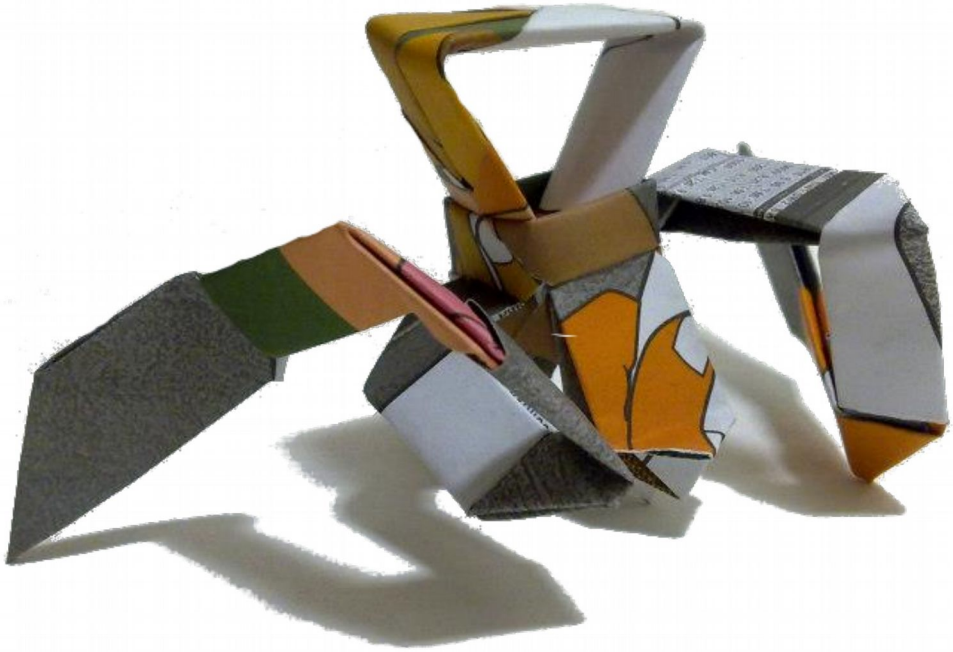
ORIGAMI E ROBÓTICA

Do Plano ao Tridimensional



Daniel Seda

2018

UNESP | UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA | INSTITUTO DE ARTES

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARTES

MESTRADO EM ARTES

Daniel Seda Pereira de Moraes

Origami e Robótica:
Do Plano ao Tridimensional

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Artes do Instituto de Artes,Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título deMestre em Artes pelo Programa de Pós-graduação em Artes. Área de concentração: Artes Visuais. Linha de Pesquisa: Processos e procedimentos artísticos Orientador: Profa.Dra. Rosangela da Silva Leote.

São Paulo

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Artes da UNESP

M827o Moraes, Daniel Seda Pereira de
Origami e robótica : do plano ao tridimensional / Daniel Seda Pereira de Moraes. - São Paulo, 2018.
125 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Rosangela Leote da Silva.
Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Artes.

1. Arte e tecnologia. 2. Arte por computador. 3. Origami. 4. Robotica. 5. Arduino (Controlador programável). I. Silva, Rosangela Leote da. II. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Artes. III. Título.

CDD 700.105

(Laura Mariane de Andrade - CRB 8/8666)

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de São Paulo

instituto de artes

ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA

Atestamos que **DANIEL SEDA PEREIRA DE MORAES**, RA nº: ART160172, RG nº 23.003.713-6, expedido pela SSPSP, defendeu, no dia 18/06/2018, a dissertação intitulada **ORIGAMI E ROBÓTICA: do Plano ao Tridimensional**, junto ao Programa de Pós Graduação em Artes, Curso de Mestrado Acadêmico, tendo sido 'APROVADO'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

São Paulo, 18 de junho de 2018

Rodrigo Gutierrez Leão
Supervisor
Seção Técn. Pós-Graduação

Agradecimentos

Ninguém faz nada sozinho e minha pesquisa se apóia em pesquisas de outras pessoas então começo agradecendo a existência dos meus objetos de pesquisa, as pesquisas de Robert J. Lang, Peter Engel, Akira Yoshizawa e da equipe de Daniela Rus. O mesmo nível de gratidão tenho com o projeto GNU, os textos de Richard Stallman e o mestrado de Hernando Barragan, então agradeço a eles também.

Também é necessária a existência do pesquisador portanto agradeço à minha família pela minha existência: minha mãe, Elen e meu pai Edson. Agradeço ao meu irmão Edi pelo apoio constante e ao meu irmão Sol por existir e gostar de muitos dos assuntos que me interessam rendendo sempre boas conversas. Agradeço a minha filha Beatrice pelo apoio e presença constante mesmo distante no mapa. Agradeço à minha prima Virgínia e ao Dirceu pelas conversas, agradeço a todos os meus primos e primas e tios e tias por todo o amor e o carinho. Agradeço ao amigo e vizinho Pedro Castelo pelo companheirismo e pelos delírios elétricos autosustentáveis.

Em sequência agradeço à banca de seleção do Instituto de Artes da UNESP por ter aceito a minha pesquisa: a professora Rosangela Leote e o professor José Spaniol. Agradeço ao Victor Guerra por ter me avisado da existência deste mestrado e lembrado da localização do Campus de Artes da UNESP. Agradeço à Hosana Celeste por ter me recomendado a minha futura orientadora. Em sequência agradeço ao Nigel Anderson por ter me convidado para conhecer o grupo de pesquisa liderado pela professora Rosangela, o GIIP. Agradeço ao Fernando Fogliano, ao Milton Sogabe e ao João Cardoso Palma Filho, à Cláudia Fazzolari. Agradeço aos funcionários da secretaria da pós, Fábio e Ângela, e a todos os colegas de aulas. Agradeço também a todos os membros do GIIP pelo acolhimento nas reuniões e nos projetos. Agradeço ao Miguel Alonso pelas muitas conversas e pela parceria nas diversas obras e estudos e também ao Gustavo Lemos, ao Rodrigo Rezende, Fernanda Duarte, Luis Quesada, Daniel Malva e Maurício Jabur, o Mau Maker, por todas as conversas aleatórias e sempre enriquecedoras. Agradeço à Karina Montenegro por ter me dado a primeira aula de Arduino e por ter me ensinado muito depois disso.

Agradeço aos meus companheiros de trabalho no Espaço de Tecnologias e Artes do SESC muito apoiaram e ajudaram a fomentar as minhas pesquisas desde antes do ingresso no mestrado como Luiz Falcão, Luiz Ricas, Rachel Leão, Sergio Servollo, Danilo Baraúna, Erika Mourão Trindade Dutra, Fabinho Vasconcellos, Cláudia, Gisela Ribeiro Rodrigues, Gustavo Torrezan, Melina Izar Marson. Agradeço a todos os outros amigos do SESC que me apoiaram desde o início, Thaís, Jaque, André, Márcio, Rui, Nat, Jerusa, Morrissey, Tuani, Selene, Ivy, Ângela, Ju Pais, Julieta, Patinha, Eloá, Carol, Tânia, Andréa, Fabi, Antônio, Marcão, Fernanda, Sandro, Guilhermo, Gustavo, Vivi, Amanda, Gabi, Carol Vidal, Carol, Lucas, Bruno, e eu certamente esqueci de alguém portanto se você estava lá sinta-se agradecida, agradecido.

Agradeço aos companheiros das outras unidades do SESC por onde passei dentro deste processo de pesquisa como os parceiros Leonardo França, Edu Paiva e André Malaquias, todos os orientadores de público e agentes de atendimento: a Cris Valenzuela, a Talita, a Juliana, a Monica, o Luiz, o Edu, o Edson, o Thomas. Agradeço ao Juliano Azevedo e à Monica Machado pela confiança e pelo convite e agradeço à Ana Paula Cechinel, pelas bem sucedidas parcerias realizadas com a blbioteca do Sesc Bom Retiro. Agradeço também à Kátia Caliendo primeiro lá e atualmente no SESC Avenida Paulista.

Agradeço à equipe do SESC Avenida Paulista, Felipe Mancebo, Melina Izar Marson, Adriana Souza, Fernando Mekaru, Lilian Sarmento Sales, Giovanna Pezzuol Mazza, Hugo Cabral Carneiro e demais técnicos, Rafael Garcia, Pat AB, Fabrício Massutti, Maraíza Adami, Alexandre Villares, e também à Anne e a toda a equipe do Sócio Educativo. Agradeço aos orientadores de público de todas as unidades do SESC onde eu passei enquanto realizava esta pesquisa: Itaquera, Bom Retiro e Avenida Paulista. Agradeço às equipes de segurança e de limpeza em todos os momentos pelo apoio constante. Agradeço imensamente à equipe de alimentação do Sesc Itaquera pelo almoço diário durante os três anos que estive lá, quase dois deles dedicados à pesquisa e à Cleide e à equipe do Bom Retiro pelas refeições rápidas e deliciosas e à equipe do Avenida Paulista pelo cardápio divertido.

Agradeço a existência do Garoa Hacker Clube e agradeço à querida Monica Rizzolli e ao amigo Alexandre Villares a minha aproximação com o clube. Agradeço pela convivência com os membros e frequentadores do GHC que incluem Maurício Mudrik, Mike Howard, Fernando Guisso, Cassia Fernandez, Amanda Yumi Ambriola, Allan Moreira, João Adriano Freitas, Nathan Rabinovitch, Fernando Carril, Felipe 'Juca' Sanches, Gutem, Sandro. Agradeço aos frequentadores das Noites de Processing, encontro organizado pelo Alexandre Villares e a Monica Rizzolli no Garoa e do qual tive oportunidade de participar algumas vezes. Agradeço ao projeto Hackerspace Itinerante em todos os seus encontros por diversos FabLab da cidade de São Paulo como o Centro Cultural da Penha, CCSP. Agradeço aos organizadores do FIC – Festival de Invenção e Criatividade durante a FEBRACE, na Poli-USP quando pude apresentar os origamis robóticos.

Agradeço a todos os amigos que foram na expo entre eles o meu querido Almir Almas com sua pequena filha, Aracy, ao artista Andrei Thomaz contemporâneo nestas pesquisas de arte e tecnologias, Anita Cavaleiro, Alexandre Villares, Cibele Lucena, Gil Lucena Martins, Inácio, Gil Fuser, meu irmão Edi Sêda e Suzi Yumi, Fábio Fon e Soraya Braz, Filipe Ribeiro, Guilherme que estava então no ETA Ipiranga, ao Gustavo Torrezan, João Adriano Freitas, Luis Montrezol, Luis Quesada, Miguel Alonso, Maurício Mudrik e sua filha que monta cubos mágicos excêntricos, à minha amiga Milena Rodrigues e seu amigo Bigu, Rafael Garcia, Márcio Shima Shimabukuro, Victor Guerra e talvez eu tenha esquecido alguém, desculpa e obrigado.

Agradeço a todos os estudantes do BLAV 1 - 2018 do IA – UNESP que se dispuseram a trabalhar apenas pela experiência na montagem e monitoria da exposição promovida na Galeria do Instituto de Artes da UNESP sendo eles Daniel Boanerges, Dante Volpato, Flávia Marie, Laura Carvalho, Lucas Castro, Lucas

Gorzynski, Mariana Seragi, Mila Leme, Rebeca Honney, Ricado Gomes, Sabrina Lima, Sabrina Machado e Sabrina Fiorentino.

Agradeço à Vera Cozani que cuida da produção da Galeria Alcindo Moreira Filho e também à equipe do SAEPE: Moacir Vieira, Adriano Santos e Marco Aurélio.

Agradeço à Laura Mariane de Andrade que preparou a Ficha Catalográfica.

E agradeço a Deus, ao Nada e aos deuses todos e todas pela proteção, pela sorte e principalmente por terem criado o Universo, esta coisa imensa e terrível mas absolutamente linda.

ORIGAMI E ROBÓTICA

Daniel Seda

Mestrando pelo PPGA-UNESP

RESUMO

Nesta dissertação, eu discuto algumas das relações entre arte, ciência e tecnologia a partir da conexão entre o papel e a eletrônica. O foco da dissertação é como o papel, tecnologia ancestral, pode ganhar outras aplicações, especialmente na arte, ao se conectar a sistemas de código aberto para robótica. O conhecimento teórico e experimental sobre o tema converte-se na produção de uma série de objetos cinéticos apresentados em uma exposição junto com o texto final desta dissertação, que contém também um tutorial abrindo o código das obras realizadas, permitindo a sua replicação por outras pessoas.

Palavras-chave: origami, robótica, software livre, código aberto, Arduino, arte em papel.

ORIGAMI AND ROBOTICS

Daniel Seda

Mestrando pelo PPGA-UNESP

ABSTRACT

In this text, I discuss relations between art, science and technology starting from the connection between paper and electronics. The focus is how paper, ancestral technology, can gain other applications, especially in art, when connecting to open source systems for robotics. Theoretical and experimental knowledge on the subject compose a series of kinetic objects presented in an exposition along with the final text of this dissertation, which also contains a tutorial opening the code of the works carried out, allowing their replication by other people.

Keywords: origami, robotics, free software, open source, Arduino, papercraft

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –Esquema apresentado durante o 7º Encontro de Grupos de Pesquisa, 2017. Desenvolvimento: este autor.…….....……...15
Figura 2 – M. C. Escher, Azulejos de Alhambra, 1936. Fonte: Origami: From Angelfish to Zen, Peter Engel ….....……...20
Figura 3 – M. C. Escher, Divisão Regular do Plano, 1958. Segundo Engel os três primeiros quadrados são copiados de padrões de Alhambra (A e C) e de gravuras japonesas (B) e os três últimos são criação de Escher. Fonte: Origami: From Angelfish to Zen, Peter Engel …….……...21
Figura 4 – Página de um manuscrito Persa do século XVII, cópia de um livro árabe mais antigo com padrões de dobras para papéis quadrados. Fonte: Origami: From Angelfish to Zen, Peter Engel. ….....……...22
Figura 5 – Robert J. Lang, Cyclomatus metallifer, Opus 562, 2010. Fonte: <http://www.langorigami.com/composition/cyclomatus-metallifer-opus-562> …….23
Figura 6 – Padrão de dobras da Dobra Miura. Fonte: < https://en.wikipedia.org/wiki/Miura_fold#/media/File:Miura-Ori_CP.svg > ……...24
Figura 7 – Esquema de movimento para Dobra Miura. Fonte: NISHIYAMA, Yutaka. Miura Folding: Applying Origami to Space Exploration. Osaka, Osaka University Press, 2012. ……..25
Figura 8 – Robert J. Lang em frente ao protótipo desenvolvido pela NASA para o telescópio Eyeglass. Fonte: < http://www.langorigami.com/article/eyeglass-telescope > ….....……...26
Figura 9.- Alamo Stallion CP, base, and folded form, from Origami Design Secrets. Fonte: < http://www.langorigami.com/article/crease-patterns-art > ……27
Figura 10 – Tela do software TreeMaker. Fonte < http://www.langorigami.com/article/crease-patterns-art > ……28
Figura 11 – Exemplo de imagem em low-poly. Fonte < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LowPoly_Sphere_20.stl > …..……29
Figura 12 – Registro da tela do Origamizer. Fonte < http://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/software/ > ……31
Figura 13 – Registro de frames de um gif animado em um post no twitter anunciando o lançamento do software a ser lançado em 22 de junho de 2018 por Robbie Kraft . Fonte <https://twitter.com/RobbyKraft/status/1000079480478724096 > ……...32
Figura 14 – Bases de Origami presentes no livro Origami: From Angelfish to Zen. Fonte: Peter Engel. ……..33
Figura 15 – Padrão de dobras de um Tsuru em uma página do livro Hiden Senbazuro Orikata, de 1797. ……...34
Figura 16 – Walt Disney Pictures, Big Hero 6. 2014. Fonte:<http://www.sidefx.com > …….. 35
Figura 17 – Osamu Tezuka, AstroBoy. 1952. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astro_Boy > ……...36
Figura 18 – Roomba, iRobot. 2002. Fonte: <https://www.benzinga.com/ > ……...37

Figura 19 – Game of Life, John Horton Conway. 1970. Fonte: < http://web.stanford.edu/~cdebs/GameOfLife/ > ……...38
Figura 20 – M-Blocks, Romanishin, Gilpin, Rus. 2015 Fonte: CSAIL-MIT …..... 39
Figura 21 – Claytronics, Goldstein, Campbell, Lowry. 2005 Fonte: Carnegie Melon University ……39
Figura 22 – Miniature Origami Robot, Miyashita, Guitron, Ludesdorfer, Sung, Rus. 2015. Fonte: CSAIL-MIT …….. 42
Figura 23 – Ilustrações da placas Marminino e Franzininho. ……..... 51
Figura 24 – Wiring, Hernando Barragán. 2004 Fonte: Barragán…. ……...54
Figura 25 – Arduino Uno, Banzi. 2005 Fonte: Banzi ……54
Figura 26 – PomPom Mirror, Daniel Rozin. 2015 Fonte: <www.bitforms.com > 55
Figura 27 – Exemplo de notação no sistema Yoshizawa-Randlett-Harbin Fonte: Sarnitskiy Grigory ……... 57
Figura 28 – Tsuru que bate asas Fonte: Origami Action Models, Tomoko Fuse 58
Figura 29 – Padrão de calçada na Rua Augusta, Foto do autor. ……...61
Figura 30 – Mapa Dymaxion, criação de Buckminster Fuller. Fonte < https://hexnet.org/content/dymaxion-map > …… 62
Figura 31 – Origamis de Tartaruga e de Foca, criação e fotos do autor. ……62
Figura 32 – Papel para Origami Robótico embaixo do papel retangular que lhe serviu de modelo, criação e foto do autor. ……...63
Figura 33 – Formas criadas com um Papel para Origami Robótico, criação e fotos do autor. ……..64
Figura 34 – Papel para Origami Robótico dobrado em formato de peixe, criação e foto do autor. …… 65
Figura 35 – Lixobot, robô feito com plástico reciclado para apoio de aulas, criação e foto do autor, 2016. …… 66
Figura 36 – Pixel Cambaleante, criação e foto do autor. …….. 67
Figura 37 – Inutilidade Técnica, Daniel Seda e Rosangella Leote. ……. 68
Figura 38 – Florigami ou A Quadratura do Círculo. …… 68
Figura 39 – Coração Bate, obra de Daniel Seda e Miguel Alonso, 2016. …….. 70
Figura 40 – Coração 2.0, obra de Daniel Seda e Miguel Alonso, 2017. ……. 70
Figura 41 – OriCarro, Daniel Seda, 2016. ……... 71
Figura 42 – Estudo para origami robótico, método eixo, Daniel Seda, 2017. …....72
Figura 43 – Estudo para origamis robóticos, Daniel Seda, 2017. ……... 73
Figura 44 – Mão “robótica” de papel, Daniel Seda, 2015. …… 74
Figura 45 – Estudo para origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2016. …….. 75
Figura 46 – Estudo para Peixebot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2017. ……... 76
Figura 47 – Estudo para Peixebot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018. ……... 77
Figura 48 – Estudo para Sapobot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018. ……... 78
Figura 49 – Estudo para Buda Meditando, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018. ……..… 79
Figura 50 – Estudo para origami robótico, método pressão/alavanca, Daniel Seda, 2018 ……...… 80
Figura 51 – Sedatoy, Daniel Seda, 2012 ……... 80
Figura 52 – Sedatoy, Daniel Seda, 2012 ……... 81
Figura 53 – OriBot Sedatoy, processo de criação, Daniel Seda, 2018 ……81
Figura 54 – OriBot Sedatoy Foca, processo de criação, Daniel Seda, 2018 …….. 82

Figura 55 – Sedatoy Sirigami, processo de criação, Daniel Seda, 2018…….. 83
Figura 56 – Sedatoy Sirigami, registro do processo de criação, Daniel Seda, 2018…….. 83
Figura 57 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 1 …… 86
Figura 58 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 2 ……..…....87
Figura 59 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 3……..…...87
Figura 60 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 4 ……..…....88
Figura 61 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 5……..…....88
Figura 62 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 6……..…....89
Figura 63 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 7……..…....89
Figura 64 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 8……..…..90
Figura 65 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 9……..…..90
Figura 66 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 10……..……..…90
Figura 67 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 11……..……..…91
Figura 68 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 12……..……..…91
Figura 69 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 13……..……..…92
Figura 70 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 14……..……..…92
Figura 71 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 15..……..……..…93
Figura 72 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 16…….....……..…93
Figura 73 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 17 ……..…..…..…94
Figura 74 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 18 ……..…..94
Figura 75 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 19 ……..…....95
Figura 76 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 20 ……..…..…95
Figura 77 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 21 ……..…..…96
Figura 78 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 22 ……..…..…96
Figura 79 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 23 ……..…..…97
Figura 80 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 24 ……..…..…98
Figura 81 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 25 ...……..…..…98
Figura 82 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 26 ……..…..…99
Figura 83 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 27 ……..…..…99
Figura 84 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 28 ……..……100
Figura 85 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 29 ….....100
Figura 86 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 30 ….....101
Figura 87 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 32 …..... 101
Figura 88 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 32 …..... 102
Figura 89 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 33 …..... 102
Figura 90 – Tutorial para fazer um OriBot, passo 34 …..... 103
Figura 91 – Montagem das prateleiras para a exposição Origami e Robótica ..…105
Figura 92 – Exposição Origami e Robótica, projeto expositivo, Daniel Seda, 2018... ….....…106
Figura 93 – Exposição Origami e Robótica, registros, Daniel Seda, 2018.……....107
Figura 94 – Exposição Origami e Robótica, registros, Daniel Seda, 2018. ….....…108
Figura 95 – Exposição Origami e Robótica, registros, Daniel Seda, 2018. ….....…109
Figura 96 – Exposição Origami e Robótica, registros, Daniel Seda, 2018.. ……...110
Figura 97 – Exposição Origami e Robótica, registros, Daniel Seda, 2018. ….....…...111
Figura 98 – 1000 Tsurus em Pessoa, Daniel Seda, 2011-2013. ……..…112
Figura 99 – Estudos para Origamis Robóticos, Daniel Seda, 2016-2018. ...…..…112
Figura 100 – Papel para Origami Robótico, Daniel Seda, 2018. ……..…115
Figura 101 – Objetos Flutuantes Urbanos - Borboletas, Daniel Seda, 2013. ...…117

SUMÁRIO

Resumo ……..……...…8
Abstract ……..……...…9
Introdução ……..……... 14
1. Origami e Programação ……19
2. A Matéria Programável ……..……35
2.1. Matéria Programável Modular ……..……40
2.2. Matéria Programável de Superfície ……..……41
3. Software Livre e Código Aberto ...…..……..……43
3.1. Do Wiring ao Arduino ……..…….. 47
3.2. Comunidade Arduino …..……..……..……49
3.3. Aplicações na Arte ……...……..…… 51
4. Origami e Código Aberto ……..……..……57
5. Programando a Matéria ……..……60
5.1. Projetando Transformações ……..……...……60
5.2. Estudando Motores e Dobras ……...……65
5.2.1 Estudos preliminares ……..……..……65
5.3. Em busca da dobra automática ……...……...……71
5.3.1. Dobrando com o movimento de um eixo ……..……..…72
5.3.2. Dobrando com um fio ……..……..73
5.3.3. Aplicando pressão no papel com uma alavanca ……...…79
5.4. Construindo Origamis Robóticos, um tutorial em código aberto ……..85
5.4.1. Método Alavanca com motores servo: ORIBOT SIRIGAMI ……..…85
6. Exposição ……..……..……..……104
7. Conclusão ……..……..……114
8. Referências Bibliográficas ……..……...……119
9. Outras Fontes ……..……..……..…..121

Introdução

O papel, ainda hoje na era digital, é uma das tecnologias mais relacionadas à memória e à linguagem. Desde há muito, além de ser receptáculo para texto, o papel se dispõe também a receber dobras específicas que trazem para ele propriedades escultóricas, mecânicas e funcionais. Livros, rolos, papiros, envelopes e cartas: o papel não apenas vem sendo usado para transporte de informação através dos tempos, mas, como massa de celulose modelável, também vira caixas para transporte de matéria, de produtos e objetos físicos.

Neste trabalho, interessa sobretudo o papel visto como superfície em "duas dimensões" que, a partir da aplicação de um algoritmo composto por uma sequência de dobras, converte-se em objeto tridimensional pleno. A partir deste potencial de composição tridimensional resultante de uma sequência de dobras pode-se programar uma estrutura para dobrar e animar o papel. A pesquisa prática tem sua origem e horizonte nesta possibilidade de desenvolvimento.

A pesquisa resultou das experiências práticas que realizei unindo o estudo de origami, que eu já vinha fazendo desde 2011, com os estudos de Arduino aplicado à robótica começados em 2015. Quando percebi que as duas práticas, origami e robótica, podiam ser colocadas em relação formando um conjunto integrado e harmônico, comecei a procurar pesquisas já em andamento sobre o tema. Na ocasião, a pesquisa mais consistente que encontrei sobre esta relação foram os projetos que a equipe liderada pela pesquisadora Daniela Rus vinha desenvolvendo dentro do Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory – CSAIL, no Massachusetts Institute of Technology. Esses estudos são apresentados no capítulo 1 até o sub-item 1.2.2.

Esta pesquisa começou, portanto, já propondo investigar uma questão prática: como seria possível inserir movimento autônomo em estruturas de papel a partir de microcontroladores e demais componentes movidos à eletricidade e recebendo programação digital.

Para a parte sobre robótica desta pesquisa me apoiei no sistema Arduino de hardware livre. Projetado para criação de sistemas interativos, ele é apresentado no capítulo 1 a partir do sub-item 1.2.3., com uma discussão mais aprofundada nos sub-itens seguintes.

Na parte prática desta pesquisa, tive como foco a produção de estruturas articuladas compostas por papéis dobrados conectados uns aos outros e animados por motores, sensores e placas Arduino, ou similar, e que interagem com o entorno de modo autônomo através de sensores, imãs, botões, etc. Com esta prática de pesquisa, desenvolvi três métodos funcionais para dobrar superfícies planas. Os métodos estão ilustrados e explicados na imagem abaixo, apresentada durante o 7º

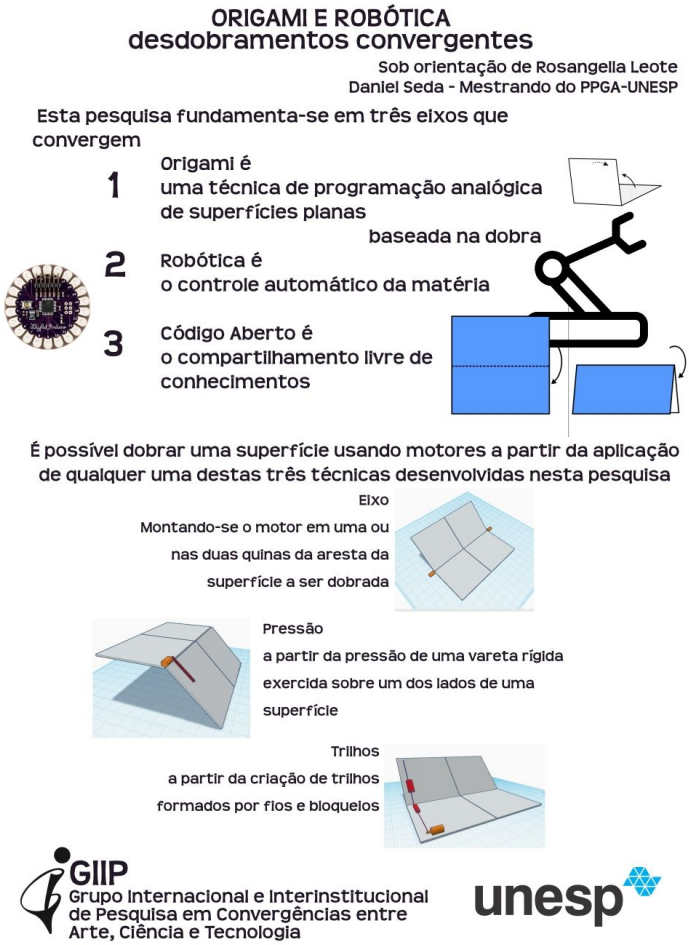


Figura 1 - Esquema apresentado durante o 7º Encontro de Grupos de Pesquisa, 2017. Desenvolvimento: este autor.

Além de produzir os objetos autônomos em questão, procurei refletir na forma de dissertação sobre o caminho percorrido durante o processo da investigação. Os resultados foram divulgados em eventos e publicações no decorrer da pesquisa.

Ao conhecer as pesquisas lideradas por Daniela Rus dentro do Laboratório de Inteligência Artificial, CSAIL-MIT, travei contato com todo um universo de pessoas que já estavam pesquisando esta conexão entre o origami e a robótica. Partindo dos artigos publicados por esta equipe, descobri algumas possibilidades de desenvolvimento para a minha pesquisa prática. Alguns destes artigos tratam diretamente do potencial robótico do origami, enquanto outros abordam outras propostas de matérias programáveis, como a modular. Estas matérias se tornaram muito importantes para os meus estudos, porém, conforme fui aprofundando o contato com este material teórico e comecei a escrever e a produzir, a questão da matéria programável[1] se dissolveu nas duas frentes a que me dediquei nesta

1 Objeto robótico ideal que altera sua forma conforme suas necessidades funcionais.

pesquisa: (i) a questão do software livre, por ser anterior e englobar o Arduino; e (ii) a questão do origami como técnica artística com os seus desdobramentos conceituais e práticos, com o desenvolvimento de suas estratégias de transformação da matéria. Abordo as relações entre origami, matemática e linguagens de programação no capítulo 1.

Entrei em contato com trabalhos da área com o fim de colher parâmetros conceituais e técnicos no universo do origami e foquei, principalmente, nos estudos teóricos de Robert J. Lang[2] e Peter Engel[3], e suas relações com a obra de Akira Yoshizawa[4], que abordo no capítulo 3.

Os já citados artigos do CSAIL-MIT, usados como uma das bases para a pesquisa, foram de grande utilidade para compreensão de métodos e inspiraram a parte prática da pesquisa, que venho desenvolvendo durante estes dois anos de pesquisa. Já o mestrado de Hernando Barragán propondo o Wiring[5], o sistema de computação física que inspirou o Arduino, foi decisivo para nortear possibilidades para esta pesquisa.

Com objetivo de adquirir subsídios teóricos para a minha prática de pesquisa, me dediquei a refletir sobre o movimento do Software Livre. As reflexões iniciais que faço ligam o movimento do software livre com algumas práticas artísticas e sociais – históricas e contemporâneas – que considero relevantes para este estudo.

A imaginação e a criação de novas narrativas e novos caminhos são pontos importantes da minha pesquisa. Com isto em mente, privilegiei duas formas de criação: a arte/técnica do origami e a cultura libertária e revolucionária do código aberto ou software livre.

Realizei uma série de estudos teóricos em paralelo a experiências e testes práticos com a intenção de acumular conhecimento para a realização do objetivo principal, a saber, a construção de origamis robóticos.

Com esse conhecimento, parti para os experimentos com papel e com o Arduino, pesquisando nos vastos bancos de dados de projetos para encontrar as soluções que eu precisava dentro do que a pesquisa me sugeriu. Estudei o Arduino através de publicações em código aberto que a comunidade disponibiliza principalmente pela Internet. Precisei dominar o uso de motores de passo, motores servo e controle sobre a direção de motores CC/DC[6] através de ponte h. Também estudei o uso de sensores de toque e de movimento e potenciômetros.

---

2 LANG, Robert J. Folding Paper, The Infinite Possibilities of Origami. Hong Kong, Tuttle Publishing, 2013.

3 ENGEL, Peter. Origami, From Angelfish to Zen. New York, Dover Publications, Inc, 1994.

4 Akira Yoshizawa (1911-2005) é o artista japonês criador do origami moderno no século XX e o responsável pela criação do sistema de notação de origamis utilizado até hoje.

5 BARRAGÁN, Hernando. Wiring: Prototyping Physical Interaction Design. Ivrea, Interaction Design Institute Press, June 2004.

6 Corrente-contínua/Direct-current, um dos tipos de motor mais comum.

Começo, porém, me desvencilhando do contexto das artes visuais inseridas no sistema de eventos, galerias e museus e posiciono esta pesquisa em uma perspectiva mais ligada às performances, ao ativismo de base social e anárquica, ao universo da educação, aos processos e compartilhamentos no cotidiano e, portanto, à transmissão de conhecimento na vida em rede.

Cumpri pequenas propostas pontuais com objetivos ora poéticos, ora técnicos, como:
-> Dobrar origamis nos transportes públicos usando um tempo geralmente ocioso para investigar as possibilidades formais e estruturais dos mais diversos tipos de papéis.
-> Dobrar borboletas de origami, seguindo o modelo de Yoshizawa, a partir de embalagens vazias, com o fim de instalar estas pequenas esculturas no espaço público ao vento do metrô. As intervenções ficaram expostas em diversas ocasiões, flutuando na Avenida Paulista, próximo ao prédio da Gazeta, e em frente ao Parque Mário Covas, onde ficam as saídas de vento das estações Brigadeiro e Trianon-MASP.
-> Realizar uma sistemática pesquisa prática das conexões entre diversos tipos de motores e de papéis e registrar os processos e os resultados.

Para entender de onde surgiu o movimento do código aberto, estudei os livros *Free Software, Free Society,* de Richard Stallman (2002), e *Futuros Imaginários*, de Richard Barbrook (2009). O primeiro autor descreve as bases de um sistema de software livre, um método de compartilhamento colaborativo para criação e produção de software, tendo sido um dos primeiros proponentes desta ideia. O segundo conta a história do surgimento da internet desde o primeiro computador, em meados da Segunda Guerra, até a imensa rede que conecta o mundo todo agora, em uma narrativa que engloba também o software livre. Os resultados dessas pesquisas estão no capítulo 3.

A Internet é o território ideal para o compartilhamento, para a economia da generosidade, da dádiva[7]. Foi através da Internet que tive acesso à maior parte do material e outros recursos para este estudo: projetos e códigos alheios, informações técnicas sobre componentes, compra de material de estudo e recursos de produção em rede.

Além destes dois livros, utilizados para ampliação do meu repertório sobre direitos autorais, também li *Free Culture*, do advogado e ativista americano Lawrence Lessig (2004). Este livro discute o contexto histórico e legal da luta entre duas posições: a do software livre, oriundo de movimentos sociais, e a do código proprietário, defendido por inúmeras grandes empresas. Nas páginas a seguir, faço uma costura pessoal dos aspectos importantes que notei nos três livros, além das minhas reflexões visando uma instrumentalização teórica para a execução das peças escultóricas robóticas resultantes da minha pesquisa.

A importância do código aberto dentro da minha pesquisa vem do potencial que este tipo de abordagem cria ao conectar robótica (sistemas baseados em Arduino) e

---

7 'Remixar, samplear e citar são ferramentas do trabalho coletivo na economia da dádiva da alta tecnologia.' (BARBROOK, 2009, p. 22) O artigo onde Barbrook cria a expressão ecnonomia da dádiva é de 1998. <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/631/552>

origami. Percebo isto pois julgo que o origami também poder ser entendido como uma prática de código aberto. A comunidade internacional de origami conta há décadas com publicações que utilizam a notação Yoshizawa-Randlett-Harbin para compartilhar modelos. As relações entre código aberto e origami são abordadas no capítulo 3 desta dissertação.

As questões que venho tratando são ligadas à cultura do compartilhamento, à existência do software livre e às práticas, muitas vezes de inspiração anarquista, da criação coletiva, antiproprietária e anônima. Práticas cujos resultados chegam muitas vezes a servir de apoio técnico para trabalhos de arte, mas não reivindicam e nem se limitam apenas a este território. Ao contrário, são teorias e práticas colaborativas de uma cultura que vem se desenvolvendo desde o final da década de 70, que ajudaram a transformar toda a sociedade global nos últimos 30 anos e seguem influindo em inúmeros aspectos do nosso mundo atual.

Por passear por tantos temas e abordar tantas questões, dificilmente o leitor encontrará nestas páginas um grande aprofundamento de algum deles. Esta pesquisa resulta da convergência destes vários temas, pelos quais eu percorri ao longo destes dois anos e meio com o objetivo prático expresso de desenvolver uma poética da dobra automática em uma série de obras de arte, que foram efetivamente apresentadas ao público em uma exposição em março de 2018 na Galeria Alcindo Moreira Filho, no Instituto de Artes da UNESP.

1. Origami e Programação

Origami é uma palavra japonesa para designar uma técnica cuja tradução literal é "papel dobrado" (ori, "折り" = dobrar + gami/kami "紙" = papel).

A técnica da dobradura de papéis, o origami, é tradicionalmente um conhecimento associado à cultura japonesa. No entanto, para que o origami se tornasse a arte que conhecemos hoje, ele passou por um enorme desenvolvimento a partir da Era Meiji[8], quando a cultura japonesa se encontrou com a cultura europeia a partir de meados do século XIX. O educador alemão Friedrich Fröbel[9], ainda antes disso, incorporou a técnica em sua concepção de Jardim de Infância após concluir que ela desenvolvia as habilidades espaciais e motoras das crianças. O desenvolvimento industrial europeu e o consequente desenvolvimento de máquinas de produção e corte automático de papéis ajudou a difundir o origami pela Europa ainda no final do século XIX. A partir da segunda metade do século XX, um intenso desenvolvimento do origami ocorreu quando esta técnica foi incorporada por diversos artistas europeus e americanos[10], enriquecendo o conhecimento tradicional com novos papéis, dobras e ampliando suas possibilidades formais. Todos estes processos transformaram o origami em uma técnica com origem japonesa, porém de difusão extremamente bem sucedida no resto do mundo. Assim como os números arábicos e o alfabeto romano, o origami passa a integrar o repertório da cultura mundial, deixando de ser apenas uma técnica tradicional japonesa para se tornar uma das inúmeras técnicas criativas à disposição da cultura humana global. Quem não sabe dobrar um avião de papel? Qual criança não aprende a fazer um barquinho de dobradura?

Os estudos de Peter Engel[11] são uma fonte valiosa de conhecimento para quem tem interesse na história e no desenvolvimento do origami no mundo todo. Além de discorrer sobre suas descobertas a partir da associação entre origami e matemática, Engel se detém em pontos curiosos na história desta arte. Ele narra a passagem de

---

8 Período de transição após o fim do Japão Feudal, de 1867 a 1912, quando a cultura japonesa voltou a ter contato com o resto do mundo. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Era_Meiji> Consultado em 20/11/2017

9 <http://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_educacao.htm> Consultado em 20/11/2017

10 Como Robert Lang, David Brill, Roman Diaz, John Montroll.

11 Em dois de seus livros Origami Odissey, A Journey to the Edge of Paperfolding. North Clarendon, Tuttle Publishing, 2011 e Origami, From Angelfish to Zen. New York, Dover Publications, Inc, 1994.

M. C. Escher[12] em 1936 pelo Castelo de Alhambra, localizado na cidade de Granada, na Espanha. Engel conta que até aquele momento a obra de Escher estava direcionada ao mundo natural: retratos, paisagens, etc. Até esta visita à Espanha, Escher dominava a arte de transformar a realidade tridimensional em representações bidimensionais com suas gravuras, mas ainda não era o artista original que conhecemos. Algum tempo após o contato com os padrões deixados pelos mouros em sua permanência de alguns séculos na Espanha, o artista Escher passou a se dedicar à pesquisa formal que o consagrou, com padrões geométricos convertendo-se em formas vivas e outras brincadeiras visuais, com suas composições de planos sobrepostos muitas vezes impossíveis. O próprio Escher narra a experiência deste contato:

> Que pena que o Islã proíba a produção de “imagens”. Em suas tessituras eles se restringiam a figuras com formas geométricas. (…) Eu considero essa restrição ainda mais inaceitável porque… é devidamente esse cruzar a fronteira entre a representação abstrata e a concreta, entre as figuras “mudas” e as “falantes” que conduz ao coração do meu fascínio acima de tudo, na divisão regular de um plano. (ESCHER, citado por ENGEL, p. 3, 1994)

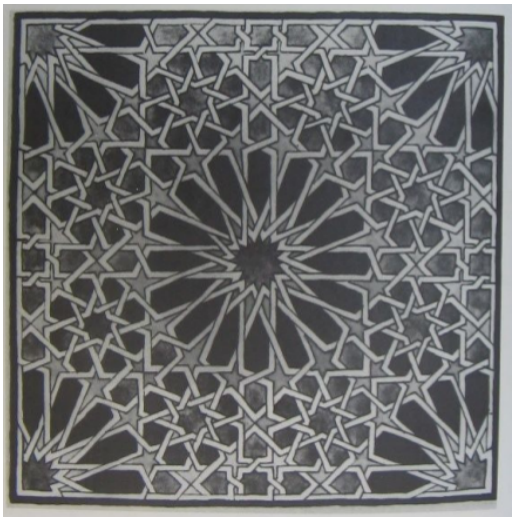


Figura 2 – M. C. Escher, Azulejos de Alhambra, 1936.

12 Maurits Cornelius Escher (1898-1972), artista gráfico holandês. <http://www.mcescher.com/about/biography/ > Consultado em 27/05/2018.



Figura 3 – M. C. Escher, Divisão Regular do Plano, 1958. Segundo Engel os três primeiros quadrados são copiados de padrões de Alhambra (A e C) e de gravuras japonesas (B) e os três últimos são criação de Escher.

E para além do fascínio e da pouco conhecida influência moura na obra de Escher, Peter Engel segue surpreendendo em sua análise de como os mouros inventaram uma arte geométrica do papel de maneira totalmente independente dos japoneses. Precisamente devido à proibição de produzir imagens, os árabes criaram uma tradição própria de investigar o universo a partir da geometria e, especificamente, através das dobras do papel. Essa prática deixou uma influência permanente na cultura espanhola e é por esse motivo que na Espanha a técnica de dobrar papéis artisticamente é amplamente conhecida como papiroflexia e não como origami.

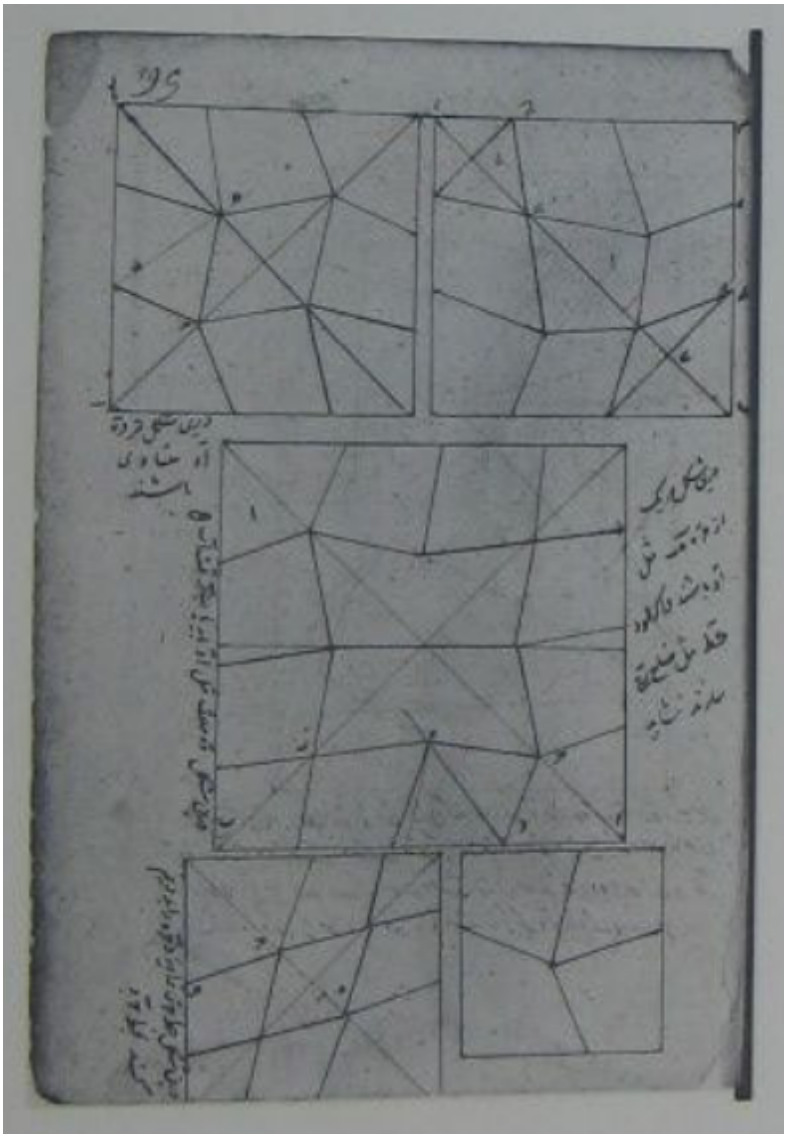


Figura 4 – Página de um manuscrito Persa do século XVII, cópia de um livro árabe mais antigo com padrões de dobras para papéis quadrados.

Essa influência que a cultura árabe recebeu da arte de dobrar papéis é tão sedimentada na cultura espanhola que o filósofo Miguel de Unamuno (1864 – 1936) é famoso na Espanha por ter publicado dois tratados sobre a técnica da papiroflexia, e muitas de suas criações ainda são praticadas por lá.

São muitas as técnicas e inúmeras as vertentes criativas do origami contemporâneo. Um dos estímulos iniciais para esta pesquisa foi o contato com a obra de Robert J. Lang, físico americano e uma das maiores autoridades atuais em origami. Robert J. Lang é um dos responsáveis pelo desenvolvimento matemático do origami no século XX. Ele é membro da *Optical Society of America*, ex-vice-presidente da IEEE *Photonics Society*, membro da *American Mathematical Society* e um dos origamistas

mais influentes da atualidade. É amplamente reconhecido por suas inúmeras criações de origamis complexos e realistas, cuja criação é fortemente guiada pela matemática. A obra abaixo, um besouro, já é bastante surpreendente e bela por si, mas fica ainda mais interessante quando se sabe que ela foi projetada e dobrada por Lang a partir de uma única folha de papel quadrado, apenas com dobras, sem nenhum tipo de corte ou uso de cola. E Lang não apenas criou e dobrou esta figura como publicou esta e inúmeras outras de suas criações em livros com tutoriais detalhados, para que qualquer praticante desta arte possa também aprender a fazê-la.



Figura 5 – Robert J. Lang, Cyclomatus metallifer, Opus 562, 2010.

Além de seu trabalho como origamista, Lang esteve envolvido em inúmeros outros projetos de engenharia e matemática. Prestou consultoria no desenvolvimento de um algoritmo para uso em *airbags*. Atuando junto à NASA, também desenvolveu uma lente dobrável que pudesse ser transportada ao espaço e só então desdobrada para uso. Para realizar isto, Lang se apoiou no trabalho realizado por Koryo Miura[13] e em uma ideia proposta por este astrofísico japonês em 1985 e que se tornou um clássico do repertório de origami: a Dobra Miura. No artigo de Miura, publicado em 1985, ele discorre sobre a necessidade de se transportar grandes superfícies rígidas para o espaço e depois trazê-las de volta dentro de uma nave.

> The solar panels are folded down as much as possible in order to pack them into the rocket, and then after the rocket blasts into outer space they quickly unfurl. When the rocket returns to the surface of the Earth, they must be folded down and re-stowed. The idea of Miura folding was realized after thinking about how this sequence of actions could be achieved not by humans, but by robots. (NISHIYAMA, 2012, p. 2)

13 Koryo Miura, astrofísico japonês nascido em 1930. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2035733724_Koryo_Miura> Consultado em 30/05/2018.

Para resolver este problema, Miura propõe um tipo de dobra, inspirado pela observação da natureza e pela arte do origami[14], que poderia ser aplicada a qualquer superfície plana ou a uma superfície rígida a partir de sua divisão em poliedros.

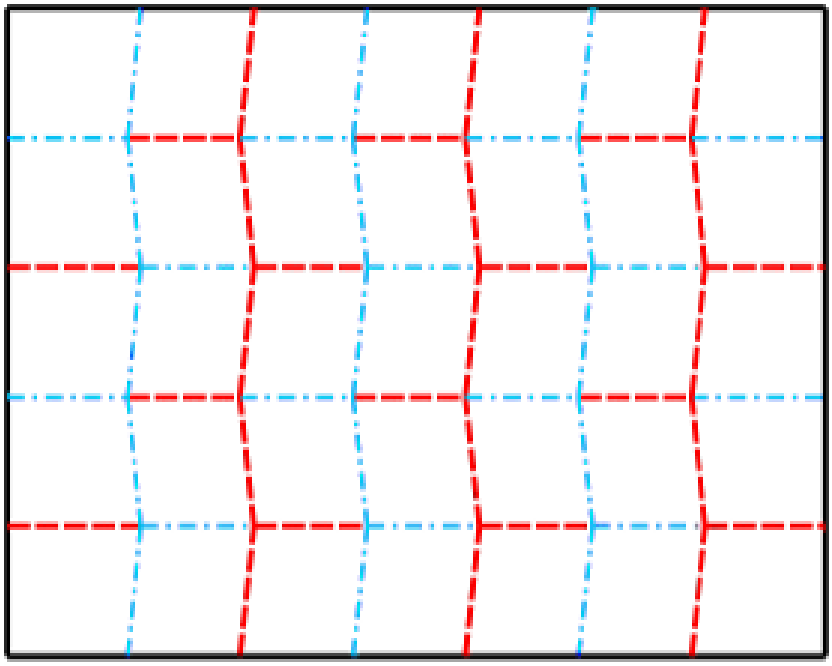


Figura 6 – Padrão de dobras da Dobra Miura.

14

"It is said that Koryo Miura devised Miura folding in 1970 after observing the wrinkles in old people's brows and in the surface of the Earth in photographs taken from spaceships. The idea behind Miura folding was obtained through a detailed observation of nature." (NISHIYAMA, 2012, p. 9)

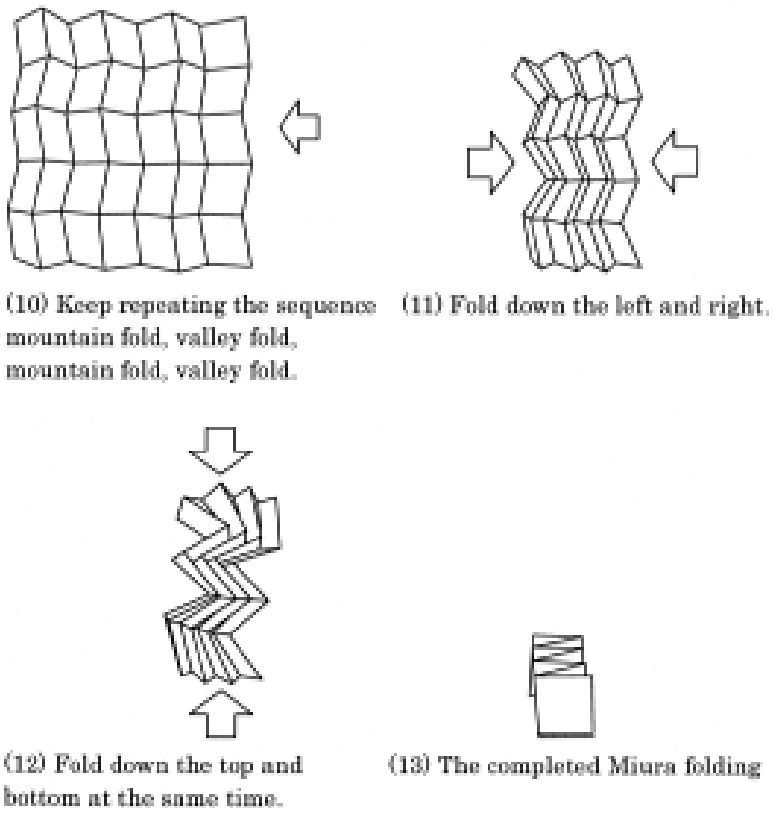


Figura 7 – Esquema de movimento para a Dobra Miura.

Uma vez recoberta com este padrão, a superfície pode ser reduzida a um espaço mínimo através de dobras. Além disso, o papel, ou superfície, passa a possuir a memória destas dobras gravada fisicamente em si e pode ser dobrado e reaberto com um mínimo de movimento e força.

A idéia de Miura foi realmente colocada na prática e sua dobra permitiu que os painéis solares do satélite japonês funcionassem quando ele foi de fato posto em órbita em 1995[15] e recuperado pela NASA em 1996.

Lang se inspirou na dobra Miura e desenvolveu para a NASA outro método de dobras para o desenvolvimento do *Eye Glass*, lente dobrável para uma nova geração de telescópios que algum dia serão enviados ao espaço[16].

---

15 Folders find a new wrinkle. Engineers know there's more to origami than paper boats. Artigo de Peter Forbes publicado em 23/11/2000 <https://www.theguardian.com/science/2000/nov/23/technology1 > Consultado em 26/05/2018

16 Mais informação sobre o Eye Glass disponível em <https://str.llnl.gov/str/March03/Hyde.html> Consultado em 30/05/2018.



Figura 8 – Robert J. Lang em frente ao protótipo desenvolvido pela NASA para o telescópio Eyeglass.

Lang também desenvolveu um software para facilitar a criação de origamis, o *Tree Maker*. Este programa segue sendo desenvolvido pelo autor desde sua criação em meados dos anos 1990. A história da criação deste software começa quando Lang entra em contato com um artigo de Arthur Appel de 1971 descrevendo um software cujo objetivo era a criação de dobras em uma superfície plana. Lang então imaginou se algum dia haveria um computador capaz de rivalizar com humanos na criação de um origami. Concluiu que, por ser um processo puramente geométrico, essa possibilidade não era tão ultrajante como poderia soar. Após publicar esta reflexão em um artigo[17], dedicou-se ao desenvolvimento de tal software a partir de 1990 e logo chegou a uma primeira versão capaz de resolver o problema matemático do *circle-packing*[18]. Segundo esta teoria, oriunda da matemática e aplicada por Lang ao universo do origami, cada ponta de um origami corresponde, no papel aberto, ao centro de um círculo completo ou parcial. Partindo deste princípio, projetar um modelo de origami passa a ser um problema matemático: se o artista deseja criar, por exemplo, uma forma humana a partir de uma folha quadrada plana, deve

17 Artigo de Robert J. Lang sobre o desenvolvimento do software TreeMaker <http://www.langorigami.com/article/treemaker> Consultado em 23/05/2018.

18 A circle packing is an arrangement of circles inside a given boundary such that no two overlap and some (or all) of them are mutually tangent. <http://mathworld.wolfram.com/CirclePacking.html> Consultado em 30/05/2018.

encontrar uma maneira de inscrever cinco círculos inteiros ou parciais no papel, correspondentes às cinco pontas (1 cabeça, 2 braços, 2 pernas), que estejam a determinadas distâncias e posições uns dos outros e que também não estejam sobrepostos.

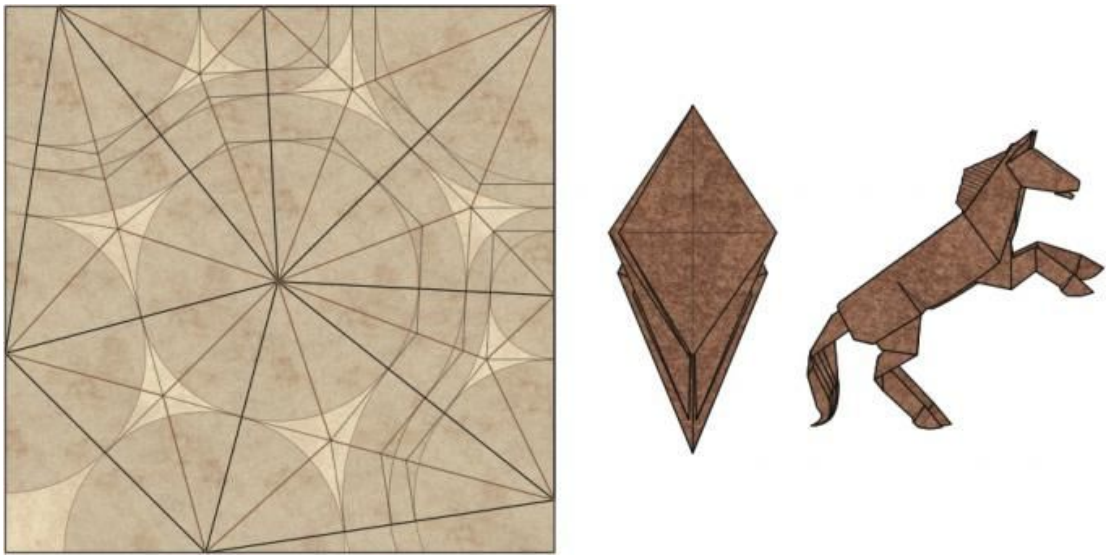


Figura 9.- Alamo Stallion CP, base, and folded form, from *Origami Design Secrets*.

O software *TreeMaker*, escrito para resolver este tipo de problema, foi publicado pelo autor em seu site através de uma licença de código aberto. O *TreeMaker* está disponível para *download* gratuito e existe para os sistemas operacionais mais utlizados (MacOs, Windows e Linux). Atualmente, encontra-se em sua versão 5.0.1.

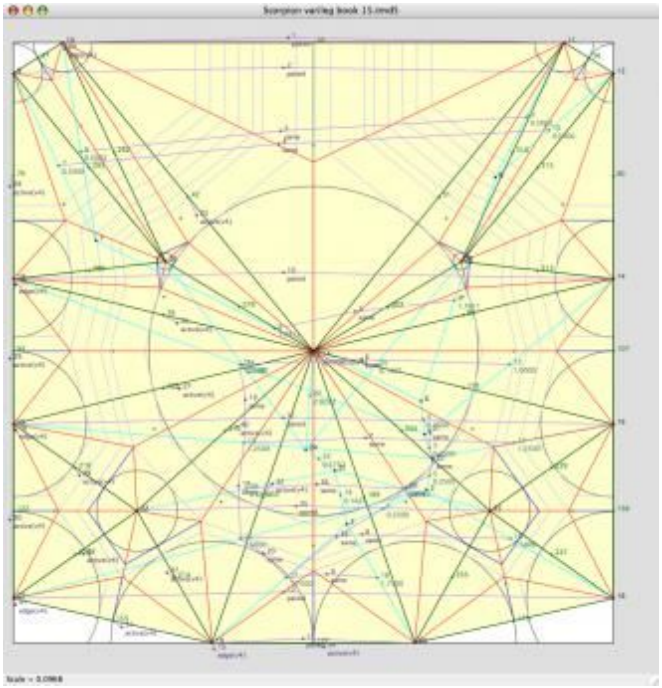


Figura 10 – Tela do software TreeMaker.

Ainda sobre a criação de sua técnica do *circle-packing* aplicado ao origami, Lang conta uma história: enquanto participava do encontro da *Nippon Origami Association* no Japão, em 1992, começou a rabiscar num papel o rascunho de um novo modelo de besouro. Um participante japonês do encontro olhou o seu desenho e comentou: "Eu sei o que você está fazendo, Meguro faz exatamente a mesma coisa!" Como ainda não havia publicado nada sobre o seu método, Lang ficou curioso e seus anfitriões no Japão promoveram o encontro entre os dois. Toshiyuki Meguro[19] havia desenvolvido exatamente o mesmo método e com ele também já havia projetado modelos de insetos, entre outros. Comentando este acontecimento, Lang comenta que *"Although I spoke no Japanese, and Meguro spoke almost no English, we both spoke mathematics, the shared universal language of our technical fields (him: biochemist; me: physics)." (LANG, 2013).*

Transformando as possibilidades de criação de origami em modelos matemáticos, Lang foi o pioneiro no desenvolvimento de um software para criação de origamis, mas não está mais sozinho nisto. Desde 2015 existe o software Robogami[20], projetado pela equipe de pesquisadores de Daniela Rus dentro do CSAIL-MIT. Este programa permite a criação modular e articulada de uma estrutura robótica para impressão 3D. O Robogami depende da inserção posterior de suas partes eletrônicas para que seja funcional, mas as questões mecânicas de locomoção são

19 Bioquímico e origamista japonês <http://blog.scienceborealis.ca/fold-it-right-there-the-mathematical-art-of-paper-folding/ > Consultado em 30/05/2018.

20 Artigo em inglês disponível em < http://cfg.mit.edu/content/interactive-robogami-end-end-system-design-robots-ground-locomotion > e software disponível para download no endereço < https://github.com/mit-drl/robogami > Ambos consultados em 26/05/2018.

todas resolvidas com as técnicas de origami aplicadas à fabricação digital através da impressão 3D. Segundo a página do projeto no site do Fabrication Computational Group:

> Robogami, a tool for composition-based design of ground robots that can be fabricated as flat sheets and then folded into 3D structures. (…) Using Interactive Robogami, designers can compose new robot designs from a database of print and fold parts.
>
> (SCHULZ et al, 2015)

O software Pepakura[21] é anterior a este, embora não seja diretamente ligado ao origami. Disponibilizado em 2004 apenas para Windows, o Pepakura funciona transformando projetos tridimensionais criados em softwares de composição 3D em unidade planas para posterior impressão e montagem manual. É usado para criação de *toy art* e de *paper art*. O site organiza e disponibiliza para download os modelos criados pelos usuários e através do Pepakura formou-se uma ampla comunidade de criadores de arte tridimensional em papel, a chamada *low-poly art*: modelos tridimensionais em baixa resolução formados pela união de grandes polígonos.

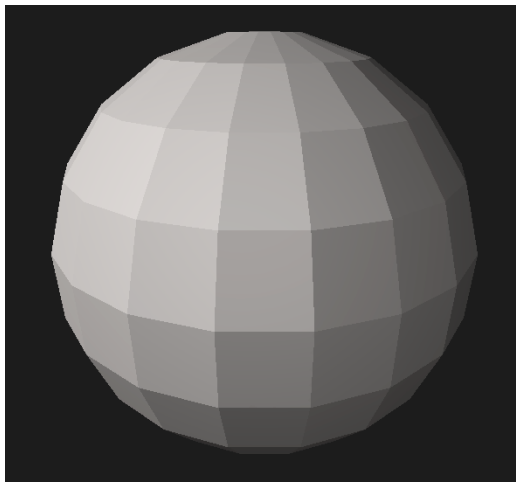


Figura 11 – Exemplo de imagem em *low-poly*.

Outro software que está disponível para download e uso gratuito, este diretamente relacionado ao origami, é o Origamizer[22], criado em 2010 por Tomohiro Tachi[23]. Segundo seu autor:

> This software is a design software that allows users to interact with origami forms while altering the crease pattern of the model. The software can keep:
>
> - Developability (foldable from a piece of paper)

21 Software desenvolvido pela empresa japonesa Tamasoft. Download disponível em < http://www.tamasoft.co.jp/pepakura-en/ > Mais informações sobre o desenvolvimento do programa em < http://www.tamasoft.co.jp/tama-history-e.html >. Consultado em 26/05/2018

22 Disponível em < http://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/software/ > Consultado em 26/05/2018.

23 Professor no Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo. <http://www.tsg.ne.jp/TT/> Consultado em 30/05/2018.

- Flat-foldability (foldable into a flat shape)
- Planarity of facets (paper do not twist in 3D form)
- Point coordinate coincidence
- Paper size

(TACHI, 2018)

O Origamizer funciona importando objetos criados em softwares de criação 3D e convertendo estes objetos em um padrão de dobras em uma folha plana. Uma vez importado o objeto tridimensional, ele pode ser alterado digitalmente enquanto visualiza-se em outra área do programa o mesmo ocorrendo no padrão de dobras a ser gerado em um plano. Teoricamente, o Origamizer tem o potencial de transformar qualquer forma em um padrão de dobras numa superfície plana, mas, na prática, existem formas que ainda desafiam a capacidade matemática do programa. O Origamizer foi criado por Tachi, mas vem sendo desenvolvido em parceria com Erik Demaine[24], um pesquisador do MIT e um dos grandes entusiastas do desenvolvimento matemático das técnicas de origami. No documentário *The Origami Revolution*[25], Demaine discorre sobre o fato de que há situações em que, confrontado com determinadas formas, o software simplesmente não apresenta um resultado possível. Por isso, o software segue em desenvolvimento, apesar de já disponível, e o trabalho de Tashi e Demaine prossegue em busca de algoritmos universais para que se torne possível a *origamização* de qualquer forma apresentada ao software.

Assim como o Pepakura, o Origamizer não é publicado com uma licença GPL, ou seja, não está em regime de software livre. Ambos são softwares proprietários, apesar de gratuitos, e não podem ser alterados ou distribuídos sem permissão expressa dos autores.

---

24 Erik Demaine é professor de Ciência da Computação no MIT <https://www.csail.mit.edu/person/erik-demaine> Consultado em 30/05/2018.

25 Vídeo disponível no Youtube < https://www.youtube.com/watch?v=fS_ZK4KR5hA > Consultado em 26/05/2018.

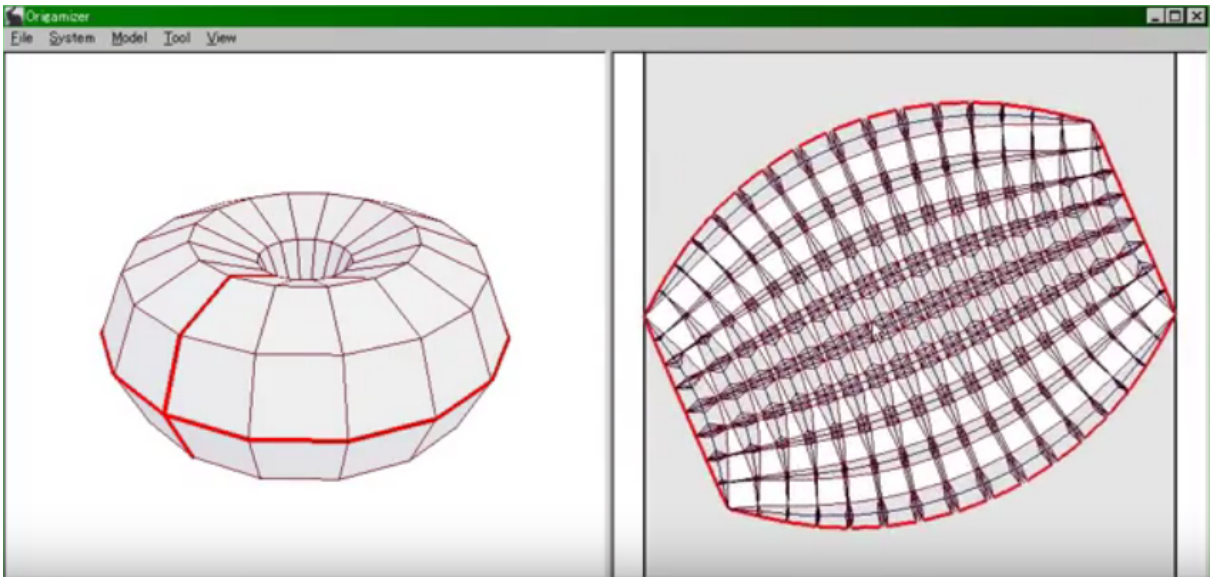


Figura 12 – Registro da tela do Origamizer.

Funcionando em sentido contrário existe ainda o software Oripa, cuja primeira versão apareceu em 2005 e que está disponível para download[26] com uma licença de código aberto. Segundo o seu criador, Jun Mitani *"ORIPA is a drawing software dedicated to designing the crease patterns of origami. The unique feature of ORIPA is calculation of the folded shape from the pattern." (MITANI, 2012)*

Ou seja, o software transforma o padrão de dobras proposto em uma figura tridimensional, o que é exatamente o oposto do que faz o Origamizer.

Além destes, o engenheiro de software Robby Kraft[27] publicou recentemente uma ferramenta online para criação de origami e está disponível no seguinte endereço: https://editor.origami.tools/#
A produção deste software aconteceu durante a escrita do documento final desta dissertação então deixo aqui também o registro do post[28] em seu Twitter prometendo um novo software para criação de origamis que seria lançado, e o foi, em 22 de junho de 2018.

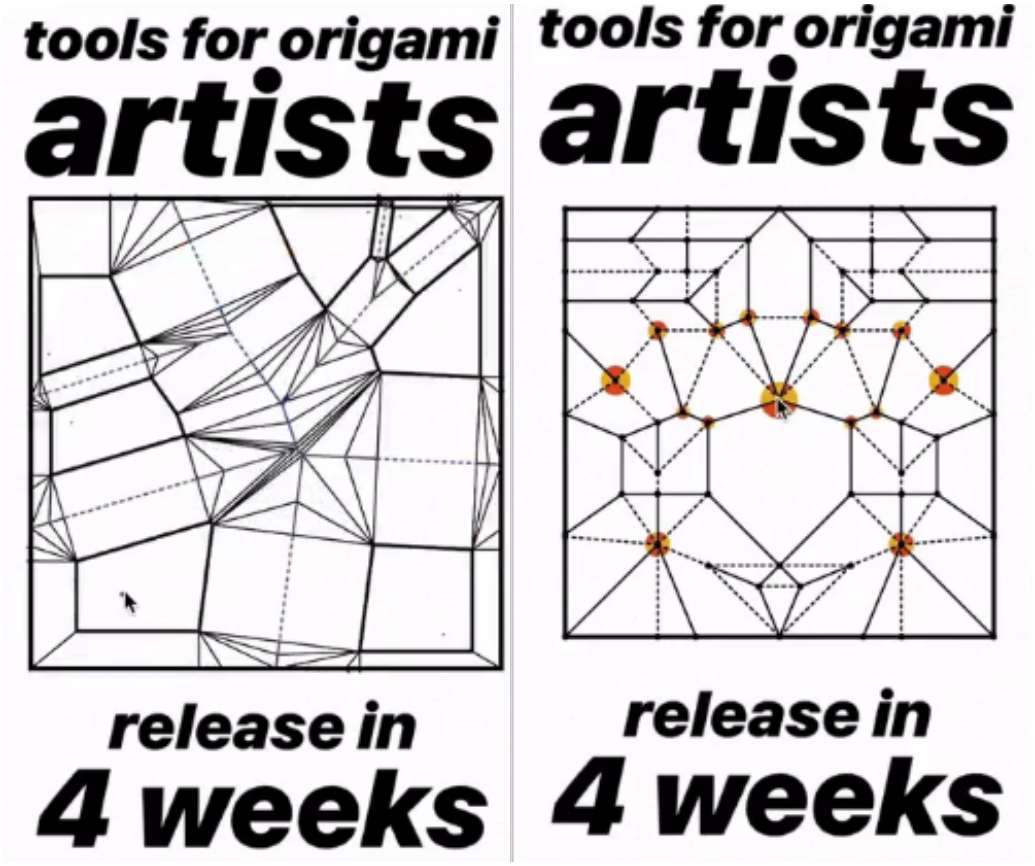
---

26 Desenvolvido por Jun Mitani, professor na Faculdade de Engenharia da Universidade de Tsukuba, Japão. Disponível em < http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/oripa/ > Consultado em 27/05/2018

27 Origamista, engenheiro de software e instrutor de design em Parsons School of Design - School for Poetic Computation <http://robbykraft.com/> Consultado em 30/0/2018.

28 Post disponível em < https://twitter.com/RobbyKraft/status/1000079480478724096 > Site de Robby Kraft < http://robbykraft.com/ > Consultados em 26/05/2018.

Figura 13 –



Registro de frames de um gif animado em um post no twitter anunciando o lançamento do software a lançado em 22 de junho de 2018 por Robbie Kraft .

Ainda nas relações entre origami e matemática, além de Robert J. Lang, também estudei para esta pesquisa alguns textos do origamista americano Peter Engel.
A abordagem de Engel para o origami também é matemática, mas segue um rumo diferente do que o proposto por Lang, Meguro e outros. O problema enfrentado por Engel é o mesmo: como obter pontas a partir de uma folha plana usando apenas dobras. Para abordar esta questão, Engel resolve estudar as bases clássicas do origami. Chama-se de base de um origami o momento em que as pontas necessárias para se fazer a figura já estão dobradas e disponíveis para serem finalizadas com outras dobras que transformam a base na sua forma definitiva. As dobraduras existentes no repertório do origami sempre partem de uma base. Apesar de o origami no Japão ter seu início tradicionalmente atribuído ao século 6, o primeiro registro impresso de um modelo de origami é de um livro japonês publicado em 1797. Neste livro, *Hiden Senbazuru Orikata*, está o padrão de dobras do *tsuru* (que significa “garça”, em japonês), que é uma das dobraduras mais difundidas dentro da cultura do origami. Além do *tsuru*, existem diversas outras dobraduras clássicas, como o sapo, o pato, o peixe e a pipa.
Engel resolve analisar os padrões de dobras gerados por estas quatro bases e descobre que em todas existe um mesmo padrão de dobras que se repete.

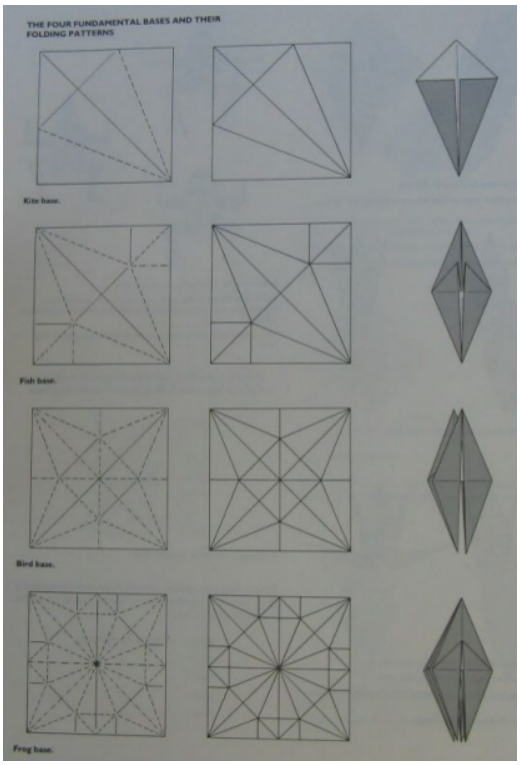


Figura 14 – Quatro bases de origami.

Segundo Engel em seu livro, esta foi a primeira vez que as relações geométricas das bases do origami são apontadas numa publicação impressa por um autor. A partir desta revelação, Engel propõe um método geométrico de como se obter pontas para a criação de qualquer figura: basta produzir a quantidade equivalente deste padrão dentro do papel e ele irá gerar uma base com a quantidade necessária de pontas.

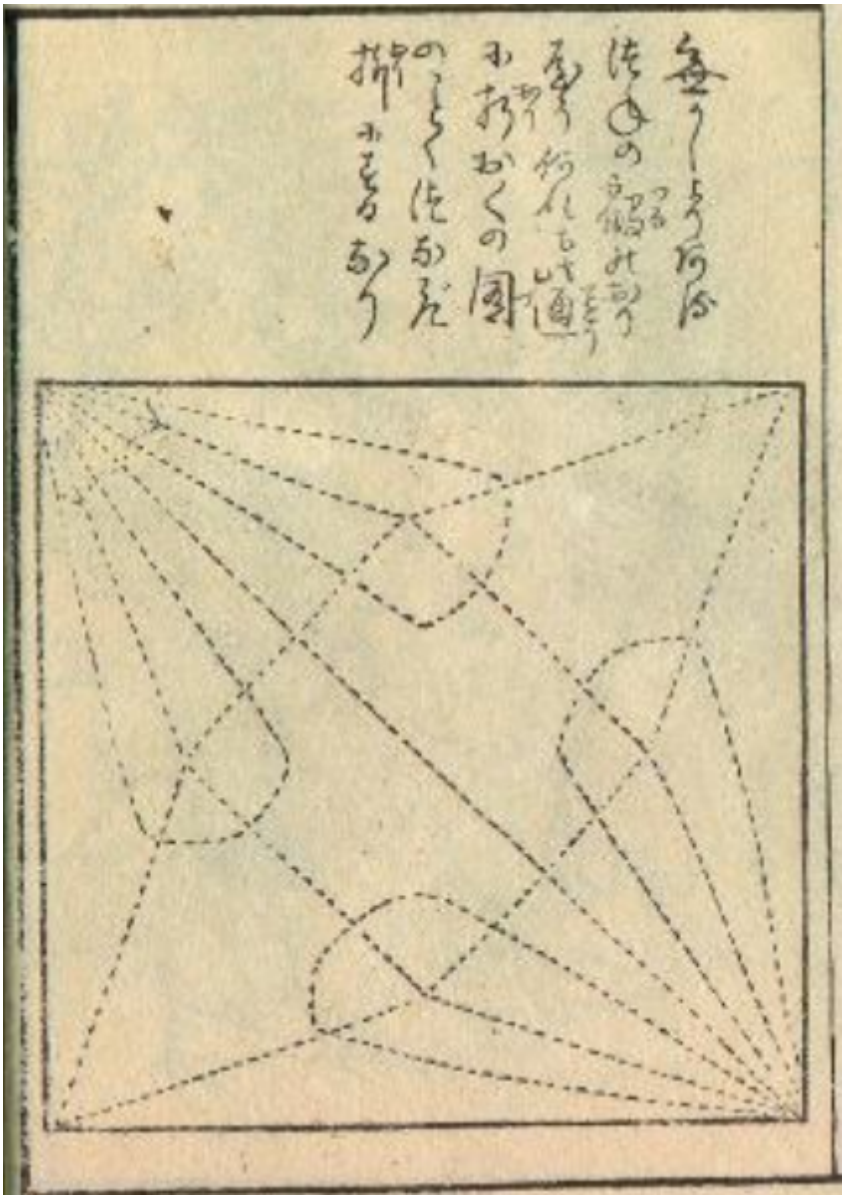


Figura 15 – Padrão de dobras de um Tsuru em uma página do livro Hiden Senbazuro Orikata, de 1797.

A dobradura de papéis é o processo pelo qual uma superfície bidimensional pode ser transformada em um objeto pleno de três dimensões de modo relativamente simples: a partir da aplicação de uma receita, de um algoritmo[29]. E é este o gancho que conecta a técnica da dobradura com a linguagem de programação e com o universo das possibilidades computacionais.

29

Algoritmo é uma palavra usada em ciência da computação para descrever um conjunto de instruções escrito em determinada linguagem de programação (N.d.A.)

2. A Matéria Programável

Muito antes de existir a robótica com a sua programação da matéria, ainda no imaginário grego, Pigmalião[30] modela uma forma feminina que ganha vida por intervenção divina, Galatéia. Na cultura judaica, o Golem[31] feito do barro e animado pela palavra ecoando o Deus bíblico. Na cultura pop, desde a década de 80, com Transformers, e nos 90, com o andróide T-1000, o robô líquido que assume qualquer forma em “O Exterminador do Futuro 2”[32]. A fábula de Pinóquio também conta como uma matéria ganha vida dentro do universo do imaginário literário e artístico. Entre os exemplos ficcionais mais recentes estão os Microbots do filme “Big Hero 6”[33], de 2014: pequenos módulos que se conectam e formam qualquer coisa.

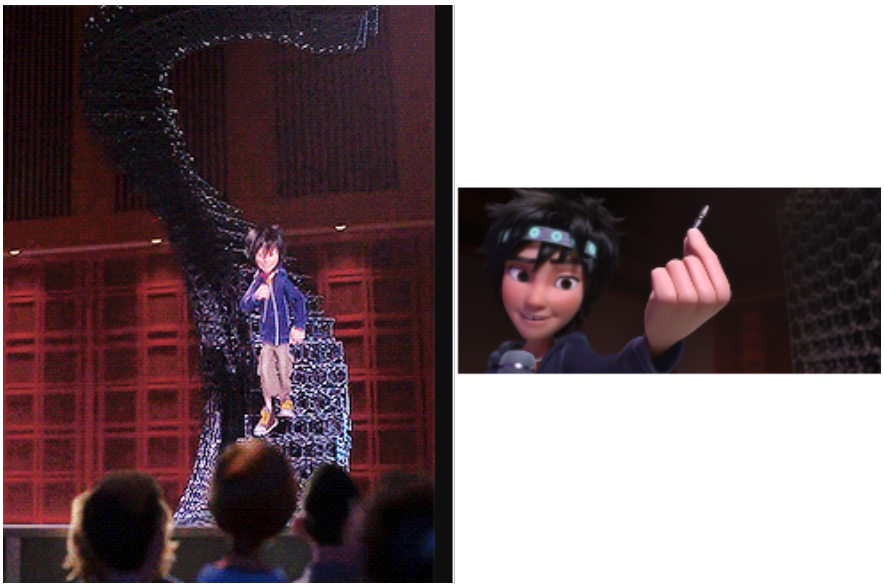


Figura 16 – Walt Disney Pictures, Big Hero 6. 2014.

Sistemas robóticos possuem uma variedade imensa de aplicações e usos e a vertente da robótica que pretende controlar a matéria mais cotidiana através de sistemas digitais vem sendo chamada de matéria programável. Essa necessidade de animar o ambiente e os objetos comuns é um componente do imaginário humano, seja dentro do positivismo controlador da natureza e da matéria, ao construir máquinas cada vez mais sofisticadas, seja no imaginário poético com o androide pacifista de Osamu Tezuka, AstroBoy[34]: dar vida a matéria inerte é um sonho antigo da humanidade

---

30 História narrada pelo poeta grego Ovídio nas Metamorfoses. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pigmaleão> Consultado em 30/05/2018.

31 Criatura mágica da cultura judaica. Fonte: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Golem> Consultado em 30/05/2018.

32 James Cameron, Carolco Pictures/Tristar Pictures, 1991.

33 Don Hall, Chris Williams, Walt Disney Pictures, 2014.

34 Osamu Tezuka é considerado o criador da linguagem do mangá. Astro Boy foi produzido de 1952 a 1968. (N.d.A.)

.

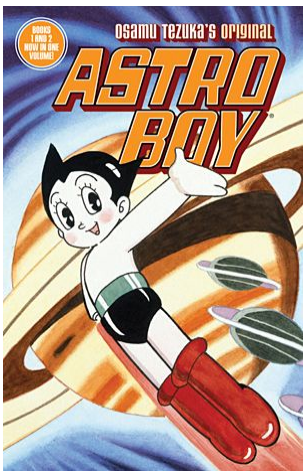


Figura 17 – Osamu Tezuka, AstroBoy. 1952.

E na transformação da matéria inerte em uma forma autônoma, autômata[35], a espécie humana é o animal que constrói ferramentas e altera o seu ambiente ao preenchê-lo com suas próprias criações, espelhos de suas necessidades e desejos. Das cancelas de pedágio que se abrem ao sinal de um chip às portas que se abrem sozinhas nos shoppings e aeroportos, dos carros e máquinas de lavar aos robôs domésticos como o aspirador inteligente Roomba[36], o ambiente humano já está inevitavelmente contaminado com a 'matéria viva' animada por processos digitais, a nosso serviço.

35

Autômato: mecanismo artificial com movimento próprio. Autonomia: capacidade que os seres e máquinas possuem de tomar decisões baseadas nas informações disponiveis.

36

Aspirador robótico e autônomo lançado pela iRobot em 2002 e aperfeiçoado desde então. Além de aspirar a sujeira tem capacidade de voltar à base para carregar a própria bateria.(N.d.A.)



Figura 18 – Roomba, iRobot. 2002.

O conceito de matéria programável em um contexto científico foi apresentado em um artigo de Norman Margolus e Tommaso Toffoli, pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, MIT, em 1990. Ainda antes disso, em 1987, Margolus sozinho havia publicado um outro artigo descrevendo métodos para construção de máquina virtuais (CAMs, "*celular automata machines*") para efeitos de simulações. No entanto, ele estava seguindo a trilha proposta cerca de 40 anos antes pelo modelo de Von Neumann e Stanislaw Ulam na década de 40[37]. Esses sistemas computacionais teóricos já possuíam características que depois seriam levadas adiante, como a autonomia das partes, com regras simples de interação das partículas virtuais umas com as outras, todas sendo atualizadas em sequência. Mas o herdeiro mais bem sucedido das idéias de Von Neumann e Ulam não é Margolus e sim John Horton Conway em 1970, com seu trabalho Jogo da Vida[38]. Nesta simulação computacional, cada célula continua viva ou prolifera de acordo com regras fixas em relação às 8 células vizinhas de modo autônomo, vivendo ou morrendo de acordo com o input inicial. A grande diferença do Jogo da Vida é a enorme simplificação de suas regras em relação à proposta de Von Neumann e Ulam e o fato de que, ao contrário das propostas daqueles, o Jogo da Vida efetivamente foi implementado em um computador em vez de ser meramente um conjunto teórico de regras.

---

37 <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton>

38 Criado em 1970 por John Horton Conway a partir de um conceito lançado por John Von Neumann na década de 40. <http://web.stanford.edu/~cdebs/GameOfLife/ >. Consultado em 21/11/2017.



Figura 19 – Game of Life, John Horton Conway. 1970.

No artigo em que aparece de fato a expressão ‘matéria programável’[39], os dois pesquisadores (Margolus/Toffoli) descrevem os seus conceitos iniciais e convocam pesquisadores para realizarem experiências reais construindo máquinas para que fosse possível uma matéria programável. Segundo eles: *“This paper is a manifesto, a brief tutorial and a call for experiments on programmable matter machines.” (MARGOLUS; TOFFOLI, 1990, p. 1).*

A partir deste pequeno recorte, pude notar duas linhas principais de pesquisa em matéria programável. Uma delas, herdeira do artigo de Margolus/Toffoli, parte da ideia de unidades autônomas à maneira de átomos que compõe moléculas que compõe substâncias, etc. Estas unidades são todas iguais e se organizam por adições e composições de formas diversas controladas por software. Nesta linha, cujas bases são dadas pelos artigos de Margolus/Toffoli e de Golstein/Lee, estão os *catoms/claytronics*, desenvolvidos pela Carnegie Melon University desde 2007[40], e os M-Blocks, do CSAIL-MIT, desde 2013[41].

39 Programmable matter: concepts and realization, Norman Margolus e Tommaso Toffoli, 1990.

40 <http://www.cs.cmu.edu/~claytronics/> Consultado em 21/11/2017.

41 < http://news.mit.edu/2013/simple-scheme-for-self-assembling-robots-1004> Consultado em 21/11/2017.

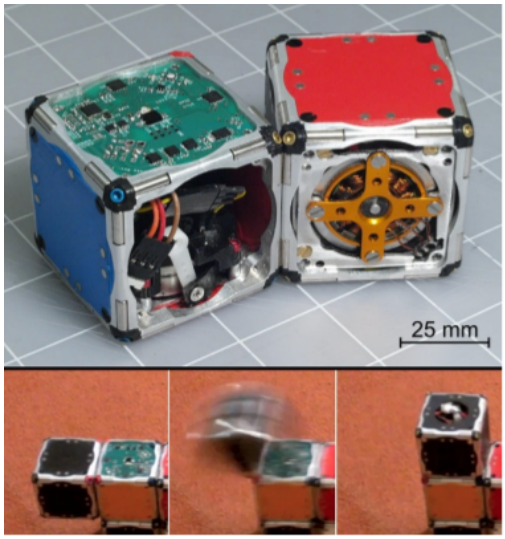


Figura 20 – M-Blocks. RUS, Daniela, ROMANISHIN, John W. GILPIN, Kyle, 2015.



Figura 21 – Claytronics. GOLDSTEIN, Seth Copen, MOWRY, Todd C. 2004.

A outra linha de pesquisa, a que mais interessa à minha pesquisa, é mais recente e herdeira das técnicas de origami. Nela, a matéria parte de um todo que se diferencia e se reorganiza através de dobras em sua própria estrutura. Nesta linha, também há a pesquisa do MIT com origamis robóticos no laboratório sob a coordenação de Daniela Rus, com uma equipe diversa de pesquisadores. A proposta é usar técnicas de dobras em superfícies planas emprestadas do origami para produzir sistemas robóticos. Esta pesquisa gerou também o já citado software de produção de robôs dobráveis para impressão 3D, o Robogami[42].

42

<http://cfg.mit.edu/content/interactive-robogami-end-end-system-design-robots-ground-locomotion> Consultado em 25/05/2018

2.1. Matéria Programável Modular

Em um artigo de 2004[43], Seth Goldstein e Todd Mowry descrevem um ainda hipotético sistema de '*catoms'* que cumpre várias das especificações descritas no artigo de Margolus e Toffoli. Cada um desses '*claytronic atoms*' é uma unidade que contém algo como um cérebro (CPU), autonomia de energia, um sistema de comunicação em rede, uma saída de vídeo, meios de se locomover e um mecanismo para aderir a outros '*catoms'*.

Em 2006, Seth Goldstein, agora com Peter Lee, publica outro artigo[44] detalhando um pouco mais como realizar de fato propostas de matéria programável:

> Imaginamos um material feito de um grande número de pequenos dispositivos. Esses dispositivos seriam cada um submilimétrico em tamanho ou aproximadamente do tamanho de um pixel em uma tela de computador (porém tridimensionais). (GOLDSTEIN; LEE, 2006, p. 2, tradução nossa)

Eles seguem descrevendo este material que seria programável, atuante e sensível e que poderia assumir diversas formas seguindo uma programação ou em reação a um estímulo externo. Este material também teria idealmente as características:

> 'Units must be inexpensive
>
> • mass-produced
>
> • largely homogeneous
>
> • simple, possibly no moving parts' (GOLDSTEIN; LEE, 2006, p. 8)

Os '*catoms'* vêm sendo de fato construídos, porém até o momento ainda não possuem o tamanho milimétrico descrito no artigo inicial de 2004.

Mais promissor do que o que foi divulgado sobre os *claytronics* até agora são os M-Blocks, que seguem alguns parâmetros descritos no artigo de Goldstein/Lee embora não possuam nenhuma relação direta com eles. Os M-Blocks foram desenvolvidos pela equipe liderada por Daniela Rus dentro do CSAIL-MIT. Eles são pequenos cubos de 25mm, sem partes móveis externas, com CPU, comunicação em rede por RF[45] e arestas magnéticas. Eles possuem um engenhoso e complexo mecanismo interno com um pêndulo que gira sobre si mesmo e quando seu movimento é interrompido o cubo inteiro gira e se move por inércia. As arestas magnéticas permitem que eles se conectem e se componham em formas diversas e, pronto, eis uma matéria programável. Um miniobjeto autorregulado compondo-se em formas mais complexas, movendo-se pelo espaço e mudando de forma quando preciso. Já existente em pequena escala, um futuro com objetos e ambientes robóticos

---

43 Claytronics: An Instance of Programmable Matter, Seth C. Goldstein, Todd C. Mowry, Carnegie Melon University, 2004.

44 Realizing Programmable Matter, Seth Copen Goldstein, Peter Lee, DARPA ISAT Study Group, 2006.

45 RF: rádio-frequência. (N.d.A)

transformers em uma versão macro destes pequenos pixels robóticos não parece estar longe.

2.2. Matéria Programável de Superfície

Diferente da matéria programável modular, a cultura milenar do origami oferece outras possibilidades. O origami já é, em si, uma espécie de programação da matéria: um passo a passo aplicado a uma folha de papel que a transforma em um objeto tridimensional pleno. Se levarmos em conta que o papel efetivamente possui uma memória física - uma vez dobrado, deixa gravada uma informação em sua superfície -, dizer que o origami é uma programação da matéria é usar uma expressão na borda entre o metafórico e o físico. Por ser capaz de armazenar a memória das dobras feitas na superfície do papel, o origami torna-se em sua prática um código para criar objetos tridimensionais a partir de uma superfície plana. Ele existe como um código manual e mnemônico de uma arte, código que antes de ser inscrito no papel precisa antes ser inscrito na ação do próprio corpo que o realiza, na memória e na performance do praticante.

Trazido para o meio da robótica, o origami se conecta de modo natural a circuitos eletrônicos e linguagens de programação e tem muito a oferecer. Inúmeras soluções para dar movimento à matéria a partir de um código já estão prontas e já foram resolvidas através dos códigos de dobras criados pela tradição milenar do origami.

Dentro do âmbito da matéria programável, o artigo mais antigo que localizei até o momento que trata de questão afim, a questão das superfícies programáveis, é o artigo de Alexander David Wissner, de Harvard: *Physically Programmable Surfaces*, tese de 2007. Nele, o autor não menciona origami, e a motivação do artigo é analisar e descrever propriedades e potenciais de diversos tipos de superfície a partir do material com que cada uma é feita. E defende que:

> O caminho natural para começar a adicionar funcionalidade para os materiais é em suas superfícies onde eles interagem preferencialmente com o mundo. Nesta tese, eu demonstro novas funcionalidades relativas a seis características físicas das superfícies em suas propriedades química, elétrica, térmica, hidrodinâmica, mecânica e magnética. (WISSNER-GROSS, 2007, p. 2, tradução minha)

Este trecho é bastante sugestivo e inspirador, mas os aspectos que realmente me interessam vêm de outra pesquisa. Cynthia Sung, Wei Zhao e Daniela Rus em suas pesquisas sobre origami robótico dentro do Laboratório de Inteligência Artificial, o CSAIL-MIT, usam as propriedades de dobras para criar volumes no espaço físico que permitam ao objeto robótico se movimentar e também transportar outros objetos consigo. É a forma a serviço da função, a forma controlada. Um pequeno robô feito parte de metal, parte de polímero, dobrável via técnicas de origami e com possibilidade de controle de seu movimento.

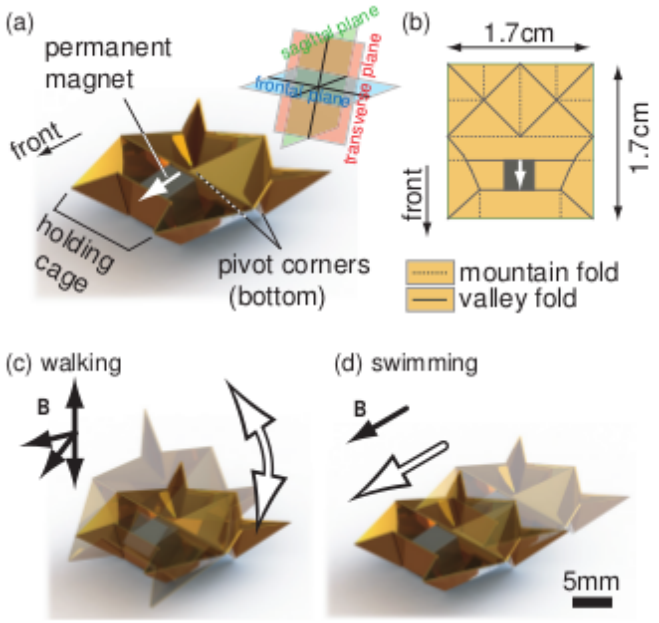


Figura 22 – Miniature Origami Robot, Miyashita, Guitron, Ludesdorfer, Sung, Rus, 2015.

Dentro desta proposta, o laboratório produziu também o Interactive Robogami, um software para produção de robôs originais de origami. O sistema se baseia em um banco de dados de formas e dobras que são passíveis de combinação para produção de robôs dobráveis a serem impressos em 3D e que podem depois ter tecnologias de controle de movimento acopladas. Ele se dispõe a resolver o problema de criar um robô sob medida a partir da composição de superfícies, dobras e juntas armazenados em um banco de dados e cada robô é uma colagem feita via software para ser impressa em uma impressora 3D, conectado posteriormente às partes eletroeletrônicas que trarão movimento à peça.

3. SOFTWARE LIVRE E CÓDIGO ABERTO

As técnicas que venho estudando ecoam e desenvolvem na prática algumas idéias de Walter Benjamin[46], muito embora tenham uma origem totalmente diversa. A cultura do software livre nasce e começa a tomar forma a partir da criação de uma rede conectada de computadores nos anos 70, a ARPANET, precursora da Internet. Desde seu início, o embrião do que seria a Internet previa em sua arquitetura a cópia e o compartilhamento. A informação transmitida através da rede precisa ser copiada localmente para que seja visualizada em outro computador. Para ler um texto, ver uma foto, receber um código qualquer, esta informação deve ser transmitida pela rede e copiada na memória do computador local. Apenas isto de imediato já transforma todo o conceito de propriedade. Uma informação digital é feita de energia, praticamente algo intangível, e não depende da replicação da matéria, apenas de um acender de pontos luminosos específicos na memória e tela de um computador. A informação pode ser copiada quantas vezes forem necessárias sem que se perca absolutamente nada de seu conteúdo. A reprodução de cada cópia não tira nada do seu original. O próprio conceito de original fica comprometido com esta maneira de codificação e transmissão da informação. Um livro tirado de uma biblioteca é um livro a menos disponível para consulta. Um arquivo copiado é um arquivo a mais disponível no mundo. De uma situação de escassez, no mundo físico dos objetos, passa-se a uma situação de fartura: como a cópia distribuída pela rede não tira nada do arquivo original, a cada cópia amplia-se a sua influência e de certo modo aumenta-se o seu valor.

A cultura do compartilhamento promove a apropriação da informação alheia. Toda informação é alheia, mas também é sua em potencial. Mesmo que sob a forma de influência, esta informação antes externa agora é incorporada e naturalizada ou sofre uma antropofagia cultural quando é apropriada para virar matéria-prima. A capacidade de um programa de copiar e instantaneamente ‘colar’ a informação copiada em outro contexto inaugura todo um novo universo para a criação. E esta simples função é uma potente geradora de mundos que segue cada vez mais influente no mundo contemporâneo, desde os Dada até Rauschenberg já nos anos 70, enquanto ao mesmo tempo surgiam os computadores.

Richard Stallman, um dos principais teóricos do software livre desde os anos 70, resume esta prática: “*Compartilhar software não era algo restrito à nossa comunidade, é tão velho quanto os computadores tanto quanto compartilhar receitas é tão velho quanto cozinhar.” (STALMANN, 2002, p. 23)*

46

“*El autor como productor, el artista debe reflexionar sobre su posición en el proceso de produción, resistirse a la cultura apropriacionista de la burguesía, migrar a la revolución de la clase (proletaria) y trabajar desde allí para cambiar los medios de producción.”* (BENJAMIN APUD FOSTER, 2003, p. 4)

E ainda citando Benjamin, Foster também diz que “*(...) en vez de hablar en nombre de esta nueva fuerza social, debe alinear su práctica con su producción. De este modo el artista pasa de ser un proveedor del aparato productivo a un ingeniero que considera que su labor es adaptar dicho aparacto a los fines de la revolución proletaria.”*(BENJAMIN APUD FOSTER, 2003, p. 2)

O resultado deste processo contínuo de compartilhamento e cópia acaba sendo que:

> (...) todos estavam aptos a conseguir muito mais informação do que possivelmente poderiam sequer oferecer em sua vida. Ao adicionar suas próprias ideias, usuários da Internet eram capazes de contribuir com o conhecimento coletivo compartilhado entre tod@s. Como os acadêmicos descobriram há muito tempo, dentro da sociedade da informação, dar era receber.
>
> (BARBROOK, 2009, p 367)

Conforme conta Stallman (STALMANN, 2002, p. 24), os computadores modernos da época, como o VAX[47], usavam código proprietário. Se as pessoas não podem compartilhar o código, se precisam sempre se reportar a uma autoridade central quando desejam modificações, ninguém consegue ajudar ninguém. A regra passa a ser: se você compartilhar, você é um pirata. Tudo gira em torno de uma autoridade central que tem acesso ao código e o impõe à comunidade. Stallman apresentou para a comunidade de usuários de computadores da época a sua proposta: um sistema operacional que pudesse ser desenvolvido coletivamente e alterado conforme as necessidades de cada usuário. Seria o GNU. A sigla é uma piada nerd, pois o primeiro G significa GNU, ou seja a sigla é recursiva: GNU Não é um UNIX[48]. O que importa é o UNIX[49] homenageado. Não é um UNIX, mas ao mesmo tempo é um UNIX, no sentido de ser um sistema estável e multitarefa para operações computacionais. Ao mesmo tempo não é um UNIX, pois é aberto, gratuito e livre.

Para a minha pesquisa, utilizar as expressões 'software livre' ou 'código aberto' é indiferente. A expressão 'código aberto', a meu ver, aproxima essa prática da cultura de educação que também me interessa e envolve essencialmente o compartilhamento de conteúdos de diversas naturezas. Richard Stallman é o primeiro teórico de Software Livre. E ele faz uma distinção entre Software Livre e Código Aberto. Para Stallman, o termo “código aberto” não enfatiza o bastante a liberdade do usuário. Este é o ponto: garantir ao usuário sempre a liberdade de alterar e a liberdade de ter acesso ao código.

Na cultura de software livre, do original em inglês “*free software”*, o principal é dar ao usuário esta liberdade, a capacidade de modificar o sistema a partir de seu próprio interesse. Esta liberdade individual, em prol ao mesmo tempo do coletivo, traz como resultado final um sistema aprimorado. Essa filosofia é o que distingue o sistema de software livre do código proprietário em que só uma equipe pode aprimorar o sistema a cada bug (erro de software/hardware) ou a qualquer possibilidade de melhora que surja. Num sistema de código aberto, numa comunidade de software livre, qualquer um pode fazer qualquer melhoria, mas mesmo que o faça, não pode

---

47 Um dos computadores usados durante a década de 70. <https://en.wikipedia.org/wiki/VAX > Consultado em 21/11/2017.

48 'The name GNU was chosen following a hacker tradition, as a recursive acronym for “GNU’s Not Unix.”' (STALLMAN, 2002, p. 24)

49 UNIX é um dos sistemas operacionais mais influentes, amplamente usado lançado em 1969. < https://pt.wikipedia.org/wiki/Unix > Consultado em 21/11/2017.

fechar o código ao finalizar seu trabalho. Conforme explica Stallman, se a pessoa usar código aberto como base, modificando-o, e depois fechar o código, ela estará infringindo o copyright do código usado como base, se este tiver sido licenciado em GPL[50]. Em uma inversão irônica, a licença que regula o código aberto, a GPL, obriga a liberar também qualquer modificação feita em um software licenciado por ela.

Em inglês, Stallman precisou ressaltar que 'f*ree software*' é '*free as free speech, not as free beer*', ('*livre como liberdade de expressão, não como cerveja gratuita*') (STALLMAN, 2002, p. 43). A comunidade do software livre não é contra o comércio: vender é permitido. Só não é permitido fechar o código.
Em português não temos este problema, pois o termo '*free*' tem sua tradução em palavras diferentes conforme o sentido que se quer atribuir: livre ou gratuito. Portanto Software Livre não é software grátis, apesar de poder sê-lo.

A cultura do compartilhamento e da produção coletiva fundada pela economia da generosidade[51] e da liberdade cria novas bases éticas para uma ação criativa.
Em uma economia da dádiva, e nas práticas de código aberto, oferecer equivale a receber e quanto mais um produz, mais toda a rede enriquece. Este tipo de prática com características anarco-comunistas convive em inúmeros contextos com o capitalismo, talvez em simbiose. Apenas para fim de ilustração, o Linux é um sistema operacional que foi, e continua sendo, desenvolvido de modo coletivo pela comunidade de software livre. Para que a Internet exista é necessário que existam computadores-chave dentro da rede, os servidores. Estes servidores recebem os pedidos de endereços e os encaminham para outros servidores onde estes endereços estão hospedados. Ainda hoje, mais da metade dos servidores da Internet funciona com software livre[52]. O servidor Apache[53], desenvolvido dentro desta comunidade desde 1995, tem qualidade e potência para gerenciar pedidos de conexão e a hospedagem dentro da Internet e competir com os produtos de gigantes corporativos como a Microsoft.

No livro de Richard Barbrook, Futuros Imaginários, de 2009, o autor descreve toda a história da Internet desde o surgimento da possibilidade de criação de máquinas pensantes, ainda no fim da Segunda Guerra. Passo a passo, é narrado o surgimento desta cultura de compartilhamento dentro das elites que criaram as altas tecnologias que fundam o nosso mundo atual. Apesar de grande parte dessa cultura ter se desenvolvido no Vale do Silício, paraíso capitalista da alta tecnologia de informação, as suas práticas de cooperação e compartilhamento criam uma nova ética para a sociedade do futuro, a ética hacker, ecoando o pensamento de Benjamin, como

---

50 General Public License, licença que regula o software livre. <https://www.gnu.org/licenses/gpl-faq.html > Consultado em 21/11/2017

51 A Economia da Dádiva da Alta Tecnologia é um artigo de Richard Barbrook publicado originalmente em 1998 que argumentava que a Internet seria instrinsecamente anti-capitalista devido às suas práticas de compartilhamento radical. Disponível em: <http://innovate.ucsb.edu/796-richard-barbrook-the-hi-tech-gift-economy> Consultado em 21/11/2017.

52 Disponível em: < https://pplware.sapo.pt/linux/centos-7-instalado-vamos-instalar-o-servidor-web-apache/ > Consultado em 25/05/2018.

53 Disponível em:<https://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html > Consultado em 25/05/2018.

previamente citado por Hal Foster. Diz Richard Barbrook: “Imitação não é subserviência – é inspiração e cooperação. Remixar, samplear e citar são ferramentas do trabalho coletivo na economia da dádiva da alta tecnologia.”(BARBROOK, 2009, p. 22)

A cultura científica de experimentação de métodos e seu compartilhamento para verificação de seus resultados por seus pares ecoa dentro do processo de produção coletiva de um sistema operacional livre como o Linux.
A crítica à autoria e ao sistema de propriedade intelectual, um dos tabus do capitalismo tardio, é parte fundadora da cultura do software livre:

> Dentro dessa economia da dádiva da alta tecnologia, equipamentos e programas de computadores proprietários eram obstáculos técnicos ao modo mais eficiente de se trabalhar.
> Compartilhar conhecimento era muito mais produtivo do que comercializar informação.
> Como as cooperativas descritas por Marx em O capital, volume 3, os desenvolvedores da Arpanet[54] foram encorajados a se comportarem como comunidades autogovernantes. As pessoas que construíram a Internet eram aquelas que a coordenavam. Em uma reviravolta irônica, no auge da Guerra Fria, os militares estadunidenses financiavam a invenção do comunismo cibernético.
> (...) Compartilhar informação foi simplesmente o método mais eficiente de conduzir pesquisas científicas.
> (BARBROOK, 2009, p. 231)

E novamente com Richard Stallman:

> Meu trabalho em software livre é motivado por um ideal: espalhar liberdade e cooperação. Eu quero incentivar a difusão de software livre para que ele substitua os softwares proprietários que proíbem a cooperação e através disso criar uma sociedade melhor.
> (STALLMAN, 2002, p. 93, tradução nossa)

O pano de fundo desse cenário é a luta permanente e pragmática por uma cultura livre, onde o conhecimento circule entre todos. Stallman e a comunidade do software livre, da qual eu faço parte, busca por uma cultura onde exista o conceito de domínio público e onde todo o passado possa ser usado como referência para criação do novo; e para isso acontecer, o conhecimento precisa estar disponível abertamente para o público. Stallman chama de Idealismo Pragmático esta atitude: criar uma prática de colaboração para de fato mudar as relações entre as pessoas.

Lawrence Lessig, o advogado americano que é um dos responsáveis pelo surgimento do Creative Commons[55], narra essa luta por uma cultura onde a produção do passado possa circular livremente, parte de um acervo geral disponível

---

54 Rede acadêmica de computadores criada nos anos 60 nos EUA, anterior à Internet e sua precursora.

55 Creative Commons é uma organização fundada em 2001 por Larry Lessig, Hal Abelson, e Eric Eldred. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons > Consultada em 21/11/2017

para as pessoas, em oposição ao interesse de corporações que exploram esse tipo de valor.
Atualmente, no Brasil, o tempo para que uma obra entre em domínio público é de 70 anos após a morte do autor. Nos EUA, graças ao Mickey Mouse e às duas extensões de prazo que a Disney já conseguiu perante a Suprema Corte americana para proteger seu personagem, as obras hoje em dia caem em domínio público depois de 95 anos. Estas informações fornecem um contexto. Como em qualquer área do conhecimento, quanto mais se busca, mais se encontra, e cabe ao pesquisador decidir até onde ir. Nesta questão eu paro por aqui e termino tomando partido das práticas livres que já são de domínio público e de seu constante aprimoramento.

3.1. Do Wiring ao Arduino

Para realizar a pesquisa prática usando o Arduino, eu investiguei este sistema desde a sua origem. O Arduino foi criado a partir de um sistema desenvolvido em uma tese de mestrado por um colombiano em 2004 no Interaction Design Institute Ivrea[56], Itália, sob orientação de Massimo Banzi e Casey Reas. Aqui trato desta criação original, o Wiring. Para investigar o Wiring, tive acesso a esta dissertação de mestrado de Hernando Barragán e o texto a seguir é uma análise das partes dela que mais interessam a esta pesquisa.

Sistemas digitais interativos também são chamados de computação física ou computação tangível. Até a invenção do Wiring, realizar sistemas digitais interativos exigia um enorme conhecimento de engenharia eletrônica. Estes sistemas, que nada mais são do que computadores espalhados por algum espaço/corpo, compõem-se de duas partes: hardware e software. Hardware é o ‘corpo’, a parte física deste sistema, e o software é a ‘alma’, o código que põe todas as peças em relação e as fazem funcionar da maneira desejada. Para a criação de um sistema digital interativo é preciso resolver todas as questões envolvidas em ambas as complexas partes deste sistema. Isso começa com o objetivo: vai ser uma projeção que acompanha o corpo da performer ou um alarme de casa? A partir disso desenha-se o sistema, escolhendo-se os componentes a serem utilizados no hardware, como sensores, luzes e motores, passando depois pela criação de um circuito a ser desenhado e montado com outros componentes como capacitores, resistores, luzes de led, osciladores de cristal e um ou mais circuitos integrados. Com isso construído, é necessário um software que controle e faça funcionar o sistema. Para escrever este software, é preciso escolher uma linguagem de programação e um código específico para o projeto. Artistas e designers de um modo geral não dominam a complexidade de todos estes níveis necessários de hardware e software para um projeto interativo bem sucedido. Percebendo a existência deste problema, Barragán, com o Wiring, propôs criar um sistema que simplificasse tudo isso.

A proposta do Wiring era ser um sistema que permitisse que artistas e designers pudessem desenvolver seus próprios sistemas digitais interativos mesmo sem grandes conhecimentos de eletrônica. O Wiring também foi pensado para uso em

---

56 Escola de Design que existiu de 2001 a 2005 na Itália. <https://en.wikipedia.org/wiki/Interaction_Design_Institute_Ivrea > Consultado em 21/11/2017

sala de aula, seja para o ensino em áreas computacionais ou dentro do contexto do ensino de arte ou design.

Em seu mestrado no Ivrea, Barragán realiza em sua dissertação um amplo levantamento dos muitos métodos existentes até aquele momento para criação destes sistemas de computação física. Esses equipamentos eram originários tanto de laboratórios de pesquisa em universidades como de empresas de tecnologia. A maioria dos sistemas analisados por Barragán tinha objetivo comercial, mesmo quando na prática acabavam sendo usados apenas em processos educativos. Sistemas como esses foram projetados e alguns eram vendidos para a criação de protótipos de robôs. Após o uso de muitos destes equipamentos em seus testes durante sua pesquisa, Barragán percebeu que havia problemas recorrentes com eles e se propôs a criar um novo sistema de computação física que os evitasse.

O núcleo de um sistema computacional é o seu microcontrolador, também chamado de circuito integrado (ou CI) ou mais comumente de chip. É o cérebro do sistema. É nele que fica gravado o software, escrito com alguma linguagem de programação como C++, Java, Python, etc. O microcontrolador funciona como um mecanismo de controle de entradas e saídas de informação, sendo esta informação, em última análise, energia elétrica. Um sistema digital interativo consiste no gerenciamento da informação que entra no chip a partir de componentes como sensores, botões, etc, de modo a permitir uma saída de energia que permita o funcionamento programado de outros componentes como luzes, motores, etc. Barragán enumera em sua dissertação os diversos microcontroladores de diversos fabricantes existentes no mercado descrevendo seu funcionamento. Ele descreve que o processo de gravação de dados em um microcontrolador para uso em sistemas de computação física faz uso de um outro computador. Este computador é onde se escreve o software e a partir de onde este software (ou programa) é enviado para o microcontrolador.

Na sequência, Barragán parte para a enumeração e descrição de cada uma das linguagens desenvolvidas por diversas instituições acadêmicas. Essas linguagens têm por objetivo tanto o ensino de programação como seu uso nos sistemas de computação física já existentes na época. Muitas foram as linguagens desenvolvidas para estes fins e algumas, como a Logo, DBN, Squeak, Boxer, Processing, são citadas por Barragán. Dentre estas, seu foco está no Processing. Desenvolvida dentro do MIT (Massachusetts Institute of Technology), a linguagem Processing foi pensada para uso no contexto das artes eletrônicas. Ela foi criada em 2001 para ser uma linguagem de fácil aprendizado por parte de artistas que não possuem conhecimentos avançados em computação e, de sua criação até hoje, é amplamente utilizada. Um dos criadores do Processing, Casey Reas, também era coorientador de Barragán no Ivrea. O próprio Barragán trabalhou também no desenvolvimento desta linguagem.

A linguagem Processing foi disponibilizada desde o início de forma livre e gratuita na internet. Por causa disso e por suas qualidades, versatilidades e funcionalidades múltiplas formou-se rapidamente uma ampla base de usuários que expandiram e diversificaram o seu uso. Há várias comunidades para troca e difusão de informações sobre os mais diversos tipos de projetos interativos usando esta linguagem de programação. Essa comunidade segue o modelo de produção onde um programa ou uma placa física podem ser copiados de graça a partir de uma

receita. Também é possível fazer o que se quiser com o resultado, até vender. É software livre, código aberto, conhecimento livre.

Barragán prossegue com a descrição dos diversos sistemas de computação física existentes no mercado. Sistemas como o 6270, o MiniBoard, o HandyBoard, o Programmable Brick (que deu origem ao Lego Robótico), o Cricket, o GoGoBoard, o Nylon, o Hotpants, BasicStamps, e diversos outros, cada um projetado por uma universidade ou empresa diferente. Para realizar sua dissertação, Barragán teve acesso e testou cada um destes sistemas analisando fatores como disponibilidade e variedade de componentes, dificuldade de programação, preço, etc. Ao final do capítulo, Barragán defende o uso de softwares livres para uso em sala de aula por motivos óbvios como facilidade de aquisição e de atualização. Citando um texto da Free Software Foundation[57], de 2003: “O conhecimento é universal, software livre também é”.

Ao projetar o seu próprio sistema para uso em computação física, Barragán aproveita sua intimidade com o Processing e se aproveita de suas características e vantagens, baseando nele a linguagem de programação a ser utilizada pelo Wiring. Isso resolve um dos problemas que muitos dos sistemas testados por Barragán possuem: a dificuldade de programar o chip. Este foi o grande diferencial do Wiring em relação a todos os seus concorrentes, e eu arrisco afirmar que foi isso que determinou o sucesso do seu projeto.

O Wiring foi disponibilizado por Barragán como hardware e software livres, ou seja, tanto a placa física poderia ser refeita com componentes semelhantes por qualquer um que estivesse interessado, como o seu software poderia ser copiado e utilizado de maneira livre e gratuita por qualquer um, mesmo com fins comerciais. Isto permitiu que outra equipe criasse o Arduino (no ano seguinte da publicação da dissertação de Barragán) partindo de todos os avanços implementados por ele para criar o sistema de computação física mais bem sucedido desde então. Curiosamente, esta equipe foi liderada pelo seu outro coorientador no Ivrea, Massimo Banzi, que também já havia desenvolvido outros modelos para computação física, mas que nunca havia obtido sucesso tão estrondoso. Em um dos livros de divulgação da plataforma[58] isso consta nos agradecimentos “(...) for the work he has done on Wiring” e no mesmo livro logo no início ele faz questão de interromper o fluxo do texto para dar destaque à informação: “NOTE: Arduino builds upon the thesis work Hernando Barragan did on the Wiring platform while studying under Casey Reas and me at IDII Ivrea.” (BANZI, 2009, p. 2)

3.2. Comunidade Arduino

Portanto, o Arduino é uma tecnologia de código aberto que permite a realização de projetos em computação física, seja de obras de arte, projetos de design ou automação residencial. Entre os projetos realizados com o Arduino, alguns foram uma transformação do próprio Arduino feitos por usuários e assim surgiram

---

57 Organização sem fins lucrativos com a missão mundial de promover a liberdade dos usuários de computador e defender seus direitos. <https://www.fsf.org/pt-br > Consultada em 22/11/2017.

58 Getting Started With Arduino, Massimo Banzi, O'Reilly, 2009.

derivados como o Lilypad, um Arduino para *wearable computing*, e o já citado Paperduino, entre inúmeros outros. Por ser de código aberto, qualquer um pode criar uma versão do Arduino e por isto surgiram inúmeras variações criadas para ajudar em situações específicas. Os Arduinos Uno e Mega são bastante utilizados em situações pedagógicas. O Lilypad foi desenvolvido especialmente para produção de vestíveis interativos. O Arduino Nano pode ser facilmente embutido em diversos mecanismos devido ao seu tamanho compacto. Existem, entre outros, um projeto brasileiro chamado Marminino[59] e outro chamado de Franzininho[60]

59

Projeto de Daniel Chagas <http://blog.fazedores.com/marminino-o-arduino-cearense/ >Consultado em 24/05/2018

60

Projeto de Fábio Souza < https://www.embarcados.com.br/franzininho/ > Consultado em 24/05/2018

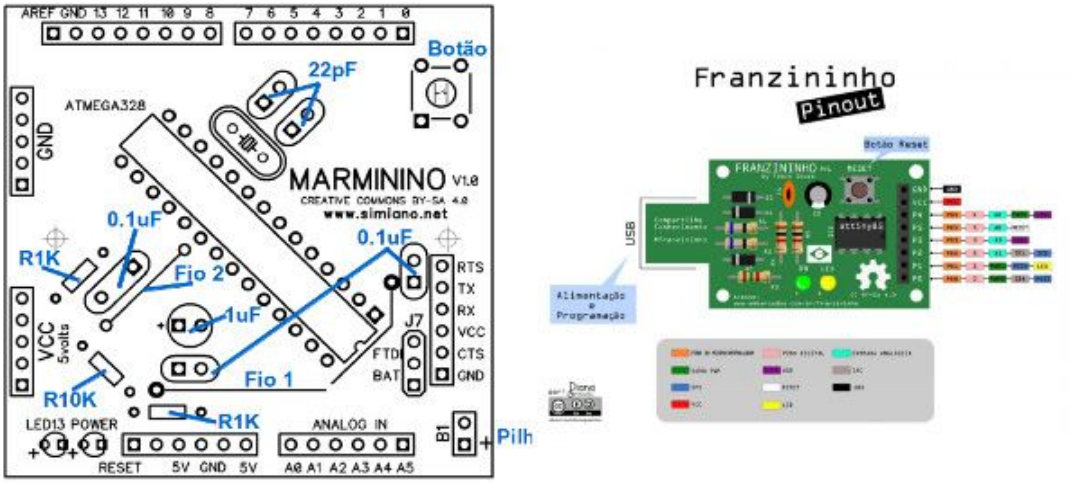


Figura 23 – Ilustrações da placas Marminino e Franzininho.

O Arduino usa microcontroladores AVR fabricados pela Atmel. Essa família de chips traz inúmeras facilidades pelas características provenientes da arquitetura Harvard, como as muitas entradas/saídas, entre digitais e analógicas, e sua operação com três tipos de memória, sendo duas permanentes para armazenamento de software e uma volátil para execução de programas. Ou seja, numa mesma placa funcionam três memórias: uma para o *bootloader* (que seria o equivalente de um 'sistema operacional'), outra para o programa a ser executado e uma RAM para sua execução.
Isso e outras coisas, como as inúmeras[61] entradas e saídas de dados, análogicas e digitais, fizeram desse chip o escolhido por Barragán quando projetou o Wiring:

> I designed the Wiring electronics I/O board. This I/O board is based on the Atmel AVR atmega128 microcontroller, which is a powerful, scalable and cost effective. The board has available 48 I/O digital pins, 8 Analog Input pins and 6 Analog Output (PWM) pins. (BARRAGÁN, 2004, p. 26)

O Arduino seguiu também nisso a escolha de Barragán e manteve o AVR Atmel com suas vantagens. Para que o microprocessador reconheça a linguagem do Arduino é preciso 'formatar' o chip gravando o *bootloader*. Isso é feito a partir de um computador com a IDE do Arduino ligado a outro hardware específico para programação – o SPI, *Serial Programmer Interface*.

3.3. Aplicações na Arte

61 O número de entradas e saídas analógicas e digitais do Arduino é variável a depender do modelo da placa. (N.d.A.)

Dentro do universo da arte, um dos dispositivos interativos disponíveis mais usados hoje em dia é o Arduino[62], sistema de computação física de hardware e software aberto e com uma ampla comunidade de entusiastas usando, produzindo e compartilhando os mais diversos códigos e projetos[63]. Essa comunidade, que acredita no software livre/código aberto[64] - ou seja, em compartilhar e acessar livremente qualquer informação dentro da rede – busca, na verdade, a solução de problemas cotidianos que surgem em suas mais diversas práticas, sejam sistemas de interação robótica para pesquisa científica seja na criação de um brinquedo robótico ou em um jogo interativo multiusuário, seja na irrigação de um jardim ou na segurança de uma casa. O Arduino fornece os meios para a instalação de quase qualquer projeto de interação através do uso controlado da energia elétrica por componentes eletrônicos.

Código aberto significa que todos os planos e projetos relacionados ao Arduino estão publicados e podem ser recriados ou alterados sem nenhum encargo de copyright. Significa que é possível comprar os componentes e fazer uma placa "Arduino" adaptada ao seu projeto. E se o projeto for bem sucedido, o autor muito provavelmente irá querer contribuir para a comunidade que o ajudou publicando também seus resultados e reiniciando o ciclo de difusão do conhecimento. Essa é a filosofia do movimento de software livre/código-aberto.

O Arduino é um microcontrolador de código e hardware aberto que torna fácil conectar motores, sensores e outros componentes e controlá-los via programação com uma linguagem baseada em C++. Ele responde a muitas das necessidades atuais de interação com sistemas digitais e elétricos. Ele começou em 2003 com o desenvolvimento do Wiring, projeto do mestrando Hernando Barragán dentro do Instituto Ivrea de Design Interativo. A grande solução de Barragán foi partir do Processing para montar a linguagem de programação do Wiring. Com isto, ele integrou o hardware projetado por ele mesmo a um ambiente gráfico de programação[65] que já existia.

> With Processing there is a community of 5000+ artists, designers and programmers around the globe, as well a group of educators, using Processing in their teaching curriculums in art and design schools. I found inspiring and of great value to build on this work. (BARRAGÁN, 2004, p. 19)

Antes a criação do Wiring, vários sistemas de computação física já haviam sido criados. O grande problema deles eram as suas linguagens de programação: ou eram linguagens novas, específicas para eles, ou então linguagens de programação

---

62 <https://www.arduino.cc/ > Arduino, site oficial. Consultado em 21/11/2017.

63 Por exemplo no site Instructables <http://www.instructables.com/id/Arduino-Projects/ > Consultado em 21/11/2017.

64 Para fins desta dissertação os termos software livre e código aberto podem ser usados como sinônimos porém eles não significam exatamente a mesma coisa. Segundo Richard Stallman, "O código aberto é uma metodologia de desenvolvimento; o software livre é um movimento social." (STALLMAN, 2002, p.57)

65 Chamada de IDE: Integrated Drive Eletronics, um ambiente gráfico de programação para criação de softwares (N.d.A.)

complexas como C++, etc. Ambos os casos traziam consigo uma lenta curva de aprendizado para que esses dispositivos fossem usados por artistas ou leigos. Barragán contornou esse problema diagnosticado por ele em sua dissertação e com isso o Wiring ganhou de imediato facilidade de programação e estabilidade no sistema. O Arduino surge em 2005 mantendo todas as conquistas do Wiring, mas com outro design.

Tanto o Wiring, originalmente criado por Barragán em 2004, como o Arduino, capitaneado[66] por Massimo Banzi e criado em 2005, são dispositivos de computação física e, como tal, são projetados para criar sistemas interativos recebendo inputs através de sensores, botões, microfones, etc. Esses inputs são armazenados, processados e podem acionar luzes, controlar imagens, sons, motores, etc.

66

"The creators of the Arduino are Massimo Banzi, David Cuartielles, Dave Mellis, Gianluca Martino with Nicholas Zambetti." GIBB, Alicia M. **New Media Art, Design and the Arduino Microcontroller: A Malleable Tool,** Master of Science Thesis, Pratt Institute School of Art and Design, 2010. Banzi havia sido orientador de Barragán no Interaction Design Institute Ivrea durante sua dissertação sobre o Wiring. No ano seguinte à publicação da dissertação de Barragán definindo e criando o Wiring, Banzi monta uma outra equipe e redesenha o Wiring que Barragán havia liberado em regime de código aberto, criando o Arduino.

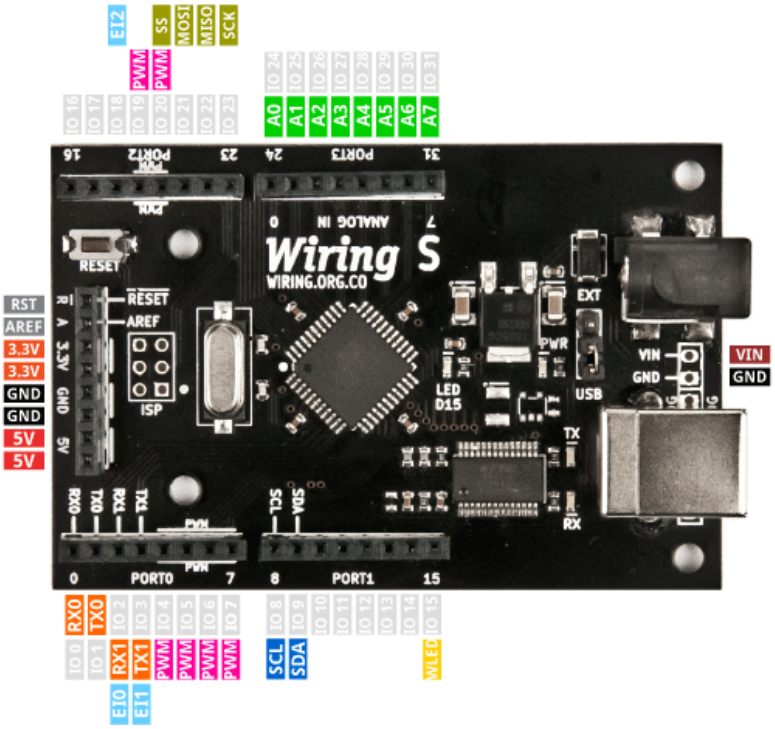


Figura 24 – Wiring, Hernando Barragán.

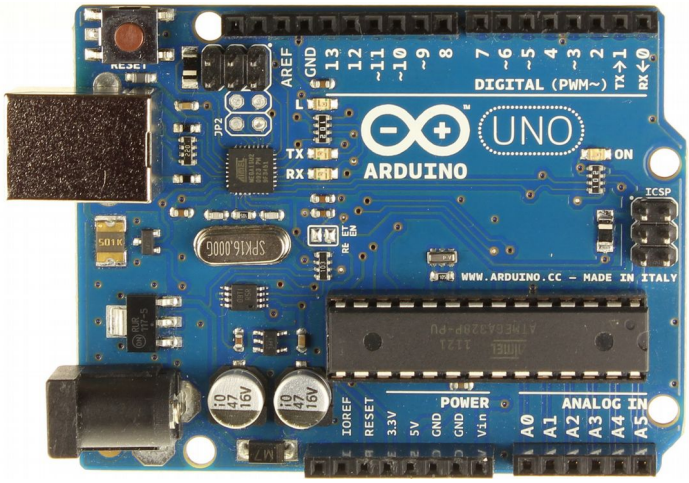


Figura 25 – Arduino Uno, Massimo Banzi. 2005.

Partindo da minha proposta de aplicar os conceitos da matéria programável dentro do universo da arte, o Arduino foi o dispositivo mais adequado para a minha pesquisa. Quais seriam as contribuições do Arduino para a criação de um origami robótico de baixo custo e código aberto? É para responder esta questão que desenvolvi minha pesquisa. Não sou o primeiro a realizar experiências com o Arduino, ao contrário, o sistema foi projetado pensando exatamente em resolver problemas para artistas e designers e trazer soluções para questões práticas de interação mecano-sensorial. O diferencial que proponho é o campo de estudos

extremamente atual que nasce da união do origami e da robótica como fonte de inspiração para a criação artística.

No terreno da arte, entre os pioneiros e expoentes desta prática de programar a matéria com fins artísticos está Daniel Rozin[67]. Desde meados da década de 90, ele cria inúmeras variações de seus espelhos onde o reflexo de quem interage é formado com objetos físicos dispostos em matriz ortogonal, sejam estes objetos pompons, pinguins ou leques. Cada 'objeto/pixel' gira e muda sua textura, sinalizando sim ou não e refazendo a imagem de modo tosco, em baixa resolução, porém em tempo real, conectado a algum sensor de movimento.



Figura 26 – PomPom Mirror, Daniel Rozin, 2015.

Os projetos interativos de Rozin começaram a ser concebidos e executados antes do surgimento do Arduino[68], mas já anunciam a onda de projetos interativos que tomaram o mundo da arte pós-Arduino. Desde sua criação e a partir das pesquisas de inúmeros artistas e designers, o Arduino virou a plataforma padrão para isso. Não por acaso, desde seu início em 2005, as obras de interação multimídia proliferaram no mundo[69]. Dada sua característica de código aberto, o conhecimento e os métodos já criados em geral encontram-se à disposição de quem busca informação e uma forte e atuante comunidade existe atualmente em torno do Arduino.

Dentro da minha pesquisa, dada a sua facilidade de uso e inúmeros recursos, o Arduino é a melhor plataforma à minha disposição para projetar uma matéria programável inspirada na linguagem do origami. Como o Arduino possui código aberto, já existem diversas derivações desta plataforma. Em uma delas, o

---

67 Daniel Rozin, artista e professor israelense com carreira e reconhecimentos internacionais. <http://www.smoothware.com/danny/> Consultado em 21/11/2017

68 <http://swisskineticart.weebly.com/daniel-rozin.html> Consultado em 21/11/2017

69 "From 2005-2009 there is continuous growth of the term „Arduino" used in websites according to Google Trends" GIBB, Alicia M. **New Media Art, Design and the Arduino Microcontroller: A Malleable Tool,** Master of Science Thesis, Pratt Institute School of Art and Design, 2010.

Paperduíno, que já foi pensado para uma integração com os componentes robóticos montados diretamente no papel. Minha pesquisa preliminar já apontava para isso: desenvolver um sistema integrado entre o Arduino e o papel para criar o origami robotizado poderia ser parte importante da poética do trabalho. Conhecendo o Paperduíno, ampliei o meu repertório de possibilidades criativas a partir desta união entre o Arduino, a robótica e o origami, mas como já tinha dominado a técnica de montagem de um Arduino a partir de seus componentes, não necessitei de um sistema pronto como o Paperduino.

4. ORIGAMI E CÓDIGO ABERTO

Existem algumas semelhanças que aproximam a prática do origami e as técnicas de robótica de código aberto. Tanto o origami quanto o Arduino são criados e praticados dentro do espírito da cultura do compartilhamento de ideias, projetos e soluções. Ambos devem o desenvolvimento de suas linguagens aos esforços de pessoas que permanecem ativas publicando e recebendo, trocando informações e mantendo a cultura viva. Estudando e praticando origami desde 2011, para mim está bastante claro que a prática do origami é algo que acontece de modo coletivo e tem uma ligação conceitual e filosófica com a cultura do compartilhamento e do software livre. É uma cultura que cada geração de artistas compartilha com as gerações seguintes ao abrir o código de seus modelos e publicar diagramas de suas criações. A busca pelas melhores soluções, com a publicação parcial de pequenos avanços técnicos, gera o compartilhamento também das reações e respostas a estes conteúdos. E, nestes momentos de efervescência coletiva, as criações individuais acabam potencializando e sendo potencializadas pelo coletivo. Além de compartilhar conteúdos entre pessoas da mesma época, este modelo permite também trazer para dentro da obra e pôr novamente em circulação conteúdos de outras épocas na forma de deslocamentos, de fragmentos, recombinações, colagens, etc.

Robert J, Lang é novamente uma fonte importante sobre origami ao explicar a importância do trabalho de Akira Yoshizawa. Lang descreve a história da criação da notação criada para registros de modelos de origami, o sistema Yoshizawa-Randlett-Harbin de notação[70].

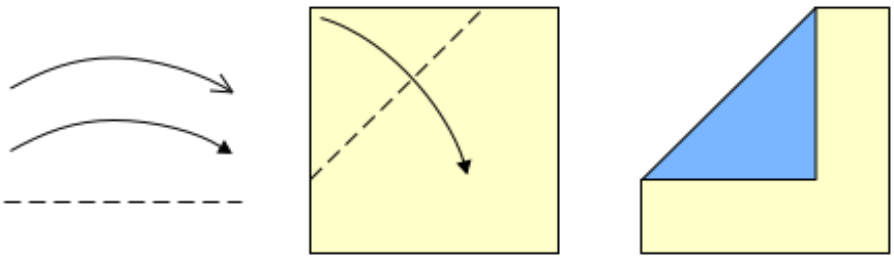


Figura 27 – Exemplo de notação no sistema Yoshizawa-Randlett-Harbin.

A criação deste sistema ajudou a difundir a prática e a cultura do origami por todo o mundo. Segundo Lang, a criação e a difusão deste sistema por Yoshizawa permitiu que os criadores compartilhassem uma linguagem comum, o que aproximou toda a comunidade, trouxe dinamismo ao universo criativo do origami e estimulou uma nova geração de artistas do origami. Esta nova geração, que cresceu em contato com a arte de Yoshizawa, acabou também por aproximar o origami da linguagem da matemática, e a união destes dois fatos permitiu um salto de qualidade, diversidade e repertório dentro do origami a partir da segunda metade do século XX. De maneira que existem duas camadas de repertório aberto sustentando o desenvolvimento do origami a partir daí: uma notação específica para origamis, cuja origem se deve a Yoshizawa, e todo o conhecimento de geometria disponível para estudo e prática.

70 <https://en.wikipedia.org/wiki/Yoshizawa%E2%80%93Randlett_system > Consultado em 27/05/2018

E o resultado disto é que décadas depois inúmeros bons criadores encontram-se hoje espalhados pelo mundo, incluindo Lang, norte-americano que é uma das maiores autoridades no assunto hoje.
O resultado disso é que hoje em dia o origami pode ser entendido metaforicamente como um código de programação da matéria. Na cultura do software livre, os códigos são publicados e o site de referência é o Github[71]. Na cultura do origami são inúmeros os livros publicados com um tutorial detalhado dos modelos de cada criador.

O origami se apresenta em geral estático, como objeto ou escultura. Mas também existe uma vertente de origamis dinâmicos: o sapo que pula, o tsuru que bate asas, o abre-fecha muito usado pelas crianças em brincadeiras.

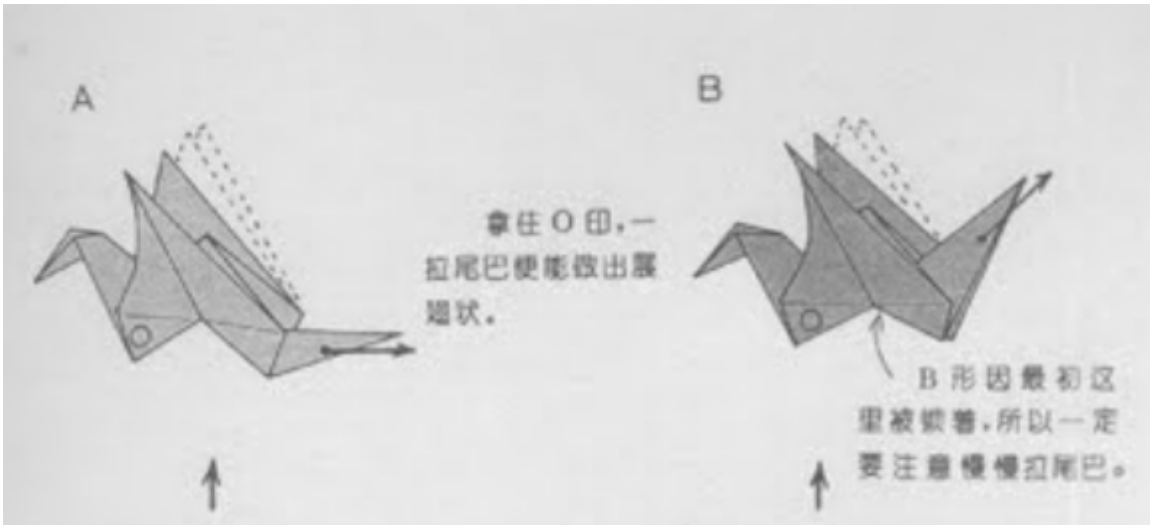


Figura 28 – Tsuru que bate asas, Tomoko Fuse.

Em qualquer destas variantes, o origami costuma ser visto pelo público como um prodígio de técnica. É o domínio da matéria: uma folha de papel quadrada transformada em um cervo ou em Mestre Yoda, mágica que as pessoas reconhecem como Arte quando olham. O origami é uma arte viva e instantânea, é algo que pode ser feito agora com um pedaço de papel qualquer. Há modelos disponíveis para a comunidade em livros e na internet, com instruções passo a passo de modelos de bichos e outros objetos e seres de origami. E as pessoas aprendem sozinhas a partir desta notação Yoshizawa-Randlett-Harbin, que foi desenvolvida ao longo de algumas décadas. Este sistema de setas, traços e outros elementos descreve o passo a passo da feitura de um origami a partir de uma folha lisa.

O origami estabelece uma convergência entre a arte e o processo de educação. É também a união da performance e da prática instantânea com a cultura e a memória. E existe no origami uma cultura natural do compartilhamento, qualquer praticante de origami sabe disso. Aprendem-se modelos sempre através de outros praticantes, seja pessoalmente ou através de vídeos na internet ou livros de modelos. Por ser uma cultura viva, o origami necessita de uma comunidade viva

71

Github é o mais importante repositório aberto de códigos de programação. Foi recentemente adquirido pela Microsoft o que causou impacto na comunidade e tornou incerto o seu futuro. < https://github.com/> Consultado em 05/06/2018

trocando informações e práticas, mesmo que mediada[72]. No origami, a matéria é transformada pela energia das mãos de uma vez só. Enquanto isso, na robótica tudo pode ser móvel e reversível através do uso de motores e tudo é, em potência, controlável.

Quando comecei a experimentar o Arduino, entendi que o código de um projeto no Arduino são pedaços de informação articulados, cada um relativo a um componente físico como um motor, sensor, luz, etc. Isso, organizado da maneira correta, com as funções que o software permite, fazem o sistema funcionar num grande agregado, uma colagem de objetos (motores, sensores, luzes) físicos e informação eletroeletrônica unindo sensores aos motores e gerando movimento ou interação real. E depois de entender isto, percebi que tanto um robô quanto o origami são os lugares onde um código efetivamente ganha corpo dentro da matéria.

O origami é uma matéria controlada, enquanto a robótica está mais para uma matéria controlável. E matéria programável é apenas outro nome para robótica, mas uma robótica específica: mudar a forma da matéria alterando sua função conforme a necessidade.

---

72 Uso esse termo livremente significando informações transmitidas/recebidas por canais eletrônicos.

5. PROGRAMANDO A MATÉRIA

5.1. Projetando Transformações

Na tentativa de chegar a modelos originais como resultado final desta pesquisa, foram inúmeros e contínuos os estudos para um origami robótico. Junto com o problema de criar um modelo que saísse do plano e formasse uma figura, ainda que abstrata, estava junto o outro problema de realizar isto a partir do número limitado de motores a que eu tinha acesso. Outro desafio ao qual me propus foi o de conseguir produzir um deslocamento da peça em uma superfície: o origami robótico precisava andar! E por fim, a peça deveria ser simples e esta simplicidade deveria ser evidente.

Em busca de modelos que unissem todas estas qualidades, foram dois anos intensos de estudos, contando desde o início formal desta pesquisa, e três anos desde minhas primeiras investigações sobre origami e robótica. Em qualquer lugar e a qualquer momento, lá estava eu dobrando papéis aleatórios que sempre tenho comigo. Ao pegar um folheto qualquer entregue na rua, um impresso com cores vivas ou formas interessantes recolhido em alguma exposição, ou ao guardar folhetos de propaganda distribuídos na entrada do metrô, qualquer papel era material de estudo. Andando pelas ruas, esperando em alguma fila, no transporte público: qualquer tempo é passível de ser ocupado por um estudo de forma.

Na exposição que encerra este mestrado foi exposta uma pequena parte das dezenas e dezenas de tentativas e brincadeiras aleatórias a que me dediquei durante este período, buscando as formas finais que iriam compô-la. E foi nestes estudos que surgiram muitas das soluções que usei depois com a aplicação dos métodos desenvolvidos durante a pesquisa.

Os modelos dos origamis que eu faço, em geral, surgem da mão, não da ideia. Durante esta pesquisa, o processo muitas vezes foi físico e não consciente. A mão vai fazendo a pesquisa ao agir na matéria segundo as possibilidades dadas pela última dobra feita, e as dobras vão se acumulando e gerando alguma estrutura a partir do seu acúmulo e de suas relações internas, até que em algum momento a forma se completa. E é neste momento que surge o movimento necessário para criar algum movimento na peça, que atenda ao menos a dois dos três requisitos seguintes:
1. Sair do plano e chegar ao tridimensional com o mínimo de dobras sendo movidas.
2. Deslocar-se, ao menos em teoria, por uma superfície.
3. Ser simples.
Um modelo ideal faria as duas primeiras coisas e ainda seria inacreditavelmente simples. Todas as peças que acabaram sendo expostas tiveram sua forma final revelada apenas no momento em que eu já finalizava a exposição, algumas semanas antes de sua abertura.

Após a qualificação, fui aconselhado por um dos membros da banca, o Prof. Dr.

José Spaniol, a deixar de lado a teoria e resolver as formas. Seguindo este conselho, no final de 2017 resolvi começar a construir as peças finais. Naquele momento, eu ainda não sabia o que iria fazer. Uma das peças parecia já estar definida, mas eu tinha intenção de expor pelo menos 4 modelos diferentes de origamis robóticos. Outro conselho dado por Spaniol: abandone o origami, abandone as regras. A peça não precisa partir de um quadrado. E, como a minha orientadora já havia dito várias vezes, as peças finais também nem precisariam ser feitas de papel. Liberto por estes conselhos, o meu tema, então, passou a ser o plano gerando tridimensionalidade a partir de suas dobras. É óbvio que eu não iria abandonar o origami e seu repertório de técnicas de dobras, mas na perspectiva de quem está fazendo algo que nunca foi feito, me senti livre para ir um pouco além do quadrado e experimentar a partir de um retângulo formado por dois quadrados. Desse modo, eu mantinha a relação afetiva com a base tradicional do origami ao mesmo tempo em que abria um campo novo de experimentação para as formas que estava buscando. Usando o mesmo método de deixar as mãos agirem enquanto a mente permanecia em busca da simplicidade, cheguei finalmente na base de duas das obras que foram expostas. A resolução veio quando o inconsciente foi estimulado pela forma poliédrica sugerida pela calçada de uma rua por onde ando com frequência quando preciso pensar: a Rua Augusta. Subir a Augusta, caminhar por toda a Paulista e voltar no sentido contrário é o meu método de meditação dinâmica. Ao esvaziar a mente, deixar os pensamentos fluírem, enquanto era exposto aos ritmos e formas e sons da cidade, resolvi as questões mais diversas. Em um destes passeios, reparei que uma calçada de um prédio ainda não inaugurado formava um padrão triangular e raro para uma calçada em São Paulo.



Figura 29 – Padrão de calçada na Rua Augusta, Foto do autor.

Este padrão me lembrou das pesquisas de Buckminster Fuller que levaram à criação da cúpula geodésica e do mapa que ele chamou de Dymaxion, uma superfície plana que quando dobrada transforma-se em um icosaedro representando um globo terrestre.

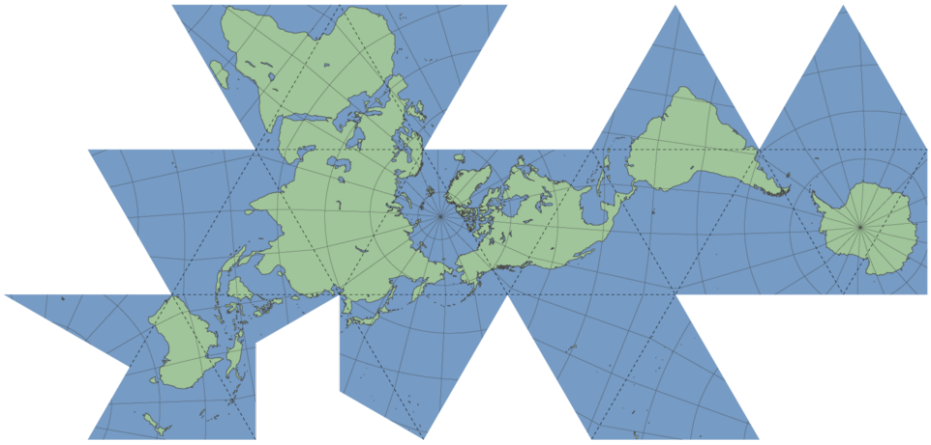


Figura 30 – Mapa Dymaxion, criação de Buckminster Fuller.

Inspirado pela associação imediatamente peguei um pedaço de papel quadrado na minha bolsa que fui dobrando repetidas vezes ao meio, sempre formando dois triângulos, um em cada aresta da dobra. Este processo repetido rapidamente esgotou o tamanho do papel me impedindo de continuar a dobrar. Então desdobrei tudo, ficando com um papel quadrado onde estava inscrito um padrão muito parecido com o da calçada recém-cruzada e das formas de Buckminster, porém feito de triângulos isóceles em vez de equiláteros. Ainda em movimento, andando pela Augusta, comecei a brincar com as coincidências de linhas formadas pelo padrão. Tendo apenas dois tipos de dobras, vale e montanha, e um espaço pré-definido e bastante limitado logo começaram a surgir formas. Cheguei a uma que achei parecida com uma foca.

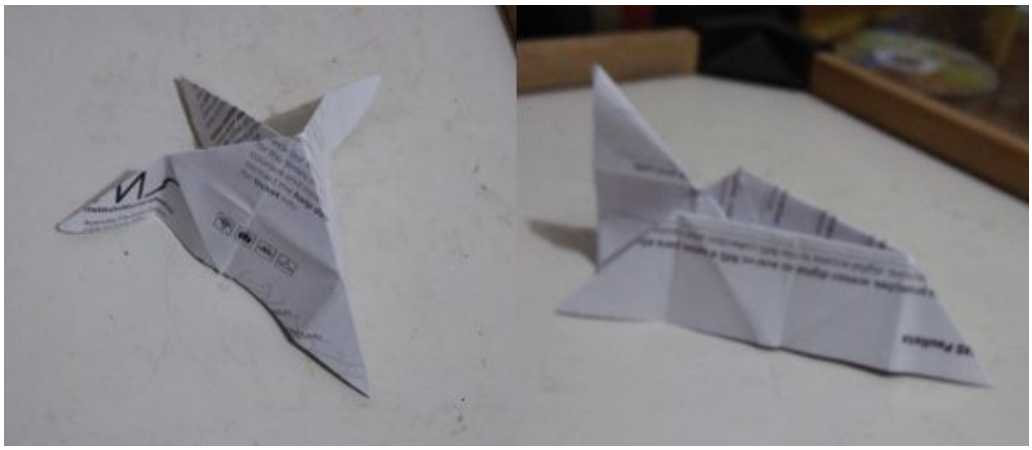


Figura 31 – Origamis de Tartaruga e de Foca, criação e fotos do autor.

Ela cumpria dois dos requisitos: era simples e, ao menos em teoria, eu conseguiria fazê-la sair da superfície movendo apenas duas dobras. Dobrei ao meio cuidadosamente e guardei. Retirei mais um papel e, sempre em movimento, descendo a rua, comecei tudo de novo: multifacetei a superfície com triângulos, dobrando sucessivamente até o limite, desdobrei e deixei que as mãos encontrassem formas no padrão poliédrico. Surgiu então uma tartaruga. Guardei-a também e me dei por satisfeito, tendo naquele momento a certeza de que havia encontrado algo importante.

Outra característica do meu método de criação é que eu não tenho pressa. Em um mestrado que só dura dois anos, isto pode ser um problema. Três meses antes da data agendada da exposição, comecei de fato a definir as quatro peças que gostaria de expor. Uma já havia se destacado e, portanto, havia mais três a serem descobertas. Lembrei-me do padrão triangular e resolvi aplicar o mesmo método no retângulo formado por dois quadrados. Partindo de um papel bem maior agora, cheguei a uma forma com 16 triângulos e fiquei um bom tempo brincando, agora só gerando formas abstratas que podiam facilmente se converter em outras formas ao se alterar uma ou outra dobra. Novamente, senti que havia descoberto algo, mais um passo adiante. Refiz a mesma forma, desta vez usando pedaços de papel-pluma, um aglutinado composto de um fino isopor com dois pedaços de papel, um de cada lado. Esse material é geralmente usado por arquitetos para produção de maquetes por sua resistência e beleza no acabamento. Cortei quadrados deste papel em 16 triângulos iguais e refiz a forma unindo os triângulos com fita adesiva branca deixando uma distância entre cada um que permitisse a sua dobra para ambos os lados.

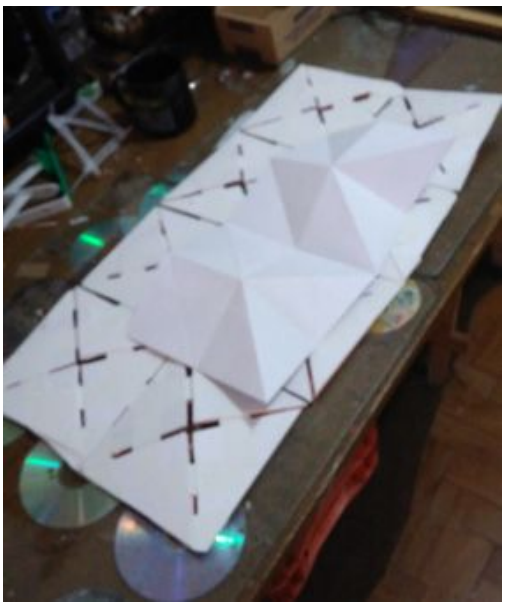


Figura 32 – Papel para Origami Robótico embaixo do papel retangular que lhe serviu de modelo, criação e foto do autor.

Recobri o retângulo poliédrico com fita adesiva transparente larga e criei assim uma superfície pré-dividida em dobras muito semelhantes ao padrão que havia gerado a

foca e a tartaruga[73]. Porém, aquelas figuras haviam surgido de um quadrado e agora eu tinha um retângulo. Fiquei algum tempo brincando com essa superfície, buscando alguma forma.

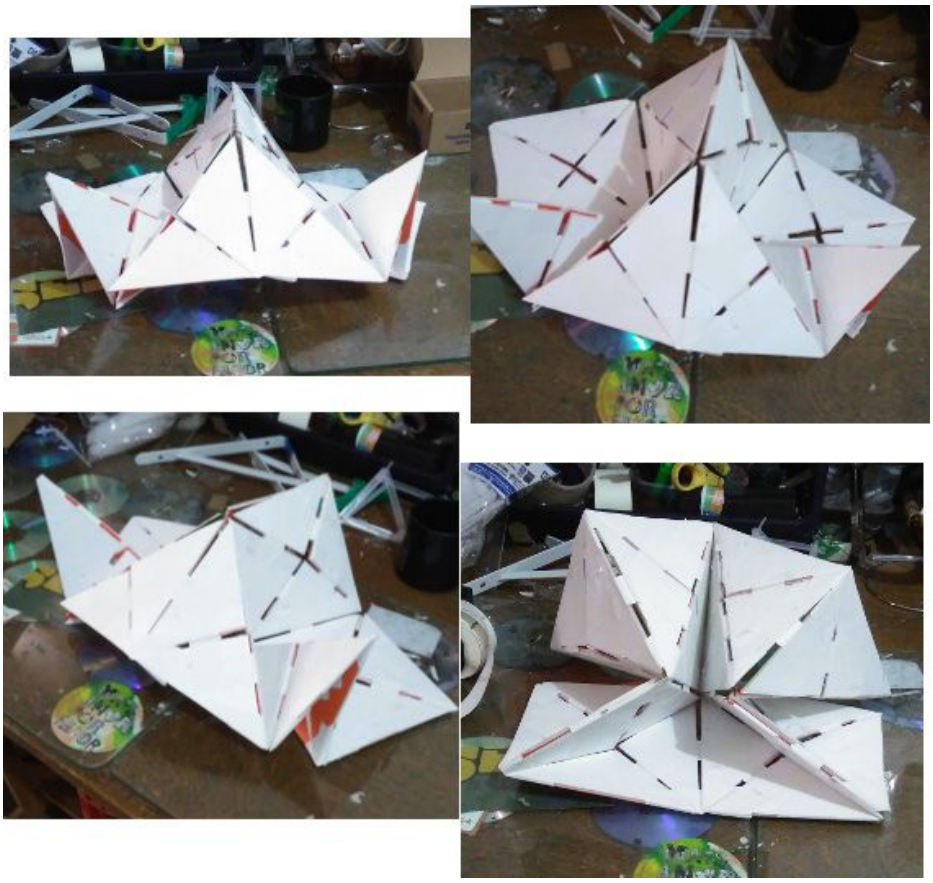


Figura 33 – Formas criadas com um Papel para Origami Robótico, criação e fotos do autor.

Depois de diversas tentativas aleatórias de obter uma forma, surgiu um peixe. Um peixe muito simples, mas cuja forma me pareceu extremamente bem resolvida.

73

Chamei este material composto de módulos conectados com adesivo e recoberto com fita adesiva transparente de 'papel para origami robótico' e, com este nome, alguns modelos ficaram expostos na Galeria da UNESP de 5 a 11 de março de 2018.

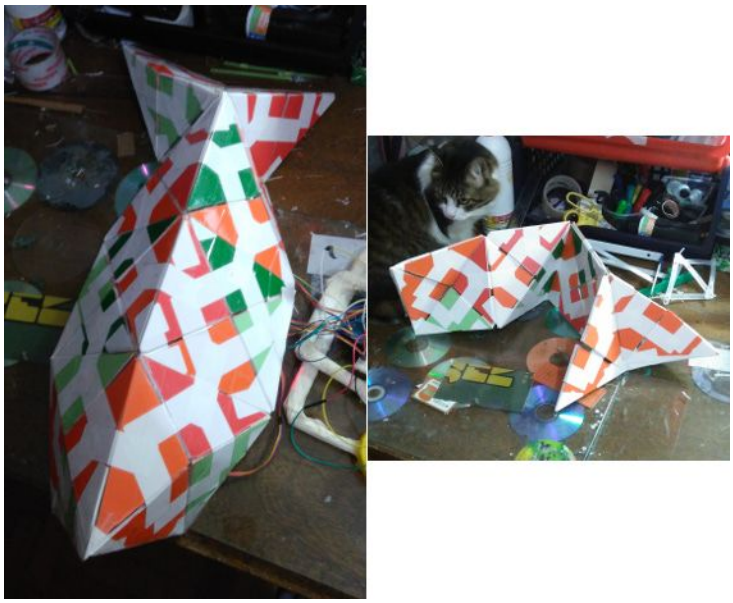


Figura 34 – Papel para Origami Robótico dobrado em formato de peixe, criação e foto do autor.

Depois desse peixe, eu sabia que havia resolvido o problema das formas que faltavam, ainda que não tivesse ainda todas as que eu precisava para montar a exposição. Este material multifacetado era a solução que eu estava buscando. Agora, eu podia passar para o problema seguinte e começar de fato a robotização das formas que havia definido. O Peixe acabou por ser a única forma criada neste momento que acabou sendo realmente exposta. As outras peças presentes na exposição, o Buda, o Sapo e os dois SedaToys OriBots foram criadas e resolvidas poucas semanas antes da exposição.

5.2. Estudando Motores e Dobras

5.2.1. Estudos preliminares

Bem antes de chegar à forma dos origamis robóticos, ainda antes que eu entrasse no mestrado com este projeto, eu já havia começado o estudo de motores para robótica. Dentro das minhas atribuições profissionais está a responsabilidade de desenvolver e ministrar oficinas e também montar programações a partir dos projetos recebidos de outros oficineiros. Todos estes projetos e oficinas estão ligados ao universo da Arte e Tecnologia. Na programação montada para o ano de 2015, tive a oportunidade de trabalhar com a artista Karina Montenegro e através dela entrei em contato com o Arduino. Dentro das pesquisas que ela desenvolveu em sua Residência Artística no ano de 2015, no Espaço de Tecnologias e Artes do SESC

Itaquera, tivemos à disposição equipamentos como motores de passo, motores servo, motores DC, pontes H e sensores diversos, além dos Arduinos.
Após este contato inicial com o Arduino e com estes equipamentos à disposição, passei a perseguir uma linha criativa que me acompanha há tempos, ligada à reciclagem de materiais industriais, e me dediquei a desenvolver robôs feitos com lixo plástico: garrafas, copos, embalagens de fones de ouvido profissionais, embalagens de controles de videogame, todas estas moldadas com formas curiosas.

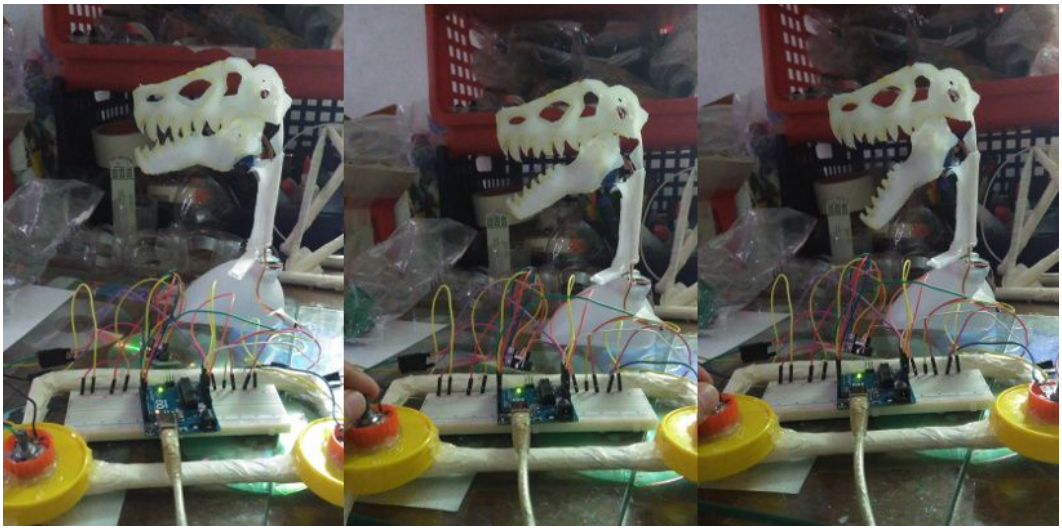


Figura 35 – Lixobot, robô feito com plástico reciclado para apoio de aulas, criação e foto do autor, 2016.

Os robôs feitos com lixo plástico serviam a dois propósitos: despertar nos alunos o interesse por uma robótica de baixo custo e estudar na prática o comportamento e o controle de cada um destes motores. Para ser bem sucedido nestas oficinas, criadas e ministradas por mim, tive que aprender a controlar motores de passo e a variar sua velocidade e direção conforme a necessidade, a partir de diversas interfaces, como sensores ultrassônicos, potenciômetros, acelerômetros ou sensores de toque, os piezos. Por ser uma plataforma de código aberto, existe muito conhecimento disponível para quem se interessa. O número de projetos com Arduino prontos e com documentação detalhada publicados na Internet é gigantesco. Tudo o que eu precisei descobrir encontrei na Internet, no Youtube, nos Instructables ou em sites menores. As dúvidas específicas que apareciam, consegui esclarecer pesquisando sozinho ou conversando com outros pesquisadores próximos.

Dentro desta linha de estudos para dominar os motores, o primeiro projeto de fato executado na pesquisa de mestrado foi uma tentativa de refazer parcialmente o projeto descrito em um dos artigos já citados nesta pesquisa, o M-Block, desenvolvido pelo CSAIL-MIT. Usando uma forma que dialogava com o M-Block, construí um cubo usando palitos em cujo interior montei um motor servo. Em uma das pontas da pá ligada ao eixo do motor pus um peso, desequilibrando a estrutura. Ao girar de um lado para o outro rapidamente, o peso montado no motor servo fazia o cubo, leve, feito apenas pelas arestas, oscilar e ele se deslocar pelo chão.

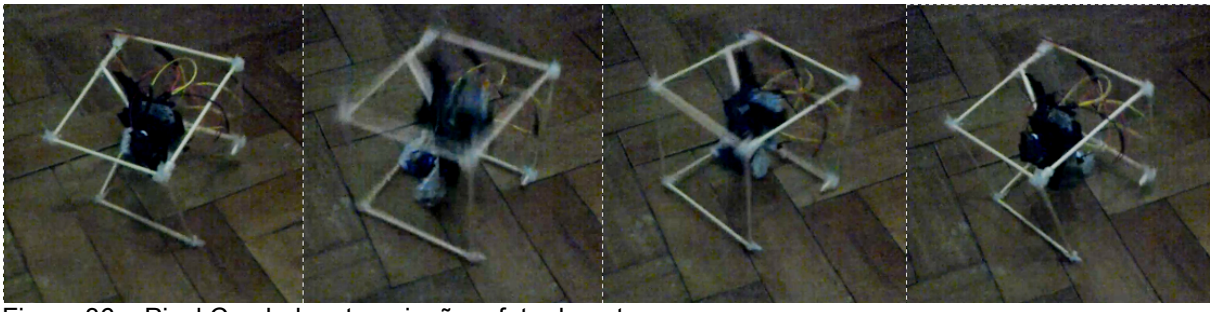


Figura 36 – Pixel Cambaleante, criação e foto do autor.

Minha proposta era reproduzir o mecanismo interno do M-Block que lhe permite girar e se deslocar pela superfície, mas não cheguei a conseguir isto. Porém, ao mostrar o resultado deste primeiro estudo para a minha orientadora, ela me convidou para fazermos um trabalho em parceria e assim nasceu a peça que chamamos de Inutilidade Técnica, ou “Baratão”. Após discutirmos o conceito e o comportamento que gostaríamos para a obra interativa, a profa. Rosangella dedicou-se principalmente à forma da obra enquanto eu me dediquei aos seus aspectos técnicos. A obra, agora concebida em parceria, iria consistir em uma estrutura oscilante, sem rodas, que se moveria pela superfície fugindo do público que se aproximasse, mas que iria atrás o público caso este se encontrasse a uma distância estabelecida.

Transformar o Pixel Cambaleante (nome que dei para a experiência malsucedida) no Baratão, apelido que demos para a peça pronta, não foi tão fácil e me rendeu algum conhecimento a mais sobre os motores servo. Para dar interatividade à obra, adquirimos um sensor ultrassônico. Este sensor tem a capacidade de mapear a distância de qualquer obstáculo à sua frente e entregar esta informação ao Arduino. Usamos um motor servo mais forte do que aquele que eu havia usado antes, pois toda a estrutura seria mais pesada. Nesse momento, começaram os problemas, pois o novo motor não se comportava como esperado diante da programação que eu tinha feito e que havia funcionado perfeitamente com o outro modelo. Com alguma pesquisa, descobri algo novo. Para funcionar junto com o Arduino, alguns equipamentos fazem uso de bibliotecas de códigos específicas. Descobri que as bibliotecas para alguns componentes não são essenciais, apenas poupam linhas de código. Portanto é possível usar estes equipamentos desde que o código obtido em uma biblioteca seja escrito diretamente dentro da programação. Intuí, então, que o problema estaria na comunicação entre o sensor e o motor servo. Como o sensor estava funcionando com um código de biblioteca, mas não o motor, reescrevi o código do sensor sem usar as funções da biblioteca. Tudo voltou a funcionar como deveria e o Baratão foi exposto.

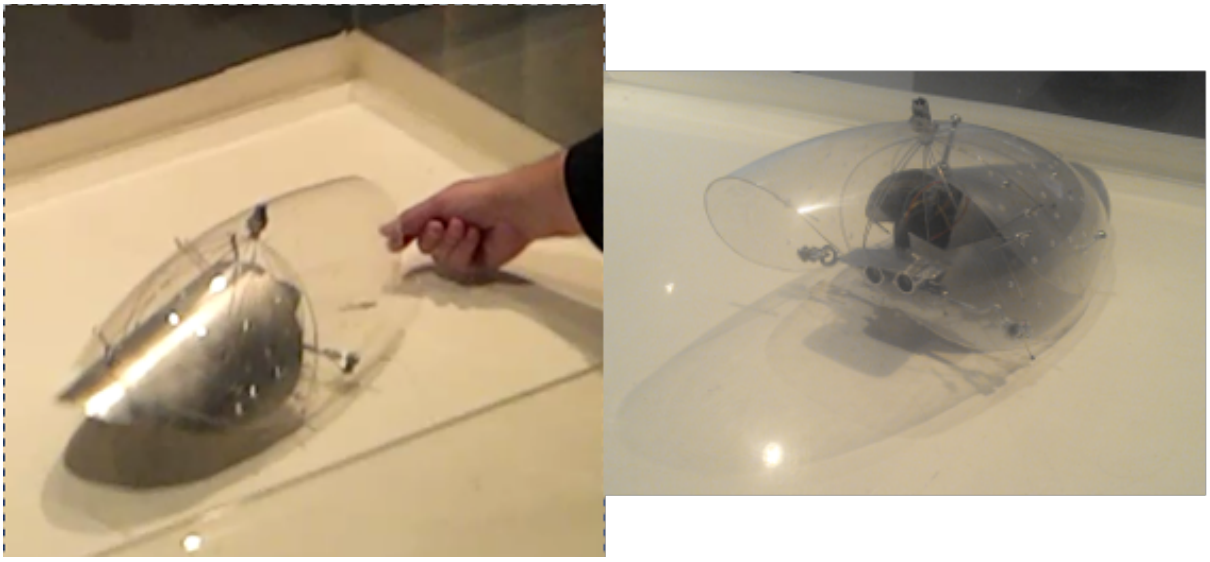


Figura 37 – Inutilidade Técnica, Daniel Seda e Rosangella Leote, 2016.

Desenvolver a Inutilidade Técnica foi importante para aprender mais sobre o Arduino e sobre o funcionamento dos motores servo, mas como ele não estava diretamente relacionado com o tema do projeto, considerei a experiência como concluída e voltei para o meu foco e a minha linha de pesquisa.
Junto com o Baratão também foi exposta uma experiência preliminar em origami e robótica que chamei de Florigami ou A Quadratura do Círculo.



Figura 38 – Florigami ou A Quadratura do Círculo, Daniel Seda, 2016.

Esta obra foi uma variação de um dos primeiros estudos que fiz com origami e robótica em 2015, quando meu conhecimento sobre Arduino era praticamente nenhum. Com um código pronto, um Arduino e um motor de passo emprestados, eu simplesmente encaixei uma pirâmide de origami no eixo do motor. Com o motor escondido por baixo da pirâmide, dentro de um cubo de origami também dobrado por mim, a pirâmide simplesmente girava e isso na época me trouxe vários insights do que seria possível em uma eventual pesquisa posterior.
O Florigami consistia em dois tubos de papel enrolado – cada um exibindo em três alturas diferentes três papéis quadrados impressos em cores fortes e com padrões de dobras, sugerindo pétalas – encaixados nos eixos de dois motores diferentes, um de passo e outro servo. Ao acionar cada um dos motores, os tubos subiam

verticalmente. Ao girar o eixo do motor, as pétalas também giravam. Um dos conjuntos foi montado com um motor de passo, que gira totalmente. O outro em um motor servo, que gira apenas meia-volta, 180º. Ambos os conjuntos estavam instalados nas duas paredes próximos a uma das quinas da galeria. A programação embutia um fator de aleatoriedade que fazia com que ambos girassem de modo imprevisível. Por vezes giravam juntos, por vezes apenas um de cada vez. Cada "pétala" estava próxima o bastante das pétalas do conjunto vizinho para que o movimento de um eixo também afetasse as pétalas do outro. A obra funcionava sozinha, mas às vezes seu movimento coincidia com a aproximação do público, gerando uma dúvida sobre sua interatividade.

Nesta mesma linha, como resultado de uma parceria estabelecida dentro do GIIP[74] com o artista e pesquisador Miguel Alonso, participei da produção das obras Coração Bate (NOTA) e Coração 2.0 (NOTA), variações em torno da mesma proposta. A ideia inicial demorou um ano para ser concretizada: dois corações, sendo um realista e outro feito de papel.

74

GIIP - Grupo Internacional e Interinstitucional de Pesquisa em Convergências entre Arte, Ciência e Tecnologia, formado em 2010 e liderado pela Profa. Dra. Rosangela Leote.

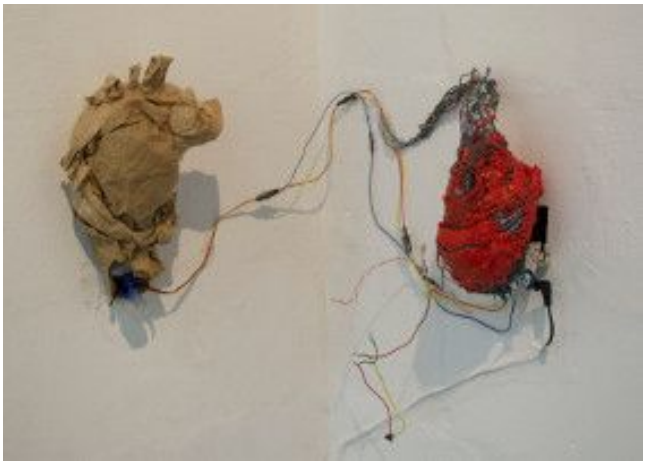


Figura 39 – Coração Bate, obra de Daniel Seda e Miguel Alonso, 2016.



Figura 40 – Coração 2.0, obra de Daniel Seda e Miguel Alonso, 2017.

O coração realista, feito de borracha, deveria ser socado pelo público, provocando uma reação no coração de papel, que se moveria como se estivesse vivo. Por questões técnicas, a primeira versão acabou não sendo interativa e funcionou com movimentos aleatórios, em uma variação do Florigami. Na segunda versão, um piezo (um sensor de toque) foi instalado dentro do coração de borracha e, desta vez, uma vez acertado por um “soco”, a informação era transmitida ao Arduino, que por sua vez dava a ordem pro motor servo instalado no coração de papel.

Considero todos estes trabalhos descritos apenas estudos preliminares, aproximações do tema antes de entrar propriamente no foco da pesquisa. Estes estudos aumentaram a minha familiaridade com as características dos tipos de

motores que eu tinha ao meu alcance e me mostraram possibilidades destes motores de passo e servo. Também aumentei o meu conhecimento teórico e prático sobre os componentes interativos que poderia usar quando finalmente partisse pra produção das obras finais.

5.3. Em busca da dobra automática

Nas pesquisas para as oficinas de robótica criativa que ministrei dentro das minhas atribuições profissionais, demorei um bom tempo a criar inúmeros robôs de plástico para descobrir a forma mais eficiente de conectar uma roda (em geral feita de uma tampa de garrafa ou algo similar) ao eixo de um motor de passo, de uma maneira que ficasse ao mesmo tempo firme, estável e forte. Foi apenas quando resolvi unir pela primeira vez origami e robótica na feitura de um carrinho de papel que surgiu a resolução deste problema. Ao resolver testar uma roda feita simplesmente de um tubo grosso de papel enrolado e preso com fita crepe, percebi que o pequeno furo que inevitavelmente permanecia ao centro do tubo se encaixava perfeitamente no eixo do motor de passo. Para deixar esta ligação ainda mais estável, usei um pouco de cola quente e Adesivo Instantâneo 793 para preencher o espaço interior deste furo, e só depois acoplei o motor. Colocando outro motor da mesma maneira na outra ponta do eixo e sincronizando ambos via programação, consegui uma estabilidade quase perfeita para a roda do meu carrinho de papel.

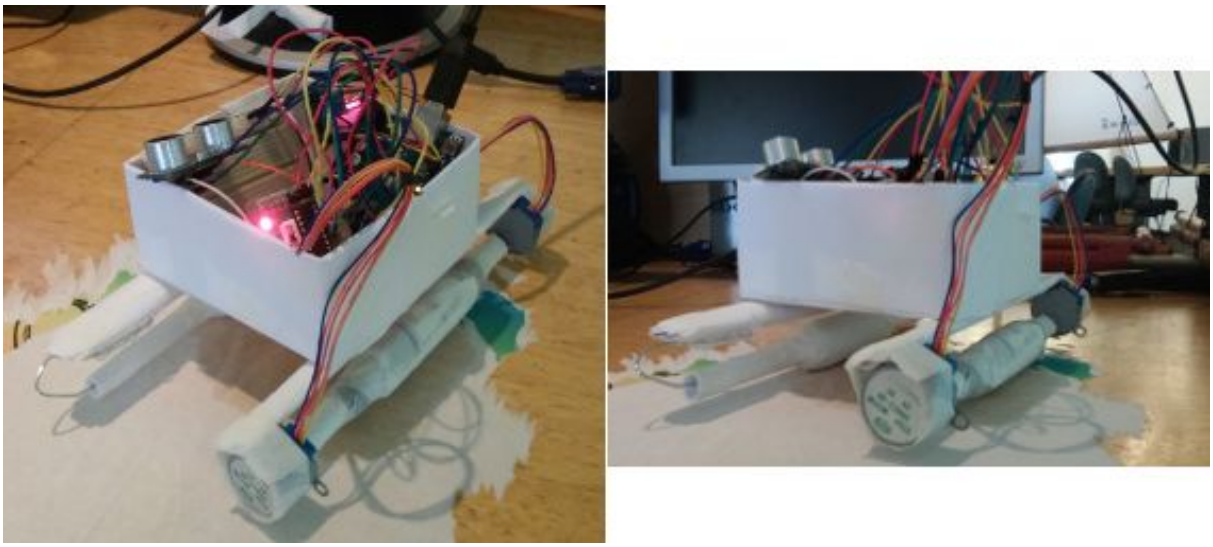


Figura 41 – OriCarro, Daniel Seda, 2016.

Este mesmo sistema acabou sendo o primeiro dos três métodos testados por mim para dobrar uma superfície com motores.

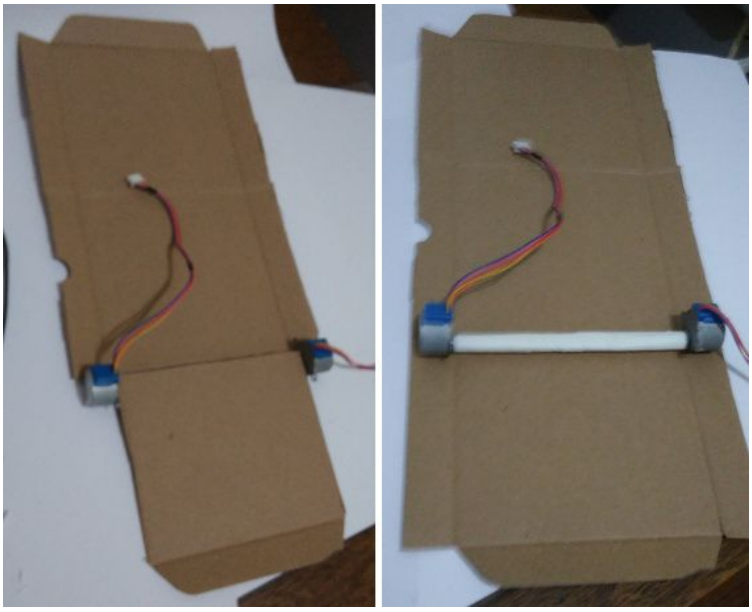


Figura 42 – Estudo para origami robótico, método eixo, Daniel Seda, 2017.

Ao longo dos três anos em que a pesquisa prática se desenvolveu, foram três os métodos que eu encontrei para dobrar uma superfície plana usando motores de passo e motores servo. Como a técnica de origami é inteiramente baseada na dobra, essa seria a condição inicial para se criar um origami robótico. Assim, me dediquei primeiro à solução deste problema.
Foram estes os métodos aplicados por mim que tornaram possível uma dobra usando motores:
1. Eixo
2. Trilho/Guindaste
3. Pressão/Alavanca
Não segui nenhum rigor metodológico na aplicação destes métodos, pois minha pesquisa é antes de tudo estética e poética. Combinei-os livremente, então, durante a produção final das obra expostas.

5.3.1. Dobrando com o movimento de um eixo

O primeiro método que funcionou para dobrar um papel foi uma variação deste que eu chamei de 'eixo'. Ao invés de um motor de cada lado, como tinha feito no carrinho de papel, coloquei o motor apenas de um dos lados para testar a eficiência. Usando um pedaço de papelão dobrado ao meio como material, demorei um tempo para acertar o ângulo em que o motor deveria ser posicionado. Como os motores de passo possuem uma caixa de redução[75], o eixo não fica posicionado ao centro. Fiz inúmeras tentativas para acertar o ângulo certo para que o corpo do motor ficasse preso em um dos planos e o eixo, preso à borda do outro plano, conseguisse movê-lo. Quando encontrei o ângulo para montar o motor e o eixo do jeito certo, consegui que ele dobrasse o papelão e, na sequência (ao virar a peça ao contrário), que o motor levantasse facilmente a si mesmo e toda a estrutura, ficando a peça de pé como um V ao contrário.

75 Dispositivo mecânico de engrenagens acopladas a um eixo que ao mesmo tempo diminuem sua velocidade e aumentam sua força.

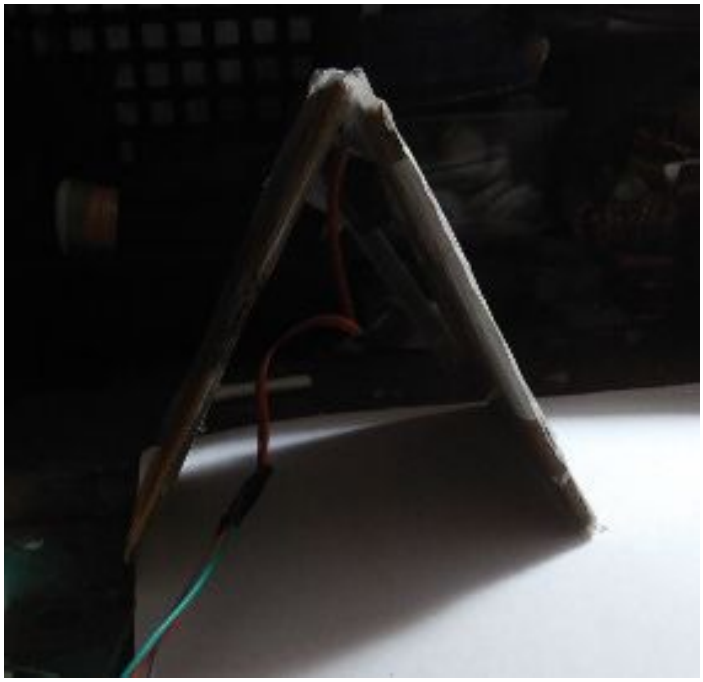


Figura 43 – Estudo para origami robótico, Daniel Seda, 2017.

Apesar dessa experiência bem sucedida, percebi que a dobra funcionava para um dos lados, mas quando eu girava o motor para que a dobra fosse para o outro lado o papelão logo travava. Então parti para uma variação do método: desmontei tudo, cortei ao meio o papelão separando os dois planos e usei uma fita crepe de cada lado para unir novamente as duas metades. Agora, o papelão dobrava com a mesma facilidade para ambos os lados. Montei novamente o motor do mesmo modo e testei de novo. Desta vez, a peça conseguia dobrar para os dois lados quase com a mesma facilidade. Um dos lados, o lado onde estava colado o eixo, dobrava facilmente até quase 15º, enquanto que para o lado oposto ele ia apenas até cerca de 30º. Ainda assim, considerei este método bem sucedido o suficiente para um primeiro estudo e resolvi seguir adiante em busca de algum outro meio que fosse ainda melhor e eventualmente trouxesse novas ideias para melhorar este primeiro método. Mas eu havia conseguido dobrar uma superfície plana usando um motor de passo.

Na sequência, dobrei uma folha quadrada feita a partir de um A3 e reproduzi as dobras obtidas em um dos artigos lidos para esta pesquisa[76]. Uma das minhas propostas para um origami robótico era que ele se deslocasse por uma superfície, então refiz uma forma já bem sucedida neste movimento. Com o papel apenas dobrado, sem cortes ou emendas, embuti um eixo na dobra central e instalei agora dois motores, um de cada lado. Usando este método, consegui que a forma dobrada se movesse lenta mas perceptivelmente pela superfície da mesa.

5.3.2. Dobrando com um fio

O segundo método testado para dobrar um papel usando a força de um motor de

76

RUS, Daniela, SUNG, Cynthia R., MIYASHITA, Shuhei, GUITRON, Steven, LUDERSDORFER, Marvin. An Untethered Miniature Origami Robot that Self-folds, Walks, Swims, and Degrades, Cambrigde, MIT Press, 2015.

passo foi sugerido pela minha orientadora após assistir algumas gravações dos primeiros testes bem sucedidos. A ideia de usar um fio em um sistema semelhante a um guindaste já tinha me ocorrido de passagem, mas eu não a havia explorado até que a profa. Rosangella trouxe de volta esta possibilidade.
Em uma das oficinas que havia ministrado, me inspirei em alguns vídeos de tutoriais no YouTube e ensinei as crianças a fazer uma mão “robótica” usando fios. Os fios eram presos às pontas de cada dedo e percorriam todo o caminho até a base da mão dentro de pedaços de canudos de plástico. Ao serem puxados pela base, os fios dobravam os dedos da mão. Portanto, eu mesmo já havia dobrado um papel usando fios, ainda que sem motores.



Figura 44 – Mão “robótica” de papel, Daniel Seda, 2015.

Passei, então, aos testes para investigar a viabilidade deste método junto com os motores que eu tinha à disposição. Dobrei o papelão de modo que ele formasse uma das formas básicas de origami, mantendo a peça única, sem cortes.
Prendi uma das pontas do fio no tubo de papel fincado no eixo do motor de passo. Estando o motor fixado ao papel, o fio seguiu até a ponta que eu queria dobrar, passando por dentro de pedaços de canudo fixados ao papel. O método funcionou muito bem. Fiz testes usando apenas um motor e também usando dois motores ligados em pontas diferentes do mesmo papelão e assim consegui realizar duas dobras no mesmo modelo. Testei também fazer a conexão do fio sem passar por dentro de canudos (na peça toda e apenas em uma parte do trajeto), mas apesar da força ser a mesma, o fio atravessado destrói o acabamento e a beleza da peça. Ao invés de canudos, testei também usar clipes para manter o fio próximo à superfície do papel. Todos estes testes foram bem sucedidos em maior ou menor grau.

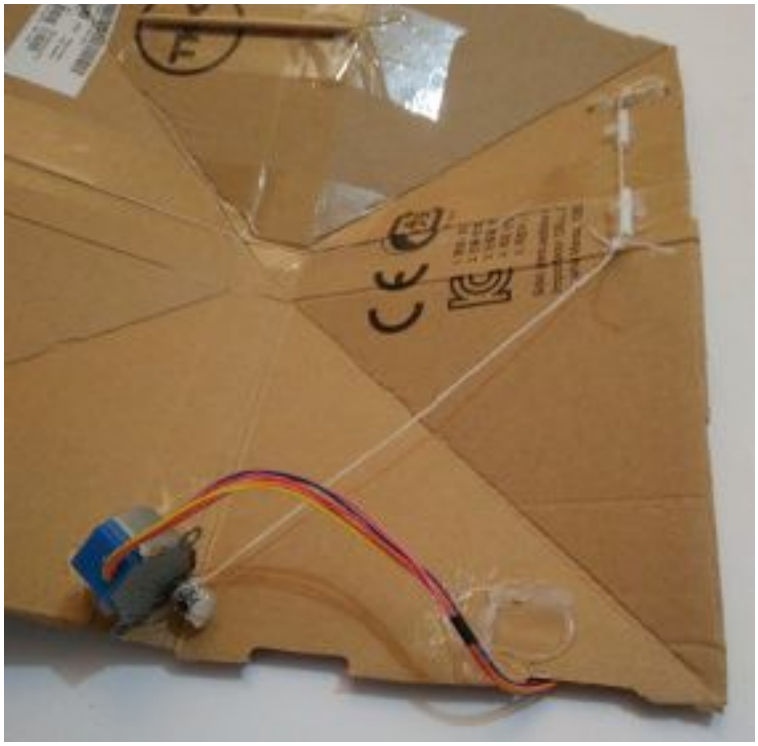


Figura 45 – Estudo para origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2016.

Em relação ao método anterior, este tem uma vantagem e uma desvantagem. Para que o método 'eixo' funcione, o motor (ou motores) precisa estar posicionado fora da peça, próximo ao vértice da dobra[77]. Este método permite que a dobra seja feita de um modo mais rápido do que o 'trilho/guindaste'.

Por sua vez, o 'trilho/guindaste' permite que o motor seja posicionado em qualquer local, seja na superfície ou nas laterais. Assim, é mais fácil esconder o motor se esta for a proposta quando a peça for finalizada. Por outro lado, a dobra acontece de modo mais lento quando feita por fios que atravessam o papel até o trecho que deve ser dobrado.
Uma vez resolvida a eficiência do método passei a robotizar a peça que já estava definida, o Peixe, e a fazer novos 'papéis para origami robótico' visando definir as outras peças da exposição.
Para o Peixe – cuja proposta era sair do plano e formar a figura com poucas dobras –, de início imaginei que dois motores conseguiriam obter a forma proposta. Feitos os testes, percebi que precisaria de mais um motor para fazer o detalhe do rabo dividido ao meio.

77

Em teoria é possível fazer um buraco na peça e incrustar o motor no meio dela junto à aresta, mas não cheguei a testar essa ideia, que só me veio depois.



Figura 46 – Estudo para Peixebot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2017.

Instalei os motores e passei a testar sua eficiência ao dobrar a estrutura com seu peso. Foram muitos os testes para achar a posição e o ângulo de cada um dos motores. Alguns testes depois, consegui obter exatamente a forma proposta fazendo uso dos três motores instalados na peça e usando o método do 'trilho/guindaste'.
A próxima etapa foi automatizar esse processo, ou seja, escrever o código e definir qual seria a interatividade da peça, se é que haveria alguma.
Na primeira imagem que me surgiu desta peça, o Peixe todo colorido estaria apoiado sobre um fundo azul e iria randomicamente sair do plano, dobrar-se automaticamente até a forma figurativa, ficar alguns segundos e depois desdobrar-se de volta ao plano. Em princípio, esta peça poderia não ser interativa. Para introduzir interatividade, teria que resolver também a interface. Como já tinha problemas demais no momento, deixei pronta a possibilidade da peça funcionar sozinha apenas cumprindo a programação estabelecida com alguns tempos randômicos – por exemplo, o tempo que ficaria aberta e/ou o tempo que ficaria dobrada.
Para resolver a questão da programação automática da peça, eu precisei novamente me debruçar sobre os detalhes técnicos do funcionamento do motor de passo que eu tinha à disposição. Recorri mais uma vez à tradicional generosidade presente na comunidade do Arduino e do código aberto e procurei os detalhes que não estavam claros para mim em páginas da Internet. Depois de entender melhor a relação entre os ângulos percorridos pelo motor e a quantidade de passos que eu precisava inserir no código (no motor 28BYJ-48 controlado com o módulo ULN2003A, 512 passos equivalem a 90 graus de giro). A partir deste conhecimento,

pude calcular com precisão o número de passos necessários para que os três motores sincronizados fizessem o Peixe sair do plano, se formar e voltar ao plano com sucesso.
Vencida esta etapa e definida a programação, faltando menos de uma semana pra exposição, resolvi refazer a peça para torná-la mais leve. Após uma primeira tentativa malsucedida em que a nova peça ficou muito grande, fiz outro peixe do tamanho aproximado do primeiro. Ao invés de usar o 'papel para origami robótico', este novo Peixe foi feito inteiro em um único pedaço de papel e com triângulos coloridos adicionados por cima para manter a estética multicolorida da primeira peça.

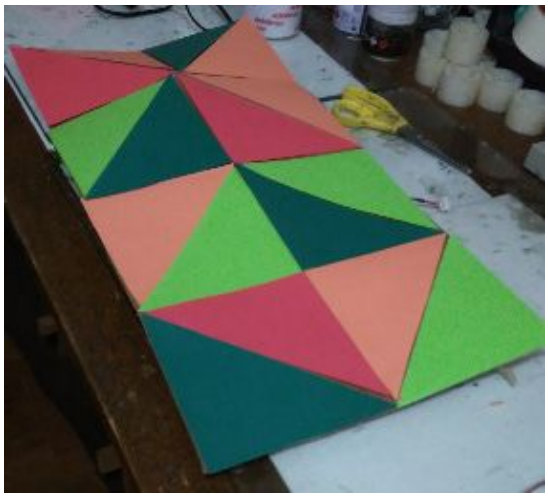


Figura 47 – Estudo para Peixebot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018.

Após montada e plastificada com durex largo, mesmo método que eu havia usado para fazer o primeiro Peixe, novamente tive que fazer alguns testes para achar as posições e ângulos ideais dos motores para que as dobras fossem bem sucedidas. Vencida mais esta etapa, procedi ao ajuste fino da programação que funcionava perfeitamente na peça anterior.
Concluído o ajuste da programação automática, com fator randômico para a peça aberta e formada, deixei-a plugada no “Seduíno” (o Arduino que eu montei a partir dos componentes especialmente reservados para uso na exposição) durante vários minutos para testar se o funcionamento automático não iria pouco a pouco desajustar o ângulo dos motores. Depois de um bom tempo de testes, concluí que não encontraria problemas neste sentido, declarei a peça pronta e passei à próxima peça.

A peça seguinte foi o Sapo. A proposta desta peça foi partir de uma matriz semelhante à do Peixe, um papel pré-dobrado formado por dois quadrados lado a lado.

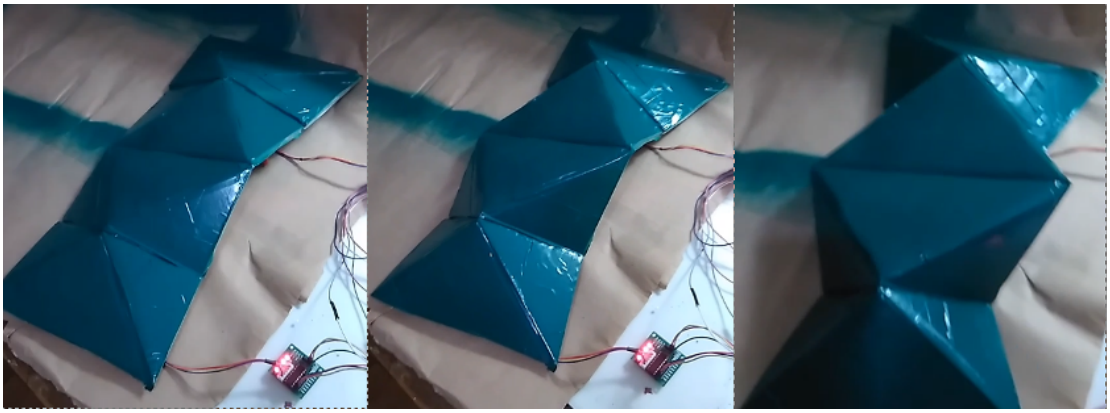


Figura 48 – Estudo para Sapobot, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018.

O papel utilizado foi um papelão leve e resistente cortado de uma caixa de frutas recolhida num supermercado. A partir de um 'papel para origami robótico' formado por 12 triângulos (o Peixe tinha 32) dispostos em dois quadrados lado a lado, cheguei a uma forma simples que sugeria um sapo sentado. Esta peça precisaria de apenas dois motores bem posicionados para sair do plano e atingir a sua forma. O método de dobra utilizado foi o mesmo do Peixe, ou seja, usei os dois motores ligados ao papel com o método 'trilho/guindaste'.
Após alguns testes para encontrar o ângulo e a posição dos motores, passei à programação automática. Como já havia entendido o funcionamento do motor de passo, ficou mais fácil nesta peça encontrar o número de passos que cada um dos motores deveriam fazer para que a peça saísse do plano e formasse o “sapo sentado”. Da mesma forma que com o Peixe, deixei a programação automática funcionando por algum tempo para me certificar de que a peça iria funcionar perfeitamente saindo do plano e voltando a ele. Bem sucedidos estes testes, considerei mais esta peça pronta e passei para a próxima.

A última peça criada com este método para a exposição foi o Buda.
A proposta desta peça é a de um quadrado plano que ao se dobrar forma um triângulo tridimensional e vazio no meio, configurando uma vaga semelhança formal com alguém sentado meditando.
Inicialmente, para esta peça, eu usei um 'papel para origami robótico' composto por 32 triângulos iguais montados em forma de um quadrado. Para realizar as dobras capazes de criar os movimentos que eu imaginei nesta peça, seriam necessários, em princípio, apenas dois motores.
Porém, quando acionados os motores, embora a peça atingisse sua forma modificada, depois não era capaz de se desdobrar, cumprindo apenas a primeira parte do que eu precisava. Para resolver esta questão, fui obrigado a incluir mais um motor apenas para contribuir com o retorno da peça para a forma original do quadrado.



Figura 49 – Estudo para Buda Meditando, origami robótico, método trilho/guindaste, Daniel Seda, 2018.

Durante a produção das peças Buda, Sapo e Peixe, elas ficaram sem os trilhos feitos com canudos/clipes. Neste momento os fios atravessando as peças não me pareceram tão desajeitados quanto tinham me parecido antes.

5.3.3. Aplicando pressão no papel com uma alavanca

O terceiro método de dobrar um papel usando motores testado nesta pesquisa surgiu como uma variação do método de colocar o motor de passo no vértice da dobra, método que chamei de 'eixo'. Ao tentar reproduzir o mesmo efeito fazendo uso de um motor servo, resolvi fazer uma variação e percebi a possibilidade de empurrar a dobra usando um pedaço de palito preso transversalmente ao eixo do motor. Montei um protótipo e, após variar algumas vezes a posição e o ângulo do motor, consegui fazer uma tira larga de papelão dobrada em três partes arrastar-se sobre uma superfície, como uma cobra. Este pedaço de papelão, fino e leve, ao ter uma de suas dobras repetidamente pressionada pela força do palito preso ao motor e desdobrada pelo efeito da gravidade conseguiu se mover pela superfície da mesa, primeiro sobre o vidro e depois sobre um papel sobre o vidro da mesa. Após este teste, eu guardei essa ideia e só voltei a experimentar novamente com ela algumas semanas antes da exposição, quando já finalizava as peças a serem expostas.



Figura 50 – Estudo origami robótico, método pressão/alavanca, Daniel Seda, 2018.

Depois que já havia definido que as peças Buda, Sapo e Peixe estariam expostas e, portanto, já tinha a maior parte das obras resolvidas, resolvi voltar a brincar com os motores que tinham sobrado. Por ter como objetivo realizar peças simples, acabei ficando com vários motores que não entrariam na exposição. As peças a serem expostas estavam todas baseadas nos motores de passo, mais adequado para o método do trilho/guindaste. Resolvi usar os motores servo que tinham sobrado de todo o processo de pesquisa que, além de serem mais leves, funcionavam melhor com o método pressão/alavanca. Lembrei que em 2012 eu havia feito uma série chamada de SedaToys, composta por seres modulares e articulados. Fiz isto dentro do meu estudo de origami, ainda antes de pensar em estudar o Arduino. Foi justamente esta série que me sugeriu a possibilidade de unir origami e robótica.

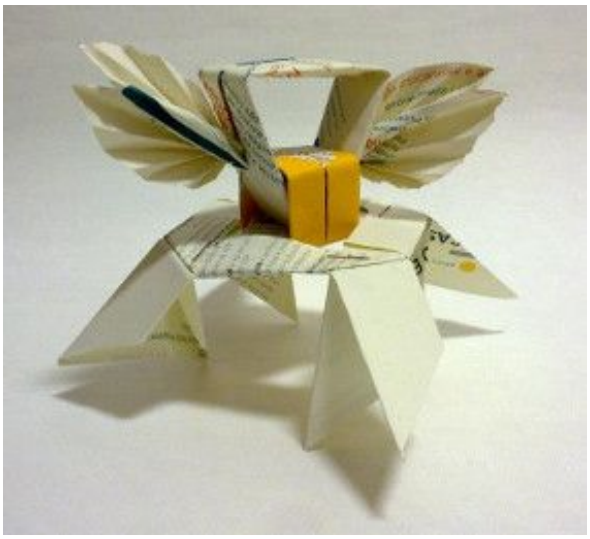


Figura 51 – Sedatoy, Daniel Seda, 2012

Como eu não entendia nada de robótica, a proposta acabou soterrada por ideias posteriores. Quando comecei a estudar as conexões entre origami e robótica, a partir de 2015, esta proposta acabou por não fazer parte das variações que acabei estudando dentro da pesquisa. Então, algumas semanas antes da abertura da exposição, eu olhei para um dos SedaToys que deixo exposto há anos próximo à minha mesa de trabalho e me veio novamente a ideia de tentar animá-lo com motores e interatividade.



Figura 52 – Sedatoy, Daniel Seda, 2012

Já havia percebido as vantagens de plastificar o papel a ser usado, pois durante o período de testes precisei mudar várias vezes os motores de posição e a plastificação protege o papel e a estrutura do origami. Pensando nisso, fiz outro Sedatoy, inspirado no antigo, porém numa escala maior. Peguei algumas pastas de papel plastificado e colorido que estavam guardadas há anos e, após cortá-las em quadrados, refiz a mesma forma do Sedatoy de papel.



Figura 53 – OriBot Sedatoy, registro do processo de criação, Daniel Seda, 2018

Após dobrados os módulos e montado o SedaToy, colei os motores dentro do quadrado e seus eixos nos dois módulos-pernas e, ainda sem embutir o Arduino na estrutura, passei a testar a viabilidade cinética de toda a forma.
Ficou logo evidente que seria muito difícil fazer a estrutura se deslocar em duas pernas. Assim, depois de mais testes, acabei acrescentando mais um quadrado ao primeiro que serviu de corpo e anexei ao segundo quadrado um outro módulo-rabo para dar estabilidade ao conjunto. Assim constituída, a figura conseguiu permanecer de pé quando os motores eram acionados. Resolvido o problema da estabilidade, dediquei-me à programação dos movimentos para que ele conseguisse se deslocar com sucesso por uma superfície, fosse para frente ou para trás. Mais dois dias duelando com o código e consegui resolver também este problema. Feito isto, embuti o Arduino dentro do segundo quadrado, o mesmo onde estava preso o módulo-rabo, mudei a interface, passando do potenciômetro que eu estava usando para testar e peça, instalei o sensor de distância na frente do primeiro quadrado e alterei o código para receber este componente que daria a interatividade para a peça.

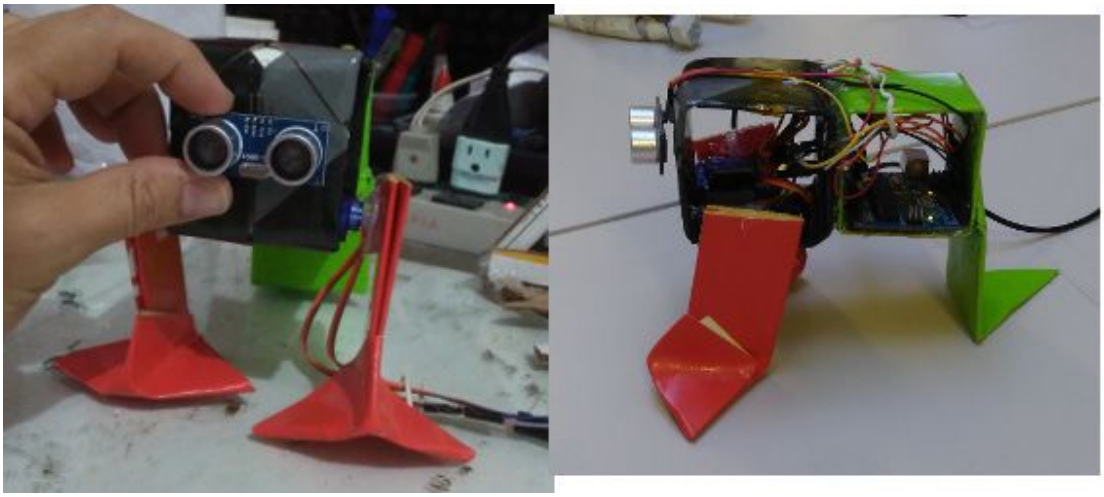


Figura 54 – OriBot Sedatoy Foca, registro do processo de criação, Daniel Seda, 2018

Testei tudo com sucesso e durante vários dias, agora usando ora uma fonte de 9v, ora uma de 12v, ambas com saída de 1A, ligadas direto na tomada. Esta peça, que chamei de OriBot SedaToy Foca, foi a primeira de toda a exposição a ser completamente concluída desde seu funcionamento básico até sua interatividade. Dado o sucesso e a relativa facilidade com que resolvi este primeiro SedaToy OriBot, resolvi comprar mais dois motores servo e fazer outra peça, a partir de outra forma. Na produção da segunda peça SedaToy, enfrentei mais problemas técnicos do que na primeira. Para criar o corpo da criatura, usei alguns folders de uma exposição sobre a India, realizada no CCBB-SP em 2012. Além de ter um tamanho apropriado e de já serem feitos de um papel já plastificado, esses folders têm uma capa cor de rosa bastante vistosa com figuras indianas impressas formando um conjunto chamativo. Cortei e usei alguns folders desses para produzir os quadrados que iriam ser usados nos módulos da peça. O corpo desta segunda peça foi feito com um módulo diferente do primeiro OriBot.
Montei todos os módulos e obtive a forma planejada. Destaquei os módulos que seriam as pernas, embuti no corpo da peça os motores servo usando cola quente e colei os módulos-perna nos eixos dos dois motores. Como esta peça é mais baixa que a primeira, ela naturalmente se apoia em três pontos: os dois módulos-pernas e uma das quinas de seu corpo que encosta na superfície. Encaixei mais um módulo-rabo na parte de trás da peça e, na parte da frente, um outro módulo dobrado de modo a mantê-la sempre um pouco acima do rabo. Deste modo, próximo à superfície, ela não teria o mesmo problema de ficar em pé que a outra peça apresentou. Nesta peça usei o sensor de distância desde o início, pois parti do mesmo código do primeiro OriBot.
Ainda sem colocar o Arduino na peça, fiquei algum tempo trabalhando no código para conseguir os movimentos que precisava: queria que a peça se deslocasse por uma superfície mas que não tivesse um movimento previsível como a peça anterior. Inseri um fator randômico independente para cada motor conectado aos módulos-perna e, depois de mais alguns testes, consegui o objetivo: a peça agora se deslocava se maneira imprevisível, transmitindo uma impressão de algo vivo. Embuti o Arduino e o sensor do corpo da peça e fiz a conexão dos fios, separando os negativos dos positivos com apenas fita de cobre adesiva e fita isolante, sem usar solda. Nos fios que ficam ligados no Arduino, joguei um pouco de cola quente para impedir que se soltassem com os movimentos bruscos que a peça fazia devido à programação que escrevi para ela. Chamei esta peça de Sirigami por sua forma

semelhante a um siri, próximo do chão e com a frente levantada, e por seus movimentos rápidos e imprevisíveis e sempre andando meio de lado.
Mas depois de tudo pronto e estando a peça finalizada, testada, completamente pronta aconteceu o famoso fato imprevisível: um dos motores parou de funcionar.



Figura 55 – Sedatoy Sirigami, registro do processo de criação, Daniel Seda, 2018

A princípio, achei que fosse um problema de conexão nos fios e fiquei me culpando por não ter usado solda. Pacientemente, soltei a fita isolante, tirei as fitas de cobre, desconectei os motores. Depois de desmontadas todas as conexões entre os componentes, fui montando tudo de novo, por partes. Um dos motores estava ok. O outro motor não respondia. O problema era realmente o motor e não a conexão. No momento de tentar soltar o motor que estava com problema, o outro motor, que estava funcionando bem, soltou. Nessa hora, fiquei com bastante raiva e destruí a peça.

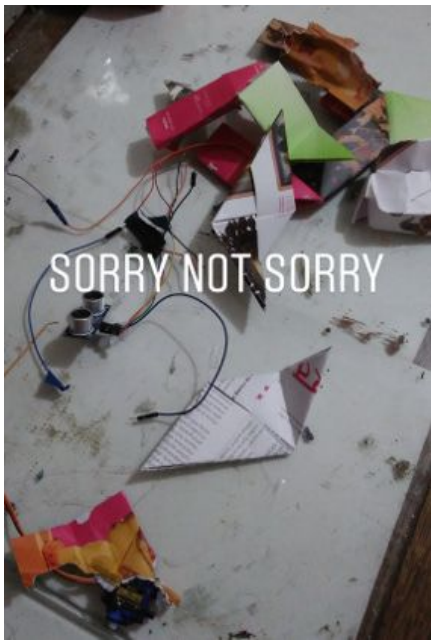


Figura 56 – Sedatoy Sirigami, registro do processo de criação, Daniel Seda, 2018

Logo recomposto, separei o motor com problemas e procedi ao exame de corpo de

delito: tirei os componentes todos e separei os módulos que haviam escapado à fúria da minha frustração e, usando mais alguns folders da mesma exposição, dobrei de novo os módulos que haviam sido destruídos. Mas o problema agora é que eu não tinha mais motores servo, apenas motores de passo. Resolvi refazer a peça usando um motor de cada tipo. Porém, o motor de passo é muito mais pesado que o servo e a peça ficou bastante desequilibrada depois de refeita. Mudei algumas vezes a posição do motor e ainda assim não estava satisfeito. Depois de mostrar para a minha orientadora os resultados, ela me confirmou o que eu já sabia: a primeira peça, com dois servos, estava mais bem resolvida.
No dia seguinte, comprei mais um motor servo e, pela terceira vez, dobrei tudo de novo, do zero. Não reaproveitei nenhum módulo, apenas retirei os componentes da peça problemática, desta vez cuidadosamente e sem destruir nada, e embuti de novo na peça nova do mesmo jeito que já tinha funcionado antes. Montei de novo os fios com fita de cobre e fita isolante, sem solda, e fixei o Arduino na peça usando cola quente.
Testei por alguns dias com as duas fontes, de 9v e 12v, e, finalizados os testes com sucesso, obtive assim a segunda peça totalmente pronta para a exposição.
As instruções detalhadas para a produção destas duas peças estão no sub-item a seguir onde apresento tutoriais em código aberto para reprodução das obras presentes na exposição.

5.4. Construindo Origamis Robóticos, um tutorial em código aberto

Este subitem tem por objetivo abrir o código de uma das obras apresentadas na exposição Origami e Robótica no inicio do mês de março de 2018. Este e outros tutoriais estão disponíveis no site https://www.danielseda.com/educativo

5.4.1. Método Alavanca com motores servo: ORIBOT SIRIGAMI

É possível construir um tipo de robô feito de origami modular e articulado com 2 motores servo conectados aos papéis pelo método alavanca previamente explicado neste volume. Neste robô podem ser usados diversos tipos de Arduino. Foi feito originalmente com o Uno mas neste tutorial será apresentado com o Nano. Outros modelos também devem servir.

Nesta variação, o OriBot Sirigami é composto de 8 pedaços de papel quadrado de aproximadamente 15 centímetros de lado. Conforme já descrito no tutorial anterior, para um obter um resultado melhor use papel plastificado com durex nos locais onde as partes robóticas forem aplicadas.

Material
8 Quadrados de papel 120gm/cm³ quadrado com tamanho aproximado de 15 cm de lado
Fita durex larga transparente ou da cor de sua preferência
1 fita de cobre condutiva ou papel alumínio ou então ferro de solda + estanho de solda
Fita isolante
Tesoura
1 alicate de corte
1 alicate descascador de fio ou 1 estilete
Pistola de cola quente + refil

Componentes eletrônicos
1 Arduino Nano com cabo USB
1 protoboard pequena (170 pinos) ou uma protoboard positivo-negativo pequena ou ainda dois clipes onde podem ser soldados (separados cada conjunto em um clipe) todos os fios positivos e todos os fios negativos. Para esta opção, que é mais avançada, adapte as instruções quando for ligar os positivos e negativos.
1 Sensor Ultrassônico HC-SR04
2 Motores Servo 9g
6 jumpers macho-macho (Para os motores)
4 jumpers fêmea-macho (para o sensor)
2 jumpers macho-macho (para o Arduino)
1 fonte 9v ou 12v de 1A

O OriBot Sirigami original foi todo feito com folders da exposição Índia, realizada pelo CCBB-SP em 2012. Estes papéis foram recolhidos por mim e estavam presentes no meu arquivo pessoal de papéis desde então. Ele tem uma gramatura aproximada de 150 gm/cm³ e já é plastificado.
Neste tutorial o Sirigami será feito com papel cartão de cor kraft com 120g/cm³.

CORPO

Separe 4 dos papéis para dobrar o módulo que compõe o corpo do OriBot Sirigami.
Pegue um dos papéis e dobre ao meio sobrepondo dois dos lados retos.
Desdobre tudo novamente para obter novamente o quadrado.
Dobre cada um dos lados retos até um pouco antes da linha que ficou marcada pela dobra do meio.

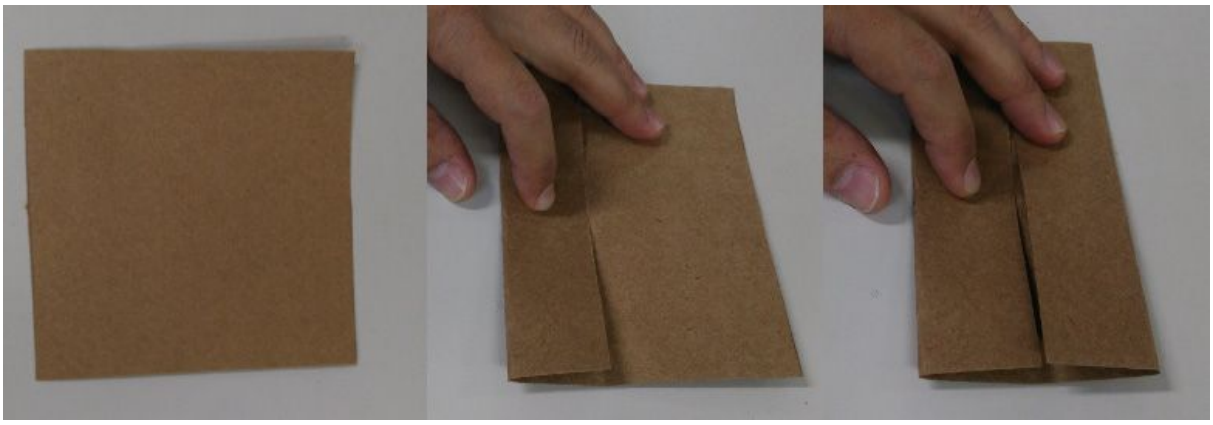


Figura 57 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 1

O retângulo formado tem as duas paralelas laterais mais longas fechadas e as duas laterais mais curtas abertas.

Dobre ao meio sobrepondo as duas paralelas mais curtas e mantenha estas aberturas voltadas para baixo.
Agora, o retângulo resultante tem a parte de baixo e as duas paralelas laterais abertas e a parte superior fechada.

Dobre ao meio unindo as duas laterais abertas.

O retângulo resultante agora tem um dos lados e a parte superior fechados e o outro lado e a parte inferior abertos.

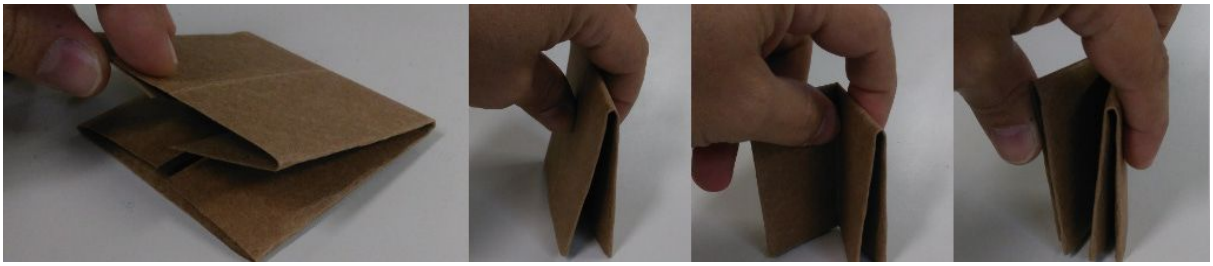


Figura 58 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 2

No lado aberto há uma parte dentro da outra. Segure o papel com uma das mãos pela quina de baixo do lado fechado e com a outra mão segure pelas quinas inferiores da parte aberta que está dentro da outra. A mão do lado fechado fica fixa e a outra vai desdobrando o papel interno até que ele fique em um ângulo de 90º em relação à outra.

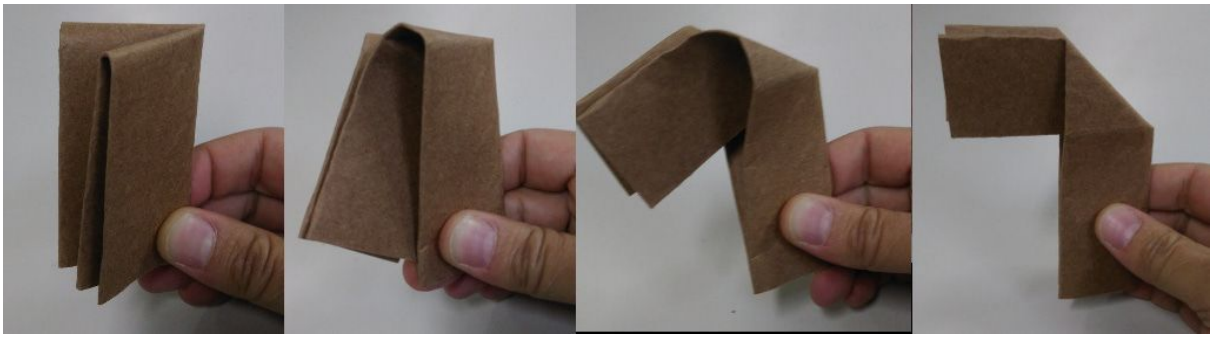


Figura 59 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 3

O módulo está pronto.

Dobre os outros três papéis da mesma maneira.

Após ter dobrado os quatro módulos, agora é o momento de unir todos formando um quadrado que será o corpo do OriBot Sirigami.

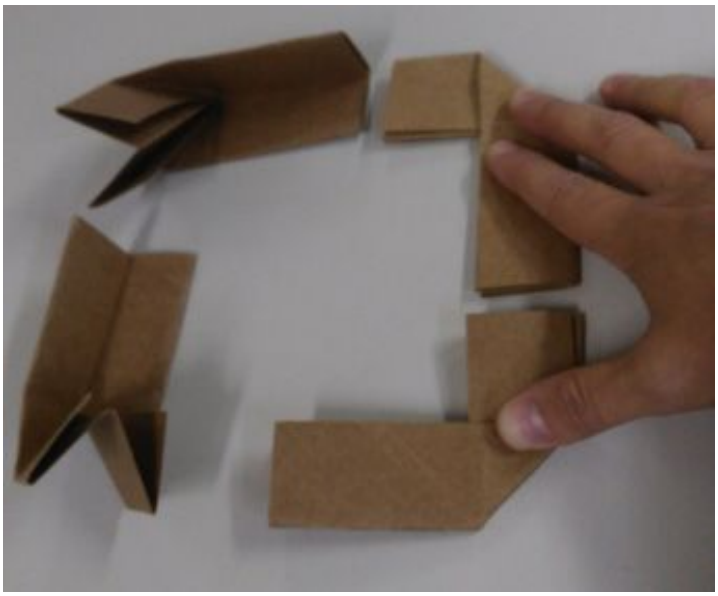


Figura 60 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 4

O módulo tem duas extremidades abertas. A extremidade de um dos módulos precisa ser cuidadosamente encaixada dentro da extremidade oposta do outro módulo.

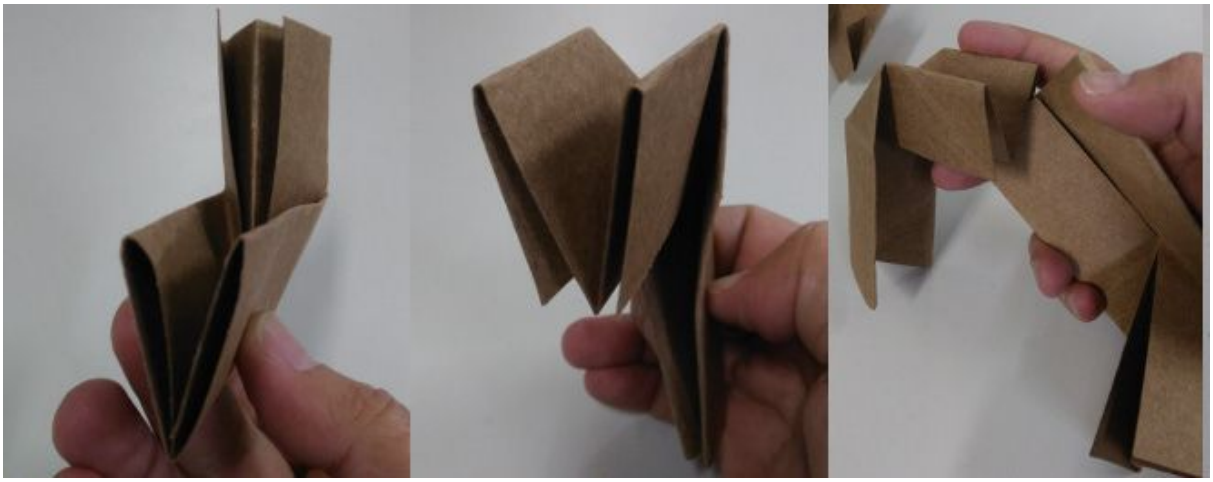


Figura 61 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 5

Faça isso com todos os quatro módulos até fechar o quadrado. O último módulo é o mais difícil de encaixar, mas com paciência é possível fazê-lo.

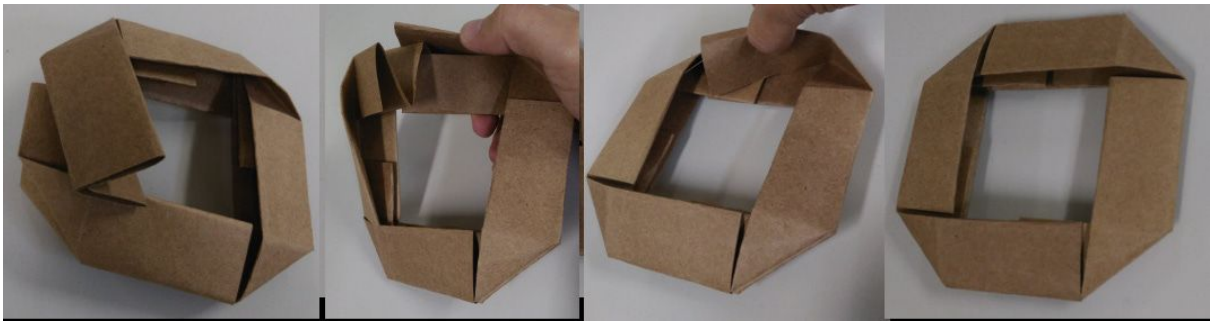


Figura 62 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 6

O corpo do OriBot Sirigami está pronto.

PATAS + SUPORTE

Os outros quatro módulos devem ser dobrados da seguinte maneira:
Dobre o quadrado ao meio unindo os dois lados retos.
Dobre cada metade ao meio deixando um pequeno espaço entre as dobras.

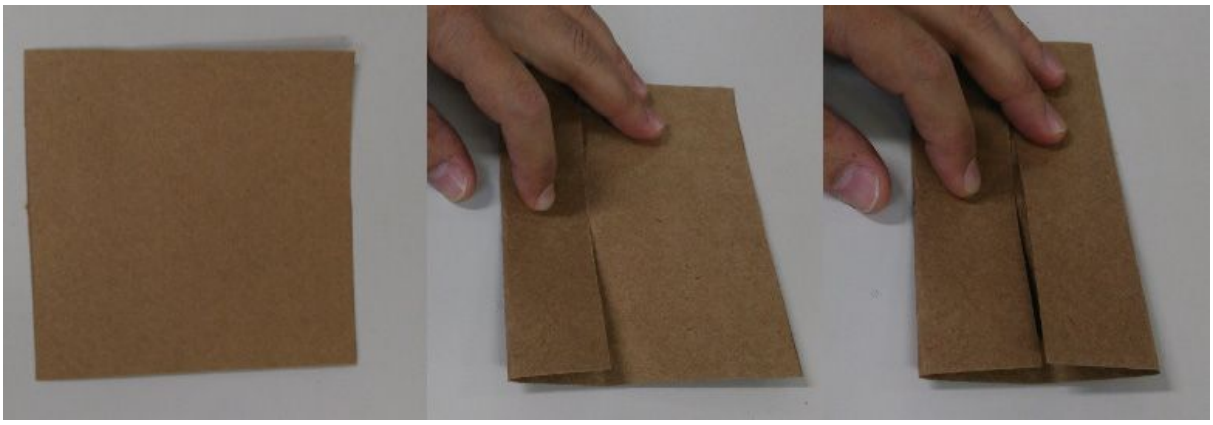


Figura 63 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 7

Dobre a quina inferior esquerda para cima, até o lado superior, formando um triângulo.
No quadrado que sobrou ao lado, dobre a quina superior direita para baixo, formando um triângulo que tem suas arestas paralelas ao triângulo dobrado logo antes.
Desdobre ambos os triângulos de volta.

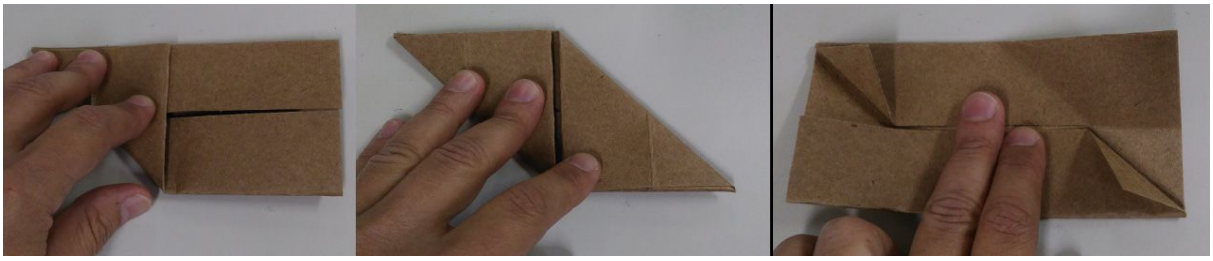


Figura 64 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 8

Dobre para trás do papel cada um dos pequenos triângulos que surgiram dobrados quando os maiores foram desdobrados.

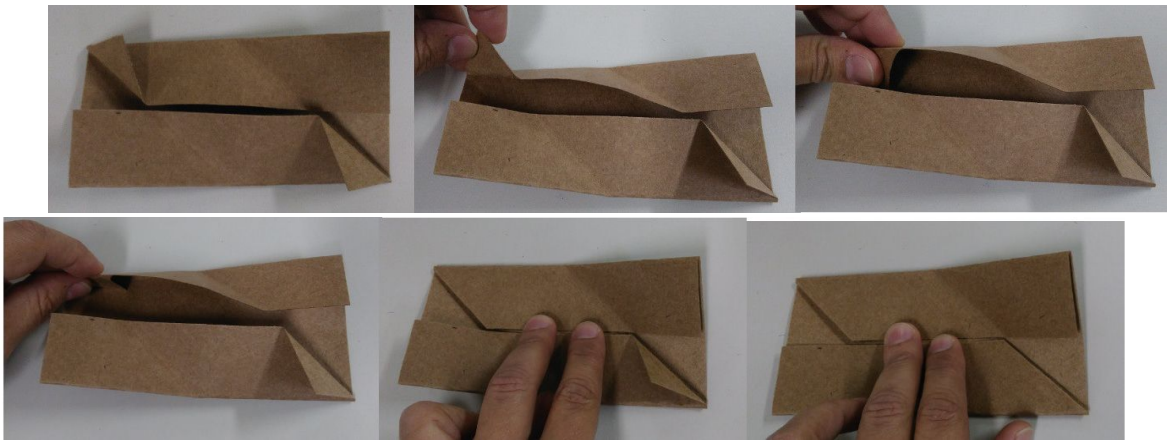


Figura 65 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 9

Dobre de volta os triângulos maiores, mas agora por baixo do papel (e não por cima, como foram dobrados antes).

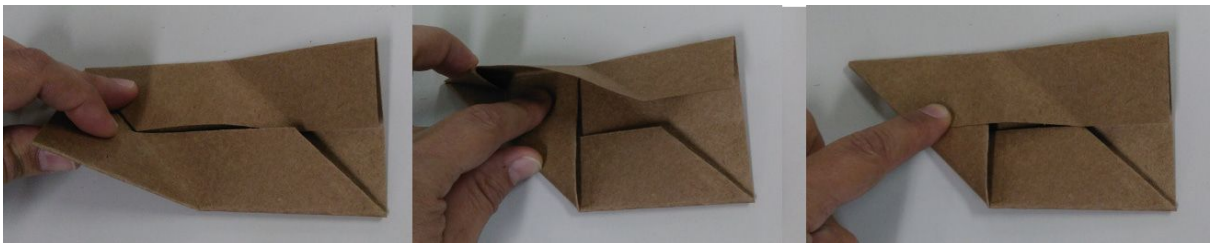


Figura 66 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 10

Ao centro do módulo formado há um X que sugere um quadrado. Dobre um dos triângulos que estão fora deste quadrado, ou seja, uma das pontas, por cima deste quadrado ao meio.

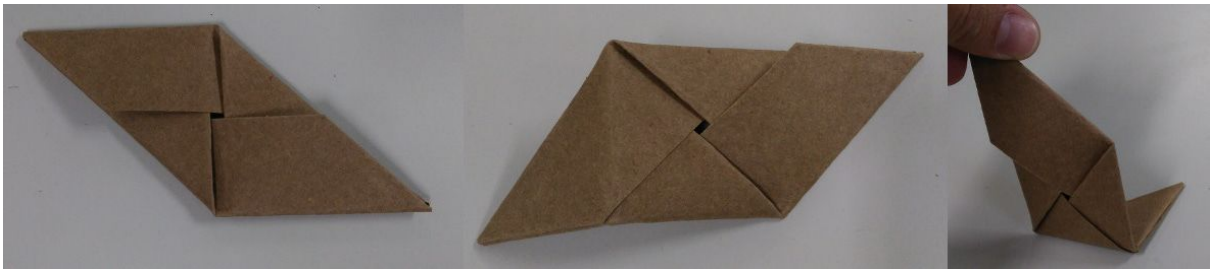


Figura 67 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 11

O módulo está pronto. Dobre mais três papéis com este mesmo módulo.

Dois destes módulos servirão para as duas patas do OriBot Sirigami.

O outro vai ficar encaixado, colado na diagonal sobre o vazio interno do quadrado do corpo e servirá de apoio para o Arduino, que deve ter a sua base colada sobre ele com um pouco de cola quente. Ponha um pouco de cola quente na quina interior do quadrado antes de encaixar o módulo e o posicione no lugar.

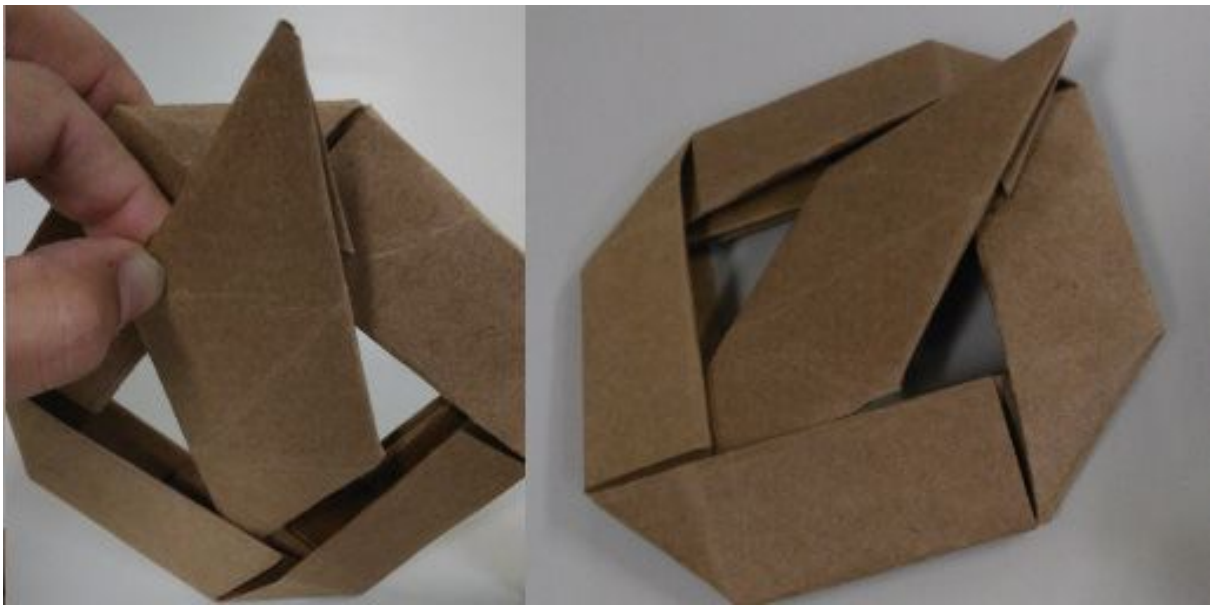


Figura 68 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 12

O quarto módulo deve ter a outra ponta triangular dobrada no sentido oposto à primeira. Uma destas pontas fica encaixada no corpo do OriBot Sirigami. A outra fica apoiada na mesa, chão ou superfície onde ele for colocado.

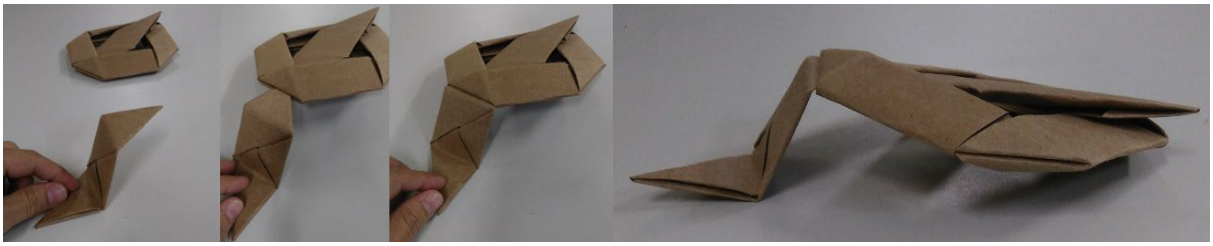


Figura 69 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 13

Para completar o OriBot, agora é necessário inserir os componentes robóticos e depois colar as patas nas hastes dos motores servo.

Se já não fez isso, instale a pá no eixo do motor de modo que ela fique perpendicular ao corpo.
A pá deve ser instalada no motor de modo que na posição 0 ela fique apontada para cima e, quando girada, a parte superior desça para frente.

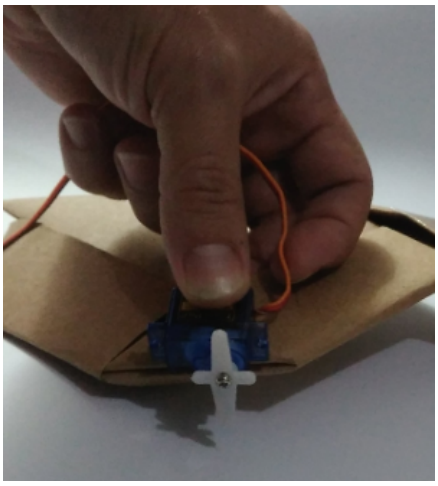


Figura 70 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 14

Ligue os fios conforme a sequência a seguir para que um teste nesse sentido possa ser feito.
O motor servo tem três fios que terminam em um conector fêmea triplo. Ligue os fios dos dois motores conforme a sequência a seguir.

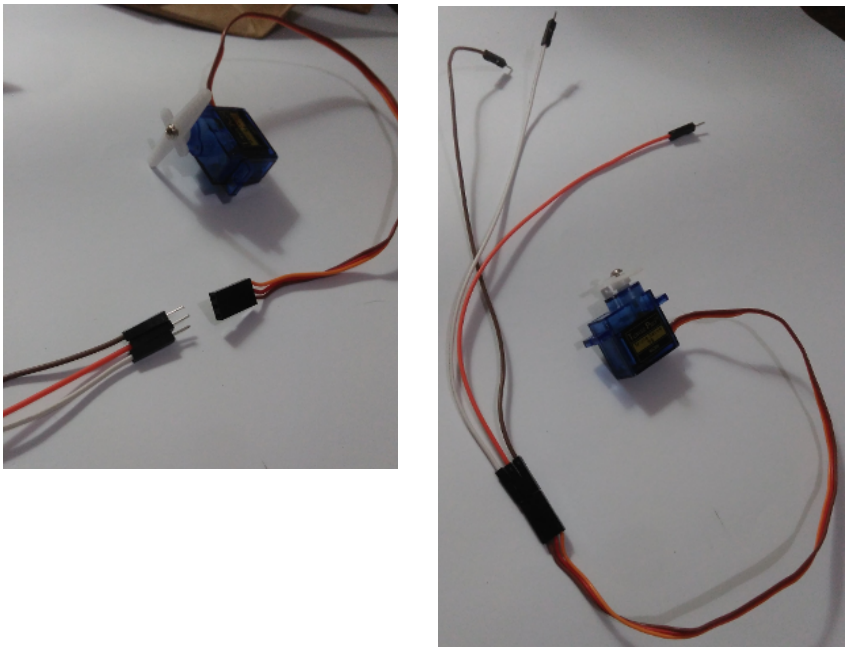


Figura 71 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 15

Usando uma protoboard pequena encaixe o Arduino Nano de modo que os pinos do lado onde está o usb fiquem na primeira fileira da protoboard. Na outra extremidade sobrarão duas fileiras de pinos fora da placa. Do 5V conecte um fio curto que levará energia até a coluna sobrando no final da protoboard, coluna que será a dos positivos. Neste projeto não foi necessário mas se precisar de mais saídas puxe a energia para a coluna ao lado usando outro fio. Se estiver usando uma protoboard maior use as colunas dos positivos e negativos já presentes normalmente.

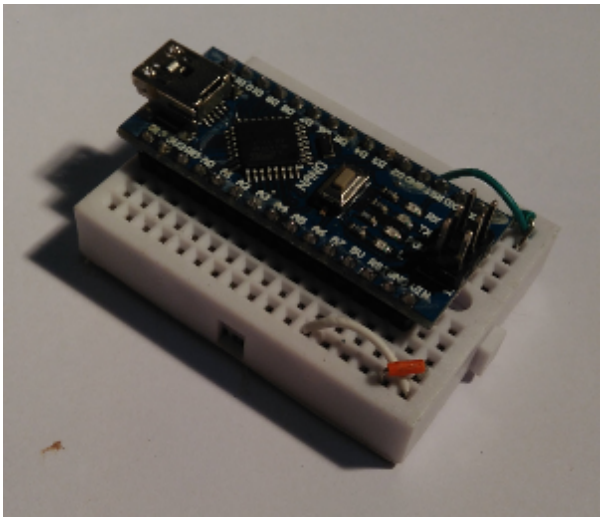


Figura 72 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 16

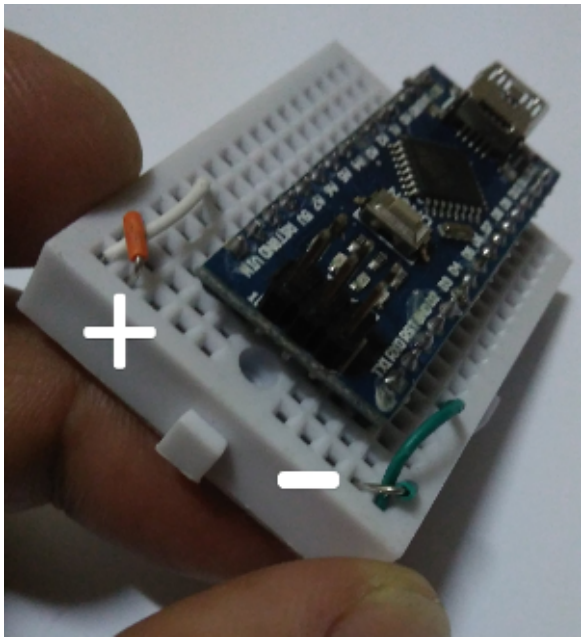


Figura 73 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 17

Use dois jumpers macho-macho pequenos para conectar os fios vermelhos (o central) dos motores a uma das colunas da protoboard, a que será a coluna dos positivos.

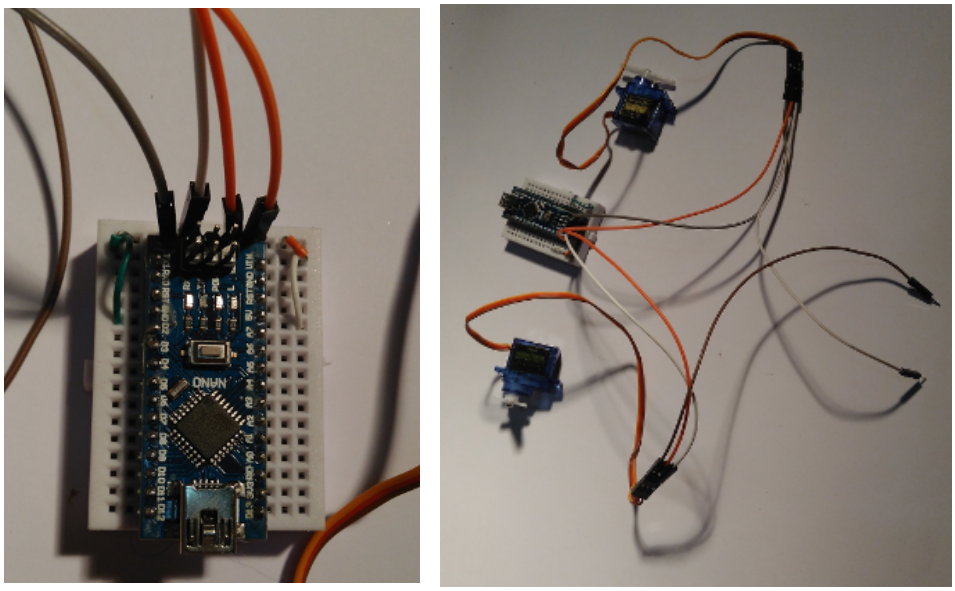


Figura 74 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 18

Use outros dois jumpers macho-macho de outra cor (pra não se confundir) e conecte os fio marrons dos motores na outra coluna da protoboard, que será a coluna de todos os negativos.
Use outros dois jumpers de outra cor para ligar os fios amarelos dos motores no Arduino e para isso temos que seguir o que está escrito no nosso código.
O código do OriBot foi feito de modo que:

Um dos motores fica conectado no pino digital 6 do Arduino.
O outro fica conectado no pino digital 7 do Arduino.

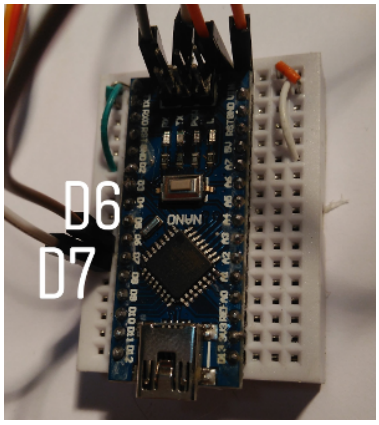


Figura 75 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 19

Agora, pegue mais quatro jumpers fêmea-macho de cores diferentes entre si para ligarmos o Sensor Ultrassônico.
O pino que sai do VCC deve ser ligado com um dos jumpers fêmea-macho na coluna dos positivos da protoboard.
O pino que sai do GND deve ser ligado com um dos jumpers fêmea-macho na coluna dos negativos da protoboard.

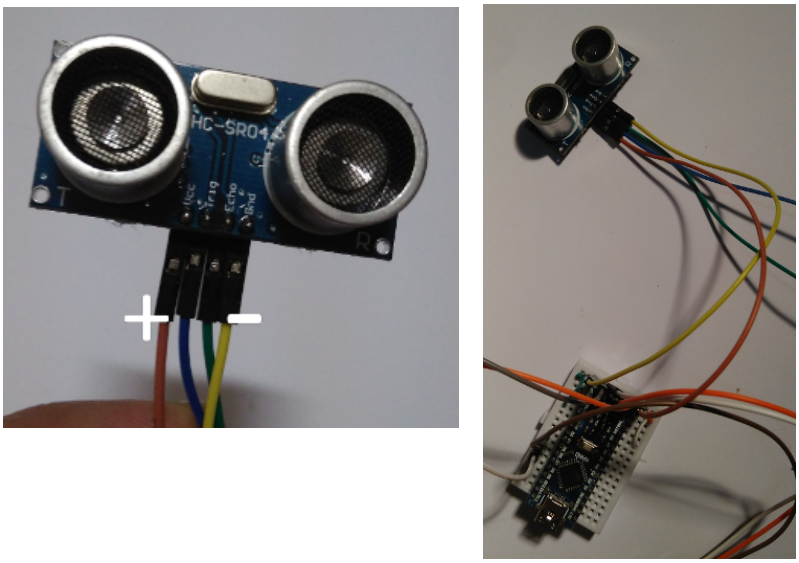


Figura 76 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 20

O pino que sai do TRG (trigger) deve ir para o pino número 9 do Arduino.
O pino que sai do ECHO deve ir parao pino 10 do Arduino.

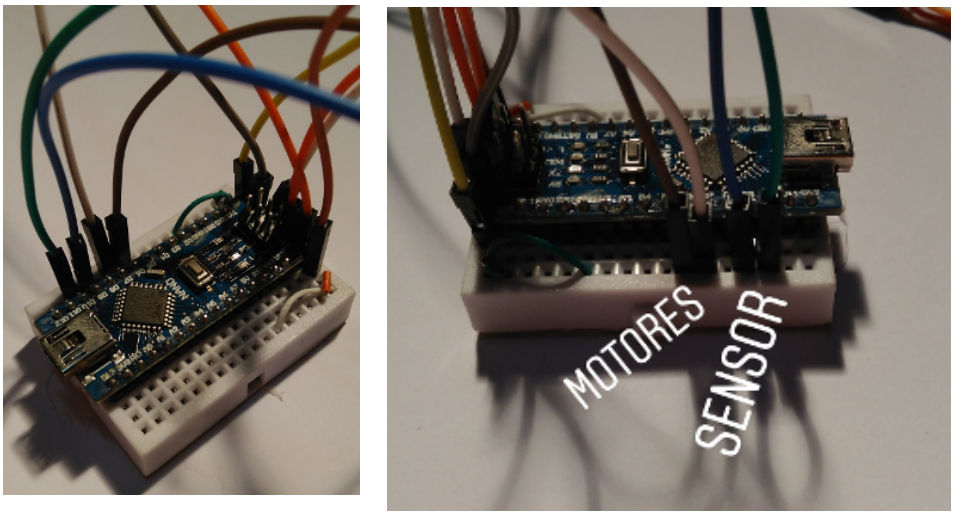


Figura 77 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 21

Todos os componentes estão ligados, agora vamos testar se tudo funciona antes de juntar o resto das partes do OriBot.

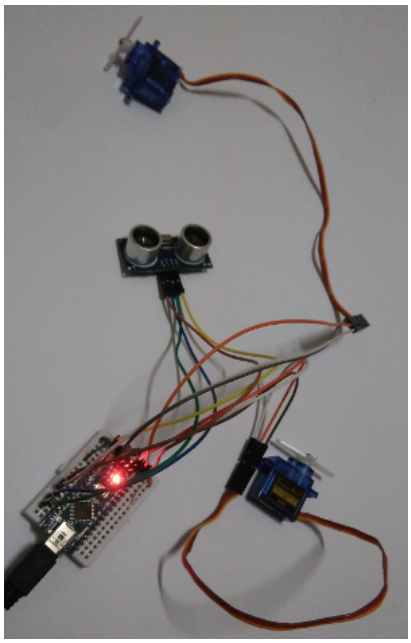


Figura 78 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 22

Ligue o cabo USB em uma das portas do computador e no Arduino e carregue o código usando a IDE do Arduino. Se ainda não tiver feito isso, você vai ter que instalar esse programa, essencial pra escrever e carregar qualquer código no Arduino.
Baixe gratuitamente o arquivo correspondente ao seu sistema operacional (Windows, Mac ou Linux) neste link:
https://www.arduino.cc/en/Main/Software

Após selecionar o sistema operacional, clique em *Just Download* para baixar o software e siga as instruções de instalação.
Após o software Arduino instalado você precisa instalar a biblioteca do sensor:

https://github.com/interaubis/Projetos-Arduino/blob/master/HCSR04Ultrasonic.zip
Descompacte o arquivo zip para a pasta Arduino/libraries, ela fica dentro da pasta Arduino que foi criada junto com a instalação do programa.
A seguir baixe o código do OriBot em um dos links a seguir:

https://github.com/interaubis/Projetos-Arduino

https://github.com/interaubis/Projetos-Arduino/blob/master/OriBot_SIRIGAMI_2_Servos_SensorUltrassonico.ino

Salve o arquivo .ino dentro da pasta Arduino que o programa criou no computador quando foi instalado.
Abra este arquivo para poder carregar o código para o Arduino Nano. Na hora de abrir o Arduino vai dizer que precisa criar uma pasta com o mesmo nome e salvar o arquivo dentro, deixe ele fazer isso.

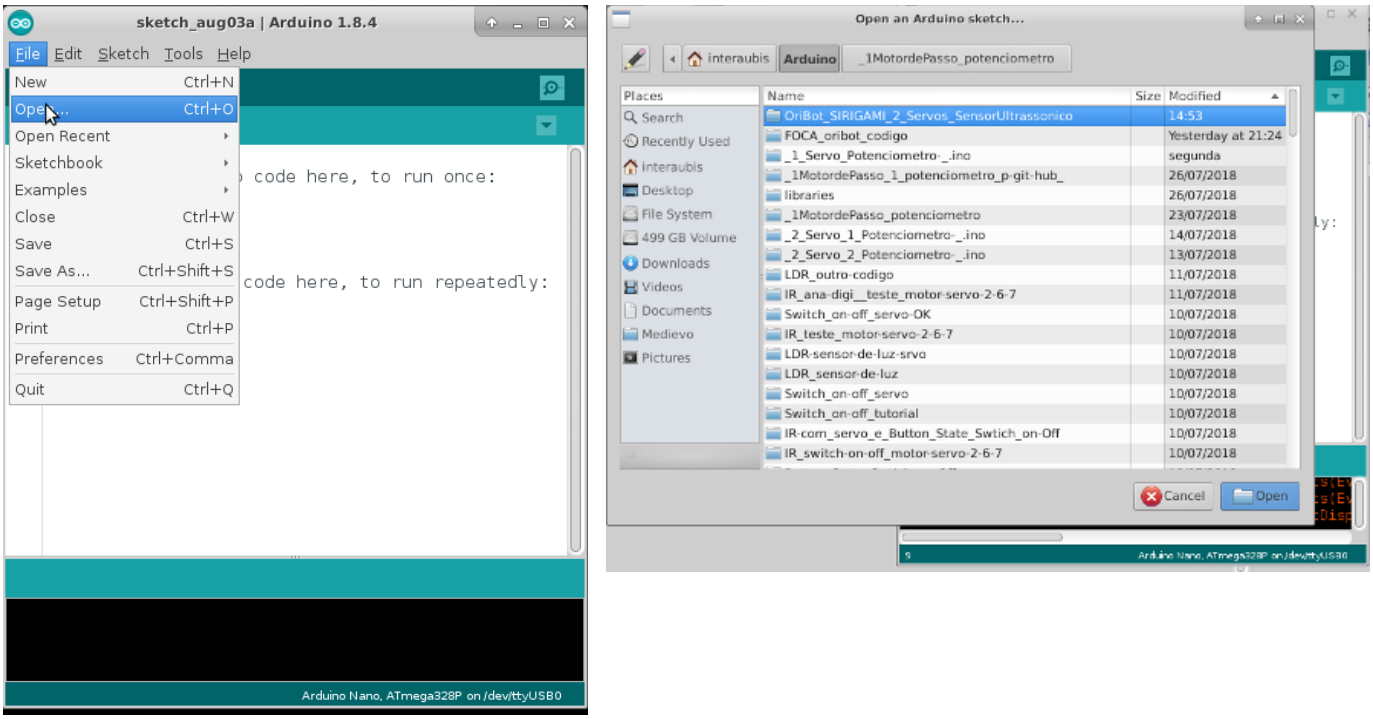


Figura 79 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 23

Certifique-se que a placa NANO está selecionada antes de enviar o código. Se estiver usando outro modelo de Arduino selecione a opção correspondente.

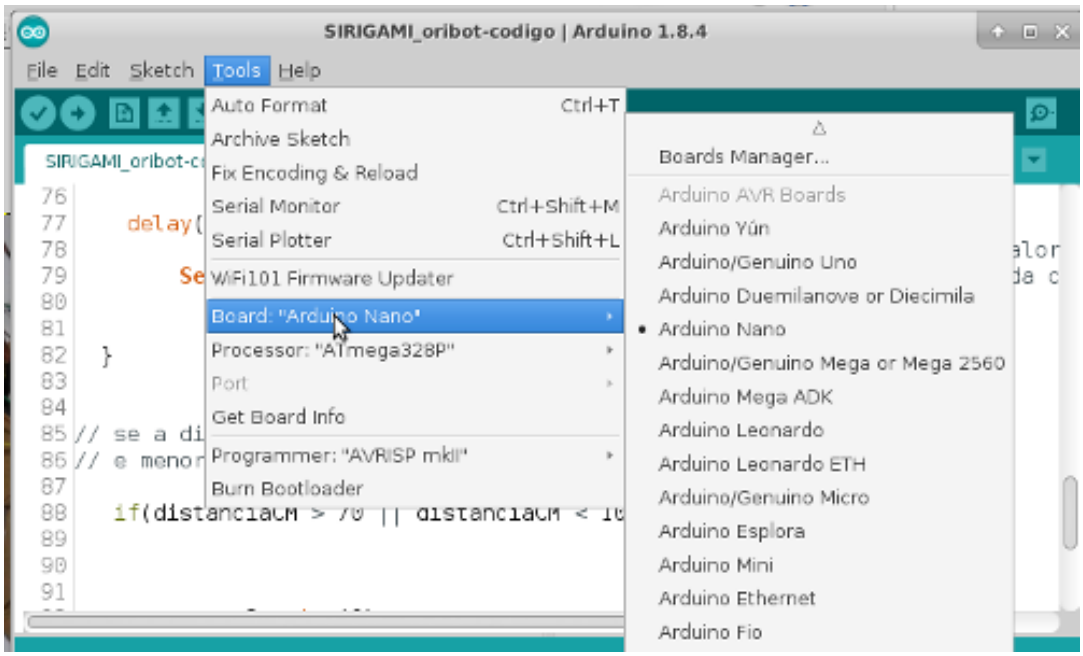


Figura 80 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 24

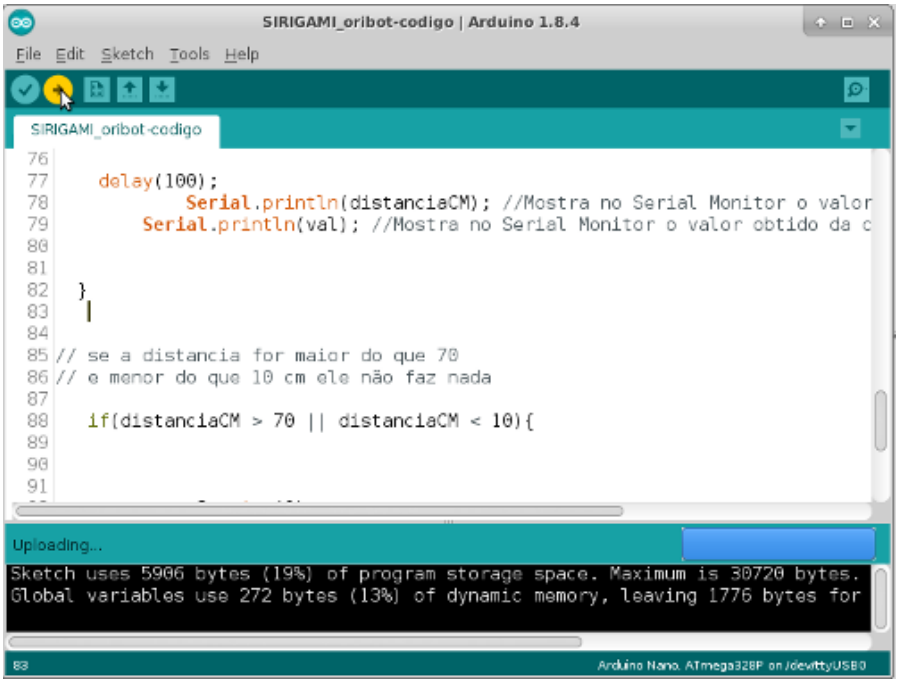


Figura 81 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 25

Usando o botão UPLOAD na IDE do Arduino, carregue o código para a placa Arduino que precisa estar conectada ao computador via USB.

Se tudo deu certo vai aparecer uma mensagem abaixo informando que o *upload* foi bem sucedido.

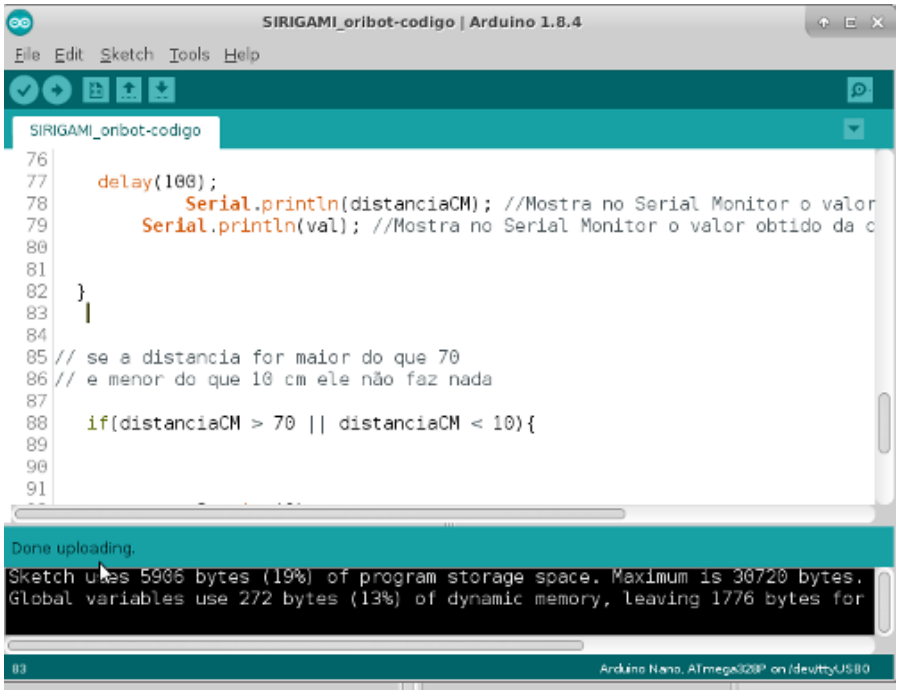


Figura 82 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 26

Aproxime a mão do sensor. Se ambos os motores estiverem funcionando, está tudo ok.

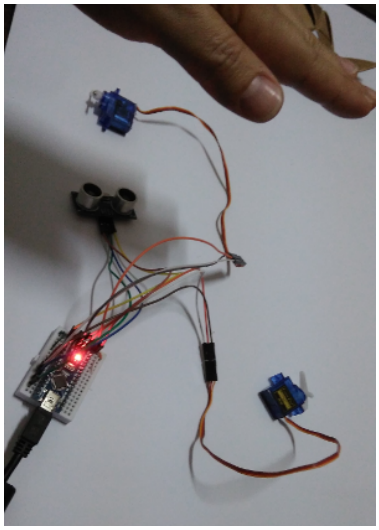


Figura 83 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 27

O quadrado que forma o corpo do OriBot na realidade é um octógono, pois onde estariam as quinas do quadrado estão quatro partes retas com uma abertura para um pequeno espaço triangular interno. Abra este espaço interno com os dedos e encaixe o corpo do motor servo. Se a medida do papel foi respeitada, o motor encaixa na diagonal, sobrando cerca de metade dele para fora.

Encaixe os motores nos vãos de dois lados opostos do corpo do OriBot.

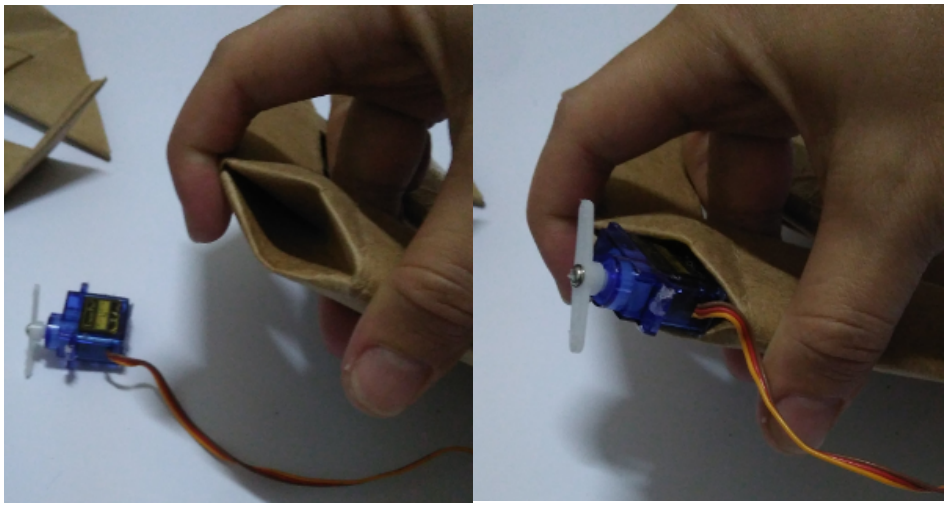


Figura 84 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 28

Com os dois motores encaixados em lados opostos passe cola quente sobre o corpo dos dois motores, um de cada vez, unindo os motores ao papel. Se fizer embaixo também a firmeza aumenta, mas não precisa encharcar de cola quente, use apenas o necessário.

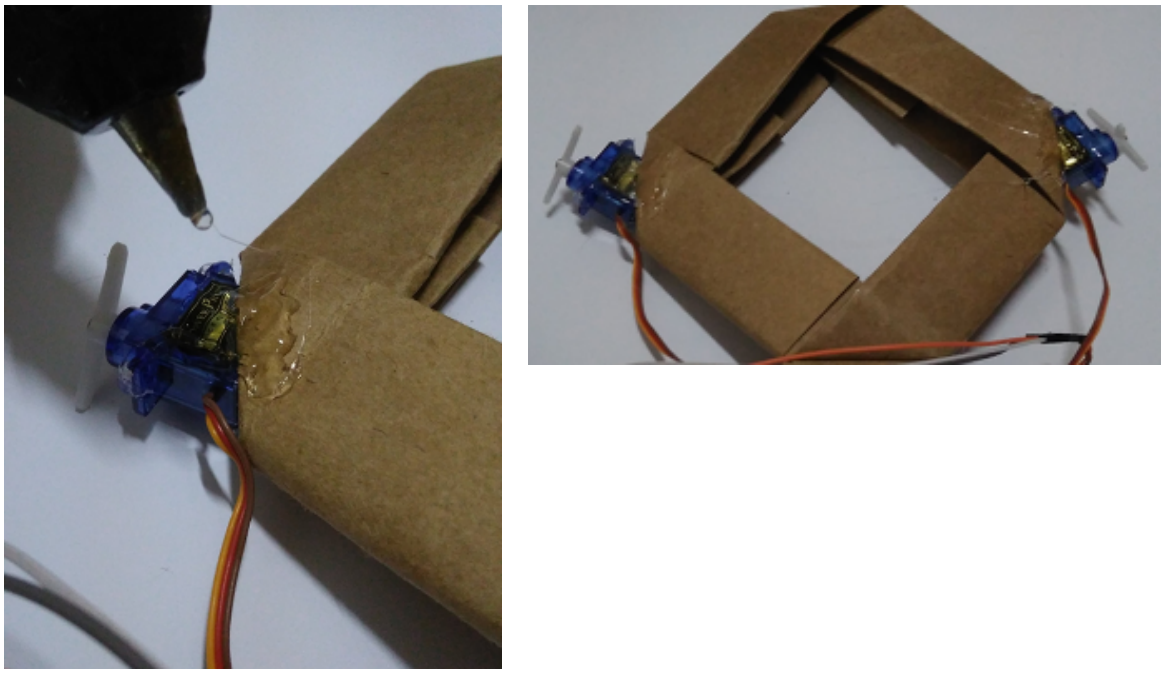


Figura 85 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 29

Ponha um pouco de cola quente direto no papel, no meio do módulo e mergulhe nela a haste do motor segurando firme até que a cola esfrie, soprar ajuda a esfriar. Faça isso com as duas hastes, fixando as duas patas com paciência, é fundamental que a peça esfrie na posição correta ou irá soltar com os primeiros movimentos.

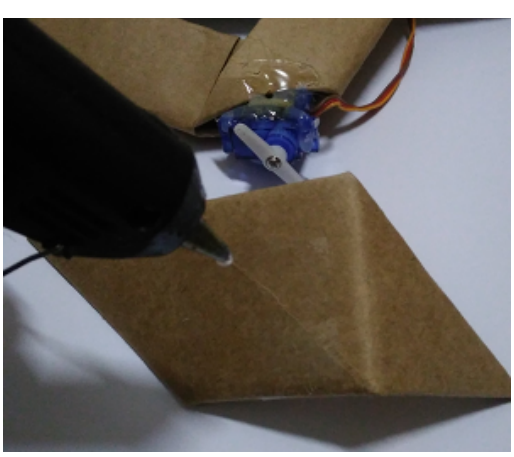
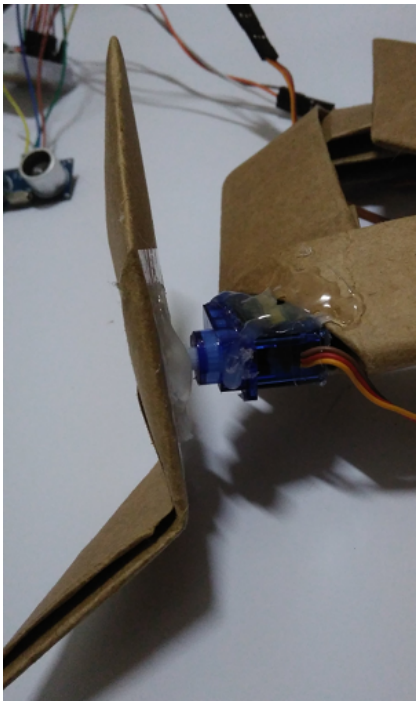




Figura 86 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 30



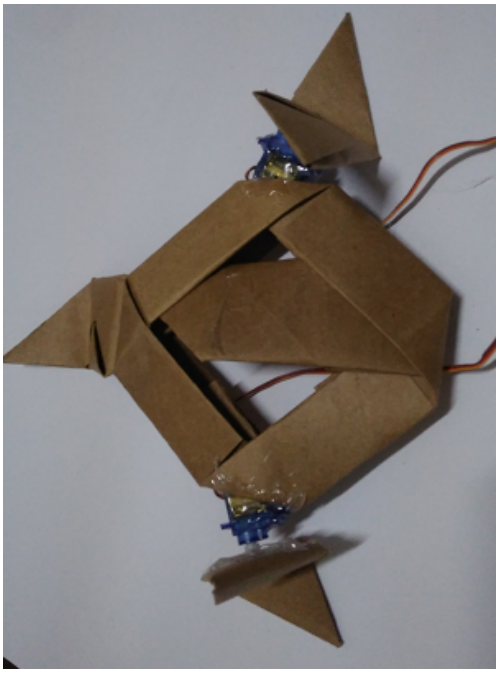


Figura 87 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 31

Depois que as duas patas estiverem coladas aos motores, um terceiro módulo deve ser encaixado no espaço interno de outro dos lados abertos do octógono que forma o corpo do OriBot, de modo a manter o corpo do Sirigami horizontal em relação à superfície onde o OriBot estiver.

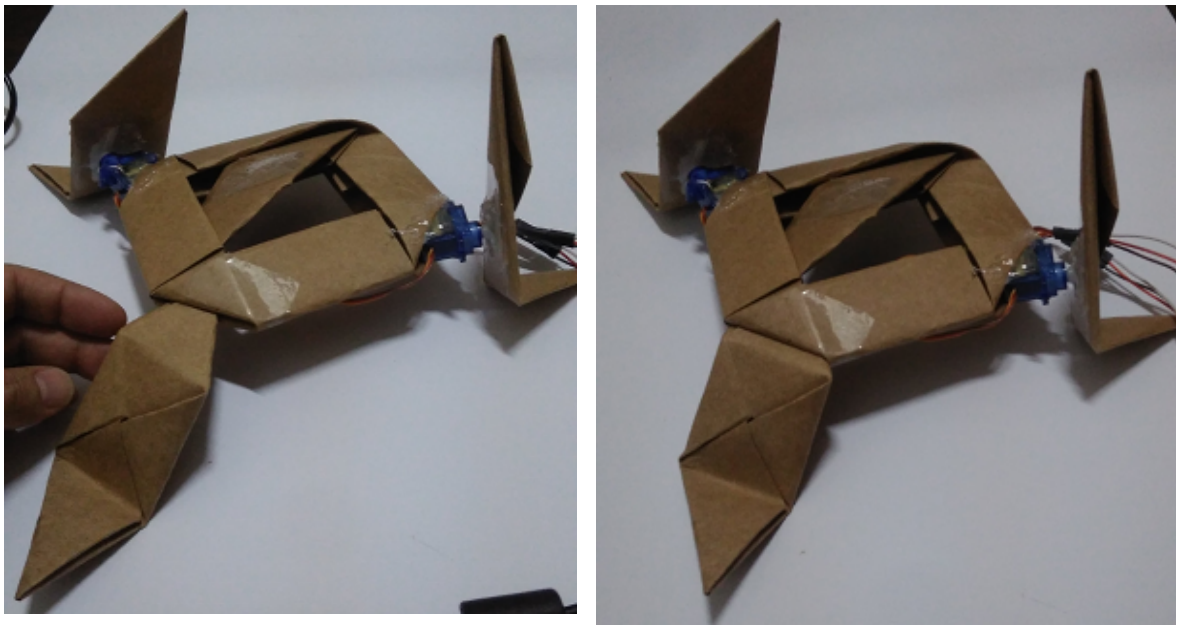


Figura 88 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 32

Quando tudo estiver fixado, o OriBot fica com um dos lados apoiado na superfície, as duas patas fixadas aos motores e o outro lado mantido acima da superfície pelo módulo encaixado ao corpo.
Agora faça uma linha de cola quente sobre a conexão de plástico dos fios colando o sensor voltado para cima, ao corpo do OriBot.



Figura 89 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 33

Ponha um pouco de cola quente para prender a protoboard com o Arduino no módulo do meio com o USB voltado para o lado oposto ao sensor.

necessário para que os motores vibrem menos quando fora de uso.

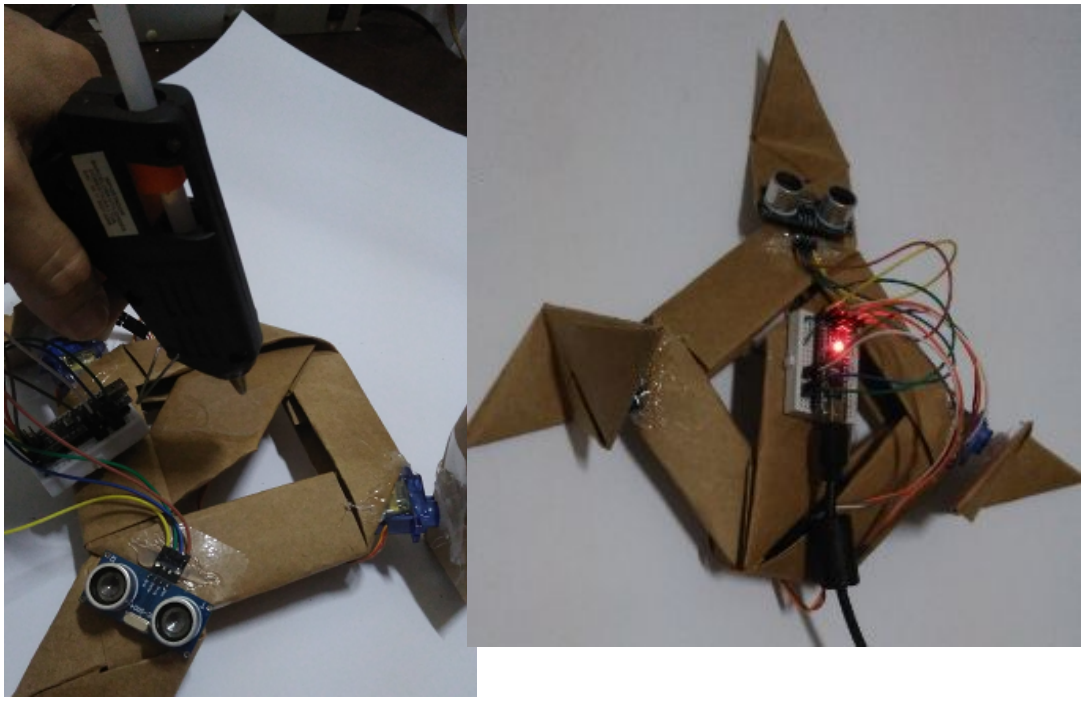


Figura 90 – Tutorial para fazer um OriBot Sirigami, passo 34

Se você tiver um cabo USB longo é o ideal, ligado do computador ele vai fornecer energia para que o Sirigami se movimente. Se houver ainda uma fonte 110V para 12 ou 5V e com 1A para ligar o USB na tomada, aí dispensa o computador.
Pronto, agora ao aproximar a mão do sensor do Sirigami ele se move de modo aparentemente descontrolado, dançando sobre a superfície onde estiver.

6. EXPOSIÇÃO

A produção da exposição final das obras produzidas durante esta pesquisa foi o momento mais tenso de todo este processo.

Inadvertidamente marquei a abertura para a primeira semana depois das férias e por isto não havia ninguém na cidade na semana anterior da montagem. No trabalho, por coincidência, a semana anterior da montagem foi um momento excepcionalmente movimentado devido a um grande evento promovido pela empresa por isto tive picos de stress e foi o momento mais tenso destes dois anos e meio de pesquisa.
Em paralelo a isto a Vera Cozani, funcionária do Instituto de Artes responsável pela organização do uso da Galeria de Arte e os funcionários do SAEPE, setor responsável pelos equipamentos, me deram todas as condições técnicas necessárias para que eu tivesse condições de montagem da exposição. Durante a pré-produção minha orientadora me deu ajuda fundamental tanto na curadoria quanto na organização da montagem da exposição.

Durante a montagem e também durante o período da exposição eu pude contar com a ajuda de alunos da graduação do curso de Artes Visuais que se mostraram interessados em participar da monitoria e da montagem[78]. A presença desta equipe transformou a montagem em uma oficina de montagem e as prateleiras de papel presentes no projeto expositivo e na exposição foram montadas por estes alunos monitores da minha exposição.

[78] Equipe de monitoria e montagem: Daniel Boanerges, Dante Volpato, Flávia Marie, Laura Carvalho, Lucas Castro, Luis Quesada, Lucas Gorzynski, Mariana Seragi, Mila Leme, Miguel Alonso, Rebeca Honney, Rodrigo Rezende, Ricado Gomes, Sabrina Lima, Sabrina Machado, Sabrina Fiorentino.



Figura 91 – Montagem das prateleiras para a Exposição Origami e Robótica.

Em paralelo a isso Rezende e outros amigos e membros do GIIP que puderam finalmente ajudar, Miguel Alonso, Lucas Gorzynski e Luis Quesada, produziam junto com a Vera os cubos brancos e a tinta para seguirmos na montagem.
Uma vez dobradas as prateleiras foram afixadas por todos com a fita dupla-face forte que eu havia levado e passamos à instalação das obras sobre os cubos brancos onde os trabalhos robóticos ficariam expostos. Os três cartazes impressos com o resumo da pesquisa em suas três frentes, origami, código-aberto e Arduino, ficaram instalados no espaço.

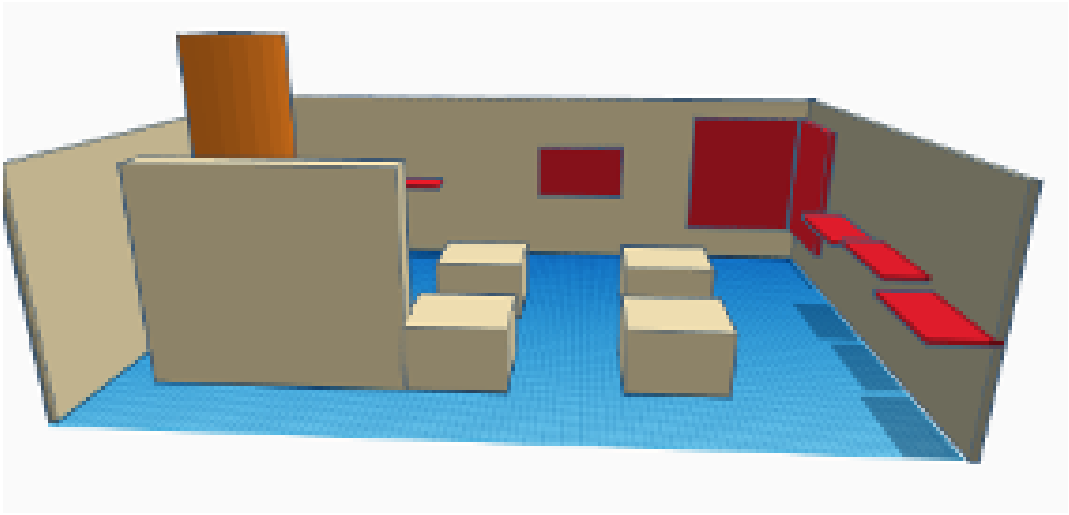


Figura 92 – Exposição Origami e Robótica, projeto expositivo, Daniel Seda, 2018.

A exposição montada ficou dividida em setores. No centro do espaço, em quatros cubos de cerca de 1,2m de lado e 1m de altura, ficaram as quatro obras robóticas e os papéis para origami robótico.

Em uma das paredes estavam fixados os três cartazes com textos. Em outras três paredes ficaram as 12 prateleiras de papel instaladas com uma seleção dos estudos em papel feitos ao longo da pesquisa. Em uma das quinas ficaram uma TV e um projetor com imagens do processo de criação, algumas das quais constam nesta dissertação. Também sendo exibidos alguns vídeos relacionados de alguma forma à pesquisa: a instalação com as borboletas no vento do metrô, um vídeo sobre código aberto produzido para o Sesc em 2017 e com roteiro e criação minhas, a intervenção urbana com os 1000 tsurus que eu dobrei em 2011 transformados em um boneco de forma humana suspenso com balões de hélio durante a Virada Cultural de 2013.

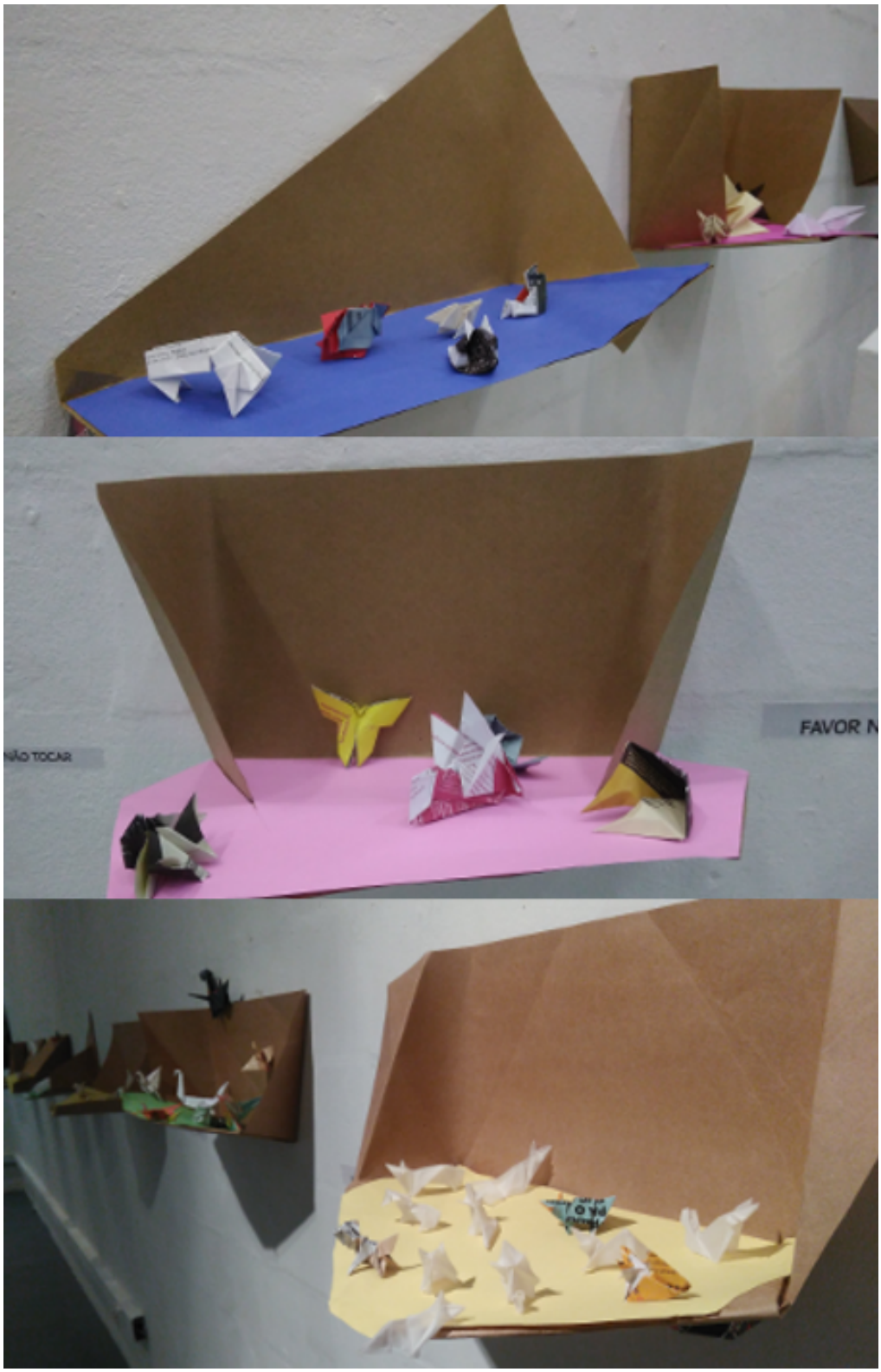


Figura 93 – Exposição Origami e Robótica, registros da exposição, Daniel Seda, 2018.



Figura 94 – Exposição Origami e Robótica, registros da exposição, Daniel Seda, 2018.



Figura 95 – Exposição Origami e Robótica, registros da exposição, Daniel Seda, 2018.

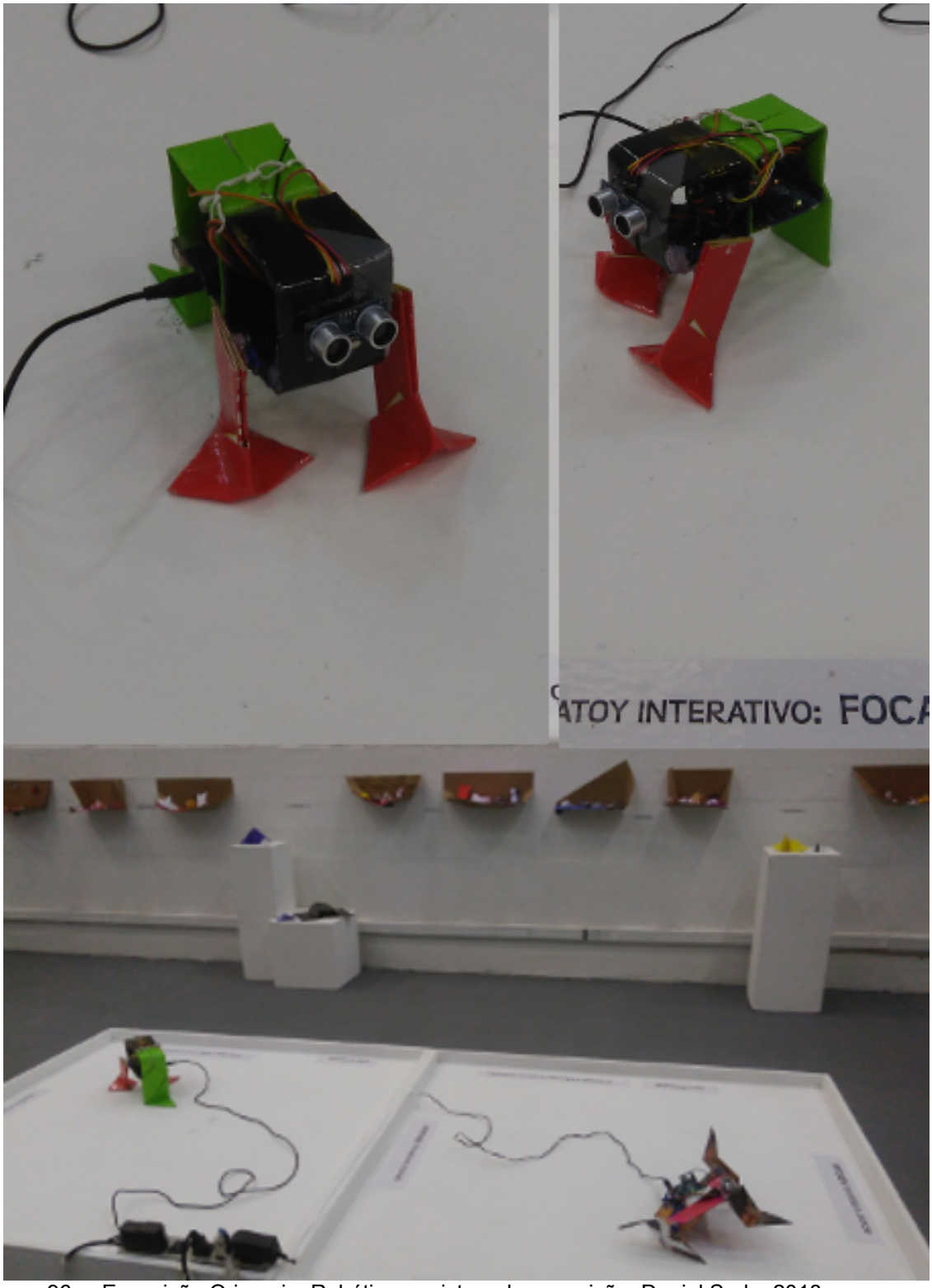


Figura 96 – Exposição Origami e Robótica, registros da exposição, Daniel Seda, 2018.

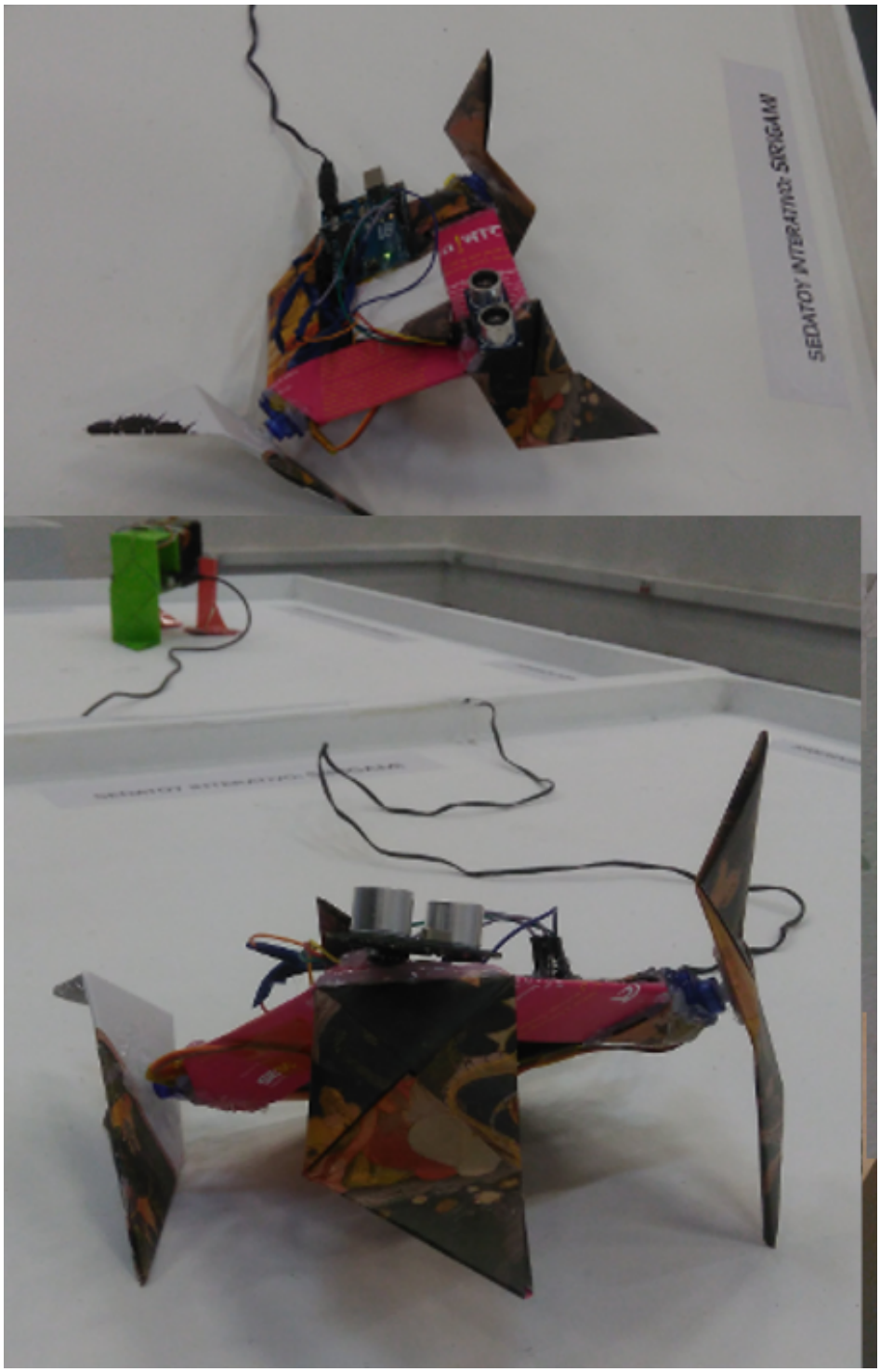


Figura 97 – Exposição Origami e Robótica, registros da exposição, Daniel Seda, 2018.



Figura 98 – 1000 Tsurus em Pessoa, Daniel Seda, 2011-2013.

Na organização dos estudos que ficaram expostos nas prateleiras de papel contei novamente com a ajuda da minha orientadora: ela cuidadosamente fez uma curadoria das quase 200 dobraduras que eu havia colecionado durante os dois anos e meio da pesquisa e me ajudou a separá-las em temas e grupos. Também ajudou durante a montagem com a instalação destas peças nas prateleiras.



Figura 99 – Estudos para Origamis Robóticos, Daniel Seda, 2016-2018.

Enquanto a equipe (monitores, amigos e minha orientadora) montava a exposição me concentrei na instalação das peças robóticas: fixação dos cabos, montagem das réguas de energia, esquema de funcionamento. Ao final me deparei com problemas técnicos que não consegui resolver a tempo e tive que tomar algumas decisões dolorosas como deixar algumas obras desligadas, funcionando apenas quando eu estivesse na exposição. O motivo foi uma questão que só consegui resolver efetivamente depois de terminada a exposição: ligadas diretamente na tomada, com uma fonte conversora 110v-12v, as obras que fiz usando motor de passo apresentavam funcionamento instável alterando o efeito da programação.

Infelizmente descobri isso apenas na semana anterior à abertura e demorei alguns dias para entender o problema e mais a semana inteira para solucionar. Isto somado à minha rotina de trabalho tornou impossível a solução no período da exposição. Estas obras funcionaram perfeitamente durante todos os testes, todos os meses em que me dediquei à pesquisa com os motores de passo. Com dois ou três motores simultâneos, com uma variedade enorme de códigos sendo executados, com uso de fios, de palitos, etc, tudo funcionou perfeitamente enquanto os Arduinos funcionaram ligados à energia via porta USB do computador. Quando fui repetir o resultado usando a fonte 110v-12v a obra começou a alterar seu funcionamento. Só finalizada a exposição consegui fazer uma versão em que a alimentação da energia dos motores ficava em separado e aí sim o código voltava a funcionar como previsto. O motivo da variação do código é que, sobrecarregada pelo excesso de energia exigido pelos motores a placa reinicia para não sobrecarregar e, com isso, reinicia também o código. Descrevo este problema aqui no capítulo dedicado à exposição pois foi durante ela em que tudo isto, inclusive a solução, foi detectado.

Por outro lado as duas peças, uma delas descrita no tutorial já apresentado, o Oribot Foca e o Sirigami funcionaram perfeitamente durante a exposição. Em alguns poucos momentos as obras travavam e para que voltassem a funcionar normalmente precisavam ter seu código reiniciado com um simples liga-desliga feito manualmente por mim ou pela monitoria que estivesse presente. Mas a maior parte do tempo, na imensa maioria das vezes as duas obras funcionaram perfeitamente diante do público para a surpresa das pessoas que se dispuseram a ir até a exposição.
Durante a vernissage recebi inúmeras visitas de artistas conhecidos e de amigos queridos. Durante a semana toda, no período em que estive, também pude receber algumas pessoas conhecidas e muitos desconhecidos que se propuseram a ir até o Instituto de Artes da UNESP para uma exposição de Origami e Robótica.

7. CONCLUSÃO

Como diria Álvaro de Campos, “não me venham com conclusões, a única conclusão é morrer!”[79]. Nenhuma pesquisa realmente termina, ela sempre leva a outro lugar e uma boa pesquisa costuma se abrir como um fractal: quanto mais se procura, mais e mais aspectos interessantes surgem, cada um com suas ramificações de informações, de pensadores e de textos interessantes e relevantes de algum modo para a pesquisa em processo. O esforço para manter o foco dentro deste redemoinho de referências e novidades pode ser exaustivo. Cabe ao pesquisador saber onde interromper o aprofundamento e minha orientação para isso veio dos objetivos traçados no projeto. Grande parte desta pesquisa consistiu em dizer “não”. Portanto, a primeira conclusão a que chego com este processo, de quase dois anos e meio, cursando o mestrado e mais de três anos pesquisando de fato é que esta pesquisa ainda está no início.

Para além do já realizado são muitos aspectos apenas apresentados aqui e que mereceriam um aprofundamento maior. Destes, eu mesmo ressalto que gostaria de ter tido o tempo e a calma para enfatizar nesta dissertação a relação entre origami, matemática e programação, a história do origami, sua importância na cultura japonesa e sua difusão pelo ocidente, os métodos de Akira Yoshizawa. Alguns aspectos pesquisados como a história da robótica no Japão e dos primeiros autômatos de madeira feitos por Takeda Omi em 1662[80] sequer entraram no texto, percebo agora que a pesquisa chega ao fim.

E são tantos outros aspectos que podem ser aprofundados e tantas portas que deixei entreabertas, durante esta pesquisa, que agora me cabe definir de onde partirei para escrever o projeto do doutorado que pretendo seguir.

Durante a pesquisa consegui atingir muitos dos objetivos propostos inicialmente. Cheguei a lugares que não havia previsto como, por exemplo a criação do papel para origami robótico, que chamei de papelbot.

---

79 Lisbon Revisited (1923), poema de Álvaro de Campos (heterônimo de Fernando Pessoa) no livro Poemas cuja primeira publicação data de 1944.

80 História narrada no livro Loving the Machine de Timothy N. Hornyak, Kodansha International, 2006.

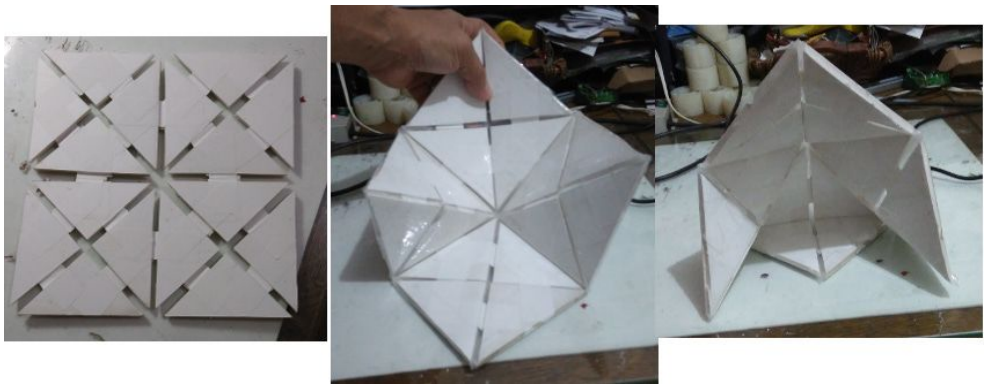


Figura 100 – Papel para Origami Robótico, Daniel Seda, 2018.

Como consequência imprevisível, percebi uma semelhança formal com alguns aspectos da obra da Lygia Clark. Não foram poucas as pessoas que fizeram menção à sua obra ao visitarem a minha exposição com os resultados da pesquisa. No entanto, em nenhum momento, pensei ou parti da artista para desenvolver os objetos em questão.
Eles surgiram de uma necessidade formal e estrutural da minha pesquisa e a partir das questões próprias do origami e da robótica.
Conforme entrei em contato com a parte teórica dos estudos do origami, descobri que o momento em que a obra de Akira Yoshizawa ganhou popularidade no mundo, o final da década de 50, foi justamente a época de formação da geração de artistas da qual Lygia Clark faz parte. Tenho agora interesse em verificar essa hipótese, a saber, que Lygia Clark tenha sido influenciada pela obra de Yoshizawa, ou seja, pelo origami, para desenvolver as suas peças interativas mais famosas, os Bichos. Este é um ponto que pode ser abordado no futuro.

Dentre as conquistas desta pesquisa estão as três maneiras de dobrar papel usando dois tipos de motor diferentes já apresentadas com detalhes no capítulo 5. Estes métodos são o maior resultado prático junto com o papel para origami robótico, que eu chamei de papelbot. Mas o meu papel para origami robótico nada mais é do que um método para fazer origami rígido, que é uma linha de atuação dentro da área de origami e tecnologia, herdeira da técnica criada por Koryo Miura.
Os três métodos, eixo, trilhos e alavanca, funcionam melhor ora usando motores de passo, ora motores servo e conectando-os ao papel com ou sem fios auxiliares. Dentro desta atuação, encontrei algumas maneiras de dobrar automaticamente o papel, esteja ele pré-dobrado ou não. Estes métodos funcionam, seja para dobrar o papel e realizar uma figura, ou para fazer com que o papel se desloque, andando sobre a superfície. Funcionam para origamis modulares, como os OriBots, ou para origamis mais complexos dobrados de uma única folha.

Consegui também dar movimentos para os SedaToys, conforme um dia, em 2012 eu havia imaginado. Além de ter criado e exposto os dois OriBots, os SedaToys animados, incluí, neste texto um tutorial de como alguém deve proceder para obter o mesmo resultado. Usando o método alavanca, aplicado ao motor servo, consegui transformar os módulos em pernas e patas e como isso produzir deslocamento e com criar robôs de papel. Ainda incluí um tutorial de como recriar um dos origamis robóticos frutos desta pesquisa e expostos em 2018.

As possibilidades de divulgação e multiplicação do conhecimento aqui obtido se alinham de acordo com a filosofia de código aberto que conceitua boa parte destas reflexões feitas por mim e a criação deste e de outros tutoriais é a realização disto. Além de inserido neste texto o tutorial para se fazer um origami robótico está publicado em meu site no endereço https://www.danielseda.com/educativo. Outros tutoriais estarão disponíveis conforme outros modelos de OriBot forem surgindo.

Também realizei estudos preliminares sobre teoria do origami e sobre suas relações com a matemática e com as linguagens de programação. Descobri que existem alguns programas que trabalham a relação entre o modelo 3D e o papel a ser dobrado, começando pelo pioneiro TreeMaker de Robert J. Lang ao super Origamizer criado por Tomohiro Tachi e desenvolvido em parceria com Erik Demaine. Descobri também que existem os softwares Pepakura que importa modelos 3D e os transformam em uma superfície plana formada por poliedros a serem dobrados, e o Oripa, que converte dobras virtuais numa folha em um modelo 3D. Além destes eu já conhecia o Robogami pois ele fez parte da minha bibliografia inicial. Este software integra criação de robôs de origami com impressão 3D mas tomei conhecimento sobre a existência dos outros programas ao longo desta pesquisa.

Creio que estas foram as conquistas deste processo de pesquisa. Além das conquistas a pesquisa traz novas dúvidas e vontades, e termino este texto elencando as vontades que tenho de me aprofundar em vários aspectos interessantes que encontrei no meu campo de pesquisa.

Desenvolver um estudo mais aprofundado sobre os componentes eletroeletrônicos e suas características. Portas lógicas, transistores, motores, dínamos, captação de energia via células fotovoltaicas ou energia cinética (eólica, etc), acumulação e uso desta energia através de baterias e capacitores, são muitas as dúvidas que me sobraram ao entrar em contato com este universo fantástico de uso da energia elétrica e dos componentes eletrônicos em processos dinâmicos de criação artística.

O uso da energia elétrica aplicada a um circuito integrado me leva a outra questão relacionada: devo aprender outras linguagens de programação para não depender mais apenas do Arduino e poder ter acesso a outros circuitos integrados? Nas peças desenvolvidas durante a minha pesquisa, faço uso de recursos extremamente limitados. Analisando friamente, na maior parte do tempo fiquei apenas controlando a energia dos motores com sensores simples. Isto tudo poderia ser replicado de maneira, teoricamente, mais barata com circuitos integrados ainda mais simples do que o ATMega328P, cérebro do Arduino, que foi usado nesta pesquisa. As características de um projeto de código aberto podem ser mantidas, por mim, independente do uso do Arduino. E abrir mão dele pode me levar, talvez, a lugares ainda mais promissores. Devo partir para este caminho arriscado, mas fascinante de começar a aprender alguma linguagem de programação mais densa como C++ (de onde veio a linguagem do próprio Arduino), Python, etc?
Ou é mais adequado, para o meu nível de conhecimento, seguir me aprofundando apenas nos recursos já presentes no Arduino, que já é complexo o bastante?

Outro caminho possível seria entrar no universo da fabricação digital e integrar na pesquisa futura os conhecimentos sobre o funcionamento e a operação de máquinas de impressão em 3D e cortadoras CNC Router e Laser. Além de poderem ser

construídas com Arduinos (em última análise, essas máquinas são estruturas robóticas), o que aprofundaria meu conhecimento sobre este sistema. Aprender sobre esse tipo de equipamento me permitiria investigar outros materiais como plásticos, acrílicos, madeiras, chapas metálicas e suas relações com o universo dos origamis rígidos dentro de contextos robóticos. Tudo isto apenas do lado do hardware. Da parte do software, essa linha de pesquisa me levaria a aprender modelagem 3D, sistemas CAD, tipos de programas que já são extremamente difundidos e bem sucedidos dentro das propostas de software livre.

Outras possibilidades vêm do estudo de programação e do estudo aprofundado dos diversos softwares de criação de origami citados previamente nesta pesquisa.
As linguagens de programação me interessam muito como ferramentas para criação artística. Poderia ser interessante direcionar um doutorado para o aprendizado mais profundo tantos destes softwares específicos para origami quanto das linguagens de programação visando um uso artístico dentro das minhas pesquisas práticas e teóricas.

Ainda outro caminho seriam os materiais inteligentes e materiais com memória como o Nitinol. Existe um imenso e promissor caminho em estudar a robótica possível ao unir técnicas de origami às possibilidades de movimentos sem uso de motores abertas por estes novíssimos materiais que surgem.

Acredito que já estejam evidentes as inúmeras portas e caminhos que podem ser percorridos daqui para frente e se tornam possíveis a partir da pequena experiência e dos conhecimentos adquiridos durante a pesquisa, até agora.

Por outro lado, saindo da técnica e voltando para a poética, também foi durante o processo de pesquisa que percebi que, de certo modo, as borboletas de origami flutuando caoticamente no vento ligadas por fios, da instalação urbana que montei algumas vezes nas saídas de vento do metrô em São Paulo, são uma variação da mesma pesquisa de movimento autônomo aplicado ao origami. Só percebi isso quase ao fim da pesquisa em conversa com Lucas Gorzynski.



Figura 101 – Objetos Flutuantes Urbanos - Borboletas, Daniel Seda, 2013.

Meu primeiro trabalho em origami e robótica, portanto, foi esta instalação que funcionava em simbiose com o desperdício de energia gerado pelo maquinário de ventilação do metrô de São Paulo. Esta obra foi concebida em 2013 e realizada pela primeira vez no início de 2014, antes, portanto, que eu começasse a estudar o Arduino e antes que eu sequer pensasse a sério em estudar robótica, algo que me parecia tão distante e inacessível.

Estes seriam então outros caminhos possíveis para os aspectos estéticos e poéticos desta pesquisa: aprofundar a relação entre origami e o meio urbano, entre origami e materiais e outros recursos reciclados, não são poucas as ideias que já tenho guardadas para uma pesquisa neste sentido. Só não sei se isto caberia dentro de um doutorado ou se mantenho esta abordagem no território mais livre da minha experimentação poética autônoma.
Meu método de criação parece funcionar fazendo muitas coisas ao mesmo tempo cada coisa alimentando a outra. Talvez a conclusão frequente de pequenos projetos em paralelo com a pesquisa “séria” crie uma retroalimentação positiva, talvez seja apenas uma forma de não ficar viciado nas mesmas questões. Manter essa linha poética mais livre em um caminho paralelo ao âmbito acadêmico pode ser favorável ao próprio processo de pesquisa num eventual doutorado.

Outros objetivos pontuais perseguidos foram a realização de protótipos e documentação do processo. Neste sentido pude atingir a realização de algumas obras expostas na Galeria de Arte Alcindo Moreira Filho como finalização da produção artística deste mestrado bem como ministrar diversas oficinas inspiradas pela pesquisa, dentro do Sesc, onde trabalho, e onde pude testar idéias e métodos.

E, para concluir, aproveito para reafirmar o meu interesse na continuidade desta pesquisa seja qual for o caminho que ela efetivamente tome. Creio haver reunido nestas páginas um grande repertório de possibilidades, não apenas para mim, mas que também já pode funcionar como um guia de referências para futuros pesquisadores em qualquer área afim.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZI, Massimo. Getting Started With Arduino. Ed. Make, São Francisco, 2009.

BARBROOK, Richard. Futuros Imaginários, das máquinas pensantes à aldeia global. Ed. Peirópolis, São Paulo, 2009.

BARRAGÁN, Hernando. Wiring: Prototyping Physical Interaction Design. Ivrea, Interaction Design Institute Press, June 2004.

ENGEL, Peter. Origami Odissey, A Journey to the Edge of Paperfolding. North Clarendon, Tuttle Publishing, 2011.

ENGEL, Peter. Origami, From Angelfish to Zen. New York, Dover Publications, Inc, 1994.

FEI, L. J.; SUJAN, D. Origami Theory and Its Applications: A Literature Review. World Academy of Science, Engineering and Technology: International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering Vol:7, No:1, Hertfordshire, University of Hertfordshire Press, 2013

FOSTER, Hal. Recodificaciones: hacia una noción de lo político en el arte contemporáneo. Publicado en Modos de hacer. Arte crítico, esfera publica y acción directa, Salamanca, Ediciones Universidad de Salamanca, 2003.

GIBB, Alicia M. New Media Art, Design and the Arduino Microcontroller: A Malleable Tool, Master of Science Thesis. Nova York, Pratt Institute, 2010.

GOLDSTEIN, Seth Copen, MOWRY, Todd C. Claytronics, an Instance of Programmable Matter, Cambridge, Carnegie Melon University Press, 2004.

GOLDSTEIN, Seth Copen, CAMPBELL, Jason D, MOWRY, Todd C. Programmable Matter. Pittsburgh, Carnegie Melon University Press, 2005.

HONDA, Isao. The World of Origami. Tokyo-San Francisco, Japan Publications Trading Company, 1965.

LANG, Robert J. Folding Paper, The Infinite Possibilities of Origami. Hong Kong, Tuttle Publishing, 2013.

LESSIG, Lawrence. Free Culture. ISBN 1-59420-006-8. New York, The Penguin Press, 2004.

MACHADO, Arlindo. Repensando Flusser e as Imagens Técnicas. São Paulo, Edusp, 1997.

MARGOLUS, Norman, TOFFOLI, Tommaso, Cellular Automata Machines, Cambrigde, MIT Press, 1987.

MONTROLL, John. Favorite Animals in Origami. Mineola, Nova York, Dover Publications Inc.,1996.

MIURA, Koryo. Method of Packaging and Deployment of Large Membranes in Space. Tokyo, The Institute of Space and Astronautical Science Report, 1985.

NISHIYAMA, Yutaka. Miura Folding: Applying Origami to Space Exploration. Osaka, Osaka University Press, 2012.

RUS, Daniela, SUNG, Cynthia R., MIYASHITA, Shuhei, GUITRON, Steven, LUDERSDORFER, Marvin. An Untethered Miniature Origami Robot that Self-folds, Walks, Swims, and Degrades, Cambrigde, MIT Press, 2015.

RUS, Daniela, SUNG, Cynthia. Foldable Joints for Foldable Robots, Cambrigde, MIT Press, 2015.

RUS, Daniela, ROMANISHIN, John W. GILPIN, Kyle. M-Blocks: Momentum-driven, Magnetic Modular Robots, Cambrigde, MIT Press, 2015.

STALLMAN, Richard. Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman. Boston, GNU Press, 2002.

WISSNER, Alexander David. Physically Programmable Surfaces, Cambridge, Harvard University Press, 2007.

YOSHIZAWA, Akira. Origami Museum Animals. Tokyo, Kamakura Shobo Publishing Co., 1987.

ZHAO, Wei. Interactive Robogami, Cambridge, MIT Press, 2015.

9. Outras Fontes

(fontes das imagens na ordem em que aparecem no texto)

Robert J. Lang, Cyclomatus metallifer, Opus 562, 2010. Fonte: <http://www.langorigami.com/composition/cyclomatus-metallifer-opus-562>

Padrão de dobras da Dobra Miura. Fonte: < https://en.wikipedia.org/wiki/Miura_fold#/media/File:Miura-Ori_CP.svg >

Robert J. Lang em frente ao protótipo desenvolvido pela NASA para o telescópio Eyeglass. Fonte: < http://www.langorigami.com/article/eyeglass-telescope >

Alamo Stallion CP, base, and folded form, from Origami Design Secrets. Fonte: < http://www.langorigami.com/article/crease-patterns-art >

Tela do software TreeMaker. < http://www.langorigami.com/article/crease-patterns-art>

Exemplo de imagem em low-poly. < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LowPoly_Sphere_20.stl>

Registro da tela do Origamizer. < http://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/software/ >

Registro de frames de um gif animado em um post no twitter anunciando o lançamento do software lançado em 22 de junho de 2018 por Robbie Kraft . <https://twitter.com/RobbyKraft/status/1000079480478724096 >

Walt Disney Pictures, Big Hero 6. 2014. Fonte: <http://www.sidefx.com>

Osamu Tezuka, AstroBoy. 1952. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astro_Boy >

Game of Life, John Horton Conway. 1970. Fonte: < http://web.stanford.edu/~cdebs/GameOfLife/>

PomPom Mirror, Daniel Rozin. 2015 Fonte: <www.bitforms.com >

Mapa Dymaxion, criação de Buckminster Fuller. < https://hexnet.org/content/dymaxion-map >

Sobre a economia da dádiva da alta tecnologia. (BARBROOK, 2009, p. 22) O artigo onde Barbrook cria a expressão ecnonomia da dádiva é de 1998. <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/631/552>

Artigo sobre Friedrich Froebel. <http://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_educacao.htm> Consultado em 20/11/2017

Era Meiji, período de transição após o fim do Japão Feudal, de 1867 a 1912, quando a cultura japonesa voltou a ter contato com o resto do mundo. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Era_Meiji> Consultado em 20/11/2017

Maurits Cornelius Escher (1898-1972), artista gráfico holandês. <http://www.mcescher.com/about/biography/ > Consultado em 27/05/2018.

Koryo Miura, astrofísico japonês nascido em 1930. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2035733724_Koryo_Miura> Consultado em 30/05/2018.

Artigo de Peter Forbes sobre o lançamento de painéis solares dobráveis, em 1995. publicado em 23/11/2000 <https://www.theguardian.com/science/2000/nov/23/technology1 > Consultado em 26/05/2018

Mais informação sobre o Eye Glass disponível em <https://str.llnl.gov/str/March03/Hyde.html> Consultado em 30/05/2018.

Artigo sobre circle-packing. <http://mathworld.wolfram.com/CirclePacking.html> Consultado em 30/05/2018.

Artigo de Robert J. Lang sobre o desenvolvimento do software TreeMaker <http://www.langorigami.com/article/treemaker> Consultado em 23/05/2018.

Toshiyuki Meguro, bioquímico e origamista japonês <http://blog.scienceborealis.ca/fold-it-right-there-the-mathematical-art-of-paper-folding/> Consultado em 30/05/2018.

Artigo sobre o Robogami disponível em < http://cfg.mit.edu/content/interactive-robogami-end-end-system-design-robots-ground-locomotion > e software disponível para download no endereço < https://github.com/mit-drl/robogami > Ambos consultados em 26/05/2018.

Pepakura, software desenvolvido pela empresa japonesa Tamasoft. Download disponível em < http://www.tamasoft.co.jp/pepakura-en/ > Mais informações sobre o desenvolvimento do programa em < http://www.tamasoft.co.jp/tama-history-e.html >. Consultado em 26/05/2018

Origamizer, software disponível em < http://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/software/ > Consultado em 26/05/2018.

Professor no Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo. <http://www.tsg.ne.jp/TT/> Consultado em 30/05/2018.

Erik Demaine é professor de Ciência da Computação no MIT <https://www.csail.mit.edu/person/erik-demaine> Consultado em 30/05/2018.

The Origami Revolution, NOVA Documentary, 2017. Vídeo disponível no Youtube < https://www.youtube.com/watch?v=fS_ZK4KR5hA > Consultado em 26/05/2018.

Oripa, software desenvolvido por Jun Mitani, professor na Faculdade de Engenharia da Universidade de Tsukuba, Japão. Disponível em < http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/oripa/ > Consultado em 27/05/2018

Origamista, engenheiro de software e instrutor de design em Parsons School of Design - School for Poetic Computation <http://robbykraft.com/> Consultado em 30/0/2018.

Post de Robbie Kraft anunciando um software. Disponível em < https://twitter.com/RobbyKraft/status/1000079480478724096 > Site de Robby Kraft < http://robbykraft.com/ > Consultados em 26/05/2018.

Pigmaleão e Galatéia. História narrada pelo poeta grego Ovídio nas Metamorfoses. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pigmaleão> Consultado em 30/05/2018.

O Golem, Criatura mágica da cultura judaica. Fonte: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Golem> Consultado em 30/05/2018.

Autômatos Celulares <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton>

Jogo da Vida, criado em 1970 por John Horton Conway a partir de um conceito lançado por John Von Neumann na década de 40. <http://web.stanford.edu/~cdebs/GameOfLife/ >. Consultado em 21/11/2017.

Página do projeto Claytronics. <http://www.cs.cmu.edu/~claytronics > Consultado em 21/11/2017.

Artigo do MIT sobre o Robogami <http://news.mit.edu/2013/simple-scheme-for-self-assembling-robots-1004> Consultado em 21/11/2017.

Artigo da equipe criadora do projeto sobre o Robogami <http://cfg.mit.edu/content/interactive-robogami-end-end-system-design-robots-ground-locomotion> Consultado em 25/05/2018

Um dos computadores usados durante a década de 70. <https://en.wikipedia.org/wiki/VAX > Consultado em 21/11/2017.

UNIX é um dos sistemas operacionais mais influentes, amplamente usado lançado em 1969. < https://pt.wikipedia.org/wiki/Unix > Consultado em 21/11/2017.

General Public License, licença que regula o software livre. <https://www.gnu.org/licenses/gpl-faq.html > Consultado em 21/11/2017

A Economia da Dádiva da Alta Tecnologia é um artigo de Richard Barbrook publicado originalmente em 1998 que argumentava que a Internet seria instrinsecamente anti-capitalista devido às suas práticas de compartilhamento radical. Disponível em: <http://innovate.ucsb.edu/796-richard-barbrook-the-hi-tech-gift-economy> Consultado em 21/11/2017.

Artigo sobre o software Apache. Disponível em: < https://pplware.sapo.pt/linux/centos-7-instalado-vamos-instalar-o-servidor-web-apache/ > Consultado em 25/05/2018.

Informações oficiais sobre o software Apache. Disponível em:<https://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html > Consultado em 25/05/2018.

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, Artigo 96. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9610.htm> Consultado em 31/05/2017.

Creative Commons é uma organização fundada em 2001 por Lawrence Lessig, Hal Abelson, e Eric Eldred. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons > Consultada em 21/11/2017

Interaction Design Institute Ivrea, Escola de Design que existiu de 2001 a 2005 na Itália. <https://en.wikipedia.org/wiki/Interaction_Design_Institute_Ivrea > Consultado em 21/11/2017

Organização sem fins lucrativos com a missão mundial de promover a liberdade dos usuários de computador e defender seus direitos. <https://www.fsf.org/pt-br > Consultada em 22/11/2017.

Paperduíno projeto de Ondrey Kolonicny. Previamente disponível em: < http://blog.ok1cdj.com/2014/04/paperduino-tiny.html > Consultado em 15/09/2016.

Projeto de Daniel Chagas <http://blog.fazedores.com/marminino-o-arduino-cearense/ >Consultado em 24/05/2018

Projeto de Fábio Souza < https://www.embarcados.com.br/franzininho/ > Consultado em 24/05/2018

Arduino, site oficial. <https://www.arduino.cc/ > Consultado em 21/11/2017.

Instructables <http://www.instructables.com/id/Arduino-Projects/ > Consultado em 21/11/2017.

Portfolio de Daniel Rozin, artista e professor israelense com carreira e reconhecimentos internacionais. <http://www.smoothware.com/danny/ > Consultado em 21/11/2017

Artigo sobre Daniel Rozin <http://swisskineticart.weebly.com/daniel-rozin.html > Consultado em 21/11/2017

Sistema Yoshizawa-Randlett-Harbin <https://en.wikipedia.org/wiki/Yoshizawa%E2%80%93Randlett_system > Consultado em 27/05/2018

Github < https://github.com/> Consultado em 04/06/2018