

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



Carolina Cezarino de Carvalho

**Desenvolvimento de um sistema de comunicação
robô-terapeuta para auxílio de diagnóstico de Transtorno
do Espectro Autista**

Vitória-ES

Dezembro/2017

Carolina Cezarino de Carvalho

**Desenvolvimento de um sistema de comunicação
robô-terapeuta para auxílio de diagnóstico de Transtorno
do Espectro Autista**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna Carolina Cezarino de Carvalho, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Vitória-ES

Dezembro/2017

Carolina Cezarino de Carvalho

**Desenvolvimento de um sistema de comunicação
robô-terapeuta para auxílio de diagnóstico de Transtorno
do Espectro Autista**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna Carolina Cezarino de Carvalho, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em 22, de Dezembro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Anselmo Frizera Neto

Prof. Dr. Anselmo Frizera Neto
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Andrés Alberto Ramírez Duque

M.Sc. Andrés Alberto Ramírez Duque
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

André Ferreira

Prof. Dr. André Ferreira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Thomaz Rodrigues Botelho

Prof. Dr. Thomaz Rodrigues Botelho
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo
Examinador

Vitória-ES

Dezembro/2017

RESUMO

Um número cada vez maior de crianças em todo o mundo vem sendo diagnosticadas com o Transtorno do Espectro Autista (TEA). Esse transtorno está entre os problemas de saúde mental que mais prejudicam o desenvolvimento infantil. É importante que a criança seja diagnosticada o mais precocemente possível pois, uma vez diagnosticada, as intervenções específicas para suas necessidades podem ser realizadas. As intervenções precoces têm mostrado ganhos expressivos em indicadores de funcionamento cognitivo, comunicação e interação social. Nesse contexto, para que seja possível promover um crescimento que o indivíduo se integre socialmente em suas atividades diárias, é essencial monitorar diferentes indicadores do desenvolvimento. Dentre esses indicadores, se destacam as falhas nas habilidades de atenção compartilhada (AC). A AC refere-se à troca social na qual a criança coordena sua atenção entre uma pessoa e o ambiente. O ato de apontar, por exemplo, é uma função para compartilhar atenção e interesse com o parceiro. O desenvolvimento prejudicado da AC é uma característica primária de crianças com TEA e, portanto, é buscada em programas de diagnóstico e intervenção precoce. Tecnologias são cada vez mais utilizadas no auxílio do diagnóstico de crianças com TEA. Dentre elas, a robótica se destacou em intervenções TEA, pois pesquisas relataram que muitas crianças com TEA mostraram preferência por personagens robóticos. Outro elemento que se destacou foram os ambiente interativos. Nesses ambientes os estímulos de entrada podem ser controlados, o que pode reduzir a ansiedade que situações sociais cotidianas podem causar. A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) possui um grupo de pesquisa dedicado ao desenvolvimento de ferramentas de auxílio ao diagnóstico de crianças com TEA. Este projeto propõe a realização de modificações na forma de interagir com o robô social Ono. Tais modificações consistem no desenvolvimento de uma interface que realize a comunicação entre elementos sensores de um ambiente de interação e o robô, viabilizando estratégias de auxílio ao diagnóstico e de identificação de falhas na atenção compartilhada em crianças com TEA.

Palavras-chave: Robótica, Transtorno do Espectro Autista, Atenção Compartilhada, Ono, Interface.

ABSTRACT

An increasing number of children around the world have been diagnosed with Autism Spectrum Disorder (ASD). This disorder is among the mental health problems that most affect child development. It is important that the child be diagnosed as early as possible because, once diagnosed, the interventions specific to their needs can be performed. Early interventions have shown significant gains in indicators of cognitive functioning, communication and social interaction. In this context, it is essential to monitor different indicators of development to be able to promote growth that the individual integrates socially into his daily activities. Among these indicators, we highlight the failures in joint attention skills. Joint attention refers to the social exchange in which the child coordinates his attention between a person and the environment. The act of pointing, for example, is a function to share attention and interest with the partner. The impaired development of joint attention is a primary feature of children with ASD and therefore is sought in early diagnosis and intervention programs. Technologies are increasingly used to aid in the diagnosis of children with ASD. Among them, robotics stood out in TEA interventions, as research has reported that many children with ASD have shown preference for robotic characters. Another element that stood out were the interactive environment. In these environments, input stimuli can be controlled, which can reduce the anxiety that everyday social situations can cause. The Federal University of Espírito Santo (UFES) has a research group dedicated to the development of diagnostic tools for children with ASD. This project proposes the realization of changes in the way of interacting with the social robot Ono. Such modifications consist in the development of an interface that realizes the communication between sensor elements of an interaction environment and the robot, making possible strategies of aid to the diagnosis and identification of failures in joint attention in children with ASD.

Keywords: Robotics, Autism Spectrum Disorders, Joint Attention, Ono, Interface.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Robô Social Ono.	17
Figura 2 – Detalhamento dos módulos do robô social.	18
Figura 3 – Aparência final do robô Ono.	19
Figura 4 – Aplicação <i>web</i> para controlar o robô.	19
Figura 5 – Diagrama geral do projeto.	22
Figura 6 – Acesso ao servidor via aplicação <i>web</i>	24
Figura 7 – Acesso ao servidor via <i>Requests</i>	25
Figura 8 – Diagrama de conexão com o servidor via Requests.	26
Figura 9 – Amplificador de áudio APA2005D1.	27
Figura 10 – Esboço do protocolo.	27
Figura 11 – Ambiente interativo.	29
Figura 12 – Comunicação entre os sensores e o robô.	30
Figura 13 – Posicionamento da criança e do robô em relação aos eixos coordenados.	30
Figura 14 – Diagrama da ferramenta feita em ROS.	31
Figura 15 – Análise geométrica da posição do robô e da criança no ambiente interativo.	32
Figura 16 – Acesso ao robô via linha de comando.	34
Figura 17 – Acesso ao robô via linha de comando.	34
Figura 18 – Acesso ao robô via linha de comando.	35
Figura 19 – Interface gráfica desenvolvida em Python.	36
Figura 20 – Primeira parte do protocolo de intervenção.	37
Figura 21 – Segunda parte do protocolo de intervenção.	37
Figura 22 – Terceira parte do protocolo de intervenção.	38
Figura 23 – Quarta parte do protocolo de intervenção.	38
Figura 24 – Quinta parte do protocolo de intervenção.	39
Figura 25 – Robô social Ono olhando para automaticamente para um indivíduo. . .	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Atenção Compartilhada</i>
NTA	<i>Núcleo de Tecnologia Assistiva</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
TEA	<i>Transtorno do Espectro Autista</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
UVV	<i>Universidade Vila Velha</i>
UFES	<i>Universidade Federal do Espírito Santo</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Motivação	9
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivos Gerais	10
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	Justificativa	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Transtorno do Espectro Autista	13
2.2	Atenção Compartilhada	14
2.3	Tecnologias para Interação com Crianças com TEA	14
2.3.1	Ambientes interativos	15
2.3.2	Robôs Sociais	16
2.4	Robô Social Ono	17
3	METODOLOGIA	21
3.1	Visão Geral do Projeto	21
3.2	Arquitetura de <i>software</i> do Ono	23
3.3	Comunicação com o usuário pela aplicação <i>web</i>	24
3.4	Ferramenta de comunicação com o usuário em Python	25
3.5	Comunicação do robô com sensores do ambiente interativo	28
3.5.1	Ambiente Interativo	28
3.5.2	Aquisição de dado por meio dos sensores	29
3.5.3	Processamento dos dados adquiridos	31
4	RESULTADOS	34
4.1	Comunicação com o servidor do Ono	34
4.2	Interface gráfica	35
4.3	Protocolo de intervenção	37
4.3.1	Apresentação do robô	37
4.3.2	Olhar e falar	37
4.3.3	Olhar e apontar	38
4.3.4	Olhar, apontar e falar	38
4.3.5	Despedida	38
4.4	Comunicação do robô com o ambiente inteligente	39
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O transtorno do espectro autista (TEA) é uma síndrome que, de acordo com dados da Organização das Nações Unidas (ONU), atinge cerca de 2 milhões de pessoas no Brasil, e chega a 70 milhões de indivíduos no mundo (COFEN, 2011). Esse transtorno está entre os problemas de saúde mental que mais prejudicam o desenvolvimento infantil (CARVALHO et al., 2014).

Alguns critérios clínicos para o estabelecimento do diagnóstico indicam que os primeiros sinais do TEA podem ser identificados entre 6 e 12 meses, sendo eles mais notáveis e estáveis entre os 18 e 24 meses (CARVALHO et al., 2013; OZONOFF et al., 2010). No entanto, como não existem quaisquer características neurológicas ou físicas conhecidas que caracterizem de forma confiável o TEA, o reconhecimento é baseado em comportamentos e manifestações (CLIFFORD; YOUNG; WILLIAMSON, 2007).

Tais comportamentos e manifestações podem ser caracterizados por falhas persistentes na comunicação e na interação social em múltiplos contextos, incluindo carências na reciprocidade social, em comportamentos não verbais de comunicação usados para interações e em habilidades para desenvolver, manter e compreender relacionamentos (American Psychiatric Association, 2013).

Para que seja possível conduzir estimulações precoces para a promoção de um desenvolvimento que permita que o indivíduo se integre socialmente em suas atividades diárias, é essencial monitorar diferentes indicadores do desenvolvimento. Um indicador que tem contribuído substancialmente para o diagnóstico de crianças com TEA nos primeiros anos de vida, é a falha nas habilidades de atenção compartilhada (AC) (ZAQUEU et al., 2015; CARVALHO et al., 2013; MONTENEGRO, 2009; OZONOFF et al., 2008).

A AC refere-se a uma troca social em que uma criança coordena a atenção entre um parceiro social e um aspecto do ambiente (WARREN et al., 2013). A AC desempenha um papel crítico no desenvolvimento social e linguístico. Dessa forma, quando a habilidade de orientação social não está construída ou possui falhas, a criança tem dificuldades em processar os estímulos sociais cotidianos, como expressões faciais, falas e gestos (CARVALHO et al., 2013; OZONOFF et al., 2008). O desenvolvimento prejudicado da AC é uma característica primária de crianças com autismo e, portanto, é importante aprimorar essa habilidade em esforços de intervenção precoce (JONES; CARR, 2004).

Uma área com potencial para ajudar o diagnóstico e tratamento do autismo que ganhou impulso na última década é a robótica (SCASSELLATI; Henny Admoni; MATARIĆ, 2012). A maior parte de indivíduos com TEA demonstram preferência por personagens robóticos em relação à brinquedos não robóticos (BEKELE et al., 2014).

Pesquisas documentaram que as interações com os sistemas robóticos podem resultar em aumentos simultâneos em certos aspectos do comportamento social, como na produção de linguagem (WARREN et al., 2013; KIM et al., 2012) ou nas interações sociais aprimoradas (WARREN et al., 2013; DUQUETTE; MICHAUD; MERCIER, 2008; FEIL-SEIFER; MATARIC, 2011).

Além da utilização de dispositivos robóticos para auxílio ao diagnóstico do TEA, a aprendizagem assistida por computador é considerada como método chave para tratamento de intervenções que auxiliem o TEA (KONSTANTINIDIS et al., 2009). Portanto, ambientes interativos recentemente atraíram muita atenção na educação de pessoas com TEA (KONSTANTINIDIS et al., 2009). Em tais ambientes, os estímulos de entrada podem ser controlados e o comportamento da criança pode ser monitorado (DAUTENHAHN, 2000).

Esses espaços reagem aos movimentos dos usuários com uma variedade de estímulos visuais, auditivos e táteis. Também oferecem a oportunidade de envolver crianças em muitas atividades diferentes, relaxar, jogar e praticar habilidades cognitivas, emocionais, motoras e sociais (GARZOTTO et al., 2016). Ao interagir de alguma forma com esses ambientes, crianças com TEA podem sentir certo nível de controle sobre o meio, o que não pode acontecer quando se interage com o mundo real (KONSTANTINIDIS et al., 2009).

Sendo assim, esse projeto propõe o desenvolvimento de uma interface de comunicação robô-terapeuta, visando integrar um robô social com o ambiente interativo existente no Núcleo de Tecnologia Assistiva (NTA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Tendo em vista o auxílio da identificação de falhas na atenção compartilhada, com a finalidade de auxiliar no diagnóstico de crianças com autismo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste projeto de graduação é desenvolver uma interface que realize a comunicação entre elementos sensores de um ambiente de interação e o robô social Ono. Busca-se a implementação de um sistema para auxiliar especialistas no diagnóstico precoce de crianças com TEA. Para isso, será desenvolvida uma ferramenta de comunicação

bidirecional com o robô. Dessa forma, busca-se viabilizar a realização de ações (gestos com os braços, expressões faciais e saídas sonoras) pelo dispositivo robótico com base nas informações obtidas do ambiente de interação ou inseridas manualmente pelo terapeuta.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos propostos por esse projeto são descritos a seguir:

- Revisar a bibliografia para verificar as tecnologias utilizadas atualmente no diagnóstico de crianças com TEA.
- Estudar intervenções criança-robô para avaliar AC.
- Definir as ferramentas e os requisitos necessários para que a interface possa ser utilizada no auxílio de diagnóstico de crianças com TEA.
- Desenvolver e implementar as ferramentas escolhidas para a construção da interface.
- Realizar testes para validar a metodologia bidirecional de comunicação entre robô e ambiente interativo proposta neste trabalho.

1.3 Justificativa

Durante a última década, pesquisas na área da robótica demonstram que muitas crianças com TEA têm um grande interesse por robôs e podem interagir com um robô significativamente melhor do que com um humano (BEGUM; SERNA; YANCO, 2016).

Kim et al. (2013) concluiu que crianças com TEA apresentam maior proatividade ao inicializar interações com um robô social. Também foi constatado que na presença de um robô, as crianças apresentaram maior verbalização e uma melhor interação social com adultos presentes no mesmo ambiente.

Além da robótica, foi constatado o grande benefício de tecnologias como ferramentas terapêuticas e educacionais para pessoas com o transtorno do espectro autista (GRYNSZPAN et al., 2014; DURKIN, 2010). Em contraste com crianças típicas, as crianças com autismo preferem um ambiente previsível, estruturado e, por isso, seguro (DAUTENHAHN, 2000). Dessa forma, ambientes interativos podem ser apropriados para a interação com crianças com TEA.

Vários ambientes interativos foram desenvolvidos para serem utilizados como ferramentas de aprendizagem e ensino para a reabilitação de crianças com autismo. A maioria deles é

baseada em computadores por meio de plataformas educativas de software (KONSTANTINIDIS et al., 2009; LUNESKI et al., 2008; MARNIK; SZELA, 2008).

Tsiopela e Jimoyiannis (2013) propõem um ambiente de aprendizagem baseado na *Web* com o objetivo de apoiar os alunos com TEA no desenvolvimento de habilidades pré-profissionais. Nesse trabalho foi concluído que o ambiente pode ajudar os estudantes com autismo a adquirir habilidades pré-profissionais, enquanto a combinação de dados de fontes múltiplas (notas de observação, arquivos de log do sistema e dados de biofeedback) podem oferecer informações valiosas sobre o design de intervenções individualizadas.

Já em Konstantinidis et al. (2009) é proposto um ambiente interativo semi-virtual para uma educação melhorada de crianças com TEA. A estrutura proposta no trabalho emprega objetos do mundo real e ambientes virtuais equipados com humanoides capazes de fornecer feedback emocional e demonstrar empatia.

No NTA, da Universidade Federal do Espírito Santo, um ambiente interativo vem sendo desenvolvido. Atualmente a infraestrutura do laboratório conta com sensores Kinects v2 e Câmeras *web* Logitech c920, além de um robô social, o Ono. Dependendo do experimento a ser realizado, as disposições das câmeras e do Kinect podem ser alteradas, assim como a quantidade dos mesmos. Os trabalhos desenvolvidos nesse espaço são direcionados aos temas de visão computacional e robótica.

Os trabalhos anteriormente mencionados não contemplam o desenvolvimento de uma interface de comunicação supervisionada para interligar um robô a um ambiente interativo. Além disso, existe atualmente no NTA a necessidade de conectar o robô social Ono ao espaço interativo, para que o robô possa agir de acordo com as ações das crianças com TEA. Dessa forma, é necessário implementar uma interface capaz de integrar esses dois sistemas. Tendo em vista tal necessidade, esse trabalho tem o objetivo de realizar a comunicação bidirecional entre os elementos sensores de um ambiente de interação social e o Ono.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada a base teórica necessária para o entendimento do projeto e de seu desenvolvimento. Em primeiro lugar serão abordados conceitos gerais sobre o TEA e, em seguida, será feita uma melhor descrição sobre a AC. Depois serão abordadas as tecnologias utilizadas para interação com crianças com TEA incluindo os ambientes interativos e robôs sociais, que são bases para o desenvolvimento deste projeto. Por fim, será apresentado o robô social utilizado, o Ono.

2.1 Transtorno do Espectro Autista

O TEA é um transtorno do desenvolvimento que abrange uma grande variedade de distúrbios com deficiências nas relações sociais, comunicação e imaginação, e com a gravidade e a natureza dos sintomas variando de um indivíduo para outro (CABIBIHAN et al., 2013). As características clínicas geralmente surgem no período inicial de desenvolvimento e podem ser associadas a outras condições, tais como deficiência intelectual, epilepsia e síndromes genéticas (PENNISI et al., 2016).

Atualmente não existe cura para o autismo, embora tratamentos comportamentais busquem melhorar a qualidade de vida e independência do indivíduo (SCASSELLATI; Henny Admoni; MATARIĆ, 2012). Para realizar o diagnóstico do TEA, características clínicas individuais são registradas por meio do uso de indicadores. Tais indicadores oportunizam aos clínicos a individualização do diagnóstico e a comunicação de uma descrição clínica mais rica dos indivíduos afetados (American Psychiatric Association, 2013).

De acordo com o DSM-5, o diagnóstico de TEA deve apresentar todos os requisitos seguintes (American Psychiatric Association, 2013):

- Deficiência persistente na comunicação social.
- Comportamentos restritos e repetitivos.
- Os sintomas devem prejudicar alguma função cognitiva ou social.
- Os sintomas devem ter sido apresentados no início do desenvolvimento do indivíduo.
- Os sintomas não são muito bem descritos por deficiências intelectuais ou atrasos no desenvolvimento.

É importante que a criança seja diagnosticada o mais precocemente possível pois, uma vez diagnosticada, as intervenções específicas para suas necessidades podem ser realizadas

(INGERSOLL; WAINER, 2014). Nesse contexto, as intervenções precoces têm mostrado evidências de ganhos expressivos em indicadores de funcionamento cognitivo, comunicação e interação social, assim como, no funcionamento socioadaptativo dessas crianças (ZAQUEU et al., 2015). Entre os primeiros indicadores do TEA, se destacam as deficiências na AC.

2.2 Atenção Compartilhada

Por volta dos 9 meses de idade, crianças típicas em desenvolvimento começam a se envolver em AC, um comportamento de comunicação social em que duas pessoas coordenam a atenção espontaneamente em relação a um objeto ou evento (JONES; CARR, 2004). O termo abrange um complexo de formas comportamentais, incluindo o gesto de apontar e olhar (CHARMAN, 2003).

A AC subdivide-se em outras três categorias (CARVALHO et al., 2013):

- *Resposta de atenção compartilhada:* é a capacidade do indivíduo seguir uma determinada direção indicada por outra pessoa por meio do olhar, do giro da cabeça ou do gesto de apontar (MUNDY; SIGMAN, 2015).
- *Iniciação da atenção compartilhada:* relacionada à tentativa do indivíduo de dirigir a atenção a outra pessoa, de maneira espontânea.
- *Iniciação do comportamento de solicitação:* refere-se à habilidade da criança para usar gestos, atos e contato visual para solicitar objetos que estejam fora de seu alcance (MUNDY; SIGMAN, 2015).

A literatura sugere que a intervenção precoce pode melhorar sistematicamente essas habilidades e essas melhorias podem parcialmente aperfeiçoar outras áreas críticas de desenvolvimento, incluindo comportamentos sociais e verbais (WARREN et al., 2013; KASARI et al., 2010; POON et al., 2012). Dessa forma, as habilidades de AC estão emergindo como um alvo-chave para abordagens de intervenção precoce. Isso não significa que as falhas na AC causem autismo. No entanto, sugere que a AC é um comportamento crítico no diagnóstico do TEA (CHARMAN, 2003).

2.3 Tecnologias para Interação com Crianças com TEA

Um crescente número de estudos têm pesquisado aplicações de intervenções baseadas em diferentes tipos de tecnologia (GOLDSMITH; LEBLANC, 2004). Para o diagnóstico, o uso de robôs possibilita o encontro das diferentes características presentes em crianças

com e sem o TEA, já para o tratamento, os robôs podem ser programados para ajudar as crianças na prática de interações e ensinar comportamentos sociais(BOUCENNA et al., 2014).

Devido ao comportamento repetitivo das ferramentas tecnológicas, é possível produzir ambientes controlados, sem qualquer reação social improvisada como as que ocorrem no mundo real. Nos ambientes reais um grande número de estímulos são envolvidos, o que causa desconforto e estresse em crianças com TEA (ARESTI-BARTOLOME; GARCIA-ZAPIRAIN, 2014).

A seguir, serão descritas as tecnologias que serão utilizadas como base neste projeto.

2.3.1 Ambientes interativos

Hoje, o campo dos ambientes interativos, tem uma grande relevância. Muitas das ferramentas educacionais tradicionais empregam ambientes do mundo real, tornando a tarefa de educar as crianças com TEA mais difícil porque exige um pensamento rápido e flexível. Além disso, ambientes do mundo real não podem ser totalmente controlados por causa da incapacidade de fornecer o mesmo conjunto de condições mais de uma vez (BOUCENNA et al., 2014). Já em ambientes interativos, os estímulos de entrada podem ser controlados, o que pode reduzir a ansiedade que situações sociais cotidianas podem causar (HUIJNEN et al., 2016).

Tais ambientes podem ser personalizados para ter em conta as diferenças individuais. As crianças podem ser guiadas através de experiências de aprendizagem e explorar novas oportunidades comportamentais por si só. Esses ambientes podem fornecer uma experiência segura sem ou com pouca intervenção por outro humano, embora professores e/ou pais das crianças sejam geralmente participantes importantes em intervenções com crianças com TEA (DAUTENHAHN, 2000).

Outras características desses ambientes incluem a capacidade do meio para responder a ações diretas do usuário, como controle de voz e "tomar decisões" de forma autônoma monitorando a presença e comportamento do usuário ou o próprio ambiente (GARZOTTO et al., 2016). Nesse contexto, uma arquitetura capaz de agregar ao ambiente as características destadas é o Robot Operating System (ROS).

O ROS é uma coleção de ferramentas, bibliotecas e convenções que visa simplificar a tarefa de criar um comportamento robusto e complexo em uma grande variedade de plataformas robóticas.

É uma ferramenta *open source* e fornece serviços padrões de sistema operacional, controle de dispositivos de baixo nível, implementação de funcionalidades comumente usadas, passagem de mensagens entre processos e gerenciamento de pacotes. O ROS também proporciona a integração entre outros projetos populares de código aberto como o *OpenCV* e o *Gazebo*.

O ROS possui uma arquitetura simples. Em uma rede com máquinas onde o ROS é executado, existirá sempre uma máquina conhecida como *roscore* que irá inicializar todos os serviços necessários para que os nós ROS se comuniquem entre si. Cada nó pode publicar e subscrever em tópicos, que funcionam como variáveis. Ou seja, um nó pode tanto escrever valores nessa variável ou ler os valores dessa variável. Dessa forma que diversos nós podem se comunicar entre eles (JUNIOR, 2016).

Outra facilidade do ROS é ser independente da linguagem utilizada. Isso ocorre pois seu *framework* pode ser implementado em qualquer linguagem de programação moderna. Existem diversas bibliotecas em Python, C ++ e Lisp. Para utilizar o Python, que é a linguagem utilizada pelos fabricantes na estrutura do Ono, é fornecida a biblioteca *rospy*.

O *rospy* permite uma interação rápida com os tópicos, serviços e parâmetros do ROS. O design de *rospy* favorece a velocidade de implementação ao longo do tempo de execução para que os algoritmos possam ser prototipados e testados rapidamente no ROS. Muitas das ferramentas ROS, são construídas em cima de *rospy*.

2.3.2 Robôs Sociais

O rápido avanço da tecnologia, especialmente na área da robótica, oferece uma grande gama de possibilidades para inovação no tratamento de indivíduos com TEA (DIEHL et al., 2012). Interações com robôs possuem maior grau de controle, previsão e simplicidade, gerando menos frustração para indivíduos com TEA que podem ter dificuldades em interpretar e responder a interações sociais humanas (SARTORATO; PRZYBYLOWSKI; SARKO, 2017).

Os robôs sociais são utilizados como ferramentas para ensinar habilidades para crianças com autismo, para brincar com elas e estimular determinados comportamentos. Eles criam situações de interação interessantes, atraentes e significativas que incentivam as crianças a interagir (CABIBIHAN et al., 2013). O uso de robôs sociais tem o objetivo de fornecer métodos complementares de diagnóstico e tratamento e não de competir com os cuidados humanos (FEIL-SEIFER; MATARIC, 2011).

2.4 Robô Social Ono

O Ono é um robô social *open source* de baixo custo criado para realização de pesquisa com crianças (VANDEVELDE et al., 2014). O robô está apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Robô Social Ono.

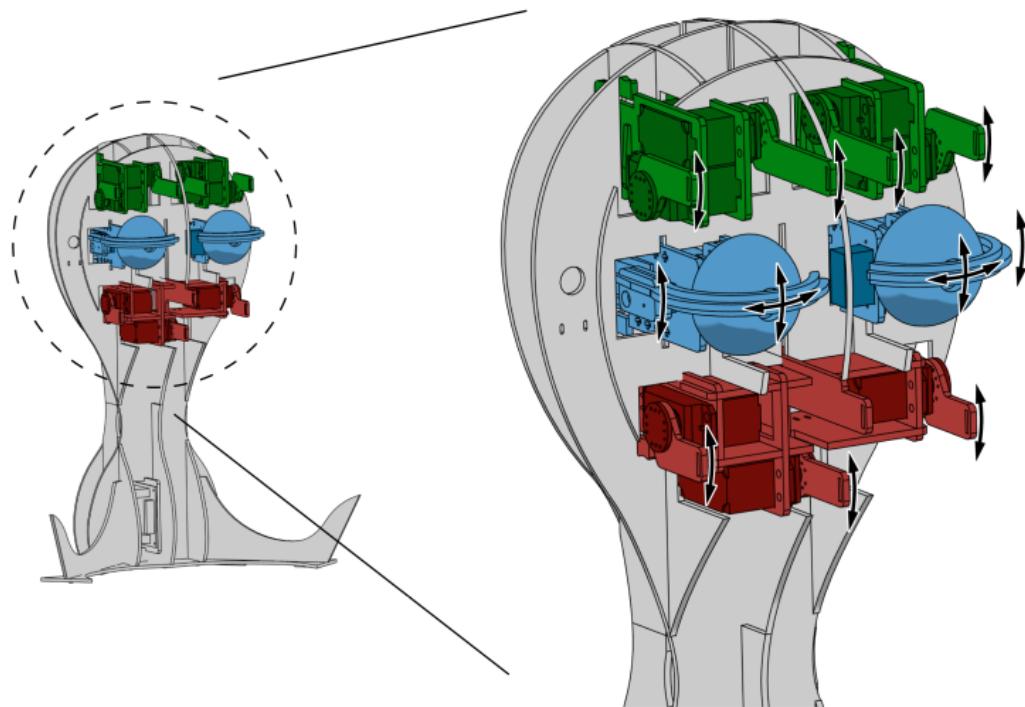


Fonte: Adaptado de (VANDEVELDE; SALDIEN, 2016)

Algumas características tornam o Ono vantajoso quando comparado aos demais robôs utilizados atualmente para a mesma aplicação. Além de ser um robô de baixo custo e possuir seu software e hardware disponíveis, ele foi feito com peças e ferramentas acessíveis (VANDEVELDE et al., 2014).

O Ono é dividido em pequenas subunidades funcionais, chamadas de módulos, que tornam possíveis reparos mais simples e rápidos (VANDEVELDE et al., 2014). Em sua face, possui 13 graus de liberdade (DOF), permitindo que o robô olhe e mostre uma grande quantidade de emoções através de expressões faciais. O detalhamento dos módulos está ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 – Detalhamento dos módulos do robô social.



Fonte: Adaptado de (VANDEVELDE; SALDIEN, 2016)

Como o robô foi feito para trabalhar em pesquisas com crianças, seu modelo foi elaborado para tal propósito. Sua cabeça desproporcional em relação ao corpo serve para dar ênfase às expressões do robô e seu corpo é todo envolto por espuma, para além de proteger seus componentes, ser mais atrativo para crianças.

Devido à utilização específica deste robô na busca de falhas nas habilidades de AC, Carvalho et al. (2017) projetou braços robóticos controlados que permitem a realização de gestos coordenados que, combinados com as expressões faciais e a fala já existentes, ampliam as possibilidades de interação multimodal entre o dispositivo robótico e as crianças durante a intervenção.

Tais modificações resultaram em uma nova identidade visual do robô. A Figura 3 apresenta o robô em sua versão final, utilizada por esse trabalho.

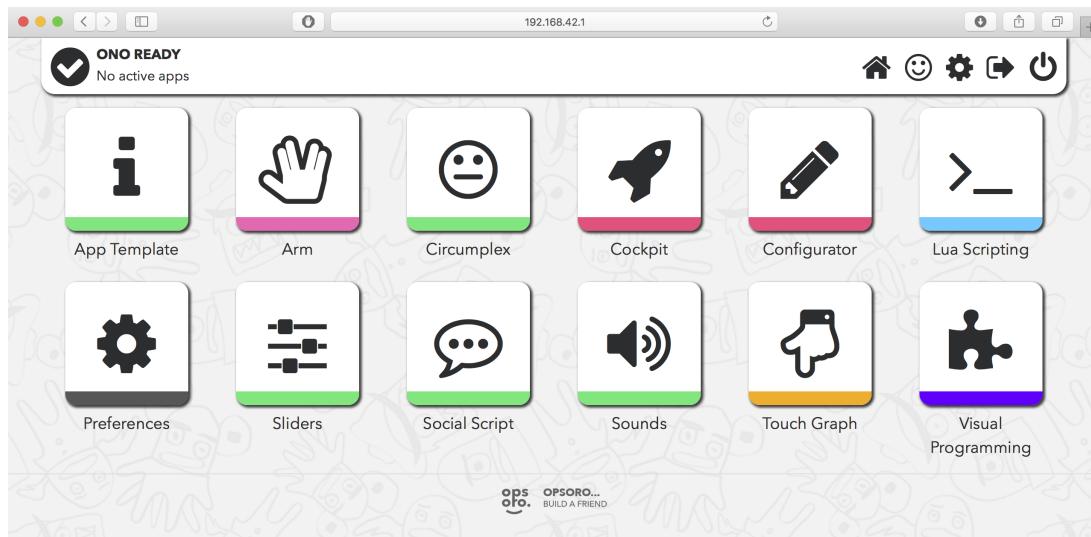
Figura 3 – Aparência final do robô Ono.



Fonte: Produção do próprio autor

Em seu sistema, o Ono possui uma interface na qual é possível acessar diversas aplicações para controlar o robô. Com o auxílio dessas ferramentas, é possível realizar ações como alterar as expressões ou executar áudios. Essa é a interface que, atualmente, pode ser utilizada por terapeutas e profissionais para exercer o controle do robô. Para isso, é necessário acessar a aplicação *web* do Ono, para em seguida selecionar o aplicativo desejado e por fim realizar ações através de cliques com o mouse.

A Figura 4 apresenta a interface do robô. Essa interface inclui as adaptações realizadas e é a utilizada atualmente por terapeutas e profissionais da área, para controlar este robô social.

Figura 4 – Aplicação *web* para controlar o robô.

Fonte: Produção do próprio autor

Entre aplicativos presentes na interface apresentada na Figura 4, os mais relevantes para o desenvolvimento deste trabalho serão descritos a seguir.

- *Circumplex*: Esse aplicativo possui uma gama de expressões faciais, como raiva, felicidade, tédio, surpresa. Por meio desta aplicação é possível alterar a expressão do robô, além de regular a intensidade da expressão facial escolhida.
- *Sliders*: Esse aplicativo permite ao usuário mexer manualmente com os valores dos servos do robô através de sliders, com limites definidos para cada servo, impedindo que estes ultrapassem seus valores extremos e, consequentemente sejam forçados.
- *Sounds*: O aplicativo *Sounds* é o responsável pelos sons do robô. Nele há opções pré-definidas de sons e há também a possibilidade de fazer o upload de arquivos de som (.wav ou .ogg).

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de facilitar a descrição do trabalho desenvolvido neste projeto, este Capítulo foi dividido em 5 seções. Primeiramente será apresentada uma visão geral do projeto para especificar os recursos utilizados e reafirmar a proposta efetiva da realização deste projeto.

Em seguida será descrito o modo de funcionamento do *software* do robô e da comunicação do usuário por meio da aplicação *web*. Essa abordagem será feita a fim de auxiliar no entendimento dos elementos utilizados para desenvolver uma ferramenta em Python, capaz de ser comunicar de forma bidirecional com o servidor.

Depois será introduzida a ferramenta criada, bem como as etapas que levaram ao desenvolvimento de uma interface gráfica para auxiliar o usuário em sua utilização.

Por fim será apresentada a comunicação do robô com os elementos sensores presentes no ambiente inteligente. Serão descritos os componentes que fazem parte do ambiente, a forma de aquisição de dados por meio dos sensores e o método para transformar as informações recebidas em ações do Ono.

O trabalho apresentado neste Projeto de Graduação foi desenvolvido no NTA, no “Laboratório de Automação Inteligente 4” (LAI 4), da Universidade Federal do Espírito Santo.

3.1 Visão Geral do Projeto

Para cumprir com os objetivos propostos, o projeto consistiu em desenvolver uma parte de *software* e uma outra de *hardware*. O sistema eletrônico do robô social Ono é baseado numa placa desenvolvida pelo fabricante chamada OnoHAT e uma única Raspberry Pi, onde é implementado um servidor *web*. Inicialmente o robô possuía 13 servos, porém, devido a implementação de braços robóticos, o Ono possui atualmente 19 servos. Esses elementos viabilizam a realização de ações com o robô, como por exemplo alterar sua expressão facial ou acenar. Tais dispositivos podem ser controlados ao acessar o servidor por meio de uma aplicação *web*, fornecida pelo fabricante do Ono e modificada no NTA.

Quando o robô é ligado, o servidor é inicializado e um ponto de acesso é criado. Dessa forma, usuários podem se conectar à aplicação do robô por meio de dispositivos eletrônicos através da rede sem fio, sem a necessidade de realizar a instalação de qualquer *software* adicional. Esse acesso é feito através de um endereço IP fixado no momento da instalação do sistema do robô.

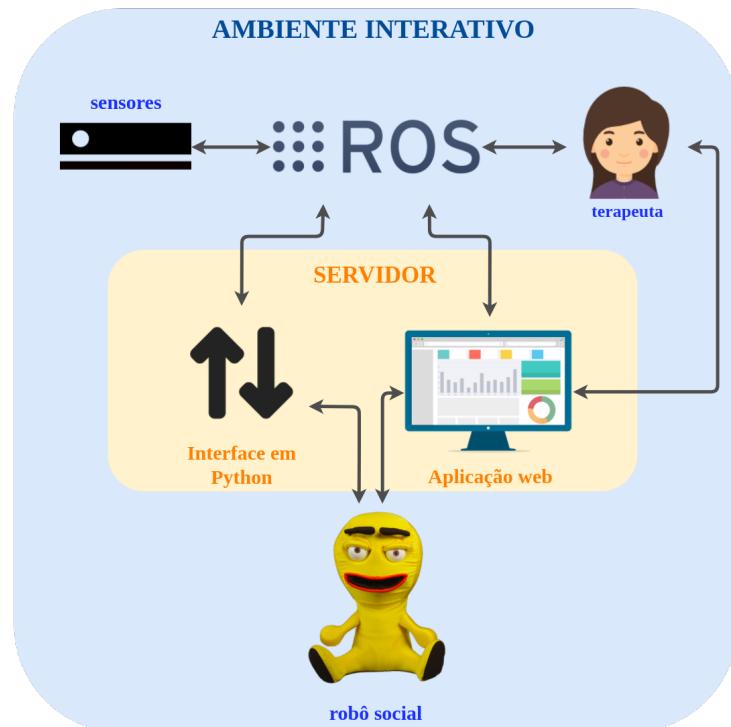
Neste projeto foi implementada uma nova forma de comunicação bidirecional com o robô, de modo a viabilizar a conexão com o servidor do Ono, permitindo seu controle sem utilizar a aplicação *web*. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta em Python capaz de enviar e receber informações diretamente do servidor do Ono para o usuário. Optou-se por utilizar essa linguagem para manter o padrão estabelecido pelos desenvolvedores do robô.

Utilizando uma biblioteca de comunicação foi possível acessar a *Uniform Resource Locator* (URL) que identifica o servidor e realizar a autenticação necessária para acessar as aplicações do robô. Para facilitar a utilização dessa ferramenta foi desenvolvida uma interface gráfica. Com ela, é possível que o terapeuta conduza manualmente as ações do robô durante as intervenções em crianças com TEA.

Além disso o Ono foi automatizado de forma a conseguir tomar ações baseada nas informações lidas pelos sensores presentes em um ambiente interativo. Nesse ambiente, os dados são lidos com auxílio de arquiteturas do ROS. As informações recebidas são processadas e transformadas em ações do robô.

O diagrama geral do projeto está ilustrado na Figura 5. Nele estão presentes os elementos que compõe todo o sistema da ferramenta criada.

Figura 5 – Diagrama geral do projeto.



Fonte: Produção do próprio autor

Nas próximas seções e subseções desse capítulo será apresentada uma visão mais detalhada do projeto assim como os elementos presentes no diagrama da Figura 5.

3.2 Arquitetura de *software* do Ono

A estrutura de *software* do robô consiste em uma estrutura baseada em servidor *web*, o qual está dividido em diversos módulos que possuem funções de comunicação com todo o sistema do robô, armazenamento de configurações e arquivos, configurações de *hardware* e das aplicações presentes no servidor *web*, entre outras. A operação em conjuntos desses módulos dá origem à todas as funcionalidades do robô.

Dentre eles, o módulo *server* é fundamental para operação do servidor *web*. Essa unidade possui funcionalidade de comunicação, uma vez que ela é a responsável por enviar as informações recebidas nas aplicações para o robô, utilizando os protocolos necessários para cada uma das funções presentes na aplicação *web*. Além disso esse módulo é responsável por uma parte funcional do robô como ajustar as configurações do Ono, executar os processos de *login* e *logout*, abrir e fechar aplicativos, entre outras ações.

Por meio do *server* é possível acessar as funções que realizam ações com o robô, algumas delas estão apresentadas a seguir:

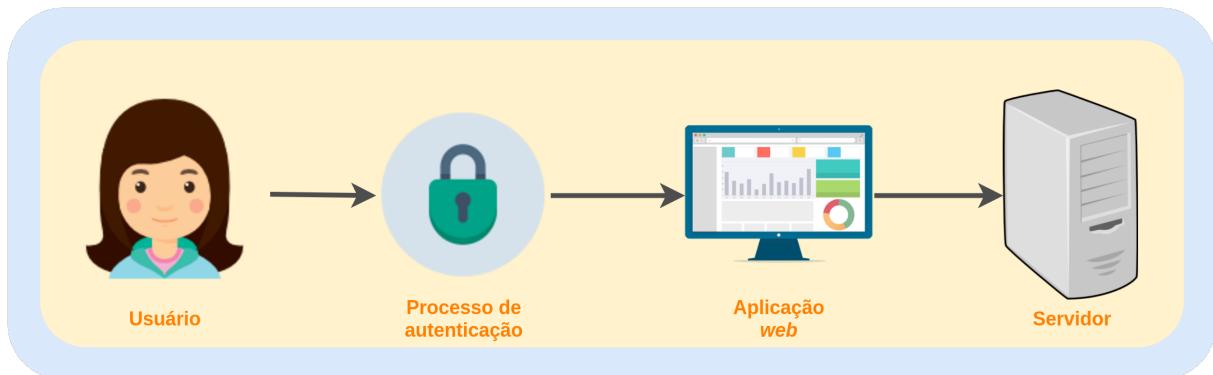
- *robot_emotion*. função capaz de expressar emoções no robô, movimentando os 13 servos presentes em sua face. Essas emoções são pré-definidas e, para selecioná-las, é preciso enviar como parâmetro um número que represente a expressão desejada.
- *robot_sound*. responsável por executar os arquivos de áudio que estão inseridos no robô.
- *robot_servo*. capaz de movimentar os 19 servos do robô. Para isso é necessário identificar em qual pino está o servo.
- *robot_arm*. função criada por trabalhos anteriores e responsável por movimentar os braços robóticos do Ono. Nessa função existem prompts que representam os possíveis movimentos do braço.

Os módulos atuam internamente no robô, por isso, é necessário entender seu funcionamento para optar por uma ferramenta capaz de realizar suas funções de forma similar ao funcionamento dos protocolos adotados pelo robô. Para um usuário a comunicação presente no Ono se dá por meio da aplicação *web*.

3.3 Comunicação com o usuário pela aplicação web

Para se conectar ao servidor através de um dispositivo eletrônico, é necessário acessar a página `http://192.168.42.1`, que se refere ao endereço de IP fixo configurado no computador embarcado Raspberry Pi Model 2B. Em seguida, por meio de *login* e a senha, é possível ter acesso às aplicações disponíveis no robô. A Figura 6 apresenta o esquema de acesso ao servidor por meio da aplicação *web*.

Figura 6 – Acesso ao servidor via aplicação *web*.



Fonte: Produção do próprio autor

Em grande parte das aplicações presentes no Ono, a troca de dados ocorre utilizando dois métodos do protocolo Hypertext Transfer Protocol (HTTP), o *get* e o *post*. Esses métodos determinam o que o servidor deve fazer com o URL fornecido no momento da requisição de um recurso. No caso do *get* é feita a solicitação de dados de um recurso especificado, enquanto o *post* realiza a submissão dos dados a serem processados.

Exclusivamente para a aplicação *sliders*, a comunicação é feita via *websocket*. Quando acessado por *websocket*, o esquema de acesso ao servidor utiliza um serviço de segurança baseado em *tokens*. Em uma autenticação baseada em *tokens*, o usuário entra com seu *login* e senha e em troca recebe um *token*. Uma vez que é obtido, para receber o conteúdo desejado, deve-se enviar o *token* que foi recebido e assim validar o acesso do usuário.

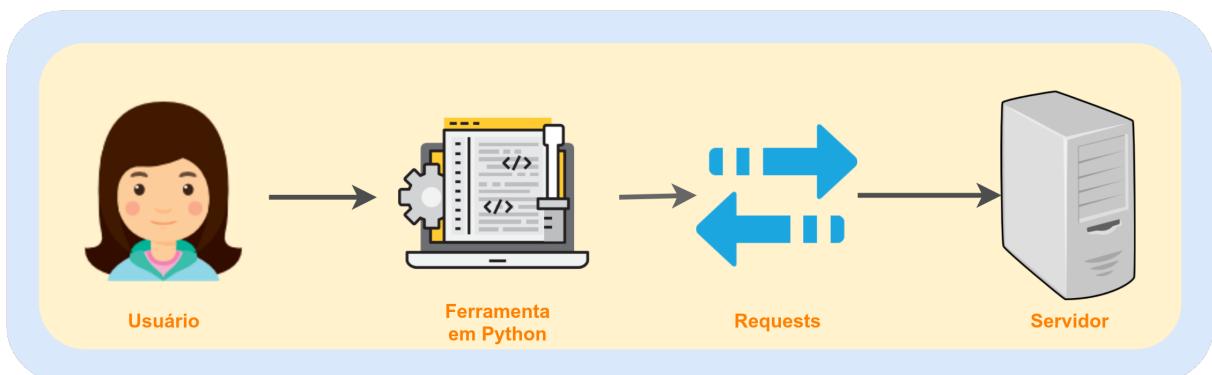
Ao acessar o servidor *web*, são encontradas funções pré definidas, o que acaba limitando as ações do robô. Por exemplo, com essa ferramenta não é possível mexer os olhos ao mesmo tempo em que a expressão facial é alterada. A necessidade de movimentar o robô livremente motivou a criação de uma ferramenta capaz de se comunicar com o usuário de uma maneira mais sofisticada.

3.4 Ferramenta de comunicação com o usuário em Python

Como o servidor do Ono foi desenvolvido em Python, foi escolhido manter a mesma linguagem utilizada pelos fabricantes do robô para se conectar ao servidor e ter acesso às funções presentes na aplicação *web*.

Para realizar essa comunicação com o robô foi utilizada a biblioteca *requests*. Optou-se por utilizar essa biblioteca pois, além de estar escrita em Python, possui um módulo chamado *urllib*, que oferece a maioria das funcionalidades do protocolo HTTP, incluindo os métodos *get* e *post*. O esquema de acesso ao servidor implementado está apresentado na Figura 7.

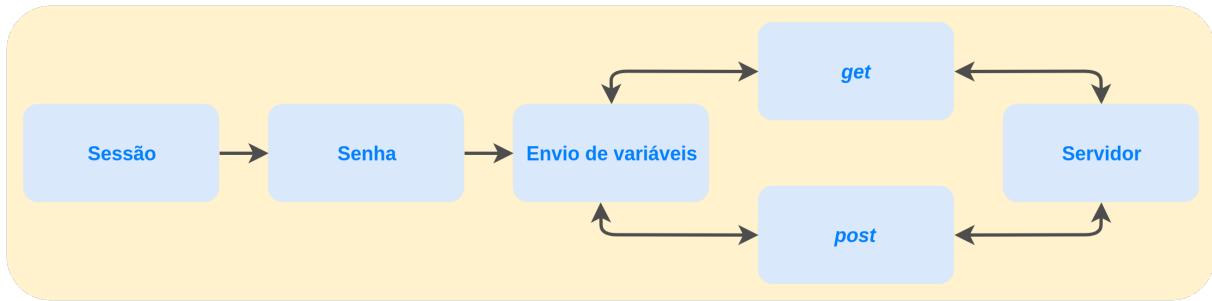
Figura 7 – Acesso ao servidor via *Requests*.



Fonte: Produção do próprio autor

Ao inicializar a ferramenta em Python, é criada uma sessão, por meio da biblioteca *requests*. Em seguida a autenticação é realizada através do acesso à URL <http://192.168.42.1/login/>, onde o login é efetuado enviando a senha de acesso à aplicação *web* através do método *post* do protocolo HTTP. Finalmente, para transmitir e receber dados do servidor são enviadas as variáveis necessárias de acordo com a aplicação desejada. Por exemplo, para alterar a expressão do robô é preciso acessar o aplicativo *circumplex* e enviar um valor que representa a expressão desejada. O esquema da transferência de dados para o robô está apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama de conexão com o servidor via Requests.



Fonte: Produção do próprio autor

Assim, primeiramente foram desenvolvidas ferramentas capazes de se comunicar com o servidor movimentando qualquer um dos 19 servos presentes no robô, conforme a necessidade do usuário. Esses *scripts* foram executados por linha de comando e, dessa forma, as ações programadas eram realizadas pelo robô. A construção dessa ferramenta visava consolidar o estabelecimento de uma comunicação bidirecional com o servidor.

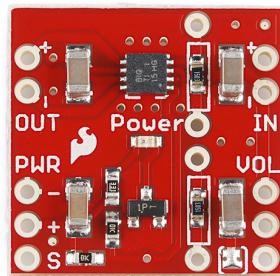
Após efetuada a comunicação com o robô, foi desenvolvida uma ferramenta para interagir com o usuário, movimentando os servos de forma mais rápida e simples comparado à ferramenta anterior. Nesta etapa foram desenvolvidas ferramentas capazes de se comunicar com o cliente via terminal, por meio de linhas de comando.

Simultaneamente a esta etapa, a equipe do NTA com o auxílio da equipe de psicologia e medicina da Universidade de Vila Velha, elaborou um protocolo para iniciar testes de intervenção em crianças para diagnóstico do TEA. Esse protocolo consiste em uma série de tarefas realizadas em etapas pelo robô. Entre essas tarefas, mensagens de áudio deveriam ser enviadas pelo Ono.

Para emitir sons por meio do robô, foi necessário realizar uma adaptação em seu hardware, visto que os pinos de saída de som da placa OnoHat não estavam acessíveis. Além da instalação da placa, foi preciso adaptar a saída de som, que antes estava na placa OnoHat, para a saída por meio do *jack* da Raspberry.

Para essa finalidade, foi utilizado o amplificador de áudio APA2005D1 da Sparkfun, um amplificador de operação classe D caracterizado pelo baixo consumo de energia. O amplificador pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Amplificador de áudio APA2005D1.



Fonte: sparkfun

Em seguida, se fez necessário o desenvolvimento de uma ferramenta com uma interface mais elaborada, capaz de seguir o passo-a-passo do protocolo. Sendo assim, foi necessário construir uma interface gráfica cuja operação fosse simples e intuitiva. As atividades que o robô deve fazer ao cumprir o protocolo seguem uma sequência que deve ser adotada. A Figura 10 apresenta o esboço do protocolo.

Figura 10 – Esboço do protocolo.



Fonte: Produção do próprio autor

Existem diversas opções para implementar interfaces gráficas a partir de arquiteturas desenvolvidas em Python, como por exemplo o *PyQT*¹, *PyGTK*², *wxPython*³, entre outros. Para esse trabalho optou-se por utilizar a uma biblioteca nativa do Python chamada *tkinter*⁴. Essa escolha foi feita com base nas vantagens fornecidas pela biblioteca, dentre essas vantagens destacam-se a portabilidade, pois essa ferramenta roda livremente em sistemas operacionais, tem uma API simples de se aprender e fácil de lembrar e é muito bem documentada.

Após implementada a biblioteca, visando obter maior dinamicidade entre o robô, a criança e o ambiente durante as intervenções, foi implementado um sistema para automatizar a comunicação com o robô.

3.5 Comunicação do robô com sensores do ambiente interativo

3.5.1 Ambiente Interativo

O ambiente interativo desenhado e implementado pela equipe do NTA é composto por elementos sensores, e possui de três brinquedos: um caminhão, um helicóptero e um trem. Foram escolhidos elementos que não possuem características humanas, uma vez que essas características podem não ser bem aceitas por crianças com TEA. Esses brinquedos estão estrategicamente posicionados no ambiente, de forma que seja possível que o robô aponte para cada um deles.

O espaço interativo que está sendo utilizado para conduzir testes com o robô. Esses testes consistem em intervenções baseadas em interações criança-robô e estão sendo realizados pela equipe do NTA, em parceria com a Policlínica da Universidade Vila Velha (UVV).

A terapia ocorre no ambiente interativo, enquanto os comandos são dados ao robô em outra sala, que funciona como um observatório. O processamento dos dados obtidos das intervenções faz parte de um trabalho que vem sendo desenvolvido no laboratório. A Figura 11 apresenta o espaço interativo que está sendo utilizado para conduzir testes com o robô. Os brinquedos estão representados pelos retângulos vermelho, verde e azul.

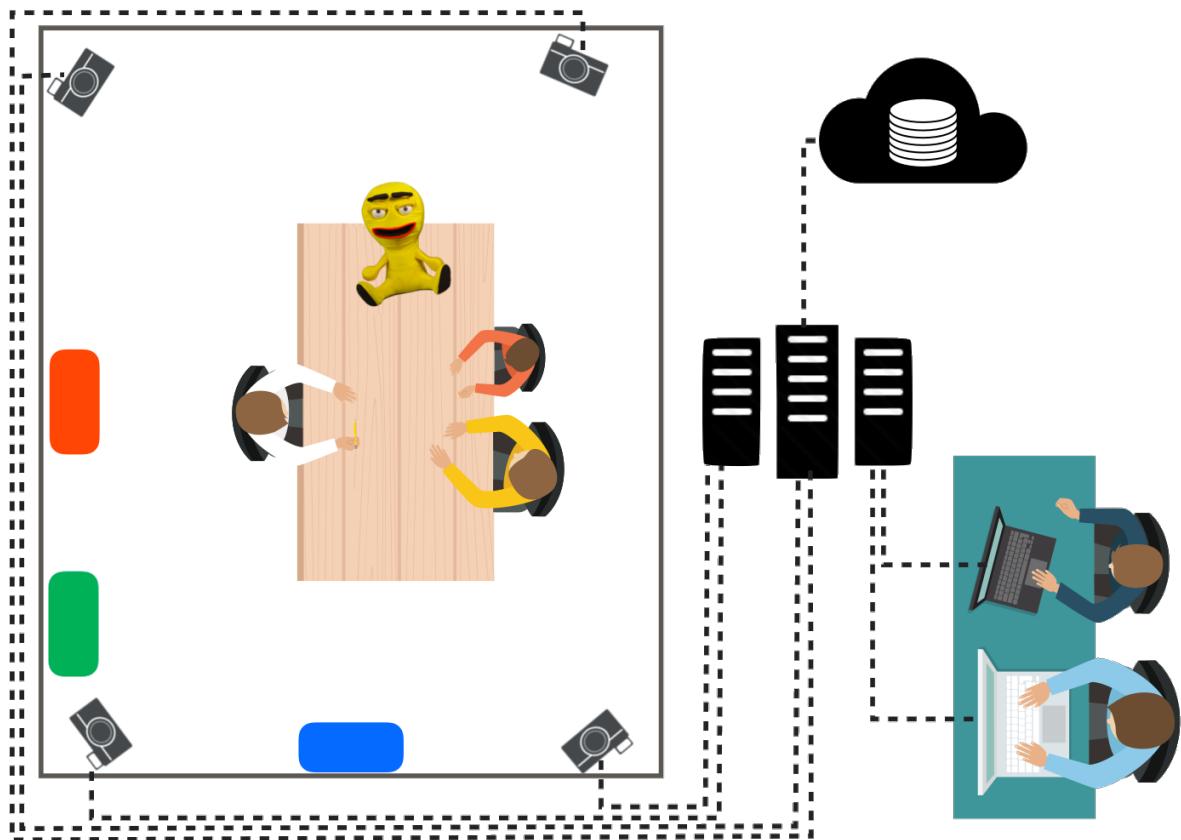
¹ <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>

² <http://www.pygtk.org/>

³ <https://www.wxpython.org/>

⁴ <https://wiki.python.org/moin/TkInter>

Figura 11 – Ambiente interativo.



Fonte: Produção do próprio autor

Por enquanto, só foi testado durante as sessões o controle manual do robô através do protocolo criado.

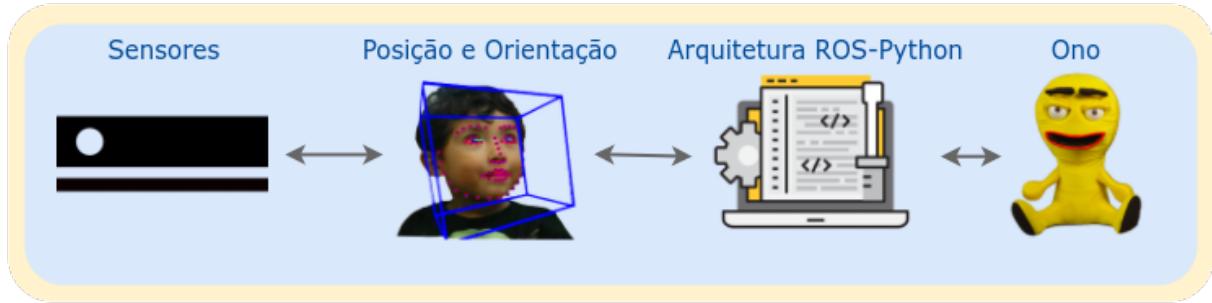
Entretanto, automatizar o robô significa criar novas possibilidades de interação com a criança, como por exemplo, fazer com que o robô olhe para onde a criança está olhando ou parabenizar a criança quando ela realiza uma tarefa corretamente. Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta capaz de fazer o robô olhar automaticamente para o rosto da criança. Para realizar essa implementação, foi preciso adquirir as informações de posição do rosto da criança por meio das câmeras presentes no ambiente.

3.5.2 Aquisição de dado por meio dos sensores

Trabalhos em desenvolvimento no NTA tornam possível a utilização de uma rede de sensores RGBD do tipo Kinect v2 e câmeras web. O sistema é administrado com uma arquitetura em ROS, para capturar a posição e orientação do rosto da criança durante a terapia. Esses dados são capturados pela ferramenta desenvolvida nesse projeto e enviados

para o robô conforme apresentado na Figura 12.

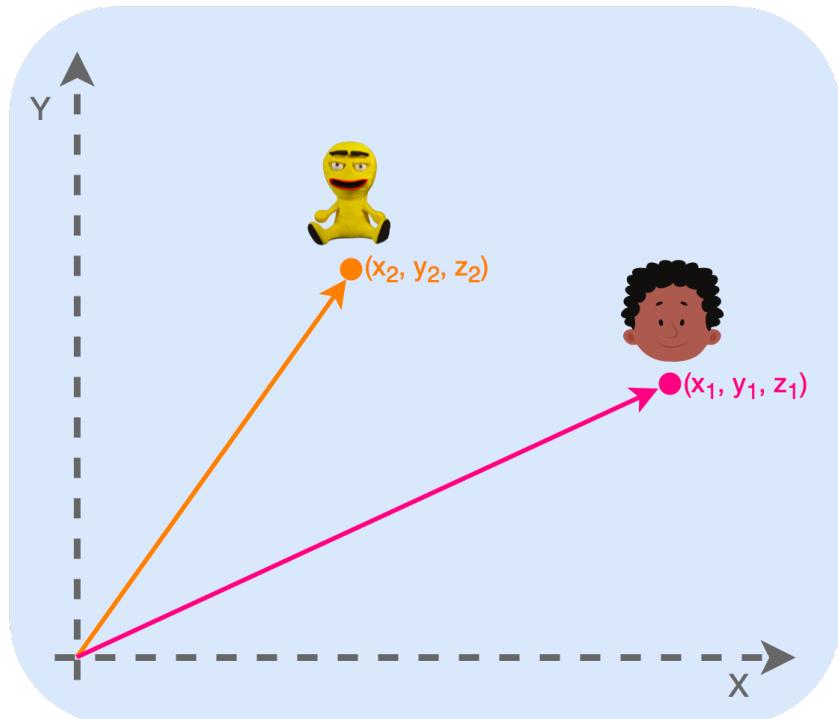
Figura 12 – Comunicação entre os sensores e o robô.



Fonte: Produção do próprio autor

A posição do robô é estabelecida manualmente, enquanto a posição da criança é fornecida pelo ambiente interativo. Esses dois elementos ficam dispostos em relação a origem. Para ilustrar o posicionamento desses elementos no ambiente, em relação aos eixos coordenados, temos a Figura 13.

Figura 13 – Posicionamento da criança e do robô em relação aos eixos coordenados.



Fonte: Produção do próprio autor

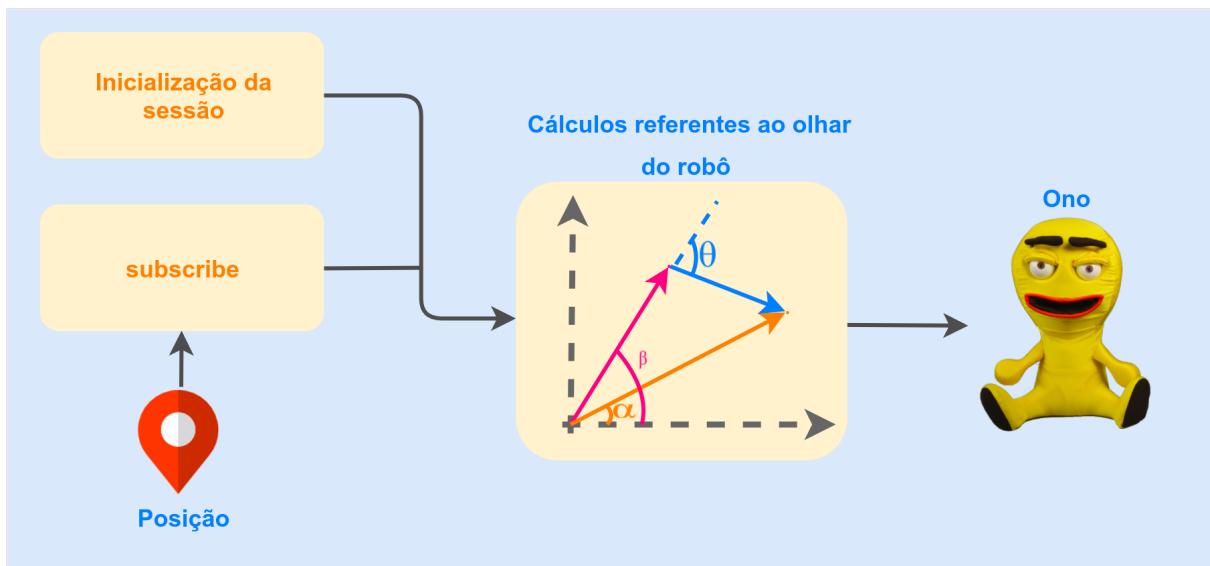
Os dados de posição são atualizados periodicamente, de forma que o código renove a posição da criança toda vez que a câmera realizar uma nova leitura. Para receber as informações

lidas pelas câmeras do ambiente inteligente, foi criado um nó no ROS. Assim, foi utilizada a biblioteca *rospy*, tornando possível manter o padrão da ferramenta posteriormente implementada na linguagem de programação Python. Também foi possível aproveitar a comunicação com o Ono através da biblioteca *requests*.

Sendo assim, quando a ferramenta desenvolvida é inicializada, é criada uma sessão da biblioteca *requests*. Também são feitas leituras dos dados de posição da criança adquiridos pelos sensores presentes no espaço interativo. Dessa forma o código fica atualizando a posição da criança constantemente. Como essa leitura ocorre numa velocidade mais rápida do que o servo é capaz de atuar, foi optado por utilizar o valor lido a cada 3 segundos.

A estrutura do nó desenvolvido está apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Diagrama da ferramenta feita em ROS.



Fonte: Produção do próprio autor

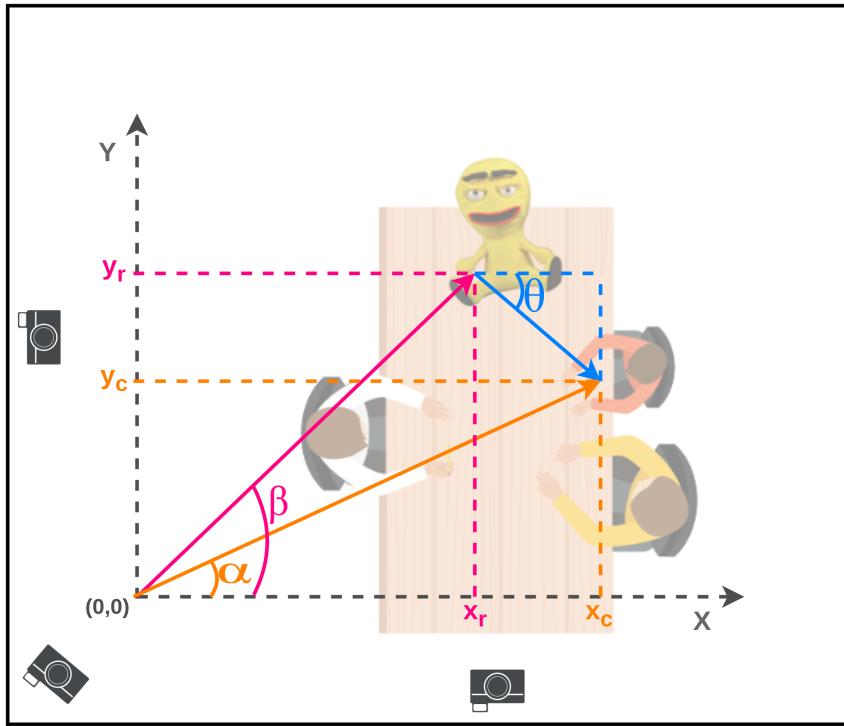
Com as informações obtidas, foram feitos os cálculos dos ângulos α , β e θ , para relacioná-los com a direção do olhar do robô. Na próxima sessão serão mostradas as equações encontradas a partir dos ângulos citados.

3.5.3 Processamento dos dados adquiridos

Tendo em vista que o robô não movimenta o pescoço, o robô social Ono pode olhar apenas um espaço de 180º. Além disso, na configuração atual da sala onde estão sendo realizados testes, atrás da origem não existe nenhum parâmetro relevante para este projeto, logo só

foram analisadas situações envolvendo o primeiro e o segundo quadrante. A Figura 15 apresenta uma das configurações estudadas, bem como os ângulos α , β e θ .

Figura 15 – Análise geométrica da posição do robô e da criança no ambiente interativo.



Fonte: Produção do próprio autor

Em todas as possíveis configurações, para corrigir a orientação do robô, é feita uma translação para a origem, em seguida uma rotação e novamente uma translação para a posição original. Dessa forma, para efeito de cálculos, o robô é colocado de frente para o eixo X.

Em qualquer um dos possíveis casos, como o valor de α e β dependem apenas das coordenadas fornecidas pela calibração, essas variáveis podem ser encontradas a partir das equações a seguir:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y_c}{x_c}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{y_r}{x_r}$$

O primeiro ponto a ser observado do desenho é que quando $x_r = x_c$ a criança está na frente do robô, e por isso o mesmo deverá olhar para frente. Quando $\alpha < \beta$ a criança estará a esquerda se o robô estiver no primeiro quadrante e a direita se o robô estiver no segundo. Dessa forma é possível encontrar o ângulo θ através da seguinte equação:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{|y_r| - |y_c|}{|x_c| - |x_r|} \right)$$

Já nos casos em que $\alpha > \beta$, θ pode ser encontrado através da relação:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{|y_r| - |y_c|}{|x_r| - |x_c|} \right)$$

Uma vez que o robô não é capaz de mover o pescoço, o ângulo θ só pode variar de 0° a 90° . Essa variável representa o ângulo existente entre as posições do robô e da criança. É possível relacionar esse valor, por meio de uma regra de três simples, aos servos do olho. Esses servos, após calibrados, variam em uma escala normalizada de -1 a $+1$.

Essa aplicação desenvolvida e implementada no robô é apenas um exemplo do que pode ser feito no âmbito de sua automatização. Conforme mencionado anteriormente, podem ser desenvolvidos novos comportamentos como resposta do robô baseado nas ações das crianças. Tais melhorias devem ser desenvolvidas a medida que as necessidades vão surgindo durante a terapia.

4 RESULTADOS

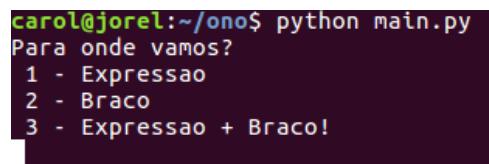
Nesta seção serão exibidos os resultados obtidos nesse trabalho. Serão apresentadas as conexões estabelecidas com o robô social Ono, bem como a interface gráfica que está sendo utilizada para conduzir as intervenções com o mesmo. Também será apresentada a interface de comunicação com o ROS e a automatização implementada no gesto de olhar do robô.

4.1 Comunicação com o servidor do Ono

Primeiramente, a fim de testar esse tipo de interface de comunicação, foi feito um código para operar os módulos da face do robô por meio da função *robot_emotion*. Portanto, ao executar o script, os servos se movimentavam conforme a posição indicada através da função mencionada.

Após estabelecida a conexão, foi implementada uma ferramenta mais flexível, capaz de movimentar os servos de diferentes aplicações de uma só vez. Essa ferramenta seguia ordens por meio de linhas de comando. A Figura 16 ilustra o programa em execução.

Figura 16 – Acesso ao robô via linha de comando.

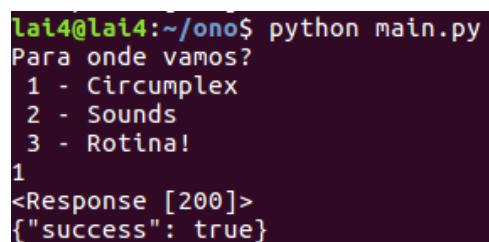


```
carol@jorel:~/ono$ python main.py
Para onde vamos?
1 - Expressao
2 - Braco
3 - Expressao + Braco!
```

Fonte: Produção do próprio autor

Quando o dispositivo utilizado para acessar o robô estava conectado à rede do servidor, o robô realizava a tarefa solicitada e uma mensagem era enviada pelo servidor para confirmar a conexão com a URL acessada. A Figura 17 ilustra esse resultado.

Figura 17 – Acesso ao robô via linha de comando.



```
lai4@lai4:~/ono$ python main.py
Para onde vamos?
1 - Circumplex
2 - Sounds
3 - Rotina!
1
<Response [200]>
{"success": true}
```

Fonte: Produção do próprio autor

Em casos onde o robô não estava conectado ao computador, ou quando ocorre alguma falha na conexão entre o usuário e o robô, é exibida uma mensagem dizendo que a URL não foi encontrada. A Figura 18 mostra essa mensagem.

Figura 18 – Acesso ao robô via linha de comando.

```
lai4@lai4:~/ono$ python main.py
Para onde vamos?
1 - Circumplex
2 - Sounds
3 - Rotina!
1
<Response [404]>
404 Not Found
```

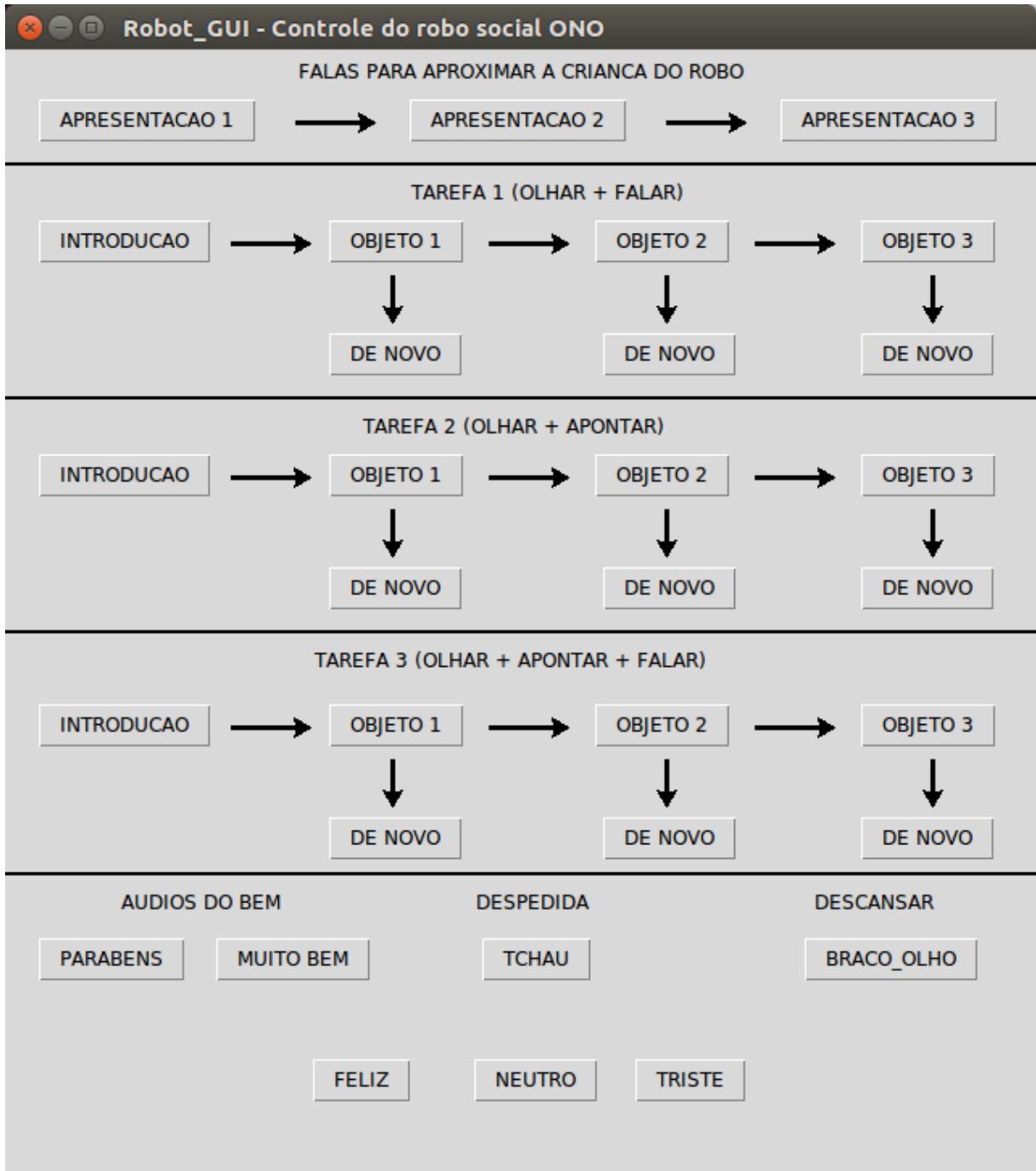
Fonte: Produção do próprio autor

Essa aplicação foi desenvolvida paralelamente a outra atividade envolvendo as modificações necessárias no *software* do Ono para o desenvolvimento dos braços robóticos. Por esse motivo, a ferramenta desenvolvida teve um papel importante na implementação dos braços, pois por meio dela, foi possível realizar testes nos braços e toda a calibração dos servos também foi feita por meio da ferramenta criada.

4.2 Interface gráfica

A fim de facilitar a utilização desse protocolo, foi desenvolvida uma interface gráfica para operar o robô durante as intervenções. A interface gráfica foi desenvolvida seguindo um modelo de protocolo de interação com a criança que funciona dividido em etapas. Tais etapas serão explicadas na próxima sessão. A Figura 19 apresenta o resultado da construção dessa ferramenta.

Figura 19 – Interface gráfica desenvolvida em Python.



Fonte: Produção do próprio autor

A interface possibilitou desenvolver ações que antes eram impossíveis de realizar simultaneamente. Como existe uma URL para emitir sons e outra para mudar a posição dos olhos, a tarefa 1 por exemplo, não poderia ser realizada utilizando apenas a aplicação web. Também foi pensado em desenvolver uma interface de fácil utilização durante as sessões, para auxiliar o usuário caso o robô seja operado manualmente.

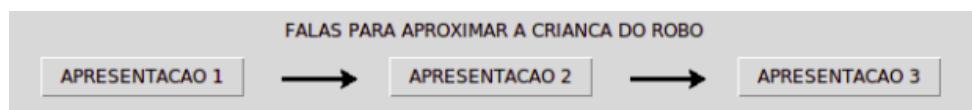
A seguir será explicado cada etapa de execução do protocolo.

4.3 Protocolo de intervenção

4.3.1 Apresentação do robô

A primeira etapa do protocolo consistiu em apresentar o robô para a criança e tentar uma aproximação com a mesma. Para isso existem três botões responsáveis por realizar essas tarefas. A Figura 20 apresenta esse processo.

Figura 20 – Primeira parte do protocolo de intervenção.



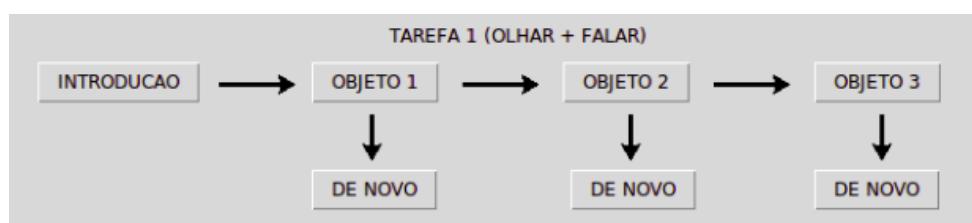
Fonte: Produção do próprio autor

Optou-se por utilizar primeiramente um arquivo de áudio na qual o robô se apresenta ao mesmo tempo que olha e acena para a criança. Em seguida o robô social Ono pergunta se a criança gosta de robô e, por fim, ele convida a criança a ser seu amigo.

4.3.2 Olhar e falar

Nessa etapa o robô realiza a tarefa de sinalizar o objeto através do olhar e da fala. Primeiramente convida a criança a olhar para os objetos com ele. Em seguida ele mostra os três objetos, um de cada vez. A Figura 21 apresenta essa etapa.

Figura 21 – Segunda parte do protocolo de intervenção.



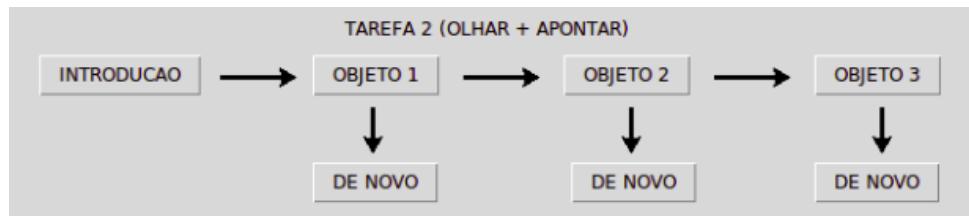
Fonte: Produção do próprio autor

A introdução funciona de forma a estimular a criança a começar a realizar a tarefa que será solicitada. Já os botões de repetir servem para, durante as intervenções, repetir as ações, caso a criança não olhe para o objeto que está sendo solicitado.

4.3.3 Olhar e apontar

Na terceira etapa do protocolo, o robô executa as ações olhando e apontando para os objetos. Assim como na segunda parte, as repetições são executadas quando a tarefa não é cumprida por parte da criança, e a introdução também funciona como um estímulo para a criança. A Figura 22 ilustra essa etapa.

Figura 22 – Terceira parte do protocolo de intervenção.

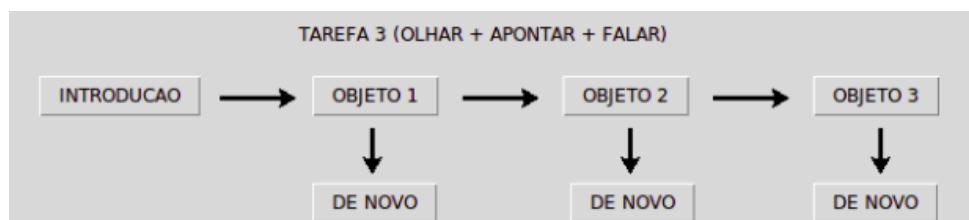


Fonte: Produção do próprio autor

4.3.4 Olhar, apontar e falar

Na quarta etapa o robô olha e aponta para o objeto e, além disso, realiza um pedido oralmente para a criança olhar para o objeto também. A Figura 23 apresenta esta etapa.

Figura 23 – Quarta parte do protocolo de intervenção.



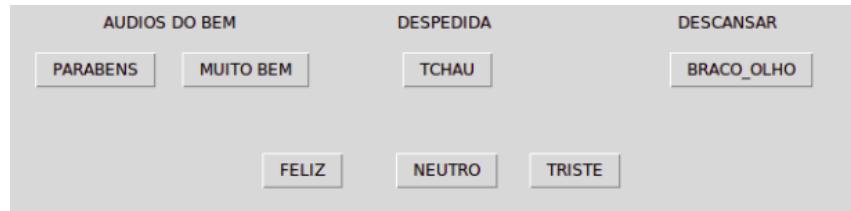
Fonte: Produção do próprio autor

Os botões "introdução" e "de novo" seguem com as mesmas funcionalidades apresentadas nas tarefas dois e três.

4.3.5 Despedida

Essa parte da interface é utilizada para uma série de tarefas com o robô, que podem ser realizadas a qualquer momento durante a intervenção. Por exemplo é possível mandar áudios de parabéns no momento em que a criança cumpre uma tarefa. Também é possível alterar a expressão facial do robô, voltar os braços e olhos para a posição de repouso e se despedir da criança ao final do protocolo. A Figura 24 mostra essa parte da interface gráfica.

Figura 24 – Quinta parte do protocolo de intervenção.



Fonte: Produção do próprio autor

4.4 Comunicação do robô com o ambiente inteligente

Para ilustrar o resultado obtido ao automatizar o olhar do robô, o ambiente foi calibrado e uma câmera Kinect V2 foi utilizada. Dessa forma, um indivíduo caminhou da esquerda para a direita como apresentado na Figura 25. Em alguns pontos do percurso, imagens foram capturadas na perspectiva da posição da face do indivíduo. Assim, fica demonstrada a integração do robô com o ambiente inteligente, foco principal do desenvolvimento deste trabalho e que permitirá o desenvolvimento de intervenções automatizadas, conforme descrito anteriormente.

Figura 25 – Robô social Ono olhando para automaticamente para um indivíduo.



Fonte: Produção do próprio autor

A automatização do robô por meio da comunicação com os sensores do ambiente interativo, apesar de implementada, ainda não foi testada durante as intervenções.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho consistiu na realização de modificações na forma de interagir com o robô social Ono para viabilizar estratégias de auxílio ao diagnóstico e de identificação de falhas na atenção compartilhada em crianças com TEA. Foi desenvolvida uma interface de comunicação bidirecional com o robô, possibilitando tanto o controle manual quanto semi-automático do Ono. Esse desenvolvimento permitiu uma melhoria na forma de interagir com as crianças durante o diagnóstico.

Dentro da Engenharia foram usados desde conceitos simples envolvendo matemática e visão computacional até conceitos mais avançados relacionados à computação e eletrônica, englobando desenvolvimento de sistemas de comunicação e projeto de software, no qual foram desenvolvidos algoritmos e sistema computacional de interação com o usuário para viabilizar o melhor controle do sistema robótico.

É importante ressaltar que todo o trabalho foi realizado de forma a produzir resultados compatíveis com o sistema do robô Ono, fazendo com que este projeto possa ser facilmente reproduzido e inserido em qualquer plataforma deste sistema.

Esse projeto apresenta diversas possibilidades de expansão e utilização futura. Pode-se implementar novas tarefas para o robô realizar tanto de forma manual quanto automática. Essas novas tarefas vão surgindo de acordo com a necessidade encontrada durante o diagnóstico. Por exemplo, é possível automatizar o robô para que aponte para os objetos do ambiente interativo ou para que dê os parabéns à criança quando ela cumprir a tarefa. Também é possível que o robô se torne um elemento auxiliar para terapia de crianças com TEA, nesse contexto, a interação autônoma do robô se torna essencial para uma relação natural com a criança.

Devido à flexibilidade da ferramenta criada, ela pode ser facilmente adaptada a novas plataformas robóticas. Por meio da estrutura implementada, novas tarefas podem ser inseridas de forma simples.

Os testes com pacientes estão sendo realizados pela equipe de profissionais e estudantes do NTA em parceria com o programa de medicina e psicologia da UVV. Já foram feitas intervenções com 10 crianças atípicas. Nesses testes a interface gráfica implementada nesse trabalho está sendo utilizada e está sendo seguido o protocolo criado para interagir com as crianças. Mais testes devem ser realizados até o fim do ano e no início do primeiro semestre de 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Psychiatric Association. Manual Diagnóstico e Estatístico dos Transtornos Mentais. *OA Autism*, 2013. ISSN 2317-1782. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 13.
- ARESTI-BARTOLOME, N.; GARCIA-ZAPIRAIN, B. Technologies as Support Tools for Persons with Autistic Spectrum Disorder: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 11, n. 8, p. 7767–7802, 2014. ISSN 1660-4601. Citado na página 15.
- BEGUM, M.; SERNA, R. W.; YANCO, H. A. Are Robots Ready to Deliver Autism Interventions? A Comprehensive Review. *International Journal of Social Robotics*, Springer Netherlands, v. 8, n. 2, p. 157–181, 2016. ISSN 18754805. Citado na página 11.
- BEKELE, E. et al. Pilot clinical application of an adaptive robotic system for young children with autism. *Autism*, v. 18, n. 5, p. 598–608, 2014. ISSN 1362-3613. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1362361313479454>>. Citado na página 10.
- BOUCENNA, S. et al. Interactive Technologies for Autistic Children: A Review. *Cognitive Computation*, v. 6, n. 4, p. 722–740, 2014. ISSN 18669964. Citado na página 15.
- CABIBIHAN, J. J. et al. Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, v. 5, n. 4, p. 593–618, 2013. ISSN 18754791. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- CARVALHO, C. et al. Adaptação de um sistema robótico para comunicação e assistência no diagnóstico de crianças com Transtorno do Espectro Autista. *IX Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad*, 2017. Citado na página 18.
- CARVALHO, F. A. et al. Rastreamento de sinais precoces de transtornos do espectro do autismo em crianças de creches de um município de São Paulo. *OA Autism*, v. 15, n. 2, p. 144–154, 2013. ISSN 15163687. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.
- CARVALHO, F. A. et al. Identificação de Sinais Precoces de Autismo Segundo um Protocolo de Observação Estruturada : um Estudo de Seguimento. *OA Autism*, v. 45, n. 4, p. 502–512, 2014. ISSN 0103-5371. Citado na página 9.
- CHARMAN, T. Why is joint attention a pivotal skill in autism? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 358, n. 1430, p. 315–324, 2003. ISSN 0962-8436. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2002.1199>>. Citado na página 14.
- CLIFFORD, S.; YOUNG, R.; WILLIAMSON, P. Assessing the early characteristics of autistic disorder using video analysis. *OA Autism*, v. 37, n. 2, p. 301–313, 2007. ISSN 01623257. Citado na página 9.
- COFEN. ONU chama atenção para o autismo. *OA Autism*, 2011. Disponível em: <http://www.cofen.gov.br/onu-chama-atenao-para-o-autismo{__}6598.html>. Citado na página 9.

- DAUTENHAHN, K. Design issues on interactive environments for children with autism. *3Th International Conference on Disability ,Virtual Reality and Associated Technologies*, p. 153–162, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2299/1944>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 11 e 15.
- DIEHL, J. J. et al. The clinical use of robots for individuals with Autism Spectrum Disorders: A critical review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, Elsevier Ltd, v. 6, n. 1, p. 249–262, 2012. ISSN 17509467. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rasd.2011.05.006>>. Citado na página 16.
- DUQUETTE, A.; MICHAUD, F.; MERCIER, H. Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism. *Autonomous Robots*, v. 24, n. 2, p. 147–157, 2008. ISSN 09295593. Citado na página 10.
- DURKIN, K. Videogames and young people with developmental disorders. *Review of General Psychology*, v. 14, p. 122–140, 2010. Citado na página 11.
- FEIL-SEIFER, D.; MATARIC, M. Automated detection and classification of positive vs. negative robot interactions with children with autism using distance-based features. *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction - HRI '11*, p. 323, 2011. ISSN 2167-2121. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 16.
- GARZOTTO, F. et al. Using Brain Signals in Adaptive Smart Spaces for Disabled Children. *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16*, n. Id, p. 1684–1690, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- GOLDSMITH, T.; LEBLANC, L. Use of Technology in Interventions for Children with Autism. *Journal of Early and Intensive Behavior . . .*, v. 1, n. 2, p. 166–178, 2004. ISSN 1814232X. Citado na página 14.
- GRYNSZPAN, O. et al. Innovative technology-based interventions for autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Autism*, v. 18, n. 4, p. 346–361, 2014. ISSN 1362-3613. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1362361313476767>>. Citado na página 11.
- HUIJNEN, C. A. G. J. et al. Mapping Robots to Therapy and Educational Objectives for Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, Springer US, v. 46, n. 6, p. 2100–2114, 2016. ISSN 15733432. Citado na página 15.
- INGERSOLL, B.; WAINER, A. The Broader Autism Phenotype. In: *Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders - Fourth Edition*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 1, p. 28–56. ISBN 978-1-118-14068-0. Citado na página 14.
- JONES, E.; CARR, E. Joint Attention in Children With Autism. v. 19, n. 1, p. 13–27, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.
- JUNIOR, F. E. F. *Uma introdução ao Robot Operating System (ROS)*. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/uma-introducao-ao-robot-operating-system-ros/>>. Citado na página 16.

- KASARI, C. et al. Randomized controlled caregiver mediated joint engagement intervention for toddlers with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 40, n. 9, p. 1045–1056, 2010. ISSN 01623257. Citado na página 14.
- KIM, E. S. et al. Social Robots as Embedded Reinforcers of Social Behavior in Children with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 43, n. 5, p. 1038–1049, may 2012. ISSN 0162-3257. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10803-012-1645-2>>. Citado na página 10.
- KIM, E. S. et al. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 43, n. 5, p. 1038–1049, 2013. ISSN 01623257. Citado na página 11.
- KONSTANTINIDIS, E. I. et al. A proposed framework of an interactive semi-virtual environment for enhanced education of children with autism spectrum disorders. *2009 22nd IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, p. 1–6, 2009. ISSN 10637125. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 12.
- LUNESKI, A. et al. Affective computer-aided learning for autistic children. *1st Workshop of Child, Computer and Interaction (WOCCI '08)*. Chania, Greece, n. November, 2008. Citado na página 12.
- MARNIK, J.; SZELA, M. Multimedia program for teaching autistic children. In: *Advances in Soft Computing*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 47, p. 505–512. ISBN 9783540681670. Citado na página 12.
- MONTENEGRO, M. Atenção Compartilhada. *OA Autism*, SEGMENTO FARMA, p. 75–86, 2009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=U9XgQgAACAAJ>>. Citado na página 9.
- MUNDY, P.; SIGMAN, M. Joint Attention, Social Competence, and Developmental Psychopathology. *Developmental Psychopathology: Second Edition*, v. 1, p. 293–332, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84986625616&doi=10.1002%2F9780470939383.ch9&partnerID=40&md5=90d01001901c76ed36e07380b5a754de>>. Citado na página 14.
- OZONOFF, S. et al. A Prospective Study of the Emergence of Early Behavioral Signs of Autism. *OA Autism*, v. 49, n. 3, p. 256–266e2, 2010. ISSN 0890-8567. Citado na página 9.
- OZONOFF, S. et al. Gross Motor Development, Movement Abnormalities, and Early Identification of Autism. *OA Autism*, v. 38, n. 4, p. 644–656, apr 2008. ISSN 0162-3257. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10803-007-0430-0>>. Citado na página 9.
- PENNISI, P. et al. Autism and social robotics: A systematic review. *Autism Research*, v. 9, n. 2, p. 165–183, 2016. ISSN 19393806. Citado na página 13.
- POON, K. K. et al. To what extent do joint attention, imitation, and object play behaviors in infancy predict later communication and intellectual functioning in ASD? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 42, n. 6, p. 1064–1074, 2012. ISSN 01623257. Citado na página 14.

- SARTORATO, F.; PRZYBYLOWSKI, L.; SARKO, D. K. Improving therapeutic outcomes in autism spectrum disorders: Enhancing social communication and sensory processing through the use of interactive robots. *Journal of Psychiatric Research*, v. 90, p. 1–11, jul 2017. ISSN 00223956. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022395616306562>>. Citado na página 16.
- SCASSELLATI, B.; Henny Admoni; MATARIĆ, M. Robots for Use in Autism Research. *Annual Review of Biomedical Engineering*, v. 14, p. 275–294, 2012. ISSN 1523-9829. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.
- TSIOPELA, D.; JIMOYIANNIS, A. Pre-Vocational Skills Laboratory: Development and investigation of a Web-based environment for students with autism. *Procedia Computer Science*, Elsevier Masson SAS, v. 27, n. Dsai 2013, p. 207–217, 2013. ISSN 18770509. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.024>>. Citado na página 12.
- VANDEVELDE, C.; SALDIEN, J. Demonstration of OPSORO -an open platform for social robots. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, v. 2016-April, n. March, p. 555–556, 2016. ISSN 21672148. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- VANDEVELDE, C. et al. Ono, a DIY open source platform for social robotics. *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, 2014. Citado na página 17.
- WARREN, Z. E. et al. Can Robotic Interaction Improve Joint Attention Skills? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, Springer US, v. 45, n. 11, p. 3726–3734, 2013. ISSN 15733432. Citado 3 vezes nas páginas 9, 10 e 14.
- ZAQUEU, L. d. C. C. et al. Associações entre Sinais Precoces de Autismo, Atenção Compartilhada e Atrasos no Desenvolvimento Infantil. *OA Autism*, v. 31, n. 3, p. 293–302, 2015. ISSN 1806-3446. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.