O *software* do TilBOT está subdividido em duas partes, a primeira é o AppTilBOT, implementado para execução em um dispositivo móvel com sistema operacional *Android* (GOOGLE, 2019a). Esse subsistema é destinado a interação com o usuário que, por meio dele, é capaz de configurar todos os projetos fotográficos do TilBOT. O segundo subsistema é o Subsistema de Controle embarcado no microcontrolador do TilBOT, que é o responsável pela execução dos projetos fotográficos elaborados no aplicativo *Android*. A comunicação entre os dois subsistemas é feito por meio de uma conexão *bluetooth*

(NETWORKING, 2001) que deve ser estabelecida pelo usuário antes de enviar um projeto fotográfico para ser executado no TiIBOT.

4.5.1 AppTiIBOT

Esse subsistema foi desenvolvido na plataforma *MIT App Inventor 2* (KAMRIANI, 2016) e é executado como um *app Android*. Nele o usuário executa as funções de conexão com o TiIBOT, elabora e dispara a execução dos projetos fotográficos e executa funções de controle remoto no TiIBOT. A plataforma *MIT App Inventor 2* (KAMRIANI, 2016) é um aplicativo *Web* de código aberto, destinado a permitir o desenvolvimento de *software* para aplicativos móveis com sistema operacional *Android*, por meio de interface do navegador *Google Chrome*. É um ambiente gráfico de sistema onde o desenvolvedor, em vez de codificar os programas por linhas de comando, o faz por meio de blocos gráficos representando as funções da linguagem. Há dois ambientes distintos na plataforma, um de desenho dos componentes gráficos e o outro de codificação. O ambiente de desenho dos componentes gráficos da aplicação pode ser visto na Figura 18. Nesse ambiente o usuário arrasta os componentes visuais para a janela de desenho e ajusta suas dimensões e características de acordo com o comportamento que se deseja daquele componente.

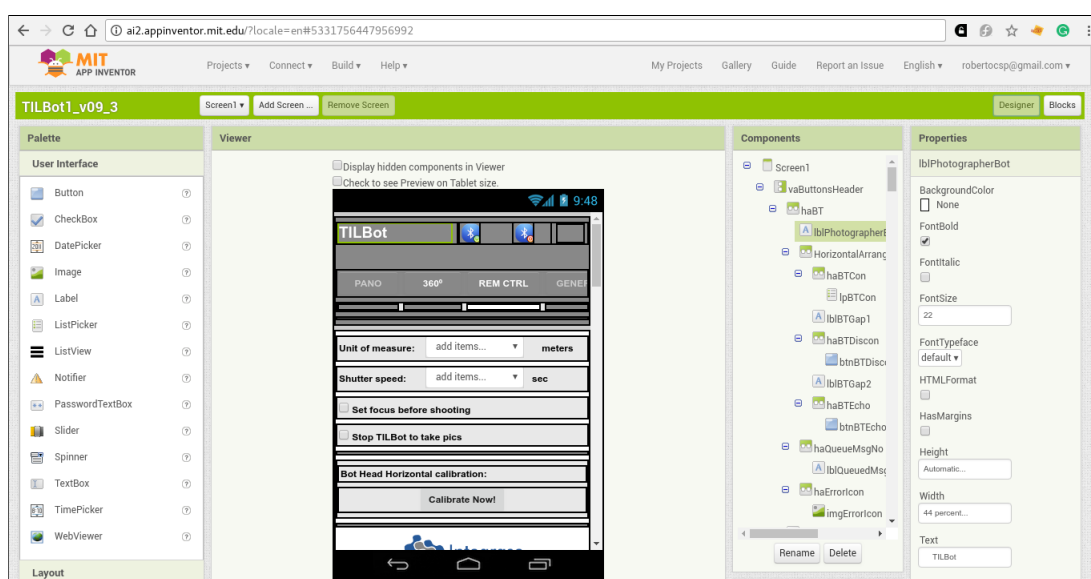


Figura 18 – Ambiente de desenho do App Inventor 2

Com os componentes posicionados na janela de desenho, esses ficam disponíveis para fazerem parte da lógica da aplicação, como mostrado na Figura 19.

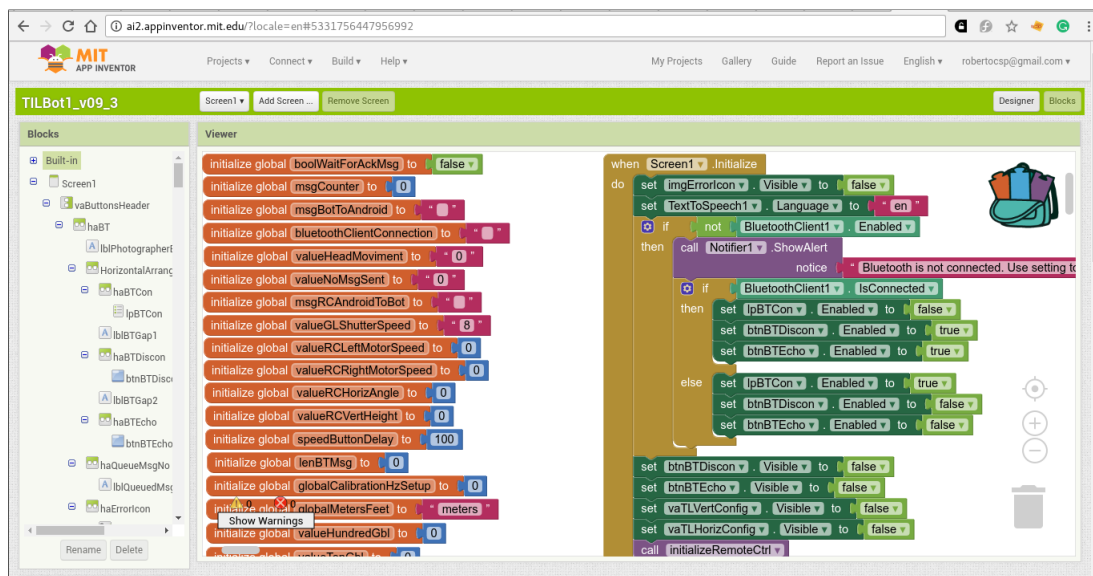


Figura 19 – App Inventor - Ambiente de codificação do App Inventor 2

A função do controle remoto da Figura 20, não determina ao TILBOT a execução de nenhum projeto fotográfico, entretanto é bastante útil tanto para testar os componentes da ferramenta robótica, quanto para auxiliar na configuração de um projeto. Por meio dessa interface o usuário ajusta as posições da câmera, velocidade, efetua ordens de movimentação da ferramenta robótica, além de ordenar o disparo de uma fotografia.

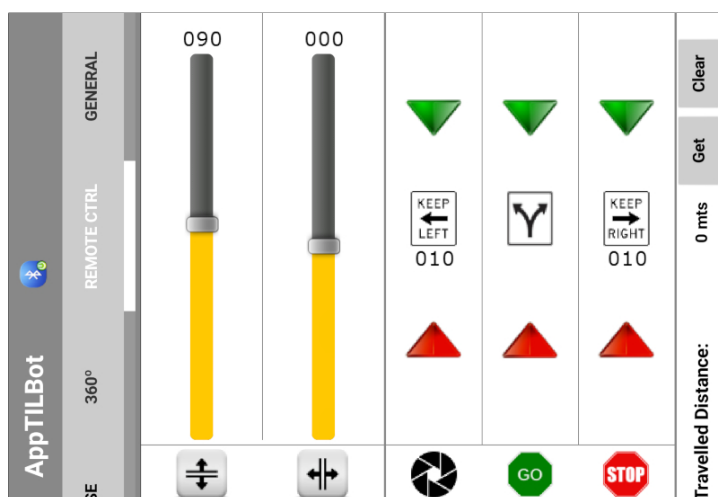


Figura 20 – Controle remoto

Por meio da função de controle remoto é possível ajustar a velocidade da ferramenta robótica para ambos os sentidos e para cada uma das duas rodas motrizes,

independentemente. Nos controles deslizantes é possível modificar a altura angular da câmera verticalmente e horizontalmente. A inclinação vertical da câmera está ajustada para 90°, enquanto a horizontal aponta para 0° e as velocidades estão definidas para 10 unidades nos dois motores de tração. As teclas "**Get**" e "**Clear**" tem a função de obter do TilBOT a distância já percorrida e zerar essa distância. As teclas "**Go**" e "**Stop**" tem a função de ordenar a movimentação e a parada imediata do deslocamento do TilBOT. A tecla "**obturador**" é responsável por ordenar ao TilBOT o disparo da câmera imediatamente

Por meio da função "**GENERAL**" da Figura 21, o usuário configura as funções gerais do TilBOT, como definição de unidade de distância, velocidade de obturador, além de definir se o TilBOT precisa fazer o foco e se deve parar de se movimentar, antes do disparo de uma fotografia.

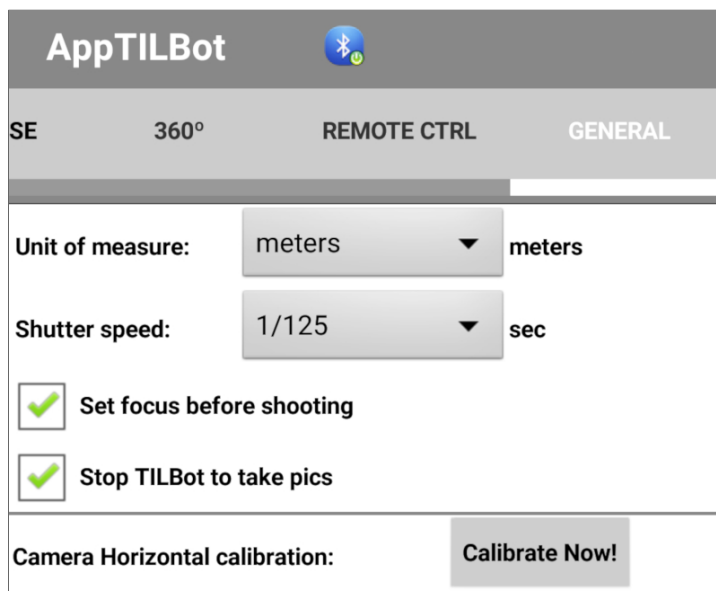


Figura 21 – Opções gerais

A Figura 22, é a função onde o usuário configurará a maior parte de seus projetos fotográficos. Projetos fotográficos para a captura de imagens destinadas a criação de panorâmicas vertical e horizontal, geração de astrofotografia, empilhamento de imagens e vários tipos de vídeos *time-lapse*, são configurados nessa função. Movimentos da câmera na horizontal e vertical, assim como, deslocamentos do TilBOT são configurados aqui. Ao fim da configuração e ao pressionar o botão "**Obturador**", o projeto fotográfico é gerado e transmitido ao TilBOT para ser executado e capturar as imagens destinadas ao projeto.

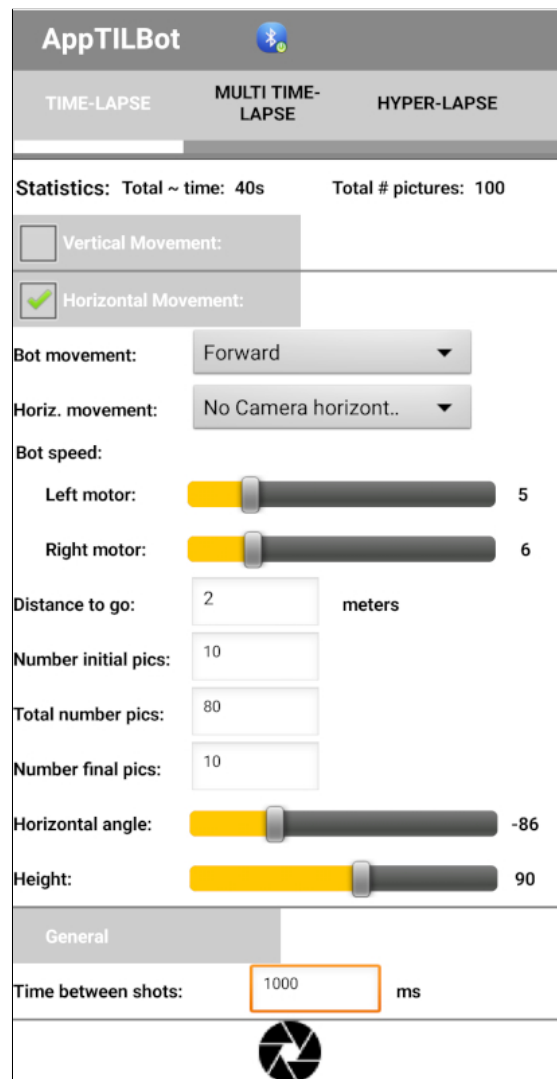


Figura 22 – Configuração de projeto de vídeo *time-lapse*

Essa também é a função de configuração de projetos de fotografia panorâmicas verticais e horizontais, vídeos *time-lapse*, empilhamento de imagens e outras. Nessa figura, um projeto de captura de imagens para gerar um vídeo *time-lapse* é configurado, com a ferramenta robótica percorrendo uma distância de 2 metros, a uma velocidade de 5 e 6 unidades nos motores da esquerda e da direita, respectivamente. O projeto será composto por total de 100 fotografias e não haverá movimento da câmera durante a execução do projeto.

Um projeto fotográfico para a geração de múltiplos vídeos *time-lapse* é configurado por meio da função exibida na Figura 23. Embora o Subsistema de Controle embarcado no Módulo de Movimentação e Controle do TilBOT possa executar quantos vídeos *multitime-lapse* forem configurados, o AppTilBOT foi desenvolvido com a capacidade limitada de até

seis vídeos *time-lapse*. Assim, essa função permite que o usuário especifique os ângulos horizontal e vertical da câmera para cada um desses seis vídeos, além de determinar a quantidade de ciclos de captura, que define o número de quadros de cada vídeo *time-lapse*, e o tempo do intervalo em segundos entre cada ciclo.

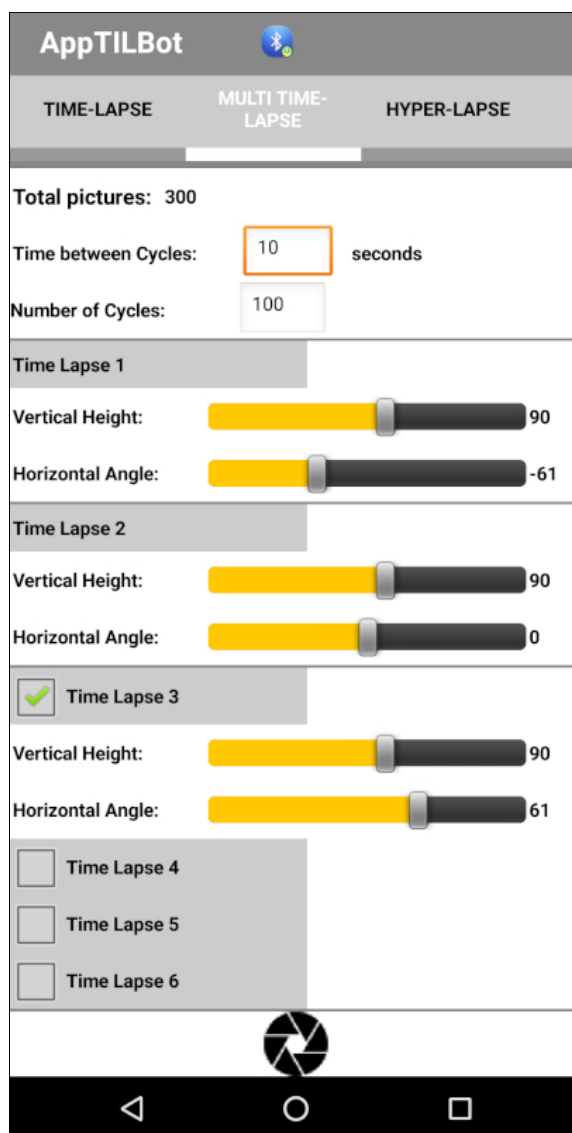


Figura 23 – Nessa função foram definidos três vídeos *time-lapse*, com o intervalo de 10 segundos entre cada ciclo de captura de imagens, com um total de 100 ciclos, o que totaliza 300 imagens capturadas em todo o projeto

Quando o intervalo de tempo entre os ciclos de um projeto multi *time-lapse* é deixado com o valor 0 (zero), TILBOT inicia o próximo ciclo de capturas imediatamente após o término do ciclo corrente. Assim, para se calcular o exato intervalo de tempo entre as imagens de um vídeo, que é o mesmo para todos os vídeos *time-lapse* gerados com o projeto, é preciso medir o intervalo de tempo entre as fotografias de cada vídeo ao final

da execução do projeto. Como cada projeto tem suas características próprias para a movimentação da câmera e para a configuração da velocidade do obturador da câmera, o intervalo de tempo varia de um projeto para o outro.

Uma vertente do vídeo *time-lapse* que é o vídeo *hyper-lapse*, pode ser configurado na função da Figura 24. Trata-se de um projeto fotográfico semelhante ao projeto de geração de um vídeo *time-lapse*, sem a captura de imagens verticalmente e com a funcionalidade de permitir que a câmera do TilBOT se movimente de maneira a estar sempre apontada para um objeto alvo.

The screenshot shows the AppTILBot interface with the following configuration for a Hyper-Lapse project:

- AppTILBot (Bluetooth icon)
- Mode: HYPER-LAPSE (selected)
- Statistics: Hyper-lapse time: 20m, # Pics taken: (empty)
- Horiz. Movement: AntiClockwise (dropdown menu)
- Target distance: 20 meters (input field)
- Target angle: -45 (slider)
- Vertical height: 80 (slider)
- Bot speed: (empty)
- Left motor: 20 (slider)
- Right motor: 20 (slider)
- Distance to go: 10 meters (input field, highlighted with a red box)
- Number initial Pics: 010 (input field)
- Total number pics: 100 (input field)
- Number final Pics: 10 (input field)
- Time between shots: 10 seconds (input field)

At the bottom of the interface is a camera shutter icon.

Figura 24 – Configuração de projeto de vídeo *hyper-lapse*

Nessa função é configurado o projeto fotográfico mais complexo para a geração de um vídeo *hyper-lapse*. Um total de 120 imagens são capturadas, com o TilBOT percorrendo uma distância de 20 metros e apontando a câmera para o objeto de alvo do projeto que, inicialmente, está localizado a 10 metros de distância e a um ângulo de

-45° na horizontal. Nesse projeto a câmera é movimentada no sentido anti-horário, para mantê-la sempre apontada para o objeto alvo do vídeo *hyper-lapse*. As velocidades de ambos os motores de tração foram configurados para 20 unidades.

O projeto fotográfico para geração de uma fotografia 360° imersiva é configurado na função exibida na Figura 25. O número de posições na horizontal e vertical são definidos aqui. Essas funções também representam o número de fotografias capturadas.

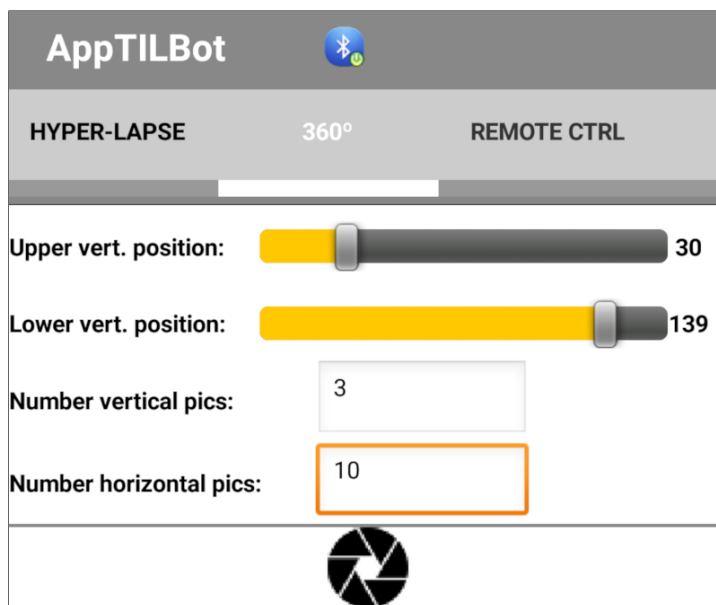


Figura 25 – Configuração do projeto de fotografia 360° imersiva

Além dos números totais de fotografias capturadas com a movimentação da câmera na vertical e na horizontal, configura-se ainda a posição mais e menos inclinada da câmera. São 10 movimentações da câmera na horizontal com posicionamentos da câmera em 30°, 85° e 139° na vertical. Neste exemplo 30 fotografias são capturadas. Entretanto, inicialmente, mais uma fotografia é feita com a câmera posicionada para o zênite, o que totaliza 31 fotografias.

4.5.2 Subsistema de Controle

Enquanto o AppTilBOT é o subsistema em que o usuário configura o projeto fotográfico desejado, o Subsistema de Controle é o *software* que executa as instruções definidas nesse projeto, agindo diretamente sobre os motores, atuadores e a câmera

da ferramenta robótica. Esse *software* é embarcado na placa Arduino Nano instalada no circuito interno do Módulo de Sustentação e Movimento como visto na Seção 4.3, e foi desenvolvido utilizando-se a IDE do projeto Arduino (ARDUINO, 2018) e que está disponível para uma série de sistemas operacionais. Essa IDE permite o desenvolvimento em linguagem de programação C/C++ e possui uma série de pacotes disponíveis no mercado gratuitamente, tais como, as bibliotecas para controle de motores de passo e servo motores. Essa plataforma é reconfigurável via *firmware* e em vários casos dispensa os conhecimentos em eletrônica digital e arquitetura de microcontroladores. O Diagrama de Classes do Subsistema de Controle pode ser visto na Figura 26.

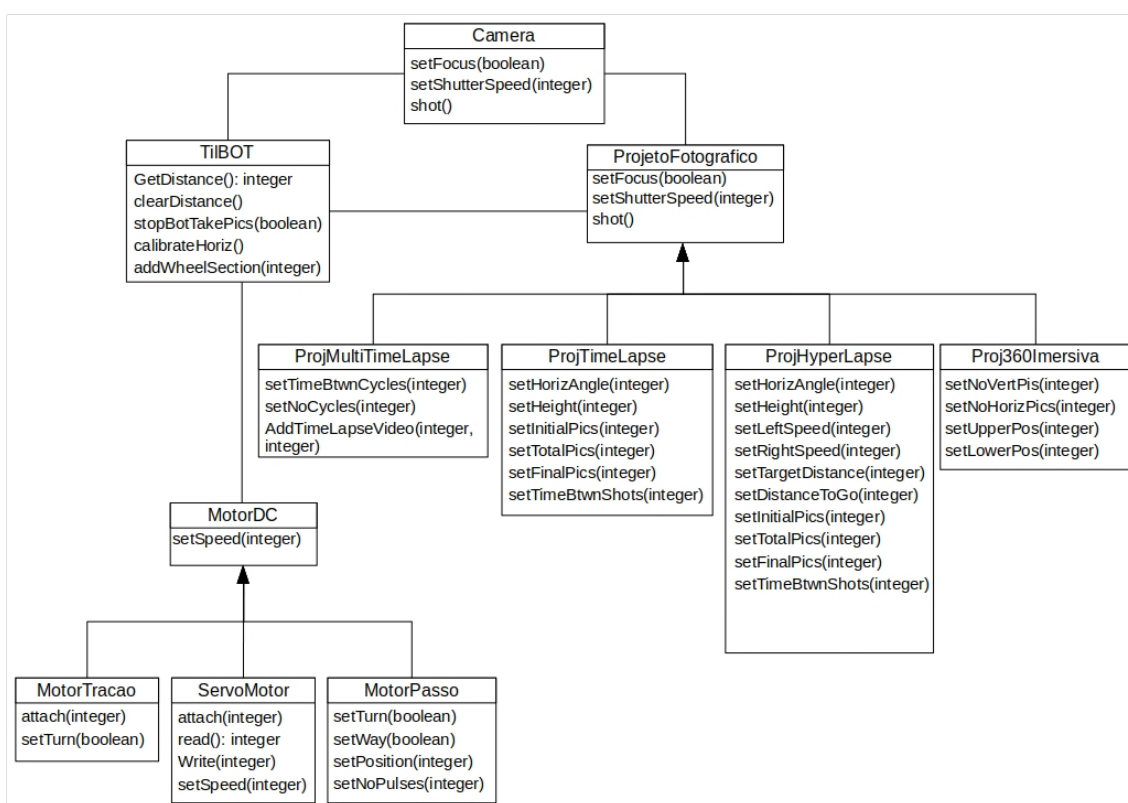


Figura 26 – Diagrama com as principais classes e seus métodos do Subsistema de Controle do TiIBOT

Segue uma breve descrição dos principais métodos e das classes do Subsistema de Controle do TiIBOT:

- Classe: Camera (define os atributos e funcionalidades da câmera fotográfica utilizada pelo TiIBOT)
 - setFocus (boolean): se verdadeiro a câmera faz o foco antes do disparo da fotografia

- setShutterSpeed (integer): estabelece o intervalo de tempo para se fazer uma fotografia
- shot (): ordena o disparo de uma fotografia
- Classe: TiIBOT (A própria ferramenta robótica em si)
 - integer getDistance (): retorna um inteiro com a distância percorrida pelo TiIBOT
 - clearDistance (): zera a distância percorrida pelo TiIBOT
 - stopBotToTakePic (boolean): se verdadeiro, TiIBOT para de se movimentar antes do disparo de uma fotografia
 - calibrateHoriz (): rotaciona o Módulo de Suporte da Câmera até encontrar a posição de referência inicial
- Classe: MotorDC (é uma classe abstrata genérica com os atributos e métodos utilizados por todos os outros motores)
 - setSpeed (integer): determina a velocidade que o motor funcionará quando ativado
- Classe: MotorTracao (classe que herda as características da classe "MotorDC" e possui atributos e métodos que controlar os motores responsáveis pela movimentação do TiIBOT)
 - attach (): acopla o motor de tração
 - setTurn (boolean): liga ou desliga o motor de acordo com o parâmetro passado
- Classe: ServoMotor (é a classe que representa o motor de acionamento do movimento vertical da câmera - herda as características da classe "MotorDC")
 - attach (): acopla o motor de tração
 - integer read (): retorna posição do eixo do servo motor
 - write (integer): determina posição do eixo do servo motor
 - setSpeed (integer): determina a velocidade do motor
- Classe: MotorPasso (essa é a classe filha da classe "MotorDC" e representa o motor de acionamento do movimento horizontal da câmera)

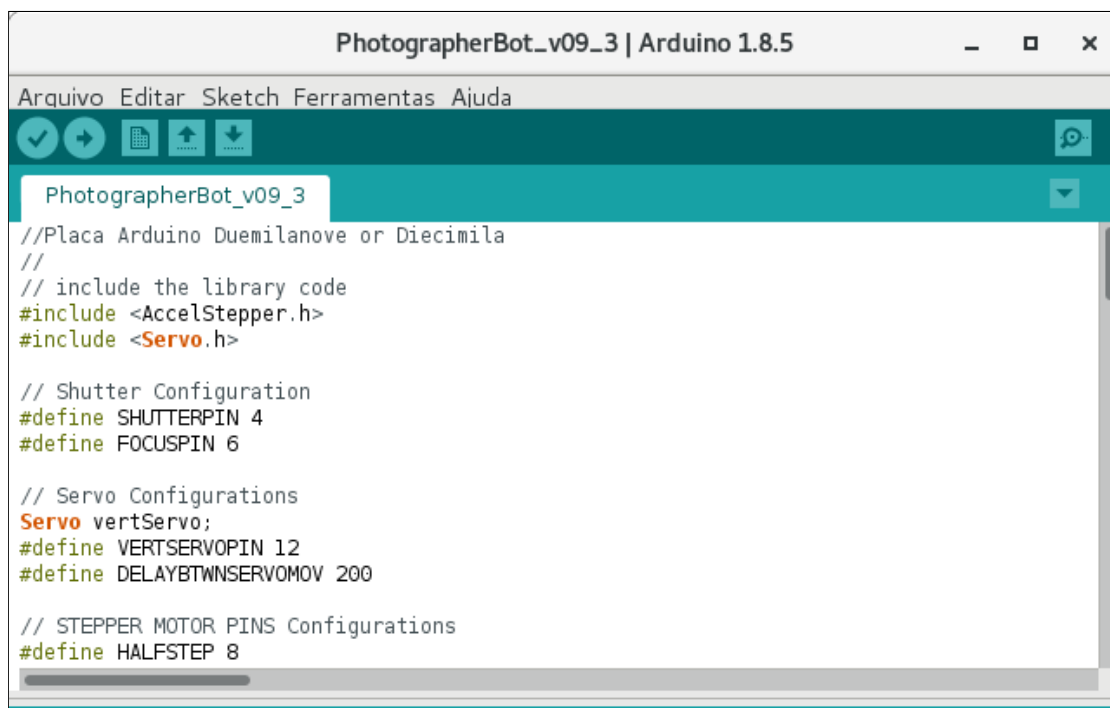
- setTurn (boolean): liga ou desliga o motor de acordo com o parâmetro passado
 - setWay (boolean): determina rotação horário e anti-horária
 - setPosition (integer): determina a posição do eixo do motor
 - setSpeed (integer): determina o número de pulsos do motor
- Classe: ProjetoFotografico (é a classe abstrata que com as características mais genéricas de outros projetos filhos)
- setFocus (boolean): se verdadeiro a câmera faz o foco antes do disparo da fotografia
 - setShutterSpeed (integer): estabelece o intervalo de tempo para se fazer uma fotografia do projeto fotográfico
 - shot (): dispara a execução do projeto fotográfico
- Classe: ProjMultiTimeLapse (classe filha de "ProjetoFotografico", composta de métodos específicos destinados a execução de um projeto fotográfico de captura de imagens destinadas a compor múltiplos vídeos *time-lapse*)
- setTimeBtwnCycles (integer): estabelece o intervalo de tempo, em milissegundos, entre os ciclos de captura de imagens do projeto
 - setNoCycles (integer): determina a quantidade de ciclos do projeto
 - addTimeLapseVideo (integer, integer): adiciona ao projeto um vídeo *time-lapse* passando como parâmetros a altura vertical e o ângulo horizontal
- Classe: ProjTimeLapse (classe filha de "ProjetoFotografico", composta de métodos específicos destinados a execução de um projeto fotográfico de captura de imagens destinadas a geração de um vídeo *time-lapse*)
- setHorizAngle (integer): determina o ângulo horizontal da câmera
 - setHeight (integer): determina a altura vertical da câmera
 - setInitialPics (integer): determina o número inicial de fotografias a serem capturadas
 - setFinalPics (integer): determina o número de fotografias a serem capturadas no final da execução do projeto

- setTotalPics (integer): determina o número fotografias a serem capturadas durante a execução do projeto
- setTimeBtwnShots (integer): estabelece o intervalo de tempo, em milissegundos, entre os disparos da câmera
- Classe: ProjHyperLapse (classe filha de "ProjetoFotografico" que é composta de métodos específicos destinados a execução de um projeto fotográfico de captura de imagens destinadas a gerar um vídeo *hyper-lapse*)
 - setHorizAngle (integer): determina o ângulo horizontal da câmera
 - setHeight (integer): determina a altura vertical da câmera
 - setLeftSpeed (integer): determina a velocidade do motor de tração esquerdo
 - setRightSpeed (integer): determina a velocidade do motor de tração direito
 - setTargetDistance (integer): determina a distância inicial em metros entre o TilBOT e o objeto a ser fotografado
 - setDistanceToGo (integer): determina a distância em metros que o TilBOT deve percorrer
 - setInitialPics (integer): determina o número de fotografias a serem capturadas no início da execução do projeto
 - setFinalPics (integer): determina o número de fotografias a serem capturadas no final da execução do projeto
 - setTotalPics (integer): determina o número fotografias a serem capturadas durante a execução do projeto
 - setTimeBtwnShots (integer): estabelece o intervalo de tempo, em milissegundos, entre os disparos da câmera
- Classe: Proj360Imersiva (classe filha de "ProjetoFotografico", composta de métodos específicos destinados a execução de um projeto fotográfico de captura de imagens destinadas a geração de uma fotografia 360° imersiva)
 - setUpperPos (integer): determina a posição vertical mais alta
 - setLowerPos (integer): determina a posição vertical mais baixa
 - setNoVertPics (integer): determina o número de fotografias a serem capturadas na vertical

- `setNoHorizPics` (integer): determina o número de fotografias a serem capturadas na horizontal

Assim como toda aplicação desenvolvida para a plataforma Arduino, esse aplicativo inicia a execução assim que a placa é energizada. O programa escrito na linguagem de programação "C" executa a função `setup()` na inicialização uma única vez e o controle do programa é transferido para a função `loop()` que, de acordo com o seu nome, executa infinitamente em um ciclo infinito (*loop*).

A Figura 27, exibe a interface IDE do Arduino. Nas duas primeiras linhas do código é possível ver a chamada para duas bibliotecas do Arduino, "include" que tratam as funções de um motor de passo e de um servo motor, respectivamente. Por meio do uso das funções dessa interface, é possível definir o tipo de placa utilizado, a porta pela qual a placa está conectada ao computador, gerenciar as bibliotecas utilizadas no ambiente, dentre outras funções.



```

PhotographerBot_v09_3 | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
PhotographerBot_v09_3
//Placa Arduino Duemilanove or Diecimila
//
// include the library code
#include <AccelStepper.h>
#include <Servo.h>

// Shutter Configuration
#define SHUTTERPIN 4
#define FOCUSPIN 6

// Servo Configurations
Servo vertServo;
#define VERTSERVOPIN 12
#define DELAYBTWNSERVOMOV 200

// STEPPER MOTOR PINS Configurations
#define HALFSTEP 8

```

Figura 27 – Essas bibliotecas facilitam o trabalho de codificação, proporcionando a abstração das questões intrínsecas do funcionamento dos componentes eletrônicos

O Pseudocódigo 2 é o método responsável pelo acionamento da câmera fotográfica para captura da imagem no momento imediato. O código original utilizado para acionar o disparo da câmera fotográfico do TiIBOT, pode se visto na Apêndice A.7.

Procedure 2 Pseudocódigo do método responsável pelo disparo da câmera fotográfica

Entrada: setFocus shutterSpeed

Se *setFocus* **Então**

Imprima "Press shutter halfway!"
digitalWrite (FOCUSPIN, HIGH)

Fim Se

Imprima "Press shutter button!"
digitalWrite (SHUTTERPIN, HIGH)

Se *setFocus* **Então**

Imprima "Release focus!"
digitalWrite (FOCUSPIN, LOW)

Fim Se

Se *shutterSpeed* \neq 0 **Então**

Imprima "Wait a time!"
delay (argShutterSpeed + DELAYAFTERPIC)

Fim Se=0

4.5.3 Integração dos Módulos

A integração entre os *softwares* do aplicativo do dispositivo móvel AppTilBOT e o *software* embarcado no Módulo de Movimentação e Controle se dá por meio de uma conexão sem fio *bluetooth*. O usuário precisa parear o dispositivo móvel ao TilBOT pelo sistema operacional *Android* e, somente após essa etapa, é possível conectar o AppTilBOT ao *software* embarcado no TilBOT. O Módulo de Sustentação e Movimento precisa estar ligado, por meio de uma chave "liga/desliga" na parte frontal do módulo, para que o usuário possa enviar os projetos fotográficos a serem executados, por meio da conexão *bluetooth* com o AppTilBOT.

Estabelecida a conexão entre o dispositivo móvel e o *software* embarcado do TilBOT, o projeto fotográfico pode ser transferido do AppTilBOT para a ferramenta robótica, e então executado. A transferência é feita por meio de uma fila de saída na aplicação AppTilBOT. As três figuras 28, mostram os botões disponíveis na aplicação para estabelecer uma conexão com o TilBOT, enviar uma mensagem de eco e ordenar a execução do projeto fotográfico elaborado no aplicativo. A verificação do estado da conexão entre o AppTilBOT e o TilBOT, é feito por meio do envio de uma mensagem de eco a partir do aplicativo, que exibe na tela a resposta da mensagem enviada.

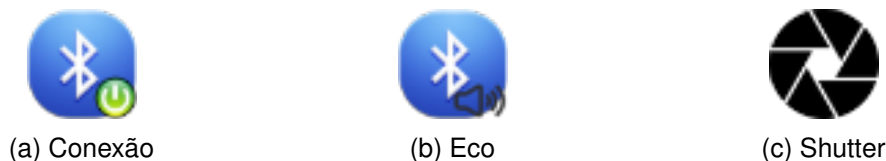


Figura 28 – (As figuras (a), (b) e (c) acima, mostram, respectivamente, os botões do AppTilBOT destinados a permitir ao usuário estabelecer uma conexão *bluetooth* com o TilBOT, enviar uma mensagem de eco e ordenar a execução do projeto fotográfico

Apesar da complexidade do TilBOT como um todo, como a integração da parte da armadura da ferramenta robótica e suas engrenagens, com os circuitos eletrônicos e a integração do *software* do aplicativo do dispositivo móvel AppTilBOT com o Subsistema de Controle embarcado da ferramenta robótica, basicamente trata-se de uma aplicação simples, onde o usuário cria seus projetos fotográficos no AppTilBOT e os transfere para que sejam executados pela aplicação embarcada no TilBOT.

O Código abaixo, ilustra os dados de um projeto fotográfico 360° imersiva, responsável pela integração do AppTilBOT com o sistema de controle embarcado no TilBOT. Esses dados serão utilizados pelo Subsistema de Controle embarcado do TilBOT para executar o projeto fotográfico.

Código 2 – Dados de um projeto fotográfico para a geração de uma fotografia 360° imersiva

```
<?xml version = "1.0" encoding = "UTF-8"?>
<proj-foto-360>
  <general>
    <shutter-speed>1/125</shutter-speed>
    <set-focus>>true</set-focus>
  </general>
  <upper-vertical-angle>20</upper-vertical-angle>
  <lower-vertical-angle>140</lower-vertical-angle>
  <number-vertical-pictures>2</number-vertical-pictures>
  <number-horizontal-pictures>6</number-horizontal-pictures>
</proj-foto-360>
```

O Código a seguir descreve os dados que compõe um projeto fotográfico para a criação de vídeos *time-lapse*.

Código 3 – Mensagem XML de um projeto fotográfico para a geração de uma vídeo *time-lapse*

```

<?xml version = "1.0" encoding = "UTF-8"?>
<proj-time-lapse>
  <general>
    <shutter-speed>1/125</shutter-speed>
    <focus>>true</focus>
  </general>
  <vertical-panoramic>
    <initial-vertical-height>140</initial-vertical-height>
    <final-vertical-height>90</final-vertical-height>
    <horizontal-angle>173</horizontal-angle>
    <number-initial-pictures>50</number-initial-pictures>
    <total-number-pictures>1000</total-number-pictures>
    <number-final-pictures>50</number-final-pictures>
  </vertical-panoramic>
  <horizontal-panoramic>
    <bot-movement>forward</bot-movement>
    <head-movement>circular</head-movement>
    <bot-speed right-motor="110" left-motor="110" />
    <Distance-to-go>50</Distance-to-go>
    <number-initial-pictures>80</number-initial-pictures>
    <total-number-pictures>2000</total-number-pictures>
    <number-final-pictures>80</number-final-pictures>
    <initial-horizontal-angle>85</initial-horizontal-angle>
    <final-horizontal-angle>220</final-horizontal-angle>
  </horizontal-panoramic>
  <stop-bot-take-pics>>true</stop-bot-take-pics>
</proj-time-lapse>

```

Segue a descrição das *tags* de projeto de captura de imagens para a geração de um vídeo *time-lapse*.

1. General: define as características gerais de todo o projeto fotográfico
 - shutter-speed: define a velocidade do obturador configurada na câmera
 - set-focus: estabelece se o TiIBOT acionará o foco antes do disparo da câmera

2. vertical-panoramic: *Tags* das imagens a serem capturadas com o movimento vertical da câmera

- initial-vertical-height: define a posição vertical inicial
- final-vertical-height: define a posição vertical final
- horizontal-angle: define o ângulo horizontal da câmera para a execução dessa etapa
- number-initial-pictures: estabelece o número de fotografias a serem capturadas no início desta etapa
- total-number-pictures: número total de fotografias a serem capturadas durante esta etapa
- number-final-pictures: estabelece o número de fotografias a serem capturadas no final desta etapa

3. horizontal-panoramic:

- bot-movement: define o movimento da ferramenta robótica: "*forward*", "*backward*" ou "*no movement*"
- head-movement: define o movimento do Módulo de Suporte da Câmera: "*No Head horizontal movement*", "*Point to target*" ou "*Circular movement*"
- bot-speed: estabelece a velocidade dos motores
 - right-motor: velocidade do motor direito (entre 0 e 255)
 - left-motor: velocidade do motor esquerdo (entre 0 e 255)
- distance-to-go: estabelece a distância a percorrer da ferramenta robótica (em metros)
- number-initial-pictures: estabelece o número de fotografias a serem capturadas no início desta etapa
- total-number-pictures: número total de fotografias a serem capturadas durante esta etapa
- number-final-pictures: estabelece o número de fotografias a serem capturadas no final desta etapa

5- Avaliação Experimental

Todo o processo de avaliação do TilBOT e seus projetos fotográficos durou 7 meses e se iniciou em outubro de 2018. Mais de 30 projetos fotográficos foram executados, gerando vários vídeos e fotografias digitais avançadas.

5.1- Avaliação de Projetos Multi *Time-Lapse*

O processo de avaliação da geração de múltiplos vídeos *time-lapse* durou 5 meses, de outubro de 2018 a março de 2019, quando foram executados 23 projetos multi *time-lapse*. Nesse processo, além do TilBOT, foi utilizado uma câmera digital *Canon PowerShot G15*, cujas características principais são indicadas na Tabela 8.

5.1.1 Ambiente de Avaliação

Os testes de avaliação foram realizados nas cercanias do bairro de Icaraí no município de Niterói-RJ, no período entre as 09:00h às 17:00h, em dias de condições meteorológicas de tempo bom e estável, com luz suficiente para permitir um tempo de exposição da câmera ajustado para, no mínimo, 1/60 segundos, e assim, evitar qualquer tipo de trepidação nas imagens geradas. O TilBOT foi colocado sobre uma plataforma circular de Medium Density Fiberboard (MDF), coberto com uma borracha para evitar trepidações e acoplado a um tripé *Manfrotto 190D* (MANFROTTO, 2019), a 65 centímetros de altura do solo. No caso dos testes com método tradicional (câmera estática), a mesma câmera *Canon PowerShot G15* foi acoplada sobre o tripé *Manfrotto 190D* a uma altura de 1,50 metro do solo e os disparos foram feitos por meio de um controle remoto com fio *Hongdak remote switch* (HONGDAK, 2019).

5.1.2 Metodologia

A grande parte dos testes foi desenvolvida para coletar informações sobre os tempos entre disparos da câmera e dos ciclos de disparo, sem ter a preocupação na geração de vídeos posteriormente. Outros testes foram desenvolvidos para gerar vídeos e verificar a acurácia dos movimentos do motor de passo responsável pela movimentação horizontal da câmera e melhorar o *software* e *hardware* do TilBOT para corrigir os erros encontrados, entretanto sem a preocupação com o cenário apontado pela câmera. O ambiente principal de teste foi o cenário exibido na Figura 29, em que o TilBOT e sua câmera foram colocados em uma linha, com a ferramenta robótica sendo colocada no meio de dois relógios e a uma distância de 60 centímetros de cada um deles. A câmera foi montada sobre o suporte do TilBOT no modo paisagem como mostrado na Figura 14.

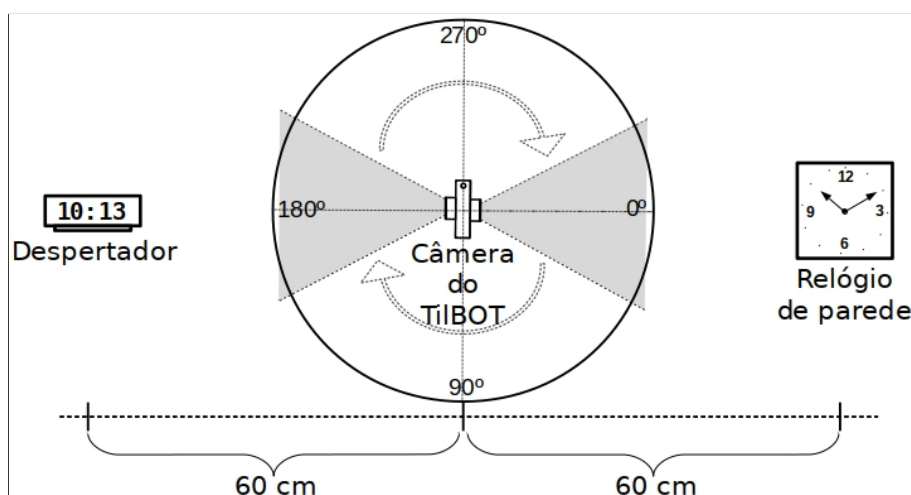


Figura 29 – O primeiro disparo da câmera é feito com a câmera posicionada em 0° , então ela é girada para 180° para fazer um novo disparo e completar o primeiro ciclo do projeto. Em seguida, a câmera é girada novamente para 0° para iniciar um novo ciclo

Nesse cenário todos os componentes do teste também foram colocados a uma altura do solo de 60 centímetros para que ficassem nivelados. Após capturar a imagem de um relógio, o TilBOT gira a câmera 180° , e assim se posiciona para capturar a fotografia do segundo relógio. Esse é um dos piores possíveis cenários para a execução de um projeto multi *time-lapse* com dois vídeos, visto que, a ferramenta robótica precisa girar sua câmera a maior distância angular, isto é, 180° . A Figura 30 exhibe a configuração do projeto fotográfico utilizado para o cenário com os dois relógios.

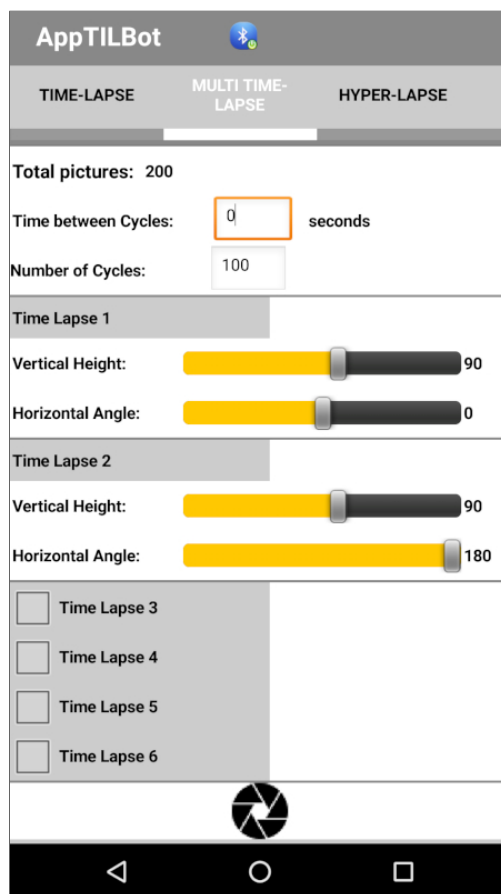


Figura 30 – Configuração do AppTilBOT de um projeto multi *time-lapse* com dois vídeos com 100 ciclos de captura, sem intervalo de tempo entre os ciclos e com a câmera posicionada a 0° para o primeiro vídeo e 180° o outro vídeo

Essa configuração foi escolhida como sendo o principal e o mais completo teste de geração de múltiplos vídeos *time-lapse*, por ser esta a configuração com a maior movimentação da câmera, 180° entre os alvos dos vídeos, e com a captura de 100 imagens para cada um dos vídeos, que se desenrolou por mais de 30 minutos.

Já nas fotografias com ferramentas estáticas, foi montado um cenário com a câmera *Canon PowerShot G15* sobre um tripé, também no modo paisagem. Foram feitos disparos da câmera por meio do controle remoto, com a câmera configurada para o disparo contínuo, isto é, mantendo-se o botão de disparo pressionado a câmera realiza disparos continuamente até que esse botão seja liberado. Esse teste foi realizado somente com o objetivo de obter dados de tempos e intervalos de disparo, sem a preocupação com o objeto alvo da câmera ou a qualidade do vídeo gerado.

5.1.3 Resultados Obtidos

A câmera TilBOT capturou um total de 1.889 fotografias em todo o processo de avaliação com projetos multi *time-lapse*. A Tabela 5 exibe todos os dados considerados nos testes de avaliação realizados para criar múltiplos vídeos *time-lapse* para este trabalho. Os parâmetros definidos nesses testes foram definidos nos projetos fotográficos configurados por meio do aplicativo AppTilBOT.

Desempenho dos Projetos Multi <i>Time-Lapse</i>								
Nº do projeto	Nº de vídeos time lapse	Ângulo da câmera (°)	Intervalo entre os quadros (s)	Nº total de disparos	Tempo total do projeto	Distância focal da câmera	Data	Mov. câmera
1	2	90	11	22	00:02:29	140	19/10/18	H
2	3	45	19	12	00:01:08	140	19/10/18	H
3	6	60	34	30	00:02:44	140	19/10/18	H
4	2	90	11	10	00:00:49	140	24/10/18	H
5	2	180	15	10	00:01:09	140	24/10/18	H
6	2	180	17	10	00:01:16	140	24/10/18	H/V
7	3	45	21	15	00:01:38	140	24/10/18	H
8	6	60	33	30	00:02:32	140	24/10/18	H
9	6	60	38	30	00:02:58	140	24/10/18	H/V
10	6	60	37	600	01:02:25	140	24/10/18	H/V
11	3	45	24	15	00:01:48	140	24/10/18	H/V
12	6	60	22	24	00:01:27	140	21/01/19	Otmz
13	6	60	26	24	00:01:41	140	21/01/19	Otmz
14	2	180	15	160	00:20:18	140	21/01/19	H
15	2	180	15	8	00:00:54	140	21/01/19	H
16	2	90	9	8	00:00:32	140	21/01/19	H
17	2	180	48	194	01:17:00	140	23/01/19	H
18	2	180	23	200	00:36:47	140	26/01/19	H
19	2	180	27	164	00:36:14	28	26/01/19	H
20	2	180	27	160	00:36:14	140	27/01/19	H
21	3	120	24	9	00:01:03	28	17/03/19	Otmz
22	6	60	34	18	00:01:36	28	17/03/19	Otmz
23	2	180	20	200	00:31:56	140	17/03/19	H
Totals	67			1889				

Tabela 5 – Nesta tabela, são exibidas informações detalhadas sobre todos os testes realizados com projetos de vídeos multi *time-lapse*. A coluna "Mov. Câmera" significa: "H" movimento horizontal; "V" movimento vertical; enquanto "Otmz" é a abreviação de movimento otimizado, quando o TilBOT gira a câmera no sentido horário e anti-horário de acordo com a menor distância angular e da maneira mais rápida

Esses testes mostraram que o TilBOT foi capaz de gerar vários vídeos *time-lapse*,

com um intervalo de tempo entre os quadros, menor do que todos os vídeos *time-lapse* observados nos trabalhos relacionados. Mesmo quando um projeto de múltiplos vídeos *time-lapse* é configurado com seis vídeos *time-lapse*, o TilBOT foi capaz de gerar vídeos com intervalos de 34 segundos entre os quadros.

A tabela 6 é composta por duas colunas com cinco imagens cada uma, de dois vídeos *time-lapse* gerados a partir do teste de número 23, mostrado na figura 29. Neste projeto, o TilBOT capturou imagens em um ângulo de 180°, sem intervalo entre ciclos de capturas, isto é, depois de realizar as duas primeiras fotografias do primeiro ciclo, ele girou sua câmera imediatamente para a posição horizontal inicial dando continuidade a execução do projeto. O intervalo entre as imagens nos dois vídeos foi de 20 segundos, tempo esse necessário para que a ferramenta mova sua câmera para o ponto inicial.











Amostras de Quadros dos Vídeos MultiTime-Lapsedo Projeto No23		
Ordem do quadro	Quadros do primeiro vídeo	Quadros do segundo vídeo
1° quadro		
25° quadro		
50° quadro		
75° quadro		
100° quadro		

Tabela 6 – Imagens do projeto de vídeo multi *time-Lapse* nº 23, em que dois vídeos *time-lapse* foram gerados com cem imagens cada um. A execução desse projeto teve um tempo total de 31 minutos e 56 segundos, quando foram capturadas 200 fotografias

O primeiro vídeo multi *time-lapse* do relógio digital do teste 23, pode ser visto por (<https://www.youtube.com/watch?v=daXTB6xuA24>). O segundo vídeo do projeto multi *time-lapse* do relógio de ponteiros, pode ser visto por meio de (<https://www.youtube.com/watch?v=BKHs3iwbye0>), enquanto o vídeo final (<https://www.youtube.com/watch?v=WCO39ulcOo>) editado no *software* Kdenlive (KDENLIVE. . ., 2019), exibe as imagens dos dois vídeos anteriores com os relógios colocados lado a lado para efeito de comparação.

Os testes de avaliação números 1 a 9, 11 a 13, 15, 16, 21 e 22 foram realizados apenas para capturar fotografias com o objetivo de coletar dados de registro de data e hora, e assim calcular o intervalo entre os disparos e o tempo de total dos projetos. Os demais projetos foram realizados com o objetivo de capturar as imagens, gerar vídeos *time-lapse*, pós-processá-los e melhorar o *software* e *hardware* do TilBOT, e para corrigir os erros encontrados na geração dos vídeos. A obtenção dos dados de registros de data e hora foi feita por meio de um processo manual, posterior a execução dos projetos fotográficos. As fotografias foram transferidas do cartão de memória da câmera para um computador, quando então os registros de data e hora foram lidos e analisados por meio do *software* (DARKTABLE, 2019).

Dois testes tradicionais com a câmera estática foram realizados, ambos utilizando-se da câmera *Canon PowerShot G15* configurada no modo de disparo contínuo como visto na Tabela 7. No primeiro teste, a câmera foi disparada por meio do controle remoto, enquanto no segundo o botão de disparo da câmera foi pressionado manualmente. As imagens do cartão de memória da câmera foram transferidas para um computador para ter os seus tempos contabilizados, que resultou em uma taxa de aproximadamente 0,8 fotografias por segundo.

Teste com Câmera Estática

Nº do teste	Nº de fotos	Modo de diparo	fps
1	20	controle remoto	0,8
2	20	manual	0,8

Câmera utilizada: Canon PowerShot G15

Tabela 7 – Teste de geração de vídeos *time-lapse* com câmera estática. Em ambos os testes a câmera capturou fotografia a uma taxa de 0,8 quadros por segundo (fps), taxa essa inferior ao exibido na tabela 8

Na tabela 8 algumas características de um grupo de câmeras disponíveis no mercado podem ser vistas. Todas elas têm a característica de capturar imagens a uma

taxa de quadros maior que o TilBOT, entretanto em todos os artigos estudados neste trabalho, a alta frequência de captura de imagens não é uma característica importante para esse tipo de trabalho de pesquisa. A menor frequência observada dentre os trabalhos relacionados foi de uma captura a cada 45 segundos.

Especificação de Câmeras (características de vídeos <i>time-lapse</i>)					
Câmera	Tipo	Ano	fps	Price (US\$)	Observações:
Canon EOS R	Prof	2018	8	\$2.290,00	somente corpo
Canon EOS 6D Mark II	Prof	2017	6,5	\$1.499,00	somente corpo
Canon PowerShot G15*	Comp	2012	2,1		fora de linha
Panasonic Lumix DC-S1R	Prof	2019	9	\$3.697,99	somente corpo
Nikon Z7	Prof	2018	9	\$3.399,00	somente corpo
Nikon D3500	Prof	2018	5	\$396,95	corpo c/18-55 mm
GoPro Hero (2018)	Ação	2018	10	\$194,89	c/ GoPro plus
Observação: *câmera usada pelo TilBOT				(fps) quadros por segundo	

Tabela 8 – Esta tabela tem algumas características de um grupo de câmeras profissionais e compactas, que podem gerar apenas um vídeo *time-lapse* por vez (DPREVIEW, 2019). A coluna "Tipo" significa: "Prof" câmera profissional; "Comp" câmera amadora compacta; enquanto "Ação" é a câmera utilizada para capturar, principalmente, cenas de ação

A avaliação da câmera *Canon PowerShot G15* no modo estático, sem estar acoplada ao TilBOT, revelou uma taxa de frequência de disparo contínuo bem menor que mostrada nessa tabela, fato esse que não altera a possibilidade de utilização da câmera em projetos de captura de vídeos *time-lapse*. Observou-se ainda que vários tipos de câmeras poderiam ser usadas em pesquisas da natureza, entretanto todas elas precisam ser equipadas ou controladas por, no mínimo, um dispositivo eletrônico especial tal como um intervalômetro 47, como mostrado no apêndice A.4.

5.2- Avaliação do Projeto 360° Imersiva

Para os testes de avaliação de projetos fotográficos de panoramas 360° imersivas, TilBOT efetuou 10 execuções com o disparo de mais de 500 fotografias, que foram executadas no período entre março e abril de 2019. Foram feitos ainda testes comparativos com a câmera do aplicativo *Google Street View* (GOOGLE, 2019c) em um telefone móvel Motorola Moto G⁴ plus (MOTOROLA, 2019) com sistema operacional *Android* versão 7.0.

5.2.1 Ambiente de Avaliação

Os testes de avaliação foram realizados na cidade de Niterói-RJ, nos jardins de uma residência no bairro de Icaraí, na área náutica da sede do Praia Clube São Francisco, no bairro de mesmo nome e na Galeria Octávio do Prado na sede da Sociedade Fluminense de Fotografia (SFF, 2019) no centro de Niterói. Dentro da galeria a iluminação utilizada foram os *spots* direcionados para as fotografias colocadas na parede e com o auxílio da iluminação existente de luminárias no teto do salão.

5.2.2 Metodologia

Em todos os testes, TilBOT foi colocado sobre uma plataforma circular de MDF, coberto com uma borracha para evitar trepidações e acoplado a um tripé *Manfrotto 190D*, a 1,50 metro de altura do solo. Nessas execuções, a mesma câmera *Canon PowerShot G15* foi acoplada ao suporte do TilBOT no modo retrato. A Figura 31 mostra o TilBOT preparado para a execução de projetos 360° imersiva.

Sua câmera foi acoplada ao suporte do TilBOT de maneira que o ponto nodal da objetiva ficasse centralizado no eixo imaginário do suporte da câmera, com a finalidade de evitar problemas de paralaxe das imagens capturadas, o que poderia impossibilitar a "costura" das fotografias na etapa de pós-processamento (LITTLEFIELD, 2006) da panorâmica. Um pequeno lastro de 100 gramas de chumbo foi colocado na parte inferior do suporte da câmera, de forma que todo o conjunto câmera-suporte ficasse bem balanceado, para facilitar a movimentação vertical da câmera pelo servo motor do TilBOT.

As fotografias capturadas pelo TilBOT foram transferidas do cartão de memória da câmera para um computador, e só então passaram pelo processo de "costura" por meio do *software* Hugin (HUGIN. . ., 2019). A imagem da Figura 32 é o resultado da execução do primeiro projeto fotográfico de uma fotografia 360° imersiva utilizando o TilBOT. Na parte de baixo da fotografia é possível ver as rodas do TilBOT, devido ao fato dessa ferramenta capturar partes de sua armadura quando aponta sua câmera para o nadir (ASTRONOMICAL. . ., 2019) nas fotografias 360° imersivas. Esse problema pode



Figura 31 – TiIBOT com câmera na posição retrato, com um lastro de 100 gramas no suporte da câmera destinado a equilibrá-la e montado para executar projetos 360° imersiva

ser facilmente resolvido com o emprego de uma ferramenta de edição de imagens, tais como o GIMP (GIMP, 2019), visto que o solo está geralmente nessa posição e esse tipo de correção é bem trivial com qualquer *software* de edição de imagem.



Figura 32 – Fotografia final de um projeto fotográfico 360° imersiva de uma residência

Essa é uma projeção equiretangular que permite que uma fotografia 360° imersiva

seja vista em um meio plano. Para a obtenção das fotografias que compõem esse projeto fotográfico, o TilBOT foi colocado sobre uma plataforma em um tripé a uma altura de 1,50 metro do solo. Foram feitas uma fotografia do zênite e trinta outras ao redor da ferramenta robótica com dez movimentos na horizontal e três na vertical. A fotografia do nadir não foi feita propositalmente, uma vez que não há informação relevante nesse sentido e um logotipo ou outra imagem pode ser "colado" nesse lugar por alguma ferramenta de edição.

Para efeito de comparação foi feita uma fotografia 360° imersiva com um telefone móvel *Motorola Moto G⁴ plus*, por meio da câmera do aplicativo *Google Street View*. O assistente do *Google Street View* auxiliou a movimentação do telefone a medida que as várias imagens eram capturadas. O processo de captura foi totalmente manual com o telefone sendo segurado a uma altura de aproximadamente 1,50 metro do solo. A Figura 33 mostra a fotografia 360° imersiva produzida com o *Motorola Moto G⁴ plus*, exatamente no mesmo lugar do projeto fotográfico da Figura 32 produzida com o TilBOT.



Figura 33 – Fotográfico 360° imersiva com Motorola Moto G⁴ plus feita por meio da câmera do aplicativo *Google Street View*

Apesar de algumas distorções terem surgido nas fotografias 360° imersivas geradas a partir de projetos fotográficos do TilBOT, muitas dessas distorções foram causadas devido a pequena distância, de 28 mm, utilizada. Essa distância focal faz com que a objetiva da câmera funcione como um grande angular, com uma visão angular maior que a visão do ser humano (a distância focal correspondente a visão do ser humano é de 50 mm em uma câmera *full frame*), entretanto a utilização dessa distância focal muitas vezes é necessária em locais de espaço reduzido. A utilização de uma menor distância focal facilita a execução do projeto fotográfico, uma vez que, devido a maior

visão angular, um menor número de fotografias é necessário para cobrir toda a esfera de 360° horizontalmente e 180° na vertical.

O nadir das fotografias 360° imersivas geradas com o TilBOT, não são capturadas devido a sua câmera estar exatamente na parte de cima dessa ferramenta robótica, causando a captura de imagens de partes de sua armadura. Esse é um problema que também ocorre com as imagens do *Google Maps* (GOOGLE, 2019b), e que não tem muita importância devido a falta de informação relevante nessa posição. Geralmente o terreno está no nadir e normalmente isso é corrigido com a pós edição, quando a imagem é corrigida ou é colocado um logotipo ou outra imagem qualquer nessa posição.

Esses projetos gerados pelo TilBOT evidenciaram a grande precisão na captura das imagens, o que facilita muito o trabalho de "costura" da fotografia final. É uma grande vantagem comparando-se com as fotografias gerados com o aplicativo *Google Street View*, que carece do apoio manual para movimentar o dispositivo móvel e, apesar desse aplicativo fazer uso de um assistente para auxiliar o usuário a capturar as imagens, é muito suscetível a problemas de paralaxe no momento de rotacionar o dispositivo móvel. Problema esse que ocorreu em alguns testes executados para este trabalho.

5.3- Avaliação de Outros Projetos de Fotografia Avançada

Além dos testes com os vídeos multi *time-lapse* e os fotografias 360° imersivas, o TilBOT executou outros tantos projetos fotográficos de panoramas horizontais, vídeos *time-lapse* e vídeos *hyper-lapse*, no período entre março e abril de 2019. As avaliações foram também realizados na cidade de Niterói-RJ, nos jardins de uma residência no bairro de Icaraí e na área náutica da sede do Praia Clube São Francisco, no bairro de São Francisco.

5.3.1 Metodologia e Resultados Obtidos

O TilBOT operou durante o dia, com luz natural e em dias de tempo bom. Foi colocado diretamente sobre o terreno ou se movimentou sobre duas canaletas de Policloreto de Vinil (PVC), de maneira a evitar as trepidações causadas pela imperfeição do solo.

A imagem da Figura 34 foi "costurada" com o *software* Hugin, com as mesmas imagens capturadas para a geração de um vídeo *time-lapse* com movimento horizontal da câmera. Posteriormente, a imagem final foi editada com o editor de imagens GIMP.



Figura 34 – Fotografia panorama horizontal com a vista do Praia Clube São Francisco em Niterói-RJ

As imagens da Figura 35, são cinco imagens de amostra que fazem parte de um vídeo *hyper-lapse* em que o TilBOT percorreu uma distância de 2 metros e capturou um total de 58 fotografias.



Figura 35 – Cinco amostras de imagens que compõe um vídeo *hyper-lapse*

A execução desses projetos fotográficas mostra que o TilBOT é uma ferramenta flexível, com a capacidade de executar vários tipos de projetos, além dos vídeos multi *time-lapse* e das fotografias 360° imersivas.

6- Conclusão

O TilBOT foi apresentado nesse trabalho como uma nova ferramenta para capturar imagens e para gerar múltiplos vídeos *time-lapse*, e foi concebido para satisfazer os requisitos apresentados na Seção 4.1. O TilBOT tem a capacidade de tratar de vários cenários, tais como, os 23 projetos vistos na tabela 6, nos quais são produzidos exemplos desse tipo de vídeo. Em especial, o projeto fotográfico número 23 da mesma tabela, que permite observar a qualidade de um vídeo multi *time-lapse* gerado pelo TilBOT e identificar detalhes do tempo de obtenção de cada uma das imagens.

Nesse projeto, mesmo tendo o teste sido montado com o pior cenário possível, dois relógios a 180° distantes entre si e com a objetiva da câmera ajustada para a distância focal máxima (140 mm), os movimentos dos relógios foram facilmente identificados. Contudo, não foi possível comparar o TilBOT com nenhuma outra ferramenta similar, pois, como visto nos trabalhos relacionados, ainda não há ferramenta similar capacitada a gerar esse tipo de vídeo. Para se ter alguma forma de avaliação de situações similares, foi utilizado o modelo padrão de obtenção de vídeos *time-lapse*, utilizado nas pesquisas atuais.

Conforme visto, esse modelo é manual, de difícil configuração e não gera informações complementares, tais como o TilBOT realiza. Pode-se até obter imagens com um menor intervalo de tempo, entretanto não tem a funcionalidade de obter vídeos multi *time-lapse*, nem ter outra automatização, senão a do disparado da câmera. Todas as outras movimentações carecem de ajuda humana presencial. Isso se mostrou uma grande vantagem do TilBOT em relação ao método tradicional, o que justifica ser o TilBOT uma ferramenta configurável de mais baixo custo operacional, facilitando seu uso, tanto por fotógrafos profissionais ou amadores avançados, quanto por pesquisadores que trabalhem com vídeos *time-lapse*.

A exceção foram os testes de geração de fotografias 360° imersivas, quando o TilBOT foi comparado a câmera do aplicativo *Google Street View* do dispositivo móvel Motorola Moto G⁴. Para esse tipo de projeto, o TilBOT se mostrou uma ferramenta de precisão no processo de captura das imagens, facilitando consideravelmente a etapa de "costura" das fotografias para geração de uma fotografia 360° imersiva final.

O projeto fotográfico, gerado pelo TilBOT em XML, também é uma inovação da ferramenta, sendo uma forma de criar e compartilhar os dados gerados pelo TilBOT para serem manipulados por uma plataforma externa. Essa importante característica do TilBOT concede-lhe capacidade de apresentar mais do que simples imagens de um projeto de vídeo multi *time-lapse*, pois, dessa forma, o TilBOT pode funcionar como um dispositivo de obtenção de dados multimídia com ampla gama de informações acopladas. Com isso, visou-se também atender aos requisitos propostos nesse trabalho.

A cada etapa, desde a concepção do projeto fotográfico, até a envio da fotografia final ou vídeo a um *site*, tal como, *YouTube* (YOUTUBE, 2019) ou *360 Cities* (360CITIES S.R.O., 2018), a mensagem XML que representa o projeto fotográfico poderá ser alimentada com novos dados referentes a cada etapa do processo. Locais e condições ambientais em que o projeto foi executado, são exemplos de dados que poderão enriquecer as informações e poderão ser carregados para uma base de dados e conectados a URL onde a mídia final do projeto foi armazenada, e assim, criar uma base de auxílio para a criação e a execução de projetos fotográficos em semelhantes cenários.

Como propostas de trabalhos futuros, pode-se propor aperfeiçoamentos na ferramenta, dando maior robustez e alcance, adaptá-la para transmissões a longa distância, utilizando protocolos de comunicação mais complexos e inserir um módulo de tratamento de informação, junto a seu software embarcado. A câmera utilizada nos testes de avaliação foi um antigo e limitado modelo, que permitiu ao TilBOT controlar apenas o foco e o disparo da câmera. A utilização de uma câmera mais moderna com uma melhor conexão entre os dois dispositivos, WiFi por exemplo, além de melhor comandar o disparo, viabilizará o controle de mais funções da câmera fotográfica e obter dados de velocidade do obturador, diafragma, ISO, e inclusive, o arquivo contendo a imagem capturada. Isso permitirá o uso de técnicas de Inteligência Artificial para analisar a imagem obtida, com o propósito de adicionar a mensagem XML referente ao projeto fotográfico em questão, dados de descrição da imagem, tais como: objetos contidos nas imagens, descrição da paisagem e até mesmo criar uma escala e predizer o quão memorável é a imagem recém-capturada (ISOLA et al., 2014).

A- Apêndices

A.1- Breve Histórico da Fotografia Digital

Há mais de 50 anos, em 1957, um cientista de computação chamado Russel Kirsch (INTERNET ARCHIVE WAYBACK MACHINE, 2018) produzia a primeira imagem digital nos laboratórios do Nist (*National Institute of Standards and Technology*) (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST, 2018). Era uma imagem de 5 cm por 5 cm de seu filho bebê Walden digitalizada em 30.976 *pixels*, como pode ser visto na Figura 36. Kirsh também foi uma das pessoas responsáveis pelo desenvolvimento do primeiro computador eletrônico SEAC (*Standards Eastern Automatic Computer*) (NIST, 2018).



Figura 36 – Primeira fotografia digital produzida em um computador em 1957. Nela aparece a imagem granulada do filho bebe do pesquisador Russell Kirsch, medindo 176 *pixels* em um dos lados (NIST, 2018)

Já em julho de 1965 a sonda espacial *Mariner IV* fez 22 fotografias da superfície de Marte. Sua câmera foi construída a partir de um tubo de uma câmera de vídeo e as imagens eram gravadas em uma fita magnética, e que posteriormente eram enviadas à Terra (RIMLAND et al., 2016), como pode ser visto na Figura 37.

Embora previsto em (ADAMS, 1995) nos anos 80, o advento da fotografia digital comercial somente se tornou realidade quase uma década depois seguido de um avanço constante de várias novas técnicas com o emprego de câmeras fotográficas de uso geral, sem a necessidade da câmeras especiais como era o caso das câmeras convencionais com filmes desenvolvidas para a obtenção de fotografias panorâmicas, por exemplo.

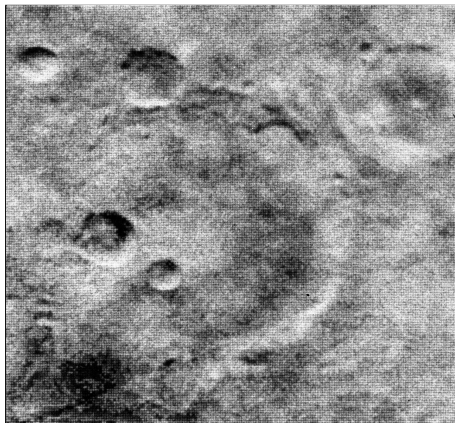


Figura 37 – Após oito meses de viagem até Marte, Mariner IV produziu 22 fotografias com uma câmera de televisão. Essas imagens foram armazenadas em uma fita de quatro trilhas e levaram quatro dias para serem transmitidas à Terra. (Crédito de imagem: NASA/JPL) (NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2018)

A.2- Sobre a Fotografia Digital Avançada

O advento da fotografia digital nos anos de 1990, possibilitou o surgimento e o rápido crescimento de técnicas de fotografia que eram até então, ou impossíveis de serem feitas, ou que exigissem câmeras fotográficas especial e de valores proibitivos para a maioria das pessoas. Essas técnicas fotográficas digitais avançadas são produzidas com a obtenção de várias fotografias, muitas vezes centenas delas, às vezes milhares de fotografias, que são posteriormente transferidas para um computador e processadas por algum tipo de *software* específico, de acordo com a técnica fotográfica desejada (COVINGTON, 2007).

A fotografia panorâmica é uma dessas técnicas que se popularizou rapidamente ao ponto de poder ser capturada com a câmera embutida de um simples dispositivo móvel. A criação de fotografias 360° imersivas, tão populares em *sites* como o *Google*, se enquadram no conjunto de fotografias impossíveis de serem produzidas antes do advento da tecnologia digital. Outras técnicas menos conhecidas são o empilhamento de imagens e a criação de modelos 3D a partir de imagens feitas em um círculo ao redor de um objeto qualquer (ADAMS, 1995; CHYLINSKI, 2012; LEGAULT, 2014; REEVES, 2011).

A.2.1 Fotografia Panorâmica

A fotografia panorâmica é outra técnica amplamente utilizada nos dias de hoje e, embora este termo seja muito diversificado, pode ser resumido em fotografia de grande formato. Normalmente, uma fotografia panorâmica tem uma relação altura/largura de pelo menos 1/2, mas normalmente essa proporção não é inferior a 1/3. Graças à tecnologia digital, a fotografia panorâmica pode ser desenvolvida com câmeras muito simples e até mesmo dispositivos móveis. Basicamente, fotografias panorâmicas são criadas costurando muitas fotografias horizontalmente (Figura 38), verticalmente ou ambos, com a ajuda de um *software* específico para essa função que cria fotografias de formato amplo (FROST, 2005).



Figura 38 – 6 fotografias originais antes do processo para costurá-las. As seis fotografias foram feitas com uma câmera Canon Digital PowerShot G3 (CANON INC, 2002)

Após o pós-processamento e do ajuste fino com *software* específico para essas funções, todas as fotografias separadas são agrupadas horizontalmente e o resultado final é um panorama, como visto na Figura 39.

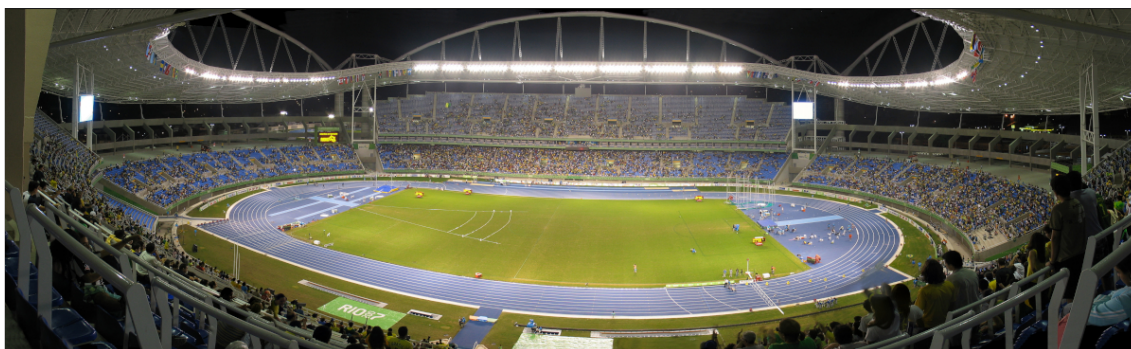


Figura 39 – Fotografia panorâmica horizontal feita no Estádio Olímpico durante os Jogos Pan-americanos do Rio de Janeiro - Brasil, em 2007. As seis fotografias da Figura 38 acima foram costuradas com o *software* PTAssembler (LYONS, February 2003) para a geração desta panorâmica

A.2.2 Fotografia 360° Imersiva

Um dos tipos mais interessantes de técnicas avançadas de fotografia digital é a panorâmica 360° imersiva, conhecida também por estereográfica, mini-mundo ou *Little Planet*. Essa técnica também é conhecida como panoramas de realidade virtual, panoramas de esfera, etc., e embora já exista por mais de cem anos, sites da *Internet* tais como, *360° Cities* e *Google Street View* contribuíram muito para tornar essa técnica bastante popular atualmente. As panorâmicas em 360° são fotografias em que o espectador tem a sensação que seus olhos estão no meio de uma esfera rodeado de imagens por todos os lados, sendo capaz de ver 360° horizontalmente e 180° verticalmente. Esta é uma das técnicas mais complexas na fotografia avançada e tornou-se mais acessível hoje em dia devido ao surgimento de equipamentos digitais. Muitas dessas fotografias são feitas com a objetiva da câmera posicionada exatamente no meio de uma esfera virtual e depois são agrupadas usando *softwares* como o Hugin ou o PTgui (NEW HOUSE INTERNET SERVICES B.V., 2018).

A Figura 40, mostra uma fotografia 360° imersiva feita no Praia Clube São Francisco, no município de Niterói-RJ, resultado de 31 fotografias originais capturadas pela câmera do TiIBOT, colocado sobre um tripé a 1,50 metro de altura.



Figura 40 – Fotografia 360° imersiva equiretangular feita em Niterói - RJ

O TiIBOT realizou movimentos verticais em três alturas, enquanto a movimentação horizontal foi dividida em dez intervalos, e uma fotografia do zênite. Na parte de baixo da fotografia é possível ver as rodas e uma pequena parte da armadura do TiIBOT, uma vez

que, não há como desobstruir esse ângulo de visão com a retirada do TilBOT. Entretanto, como geralmente o nadir não contém informações relevantes para a imagem final, esse espaço é deixado para que seja preenchido, em uma etapa de pós-processamento, com um logotipo ou uma outra imagem qualquer

As fotografias capturadas pela câmera do TilBOT foram posteriormente costuradas com o *software* Hugin. A fotografia foi transformada na projeção equiretangular para viabilizar sua visualização plana, o que permitiu a sua reprodução neste documento (ANDREWS, 2003). Há dois pontos de referência fundamentais para a realização da captura de fotografia para compor uma panorâmica imersiva, que são o zênite e o nadir. Esses pontos representam a linha imaginária da força da gravidade e são diametralmente opostos. Enquanto o zênite corresponde ao mesmo sentido da força da gravidade, o nadir significa o sentido oposto.

A.2.3 Empilhamento de Imagens

A técnica de empilhamento de imagens se constitui em um processo digital em que várias imagens semelhantes são sobrepostas. Dois exemplos dessa técnica são o rastro de estrelas e o empilhamento de foco.

Um exemplo da primeira técnica que pode ser visto na imagem da Figura 41, onde várias imagens capturadas com a câmera acoplada sobre um tripé, são empilhadas fazendo com que apareça um rastro criado pelo posicionamento das estrelas em diferentes posições devido ao movimento de rotação da Terra.

Outro exemplo do empilhamento de imagens é visto na Figura 42. Embora semelhante a Figura 41, esse empilhamento foi feito a partir de cinco fotografias em que o menino aparece em posições diferentes em cada uma delas. As partes das imagens em que aparece o menino foram selecionadas para que todas elas fossem exibidas na fotografia final, sem a interferência da parede do fundo.

Embora seja possível aumentar bastante a profundidade de campo com técnicas convencionais por meio de configurações da câmera, as objetivas das câmeras fotográficas fazem foco somente em um plano quando os objetos fotografados estão próximos dessa, deixando os pontos dos planos anteriores e posteriores de uma fotogra-



Figura 41 – Fotografia de rastro de estrelas realizado com a sobreposição de várias imagens a partir da mesma coordenada geográfica. Logarska Dolina, Slovenia (©) Dan Heller (DAN HELLER PHOTOGRAPHY, 2018)



Figura 42 – Cinco fotografias iniciais foram processadas com o *software Hugin* para a geração desta imagem final

fia sem nitidez. Além disso, as objetivas utilizadas em macrofotografia acentuam essa característica, e diminuem a profundidade de campo ainda mais (KAWAMURA, 1986).

A técnica de empilhamento de foco vem a mitigar esse problema, estendendo a profundidade de campo por meio da captura de várias fotografias do mesmo objeto e sobrepondo-as em uma etapa de pós-processamento, tendo o foco de cada uma delas regulado para os diversos planos que se deseja apareçam na imagem final com nitidez. É feita uma sobreposição dos planos em foco das várias imagens de entrada,

gerando uma imagem final como se houvesse uma profundidade de campo muito maior, e assim, possibilitando a melhor observação do objeto fotografado (BRECKO et al., 2014; C. ZHANG et al., 2013). Um exemplo dessa técnica de empilhamento de foco pode ser visto nas imagens da Figura 43.

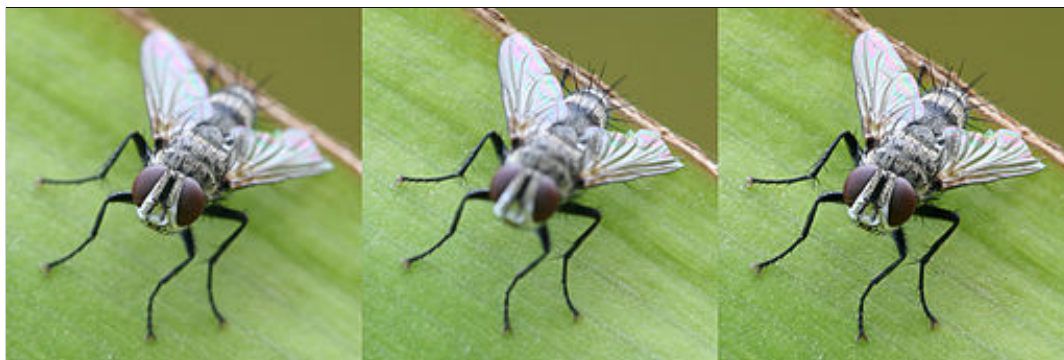


Figura 43 – As duas primeiras imagens à partir da esquerda, ilustram a questão da profundidade de campo, enquanto a imagem à direita é o resultado final do empilhamento de seis imagens. (Muhammad Mahdi Karim CC BY-SA 3.0 (MUHAMMAD MAHDI KARIM, 2018))

Essa técnica é semelhante ao que já é feito de modo transparente pelas câmeras digitais, quando se captura uma fotografia usando o modo High-dynamic-range imaging (HDR). Nesse modo, no momento em que o usuário pressiona o botão de disparo, na realidade, a câmera captura uma série de fotografias, cada uma delas com uma exposição diferente. Ao final, todas as fotografias são processadas, juntando na fotografia final as partes mais bem expostas, criando uma imagem com uma distribuição de luz bem mais uniforme, o que deixa a imagem com um tom de artificial. Ambas as técnicas são empregadas tanto na fotografia de entretenimento, como na pesquisa científica nas áreas de botânica, biologia e outras.

A.3- Equipamentos para a Fotografia Digital Avançada

Embora seja possível fazer algumas fotografias avançadas com a câmera na mão, é quase uma obrigação o uso de, pelo menos, um bom tripé para a obtenção de fotografias digitais avançadas e de qualidade. Normalmente, o usuário faz uso de equipamentos especiais acoplados sobre a cabeça do tripé que, por sua vez, controlam o

movimento horizontal e vertical da câmera. Tais equipamentos mantêm a câmera firme o suficiente para possibilitar a configuração de uma menor velocidade do obturador, menor sensibilidade do sensor ISO e a utilização de diafragmas médios, fatores que melhoram a qualidade da fotografia sensivelmente. Esses aparelhos têm preços muito variados nas lojas do mercado, mas podem ser feitos à mão pelo usuário com alumínio, madeira ou impressos em uma impressora 3D. A Tabela 9 descreve alguns dos equipamentos mais referenciados no mercado mundial para muitos tipos de fotografia avançada.

Tabela 9 – Tabela dos principais equipamentos disponíveis no mercado fotográfico para a criação de fotografias avançadas

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM FOTOGRAFIA AVANÇADA				
Nome do equipamento	Panorâmica	360°	Time lapse	Empilhamento Imagens
Ultralight Panohead	sim	sim	limitado	sim
Genie mini	sim	não	limitado	sim
Feisol PB-70 Panning	sim	não	limitado	sim
GigaPan EPIC Robotic	sim	sim	limitado	sim
SliderPLUS	sim	não	sim	sim
eMotimo Dana Dolly	sim	não	sim	sim
Cinetics Lynx Slider	sim	não	sim	sim
CineMoco Dolly	sim	não	sim	sim

Todos esses equipamentos citados aqui e outros disponíveis no mercado, tem custo/benefício bem diferentes e todos eles têm o foco em uma determinada técnica. Alguns desses dispositivos são capazes de avançar e retroceder sobre rodas em um trilho deslizante e obter as fotografias utilizadas para a criação de vídeos *time-lapse*, como visto na Tabela 9 acima. No entanto, a maioria deles se move manualmente sem sincronismo entre a frequência de obtenção das fotografias e o deslocamento da ferramenta robótica, dificultando a repetição de uma sequência específica que tenha gerado um bom conjunto de imagens anteriormente.

A Figura 44 exibe o Lynx 3 Axis Slider da Cinetics, que é um excelente equipamento para capturar imagens e gerar vídeos *time-lapse*, entretanto é um equipamento de alto custo e possui uma interface com o usuário fraca.

Já o GIGA Pan da Figura 45 ao lado, é um equipamento voltado para fotografia 360° imersiva, não possui muitos recursos para produzir vídeos *time-lapse*, é um equipamento de alto custo e também possui uma interface com o usuário fraca.

Uma opção bem mais simples e de menor custo é o *Ultra Light Pano Head* da



Figura 44 – Lynx 3 Axis Slider da Cinetics (CINETICS, 2018)



Figura 45 – GIGA Pan (GIGAPAN SYSTEMS, 2018)

Figura 46. Esse é um equipamento destinado a fotografia 360° imersiva com muito pouca possibilidade de ser utilizado para outras técnicas de fotografia digital avançada. Esse equipamento funciona somente como um suporte para a câmera, sem que haja nenhum controle computadorizado sobre o equipamento ou a câmera. É completamente manual.

A.4- Intervalômetro

Os intervalômetros são um tipo de equipamento para fotografia digital avançada que podem ser acoplados as câmeras fotográficas de várias formas. Destina-se principalmente ao controle dos disparos da câmera, e assim, ser capaz de produzir as fotografias que comporão um vídeo *time-lapse*. A Figura 47 exibe um modelo de intervalômetro que



Figura 46 – *Ultra Light Pano Head*

pode ser usado por várias marcas de câmeras disponíveis no mercado.



Figura 47 – Intervalômetro sem fio *Vello ShutterBoss III* da (GRADUS GROUP LLC, 2018) destinado ao controle de vários tipos de câmeras, inclusive, a Canon PowerShot G15 utilizada pelo TiBOT. Este aparelho possui dois módulos, o receptor e o transmissor, e se comunicam entre si por uma conexão sem fio. O transmissor possui uma pequena tela LCD pelo qual o usuário realiza as configurações dos intervalos de tempo entre os disparos e outras características do vídeo *time-lapse*, e as transmite para o receptor que é conectado a câmera pelo por meio de um cabo

A.5- Impressão 3D

A armadura física do TiIBOT foi impressa inicialmente em uma impressora 3D Movtech (MOVTECH, 2018), como visto na Figura 48.



Figura 48 – Impressora Movtech 3D do tipo "impressora de extrusão"

Posteriormente, foi utilizado uma impressora 3D Anet A8 (SHENZHEN ANET TECHNOLOGY CO., LTD., 2018), como pode ser visto na Figura 49, também do tipo "impressora de extrusão", ou Fused Deposition Modeling (FDM), de funcionamento muito simples que consiste no tracionamento de um filamento de plástico que é conduzido para a extrusão onde esse material é derretido por um bico aquecido e o deposita em camada sobre camada e é então depositado na base da impressora denominada "cama quente". O filamento utilizado para a impressão em ambas as impressoras foi o plástico Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS), que é muito resistente, tem uma pequena flexibilidade e não se decompõe em contato com a luz.

A impressora 3D de extrusão segue as coordenadas fornecidas por um *software* chamado Cura (ULTIMAKER B.V., 2018), que é um programa de fatiamento que determina as características de impressão, tais como, tipo e quantidade de preenchimento, temperatura da extrusora e da "cama quente", suporte para partes suspensas, movimentação da extrusora, dentre outras.

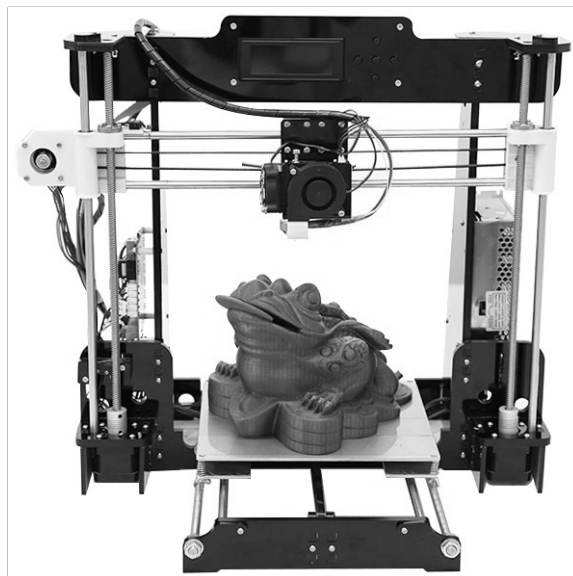


Figura 49 – Impressora Anet A8 do tipo Prusa I3 (PRUSA PRINTERS, 2018) do tipo FDM. É a impressora 3D mais utilizada no Mundo

A.6- Códigos de Geração de Vídeos Multi *Time-Lapse*

O *script* "MultiTime-LapseGenerator.sh" é o código utilizado para mover os arquivos correspondentes a cada vídeo de um projeto de vídeo Multi *Time-Lapse* para um diretório específico. Com os arquivos já separados por diretório, o *script* gera o vídeo de acordo com as informações dos argumentos de entrada.

Código 4 – Script de separação e geração dos múltiplos vídeos *time-lapse* contidos em um diretório

```
#!/bin/bash
MULTITIMELAPSEDIR=$1
TIMELAPSEDIR=$MULTITIMELAPSEDIR/TL
ix=0
timelapseNum=0
if [ ! $# == 3 ]
then
    echo "====> Ex.: $0 <Input Directory> <Nun. videos time-lapse>"
    echo "                <fps>. Tente novamente!"
    echo "====> Gera os varios videos time-lapse"
    echo "                atraves das imagens do diretorio."
```

```

# exit 1
fi
for (( i=1; i <= $2; ++i ))
do
    if [ -d "$TIMELAPSEDIR$i" ]; then
        echo Removing all files in directory: $TIMELAPSEDIR$i
        rm -r "$TIMELAPSEDIR$i"/*
    else
        echo Creating directory: $TIMELAPSEDIR$i
        mkdir "$TIMELAPSEDIR$i"
    fi
    echo "$i"
done
for entry in "$MULTITIMELAPSEDIR"/*
do
    if [ ! -d $entry ]
    then
        fullname="$entry"
        echo "$fullname"
        let "timelapseNum = ix % $2 + 1"
        fname="{fullname##*/}"
        mv -f -v $entry $TIMELAPSEDIR$timelapseNum/$fname
        let "ix += 1"
    fi
done
for (( i=1; i <= $2; ++i ))
do
    # Criar video time-lapse
    # cd "$TIMELAPSEDIR$i"
    ffmpeg -r $3 -pattern_type glob -i "$TIMELAPSEDIR$i/*.JPG" -c:v
        copy $TIMELAPSEDIR$i/output$i.avi
    echo "$i"
done

```

```
#exit 0
```

A.7- Código Embarcado no TiIBOT Responsável pelo Disparo da Câmera Fotográfica

O Código abaixo é método responsável pelo acionamento da câmara fotográfica para captura da imagem naquele momento.

Código 5 – Método do *software* do Arduino embarcado no TiIBOT, cuja finalidade é o acionamento da câmara fotográfica

```
void takeAPictureNow(unsigned int argShutterSpeed ,
                    boolean argSetFocus){
    if (argSetFocus) {
        digitalWrite(FOCUSPIN, HIGH); // Press shutter halfway
        delay(300);                    // to focus
    }// if
    digitalWrite(SHUTTERPIN, HIGH); // Press shutter button
    delay(500);                       // wait a time
    if (argSetFocus)
        digitalWrite(FOCUSPIN, LOW); // Release focus
    digitalWrite(SHUTTERPIN, LOW); // Release shutter button
    if (argShutterSpeed != 0)
        delay(argShutterSpeed + DELAYAFTERPIC); // wait a time
} // takeAPictureNow()
```

Bibliografia

360CITIES S.R.O. **Stock 360 Panoramic Images and Videos for VR and more - 360Cities**. Prague, Czech Republic: 2018. Disponível em: <<https://www.360cities.net/>>. (Acesso em: 11/04/2018).

A4988_DMOS_MICROSTEPPING_DRIVER_WITH_TRANSLATOR.PDF. Las Vegas, Nevada, United States: 2019. https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf. (Acesso em: 07/04/2019).

ACM SIGGRAPH. **Home — ACM SIGGRAPH**. New York, NY, USA: 2019. Disponível em: <<https://www.siggraph.org/>>. (Acesso em: 26/05/2019).

ADAMS, Ansel. **The camera**. Boston: Little, Brown, 1995. ISBN 0821221841.

ADOMNICAÏ, Alexandre; FOURNIER, Jacques JA; MASSON, Laurent. Hardware Security Threats Against Bluetooth Mesh Networks. In: IEEE. 2018 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS). Beijing, China: IEEE, 2018. p. 1–9.

AHN, Yushin; BOX, Jason E. Instruments and Methods Glacier velocities from time-lapse photos: Technique development and first results from the Extreme Ice Survey (EIS) in Greenland. **Journal of Glaciology**, v. 56, n. 198, p. 723–734, 2010. ISSN 00221430. DOI: 10.3189/002214310793146313. arXiv: 9805202 [cond-mat].

ALVES DA SILVA, Cristiano et al. Drone na Auditoria Ambiental: Potencialidades e Aplicações. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, 2018.

ANDREWS, Philip. **360 imaging : the photographer's panoramic virtual reality manual**. Switzerland: RotoVision, 2003. ISBN 978-2880467326.

ARDUINO. **Arduino - Software**. Monza, Italy: 2018. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. (Acesso em: 08/04/2019).

ASTRONOMICAL terms used to measure direction. Stanford, California, United States: 2019, 2019. https://graphics.stanford.edu/projects/gantry/design/astronomical_terms.html. (Acesso em: 06/03/2019).

ATMEGA328 - 8-bit AVR Microcontrollers. Chandler, Arizona, United States: 2019. <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>. (Acesso em: 02/03/2019).

BENNETT, Eric P.; MCMILLAN, Leonard. Computational time-lapse video. **ACM Transactions on Graphics**, v. 26, n. 3, p. 102, 2007. ISSN 07300301. DOI: 10.1145/1276377.1276505.

BORREGUERO, David; VELASCO, Omar; VALENTE, João. Experimental Design of a Mobile Landing Platform to Assist Aerial Surveys in Fluvial Environments. **Applied Sciences**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 1, p. 38, 2019.

BRECKO, Jonathan et al. Focus stacking: Comparing commercial top-end set-ups with a semi-automatic low budget approach. A possible solution for mass digitization of type specimens. **ZooKeys**, v. 23, n. 464, p. 1–23, 2014. ISSN 13132970. DOI: 10.3897/zookeys.464.8615.

BRINNO INC. **Brinno**. Taipei City, Taiwan: 2018. <https://www.brinno.com/>. (Acesso em: 30/05/2018).

BYERS, Zachary et al. Say Cheese ! Experiences with a Robot Photographer. **AI Magazine**, v. 25, n. 3, p. 37–46, 2004. ISSN 0738-4602.

BYERS, Z. et al. An autonomous robot photographer. **IEEE International Conference on Intelligent Robots and System**, November, p. 2636–2641, 2003. DOI: 10.1109/IR0S.2003.1249268.

CAMONETEC. **CamOneTec — Willkommen bei CamOneTec - Westwood - Germany**. Delbrück, Deutschland: 2018. <http://www.camonetec.com/>. (Acesso em: 28/05/2018).

CANON INC. **PowerShot G3 Camera User Guide**. Japan, 2002.

CANON U.S.A., INC. **PowerShot SD/ELPH Series — PowerShot SD1000 — Canon USA**. United States: 2018. Disponível em: <<https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/products/details/cameras/support-point-and-shoot/powershot-sd-elph-series/powershot-sd1000>>. (Acesso em: 14/04/2018).

CHYLINSKI, Ryan. **Time-lapse photography: a complete introduction to shooting, processing, and rendering time-lapse movies with a DSLR camera**. United States: Cedar Wings Creative, 2012. ISBN 9780985375713.

CINETICS. **Cinetics**. Austin, Texas, United States: 2018. Disponível em: <<https://cinetics.com/>>. (Acesso em: 11/04/2018).

COVINGTON, Michael. **Digital SLR Astrophotography**. Cambridge New York: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-70081-8.

DAN HELLER PHOTOGRAPHY. **Dan Heller's Stock Photography and Business Resources**. 2018. Disponível em: <<http://www.danheller.com/>>. (Acesso em: 11/04/2018).

DARKTABLE. **darktable**. 2019. <https://www.darktable.org/>. (Acesso em: 12/04/2019).

DE ANDRADE, Nelson Spangler; ARAÚJO, A de A. Multimídia para acesso a acervos históricos. **Revista iP-Informática Pública, PRODABEL, Belo Horizonte-MG, Brazil**, v. 2, n. 1, p. 49–66, 2000.

DPREVIEW. **Digital Photography Review**. United States: 2019. <https://www.dpreview.com/>. (Acesso em: 14/04/2019).

EASYEDA. **EasyEDA - PCB design & simulação de circuitos online**. Shenzhen, Guangdong, China: 2018. <https://easyeda.com/>. (Acesso em: 23/05/2018).

EDWARDS, Margo H. et al. Time-lapse camera studies of sea-disposed chemical munitions in Hawaii. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, Elsevier, v. 128, p. 25–33, 2016. ISSN 09670645. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.03.003.

EX-ZS35 — STANDARD — Digital Cameras — CASIO. Higashine City, Yamagata, Japan: 2019. https://www.casio-intl.com/asia/en/dc/products/ex_zs35/. (Acesso em: 01/03/2019).

FAI, Yeong Che et al. Bluetooth enabled mobile robot. **Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology**, v. 2, p. 903–908, 2002. DOI: 10.1109/ICIT.2002.1189288.

FLICKR. **Encontre sua inspiração. — Flickr**. San Francisco, California, United States: 2018. Disponível em: <<https://www.flickr.com/>>. (Acesso em: 12/04/2018).

FROST, Lee. **Lee Frost's panoramic photography**. Newton Abbot: David & Charles Distributed in North America by F+W Publications, 2005. ISBN 978-0715319697.

FU, Guohe; ZHANG, Xinyu. ROSBOT: A low-cost autonomous social robot. In: IEEE. 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). [S.l.: s.n.], 2015. p. 1789–1794.

GAGO, Nuno Alexandre Silva Fernandes do. **Fusão multissensorial para aplicação em robô de monitorização agrícola**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho.

GIGAPAN SYSTEMS. **GigaPan — High-Resolution Images — Panoramic Photography — GigaPixel Images**. Portland, Oregon, United States: 2018. Disponível em: <<http://www.gigapan.com/>>. (Acesso em: 11/04/2018).

GIMP. **GIMP - GNU Image Manipulation Program**. Berkeley, California, United States: 2019. <https://www.gimp.org/>. (Acesso em: 14/04/2019).

GOOGLE. **Android**. California, United States: 2019. <https://www.android.com/>. (Acesso em: 08/04/2019).

_____. **Google Maps**. California, United States: 2019. <https://www.google.com.br/maps/@-22.9078647,-43.1020129,15z>. (Acesso em: 17/04/2019).

_____. **Google Street View – Apps no Google Play**. California, United States: 2019. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.street&hl=pt_BR. (Acesso em: 13/04/2019).

GRADUS GROUP LLC. **Vello — Camera & Flash Accessories**. New York, NY, United States: 2018. <http://www.vellogear.com/>. (Acesso em: 15/11/2018).

HARVARD Architecture - an overview — ScienceDirect Topics. United States: 2019. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/harvard-architecture>. (Acesso em: 02/03/2019).

HELMKE, Matthew. **The official Ubuntu book**. Boston: Prentice Hall, 2017. ISBN 978-0134513423.

HONGDAK. **Hongdak telecomando Rs 60E3 para para canon 1000D / 600D / 550D / 450D / 400D / 350D / ... em Liberação do obturador de Aparelhos eletrônicos no AliExpress.com — Alibaba Group**. China: 2019. <https://pt.aliexpress.com/item/Hongdak-Remote-Switch-Rs-60E3-For-for-canon-1000D-600D-550D-450D-400D-350D/1693087867.html>. (Acesso em: 10/04/2019).

HUGIN - Panorama photo stitcher. 2019. <http://hugin.sourceforge.net/>. (Acesso em: 08/04/2019).

INC, Canon. **PowerShot G15 Camera User Guide**. Japan, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO - International Organization for Standardization**. Geneva, Switzerland: 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/home.html>>. (Acesso em: 11/04/2018).

INTERNET ARCHIVE WAYBACK MACHINE. **Russell A. Kirsch : SEAC and the Start of Image Processing at the National Bureau of Standards - National Institute of Standards and Technology Virtual Museum**. 2018. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20120809014144/http://museum.nist.gov/panels/seac/KIRSCH.HTM>>. (Acesso em: 30/04/2018).

IROBOT CORPORATION. **iRobot Vacuum Cleaning, Mopping & Outdoor Maintenance**. 2018. Disponível em: <<http://www.irobot.com/>>. (Acesso em: 13/04/2018).

ISOLA, Phillip et al. What makes a photograph memorable? **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 36, n. 7, p. 1469–1482, 2014. ISSN 01628828. DOI: 10.1109/TPAMI.2013.200.

KAMRIANI, Felicia. **App Inventor 2 Essentials a step-by-step introductory guide to mobile app development with App Inventor 2**. Birmingham: Packt Publishing, 2016. ISBN 978-1785281105.

KAWAMURA, Atsushi. **Macro-focus zoom lens**. Google Patents, mar. 1986. US Patent 4,576,444.

KDENLIVE — Libre Video Editor. 2019. <https://kdenlive.org/en/>. (Acesso em: 14/04/2019).

KINTEL, Marius. **OpenSCAD - The Programmers Solid 3D CAD Modeller**. 2019. <http://www.openscad.org/>. (Acesso em: 20/04/2019).

KIT de desenvolvimento de software (SDK) do Intel® RealSense™ 2.0 — Intel® Software. 2019. <https://software.intel.com/pt-br/realsense/sdk>. (Acesso em: 06/04/2019).

KOBAYASHI, Hirokazu. **CCD solid-state imaging device and digital camera**. Set. 2005. US20050212940A1.

KOSTAVELIS, Ioannis; GASTERATOS, Antonios. Semantic mapping for mobile robotics tasks: A survey. **Robotics and Autonomous Systems**, Elsevier, v. 66, p. 86–103, 2015.

LEGAULT, Thierry. **Astrophotography**. Santa Barbara, CA: Rocky Nook, 2014. ISBN 9781492015611.

LITTLEFIELD, Rik. **Theory of the “No-Parallax” Point in Panorama Photography**. Version, 2006.

LIU, Wei; LI, Hongyun. Time-lapse photography applied to educational videos. **2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2012 - Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 3669–3672, 2012. DOI: 10.1109/CECNet.2012.6202303.

LLANOS, Pablo; NOCETI, Rodrigo; CASASSA, Gino. Real-time transmission of time-lapse imagery of glaciers in the southern Andes, p. 15–17, 2017.

LORENZ, Ralph D.; JACKSON, Brian; BARNES, Jason W. Inexpensive time-lapse digital cameras for studying transient meteorological phenomena: Dust devils and playa flooding. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 27, n. 1, p. 246–256, 2010. ISSN 07390572. DOI: 10.1175/2009JTECHA1312.1.

LORENZ, Ralph D; MYERS, Melissa J. Dust devil hazard to aviation: A review of United States air accident reports. **Journal of Meteorology**, v. 30, n. 298, p. 179–184, 2005.

LYONS, Max. **PTAssembler Assemblage de panoramas et mosaïques Guide pour les débutants basé sur un exemple**. Edição: PTAssembler. February 2003.

MANFROTTO. **Manfrotto US — Camera Tripods & Photography Accessories**. New Jersey, United States: 2019. <https://www.manfrotto.us/>. (Acesso em: 10/04/2019).

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **ATmega48/88/168**. 2018. http://atmega32-avr.com/Download/atmega328_datasheet.pdf. (Acesso em: 22/05/2018).

MICROSOFT CORPORATION. **Kinect Sensor**. United States: 2018. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>>. (Acesso em: 12/04/2018).

MOTOROLA. **Moto G4 Plus 32GB Octa-Core — Smartphone Motorola - Motorola**. 2019. <https://www.motorola.com.br/moto-g4-plus/p>. (Acesso em: 13/04/2019).

MOVTECH. **movtech — Site oficial da empresa Movtech**. 2018. <http://movtech.com.br/>. (Acesso em: 18/11/2018).

MOVTECH INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE TECNOLOGIA LTDA. **Impressoras 3D**. 2018. Disponível em: <<http://www.movtech3d.com/impressoras-3d.html>>. (Acesso em: 11/04/2018).

MUHAMMAD MAHDI KARIM. **Under Construction**. 2018. Disponível em: <<http://www.micro2macro.net/>>. (Acesso em: 24/04/2018).

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **ns-sdc_m04_11ea.jpg (22882119)**. Washington, DC, United States: 2018. Disponível em: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/nssdc_m04_11ea.jpg>. (Acesso em: 04/05/2018).

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST. **Fiftieth Anniversary of First Digital Image Marked — NIST**. Maryland, United States: 2018. Disponível em: <<https://www.nist.gov/news-events/news/2007/05/fiftieth-anniversary-first-digital-image-marked>>. (Acesso em: 05/10/2018).

NEGRI, Simone Pio et al. A modular mobile robotic architecture for defects detection and repair in narrow tunnels of CFRP aeronautic components. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Elsevier, v. 55, p. 109–128, 2019.

NEMA17-SCHNEIDER.PDF. 2019. <https://cdn.datasheetspdf.com/pdf-down/N/E/M/NEMA17-schneider.pdf>. (Acesso em: 07/04/2019).

NETWORKING, Personal Area. Enabler for Personal Area Networking. October, p. 28–37, 2001.

NEW HOUSE INTERNET SERVICES B.V. **Photo stitching software 360 degree Panorama image software - PTGui Stitching Software**. 2018. Disponível em: <<https://www.ptgui.com/>>. (Acesso em: 20/04/2018).

NIKON CORPORATION. **Nikon — Imaging Products — COOLPIX 995**. 2018. Disponível em: <<http://imaging.nikon.com/lineup/coolpix/others/995/index.htm>>. (Acesso em: 14/04/2018).

NIKON DO BRASIL LTDA. **Câmera DSLR D5500 Nikon**. 2018. Disponível em: <<http://www.nikon.com.br/nikon-products/product-archive/dslr-cameras/d5500.html>>. (Acesso em: 14/04/2018).

NIST. **National Institute of Standards and Technology - NIST**. Maryland, United States: 2018. Disponível em: <<https://www.nist.gov/>>. (Acesso em: 30/04/2018).

NORRIS, Richard D. et al. Sliding rocks on Racetrack Playa, Death Valley National Park: First observation of rocks in motion. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. 1–11, 2014. ISSN 19326203. DOI: 10.1371/journal.pone.0105948.

OPEN SOURCE ROBOTICS FOUNDATION, INC. **TurtleBot**. United States: 2018. Disponível em: <<https://www.turtlebot.com/>>. (Acesso em: 12/04/2018).

OPTIO WG-1 - RICOH IMAGING EUROPE S.A.S. 2019. <https://www.ricoh-imaging.co.uk/en/digital-compact/optio-WG1>. (Acesso em: 01/03/2019).

PRUSA PRINTERS. **What's up with Original Prusa i3? - Prusa Printers**. 2018. <https://www.prusaprinters.org/whats-up-with-original-prusa-i3/>. (Acesso em: 18/11/2018).

QUADROS, João R et al. Development of a teaching tool using robotic concepts and programming. In: IEEE. 2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). Gran Canaria, Canary Islands, Spain: 2016. p. 1–6.

REEVES, R. **Introduction to Digital Astrophotography: Imaging the Universe with a Digital Camera**. [S.l.]: Willmann-Bell, 2011. ISBN 9780943396941.

REVOLUTION EDUCATION LTD. **PICAXE-08M2 microcontroller (AXE007M2) - Hardware - PICAXE**. 2018. <http://www.picaxe.com/Hardware/PICAXE-Chips/PICAXE-08M2-microcontroller/>. (Acesso em: 28/05/2018).

RIMLAND, Bernard et al. American Association for the Advancement of Science. v. 188, n. 4187, p. 401–406, 2016.

ROS.ORG — About ROS. 2019. <http://www.ros.org/about-ros/>. (Acesso em: 06/04/2019).

SCOPUS. **Scopus preview - Scopus - Welcome to Scopus**. 2019. <https://www.scopus.com/home.uri>. (Acesso em: 17/04/2019).

SFF. **Cursos de fotografia básico e avançados,estudio,laboratorio**. Niterói, RJ, Brasil: 2019. <https://www.sff.com.br/>. (Acesso em: 12/04/2019).

SHENZHEN ANET TECHNOLOGY CO., LTD. **Shenzhen Anet Technology Co.,Ltd – china 3D printer manufacturer**. 2018. <http://www.anet3d.com/>. (Acesso em: 18/11/2018).

SNAPOHOLIC. **Camera Shutter & Shutter Speed**. 2018. Disponível em: <<http://www.snapoholic.com/index.php/articles/photo-gear/134-shutter-speed>>. (Acesso em: 04/05/2018).

TEZUKA, Naoaki et al. Tidal Flat Observation and Monitoring Using Still Video and Network Cameras, p. 532–535, 2016.

THOUVENIN, Florent. **Remembering and forgetting in the digital age**. Cham, Switzerland: Springer, 2018. ISBN 9783319902296.

TSITSIMPELIS, Ioannis et al. A review of ground-based robotic systems for the characterization of nuclear environments. **Progress in Nuclear Energy**, Elsevier, v. 111, p. 109–124, 2019.

ULTIMAKER B.V. **Ultimaker Cura: Advanced 3D printing software, made accessible**. 2018. <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>. (Acesso em: 18/11/2018).

UPTON, Eben. **Raspberry Pi user guide**. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2012. ISBN 978-1118921661.

VISTAQUEST CORPORATION. **VistaQuest User Manual**. 2018. <http://www.vistaquestusa.com/>. (Acesso em: 31/05/2018).

WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION. **Time-Lapse Camera : MISO Facility**. 2018. Disponível em: <<http://www.whoi.edu/page.do?pid=17620>>. (Acesso em: 14/04/2018).

YOUTUBE. **(537) YouTube**. 2019. <https://www.youtube.com/>. (Acesso em: 20/04/2019).

ZABARAUSKAS, Manfredas; CAMERON, Stephen. Luke: An autonomous robot photographer. **Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation**, p. 1809–1815, 2014. ISSN 10504729. DOI: 10.1109/ICRA.2014.6907096.

ZHANG, Chao et al. EXTENDED DEPTH-OF-FIELD VIA FOCUS STACKING AND GRAPH CUTS Beijing Institute of Technology , Beijing 100081 , China the University of Adelaide , SA 5005 , Australia, p. 1272–1276, 2013.