

Utilização de tecnologia robótica de baixo custo para promover a reabilitação de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA)

Dayanni Elias*. Nathalia David Borges*. Kamylla Milena Voltolini dos Santos*. Thais Reggina Kempner*. Luciana Correia Lima de Faria Borges**. Eunice Pereira dos Santos Nunes**.

*Faculdade de Engenharia de Várzea Grande, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Várzea Grande, Brasil; (e-mail: dayannielias@hotmail.com; nathaliadborges@gmail.com; kamylla.santos@sou.ufmt.br; thaisrgk@gmail.com)

**Instituto de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Brasil; (e-mail: lucianafariaborges@gmail.com, eunice@ufmt.br)

Abstract: Considering the difficulties in treating children with Autism Spectrum Disorder (ASD) and the high cost of assistive technology robots, this study addresses functional alternatives for the development of an affordable robot to assist in therapeutic treatment. The Otto robot assists in the verbalization, learning, and social interaction of children with neurodevelopmental disorders, through carefully designed functionalities for use in therapeutic sessions. The attractive design of Otto captures the focused attention of children, and the integrated internal modules of the robot enable the reproduction of short phrases, gestures, and dancing, providing new solutions for the planning of therapeutic sessions and consequently facilitating rehabilitation, with improvements in communication, motor skills, and social interaction for children with ASD.

Resumo: Considerando as dificuldades no tratamento de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e o alto valor de robôs de tecnologias assistivas, esse estudo aborda alternativas funcionais para construção de um robô com custo acessível para auxiliar o tratamento terapêutico. O robô Otto auxilia na verbalização, aprendizado e interação social de crianças com transtorno do neurodesenvolvimento, por meio de funcionalidades estrategicamente planejadas para o uso em sessões terapêuticas. O design atrativo do Otto proporciona a atenção concentrada das crianças, e os módulos internos integrados ao robô permitem a reprodução de pequenas frases, realizar gestos e dançar, fornecendo novas soluções para o planejamento das sessões terapêuticas e consequentemente a reabilitação com melhorias na comunicação, habilidades motoras e interação social das crianças com TEA.

Keywords: Robotic; Rehabilitation; Autism Spectrum Disorder (ASD); Engineering; Assistive technology (AT).

Palavras-chaves: Robótica; Reabilitação; Transtorno do Espectro Autista (TEA); Engenharia; Tecnologia Assistiva (TA).

1. INTRODUÇÃO

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um déficit de desenvolvimento que pode resultar em uma extensa variedade de obstáculos na interação social, comunicação e comportamento. Segundo dados do *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) (Maenner, 2023) uma em cada trinta e seis crianças são diagnosticadas com TEA nos EUA. Considerando que, a partir da estimativa do último censo do IBGE (IBGE, 2021), diante de duzentos e treze milhões, trezentos e dezessete mil e seiscentos e trinta e nove pessoas, o Brasil apresenta aproximadamente seis milhões de autistas e, esse número vem crescendo de forma exponencial.

Com base na alta prevalência do TEA, é fundamental investir na promoção de políticas e serviços de saúde que garantam o acesso ao diagnóstico precoce e ao tratamento adequado, para contribuir com a diminuição das disparidades no atendimento de crianças com TEA. Portanto, é necessário alternativas para o tratamento e desenvolvimento das crianças diagnosticadas com o transtorno, de maneira a ampliar sua capacidade de

socialização, para que quando atingirem a maioria, encontrem menos obstáculos na convivência social.

Levando em consideração que a maioria dos pacientes com TEA apresentam dificuldade de comunicação verbal, contato visual e interação com outros humanos, é de suma importância a utilização da tecnologia robótica para contribuir na melhora cognitiva das crianças neurodivergentes, por meio das intervenções e inovações tecnológicas.

Kozima, Nakagawa, & Yano (2005) descrevem que os robôs programados para ter expressões faciais, falas humanas, entre outras habilidades, promovem um ambiente de aprendizagem no qual há necessidade parcial de contato humano, promovendo a evolução educacional e emocional nos pacientes.

Vários estudos apresentam avanços na atividade funcional das crianças com TEA com o uso de robôs na terapia presencial. A pesquisa realizada por Kumazaki *et al.* (2020), apresentou relatos de melhora significativa das crianças após o tratamento, mostrando maior habilidade ao se comunicar.

Analisando os estudos de diferentes robôs, com funcionalidades diversas, foi possível observar no estudo de Salvador, Silver & Mahoor (2015) os benefícios no reconhecimento de emoções utilizando um robô humanoide. Em comparação, resultados satisfatórios também foram obtidos nos estudos de Kozima, Michalowski & Nakagawa (2009) com um robô zoomórfico de funcionalidades voltadas à movimentação, que por meio da dança e sensoriameto tátil promove melhorias motoras nas crianças.

Destarte, a implementação dessa tecnologia para promover resultados eficientes é fortemente dependente das funcionalidades adicionadas aos robôs. Entretanto, a maior parte dos robôs comerciais, que possuem tais funcionalidades para o tratamento de crianças com TEA, possuem um elevado valor financeiro, apresentando uma lacuna para o uso indistinto desta alternativa tecnológica e mostrando a relevância da criação de tecnologias assistivas com custos acessíveis a famílias, clínicas e instituições que não conseguem arcar com grandes investimentos no processo terapêutico das crianças.

Diante do exposto, este artigo discorre sobre as diretrizes para o desenvolvimento de um robô inclusivo de baixo custo financeiro, denominado Otto, que utiliza práticas e ferramentas de engenharia, para criar funcionalidades personalizadas, a fim de se adaptar às necessidades do usuário e promover a reabilitação de crianças com TEA. Com isso, espera-se atender às demandas crescentes por tecnologias mais acessíveis e promover a inclusão social de pessoas que necessitam desses equipamentos para promoção da saúde e bem-estar.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa iniciou-se pela revisão de conteúdos abordados em disciplinas dos cursos de Computação e Controle e Automação, como Circuitos Elétricos, Eletrônica Digital, Robótica, Microcontroladores, Sistemas Digitais e Programação em linguagem C (para o uso de arduinos), a fim de se obter conhecimento acerca de controle de movimentos robóticos, montagem de circuitos e demais ações do robô.

Para coletar os dados para especificação das funcionalidades mais indicadas para o robô Otto, a metodologia consistiu em uma abordagem qualitativa do tipo exploratória, que iniciou por uma revisão bibliográfica na literatura especializada a fim de identificar dificuldades das crianças autistas e quais funcionalidades deveriam ser agregadas ao robô para auxiliar as crianças a desenvolverem suas habilidades cognitivas, motoras, de comunicação e promover avanços na interação social durante o processo terapêutico. Para planejar e registrar o levantamento bibliográfico, foi utilizada a plataforma Parsifal. Na plataforma foram adicionados os artigos pesquisados em cinco portais: Periódicos da CAPES, Scopus, ACM Digital Library e IEEE Digital Library, por meio das strings de busca “Assistive Technology” AND “autism” AND “children” AND “robot”. Para obtenção dos melhores resultados, foram definidos filtros no planejamento, tomando como referência os estudos publicados entre os anos 2010 e 2023, publicados no idioma inglês.

Ainda, com o intuito de desenvolver atividades mais assertivas, considerando as limitações das crianças com TEA, foi utilizada a técnica *Brainstorming*, na condução de reuniões de design participativo (DP) com a equipe de psicólogas e fonoaudiólogas do Centro de Reabilitação Integral Dom Aquino Corrêa (CRIDAC), instituição parceira do projeto. Essa interação permitiu o esclarecimento de dúvidas pontuais relativas ao design do robô e a delimitar as funcionalidades mais apropriadas para o processo terapêutico.

Para análise do desempenho do robô Otto na prática, essa pesquisa contou com aprovação do Comitê de Ética em pesquisa com seres humanos da área das Ciências Humanas e Sociais da UFMT, que aprovou a realização de sessões terapêuticas com oito crianças no CRIDAC, com idades entre 2 e 8 anos, e com grau de comprometimento do TEA, nível 1 ou 2. Por meio destas sessões, os resultados foram coletados em campo por observações, de forma a levantar o impacto social dessa tecnologia assistiva.

3. DESENVOLVIMENTO DAS FUNCIONALIDADES

Com o propósito de alocar o máximo de funcionalidades possíveis, foram estudadas as habilidades mais importantes para o desenvolvimento das crianças com TEA. A partir disso, foi realizada uma pesquisa acerca dos melhores componentes para implementar as funcionalidades idealizadas, priorizando a confecção do protótipo com preço reduzido, mas sem perda de qualidade nos resultados. Na Fig. 1 pode-se observar o resultado do DP e os componentes eletrônicos utilizados no interior do robô, que possibilitam elaborar as funcionalidades propostas neste trabalho. Estas, de forma resumida, consistem: na leitura de cartões de *Radio Frequency Identification* (RFID) para agregar habilidades de comunicação e ensino ao robô Otto; servo motores para propiciar a realização de movimentos e dança ao robô possibilitando a realização de jogos de imitação para melhoria das habilidades motoras; saída de som com ajuste do volume e distribuição de campo sonoro para não causar desconforto em crianças com hipersensibilidade auditiva; matriz de LED responsável pelo semblante do Otto para representação de diferentes expressões; e, teclado numérico utilizado como um elemento educacional adicional, para promover um contato direto e a interação física da criança com o robô.

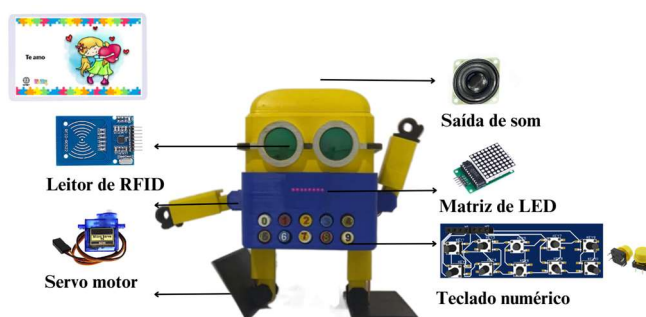


Fig. 1 Módulos internos do Otto.

As próximas subseções apresentam algumas dessas funções, com vistas a melhorar o hiperfoco, as dificuldades na fala, desenvolvimento motor e a interação social.

3.1 Desenvolvimento da atenção concentrada

Na intenção de implementar abordagens para lidar com a concentração seletiva de crianças com autismo, criar um ambiente convidativo e facilitar o engajamento nas atividades propostas pelo robô, foi idealizada uma aparência atrativa, que concomitantemente, fosse familiar e trouxesse conforto às crianças.

As terapeutas do CRIDAC relataram a necessidade de construção do robô com um material robusto com textura lisa. Por essa razão, optou-se por utilizar na impressão 3D do robô o Ácido Polilático (PLA), devido a sua resistência para suportar impactos caso a criança tenha alguma reação adversa durante a terapia (Farah, Anderson e Langer, 2016).

Desse modo, o design do robô foi estabelecido considerando a segurança e sua aparência atrativa, com o objetivo de reter a atenção concentrada para auxiliar a criança a selecionar seu foco na presença de estímulos distratores. Assim, surgiu o Otto, um robô lúdico e evocativo, conforme a Fig. 1, com as cores azul e amarela, relatadas no DP como preferenciais para as crianças. Maiores detalhes sobre a modelagem 3D e definições do design do robô podem ser consultadas em Rebouças *et al.* (2021).

3.2 Desenvolvimento cognitivo e da comunicação

Devido às habilidades sócio comunicativas limitadas de crianças com TEA, uma das funcionalidades que precisava ser implementada era relativa ao auxílio fonoaudiólogo do Otto. No início, o QR Code (código de respostas rápida) foi utilizado para reprodução das falas do robô, no entanto, para haver a leitura correta desse tipo de código, era necessário demasiada estabilidade na hora de aproximar a imagem da câmera, o que tornou inviável a aplicação para as sessões terapêuticas, tendo em vista a baixa estabilidade motora das crianças com TEA. Com isso, a utilização dos cartões RFID foi a alternativa implementada posteriormente, pelo fato deste componente atender melhor os critérios de construção.

Por conseguinte, foram programados e etiquetados cento e setenta cartões RFID com palavras educativas que permitem ensinar o alfabeto, vocabulário do cotidiano das crianças, sensações, reconhecer cores, frutas, legumes e animais. O som, gravado com a voz de uma criança de 11 anos, é reproduzido quando o cartão é aproximado do leitor, localizado nos olhos do robô.

A grande variedade de frases gravadas e o extenso vocabulário, possibilitam o desenvolvimento cognitivo e da comunicação das crianças. O aprendizado também é facilitado por meio da correlação das imagens que estão impressas nos cartões com as frases reproduzidas pelo Otto.

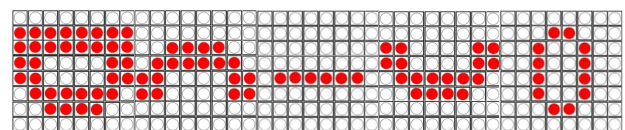
Devido à sensibilidade que as crianças com TEA possuem em relação às informações sensoriais como sons e vibrações, a escolha para o alto-falante responsável pela reprodução destes sons foi bastante estudada, tendo em vista que a alternância abrupta entre o agudo e graves de sons, gera desconforto em crianças com hipersensibilidade sonora (Otto-Meyer *et al.*, 2018). Assim, foi utilizado o dispositivo de reprodução do som que possui 40x40 mm com capacidade de reprodução de

2 watts e 8 ohms, pois além de apresentar melhor acabamento e sistema com redução de ruídos significativos, também conseguiu manter a faixa de frequência em 250 hertz, sendo esta uma faixa de conforto para os indivíduos que apresentam o transtorno (Bettarello *et al.*, 2021).

3.3 Reconhecimento das expressões faciais

Uma das dificuldades das crianças com TEA é o reconhecimento e manifestação adequada das expressões faciais. Conforme a pesquisa de Del Piero *et al.* (2019) a comunicação não verbal desempenha um papel crucial na interpretação de emoções, interação criança-robô e proporciona uma experiência mais amigável. Ao reproduzir traços faciais em um robô, como a formação de uma boca, busca-se estabelecer uma familiaridade e conexão emocional com os usuários, aproximando-se do comportamento natural humano.

Visando diminuir custos com uma aparência humanóide para representação de diferentes expressões faciais, o semblante do robô foi estabelecido por meio de um módulo de matriz de LED que realiza uma alternância das luzes e dão impressão do movimento de uma boca. Na Fig. 2 há cinco exemplos de expressões feitas pela matriz de LED. Por exemplo, quando o cartão RFID que reproduz a frase pré-gravada “estou triste” é aproximado do leitor, a matriz de LED altera sua configuração de neutra (Fig. 2c) para a expressão triste (Fig. 2b) o que possibilita uma associação da fala com uma linguagem não verbal para o reconhecimento das expressões faciais.



a) sorrindo b) triste c) neutro d) feliz e) com sono

Fig. 2 Expressões do robô por meio da matriz de LED.

3.4 Desenvolvimento motor

Muitos estudos, como o desenvolvido por Vukićević *et al.* (2019) apresentaram resultados positivos quanto à melhoria das habilidades motoras das crianças quando submetidas a jogos de imitação do movimento. Neste sentido, os aspectos relativos à movimentação do brinquedo terapêutico foi uma das funcionalidades cuidadosamente pensadas e implementadas. Segundo Clark *et al.* (2019) a funcionalidade da movimentação tem como objetivo fazer com que o robô tenha uma linguagem não verbal, sendo esta uma forma de evolução da comunicação das crianças por meio da aprendizagem dinâmica proporcionada pelo brinquedo terapêutico.

Para promover os movimentos do Otto foram inseridos quatro servo motores SG90 que possibilitam a locomoção dos braços e pés do Otto. Esse modelo de servo foi escolhido por atender às necessidades iniciais de projeto, de encaixe e movimentos, e por ter um preço reduzido.

Seus quatro graus de liberdade possibilitam a reprodução de gestos para complementação da fala, o que agrega em uma melhora na coordenação motora das crianças. Durante a

dança, por exemplo, o robô apresenta os movimentos de levantar/abaixar os braços e levantar/abaixar os pés enquanto toca uma música que motiva as crianças a imitá-lo, o que de acordo com Barnes *et al.* (2021) é uma forma de terapia criativa que pode ajudar as crianças a se expressarem e a se comunicarem de maneira não verbal.

Ainda, Barnes *et al.* (2021), relatam que os movimentos também são importantes durante o reforço positivo, responsáveis por darem um *'feedback'* em relação à resposta comportamental da criança, quando essa é submetida a alguma atividade com o robô. Nesse sentido, o robô Otto balança os braços para cima e comemora quando a criança acerta a atividade. Esse recurso é valioso pois mantém o paciente engajado nas tarefas propostas e incentiva a continuidade de execução das atividades terapêuticas de maneira correta.

3.5 Controle remoto com variadas funções

Tendo como objetivo adicionar mais funcionalidades que pudessem servir como opções de diferentes atividades na intervenção terapêutica, foi pensado em um dispositivo que permitisse controlar algumas habilidades do Otto, e, paralelamente, proporcionasse a ativação e desativação dessas funcionalidades de modo a adequar o robô de acordo com a individualidade de cada criança.

Para isso, inicialmente, foi ponderado o uso de dispositivos eletrônicos, como aplicativos celulares, que permitissem controlar tais funcionalidades do robô. Contudo, levando em consideração a seletividade de atenção e o hiperfoco das crianças com TEA, o que acaba gerando grande interesse em coisas específicas como computadores (Wang *et al.*, 2021), foi considerado que um dispositivo eletrônico poderia ser prejudicial para manter a atenção da criança na terapia.

Arelado ao nosso objetivo de produzir uma tecnologia assistiva de valor acessível, foi escolhida a utilização de um controle remoto com receptor de infravermelho (IR) para o controle de algumas das habilidades do Otto. Por meio dele, podem ser acessadas funções que auxiliam nas terapias, uma vez que o terapeuta, por exemplo, pode fazer ações diretas sem o comando dado pelo cartão RFID, como o reforço positivo/negativo que visa comemorar os acertos e o incentivo a novas tentativas, respectivamente.

Neste controle foi colado um adesivo, conforme apresentado na Fig. 3, de forma a facilitar a sua utilização pelas terapeutas. O mesmo possui imagens ilustrativas que representam as funções programadas de: (I) ligar/desligar; (II) aumentar/diminuir o volume do som; (III) dançar; (IV) ativar/desativar teclado numérico; (V) reforço positivo/negativo.

A função (I) foi adicionada ao controle para que fosse possível economizar bateria, mantendo o robô desligado no momento de outras intervenções terapêuticas. Ao ligar o robô, o auto-falante reproduz a frase “Oi, meu nome é Otto, vamos brincar?”, enquanto que, ao desligá-lo, o robô reproduz a frase “Foi muito divertido! Até a próxima”.

A função (II) é responsável por controlar o volume de reprodução das falas do robô e foi adicionado ao controle,

considerando a hipersensibilidade auditiva de algumas crianças com TEA (Lucker, 2013), o que possibilita que as terapeutas possam adequar o volume de reprodução para cada criança, de acordo com a sua necessidade.

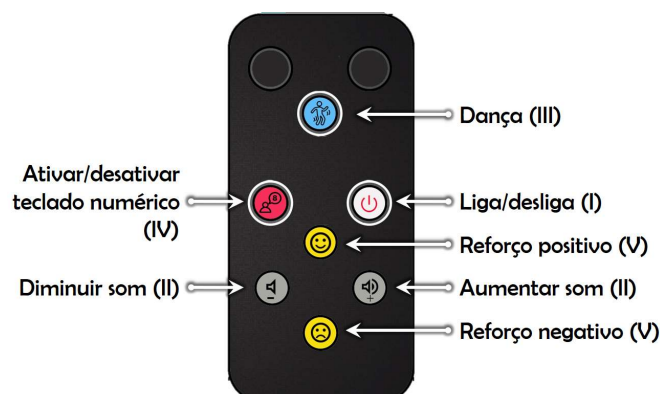


Fig 3. Guia do controle remoto

As funções (III) e (V) são responsáveis por acionar as movimentações do Otto, onde (III) aciona a dança do robô e (V) os reforços positivo e negativo. No qual, ao utilizar o reforço positivo, há uma comemoração de acerto onde o robô reproduz o som de palmas e levantando os braços para cima indicando que da atividade foi feita corretamente e na negativa há um incentivo de nova tentativa com o Otto abaixando os braços e dizendo: “Tente novamente”.

Em (IV) é ativado/desativado o teclado numérico que fica localizado na barriga do robô. Essa função foi planejada para evitar a falta de envolvimento da criança em outras atividades da terapia, caso a criança tenha o impulso de ficar apertando o teclado numérico repetitivamente.

O teclado conta com 10 *push buttons* inseridos em uma Placa de Circuito Impresso (PCB). Ao pressionar as teclas, é acionada a reprodução de voz dos números de 0 a 9, por meio do módulo DFPlayer. Essa funcionalidade foi analisada como um elemento educacional e também para promover o contato direto entre a criança e o robô, de forma a aumentar o interesse pelo toque e afetividade.

Para a implementação dessas funcionalidades foi necessário utilizar baterias que possibilitasse manter o robô funcionando fora da tomada, por pelo menos duas seções completas de 60 minutos. Para isso, escolheu-se a utilização de duas baterias de lítio do tipo CR18650 com 3,7 V e 2200 mAh. Nessa primeira versão do Otto não foi utilizado um mostrador de nível de bateria. Contudo, isso foi um ponto levantado pela equipe como necessidade de ser implementado para as próximas versões, de forma que facilite para os usuários saber quando há a necessidade de carregamento do robô, sem prejudicar a vida útil das baterias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o robô pronto, o mesmo foi doado ao CRIDAC com o propósito de avaliar o seu desempenho e auxiliar as crianças com TEA. Tendo essa avaliação atrelada ao valor final de fabricação do brinquedo, conseguiu-se chegar a um resultado favorável quando se leva em conta o objetivo principal deste artigo - desenvolver uma tecnologia assistiva que promova impacto social e que tenha um custo de aquisição acessível.

Para promover os benefícios sociais foram realizadas seis sessões terapêuticas com cada criança. Os resultados finais das oito crianças avaliadas foram satisfatórios, evidenciando melhorias sociais e intelectuais. Um exemplo, é o de um menino com TEA que não conseguia falar nenhuma palavra, e depois que foi inserido no programa de terapia com a intervenção do robô, começou a balbuciar e repetir pequenas palavras. Maiores resultados obtidos na melhora na comunicação, interação social, habilidade motora, cognitiva e de aprendizado de duas crianças com TEA envolvidas na pesquisa podem ser consultados em Marques *et al.* (2023).

Para diminuir o custo de confecção do protótipo, prezou-se por utilizar materiais que barateassem o valor de fabricação do Otto. Por exemplo, para o desenvolvimento da estrutura do robô, foi utilizado o PLA em uma impressora 3D, o que diminuiu o seu preço quando comparado com robôs produzidos com outros materiais. Já para o desenvolvimento das funcionalidades do Otto foram utilizados componentes que são fáceis de encontrar em lojas de eletrônica, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Custos dos componentes em reais (R\$)¹

Componente	Valor	Componente	Valor
Micro servo motor	87,60	Kit controle remoto IR	18,90
Módulo TP4056	8,90	Amplificador PAM 8403	19,90
Chaves tácteis	50,00	Cartões RFID	265,45
Módulo cartão micro SD	12,90	Porta adesivo e cartões	55,00
Módulo RFID	28,90	Papel fotográfico	30,20
Bateria 3,7 V 2200mAh Green Cr18650	79,80	Módulo matriz de LED 8x8 com MAX7219	29,90
Arduino Mega + Wifi atmega2560	199,00	Placa de desenvolvimento ESP8266	44,90
Jumpers macho macho	21,00	Alto falante 3 W 80 hms	27,90
Placa Fenolite lisa cobreada 15x15cm	60,00	Filamento PLA para impressora 3D	138,58
TOTAL R\$			1178,83

Pelo fato do Otto não se caracterizar como um produto comercial, os custos com material permanente e mão de obra não foram cotados no orçamento. Mesmo assim, considerando que com a produção em grande escala os valores orçados tendem a diminuir, com a cotação realizada já é possível comparar os preços do protótipo com outros robôs comerciais com funções similares para auxiliar crianças autistas.

O robô Milo, por exemplo, é um robô criado com o principal propósito de auxiliar o tratamento de crianças com TEA, tanto socialmente quanto intelectualmente (Robokind, 2018),

porém possui um custo de aproximadamente USD 6500,00 (Dell Technologies, 2018), o que convertido para reais, na cotação atual², é igual a R\$32500,00. Isso se dá, principalmente, pela sua construção humanóide, que o possibilita ter 15 graus de liberdade, além de possuir uma construção física com elementos muito mais robustos. Contudo, quando compara-se as suas funcionalidades com as do robô Otto, é possível observar que ambos possuem atividades terapêuticas muito parecidas, como, por exemplo, a possibilidade de sua utilização para ensinar vocabulários de uso diário, como o de escovar os dentes.

Além do robô Milo, pode-se citar também o robô NAO, um robô humanóide com 25 graus de liberdade que, mesmo não sendo criado com o propósito exclusivo de ser usado em tratamentos com crianças autistas, foi incluso em diversos tipos de terapias com o passar do tempo, por ter sido observado a sua grande eficácia em jogos de imitação (fala e movimentos) para esse público (Ali *et al.*, 2020). Seu preço é em torno de R\$55000,00³. Assim como o Milo, o robô NAO também possui atividades que se assemelham com as do Otto, visto que, mesmo com menos graus de liberdade, o Otto também proporcionou a reprodução dos movimentos, por meio dos jogos de imitação, acarretando melhorias de desenvolvimento motor nas crianças avaliadas.

Através dessas comparações e devido às diferentes funcionalidades propostas, é perceptível o quanto o robô Otto é economicamente acessível, caracterizando-se como uma solução alternativa no tratamento das crianças, por executar tarefas semelhantes aos robôs mais caros e robustos e por obter resultados positivos para o tratamento e melhoria da qualidade de vida das crianças com TEA.

5. CONCLUSÕES

Reconhecendo o potencial dos robôs para o tratamento de crianças com TEA e a necessidade de oferta de uma tecnologia de baixo custo para esse fim, essa pesquisa apresentou diretrizes para o desenvolvimento de um robô inclusivo e mais acessível financeiramente, com funcionalidades personalizadas para se adequar às necessidades do usuário e da promoção da reabilitação da criança com TEA.

Tendo em vista o design, funcionalidades e custos apresentados pelo robô Otto, bem como os resultados positivos demonstrados pelas crianças com TEA durante as sessões terapêuticas, como melhora nas habilidades cognitivas, motoras e sociais (Marques *et al.*, 2023), pode-se avaliar que o robô Otto se mostrou uma alternativa tecnológica com plurais benefícios à sociedade.

Pesquisas futuras devem envolver a investigação de uma segunda versão do robô Otto, com vistas a aperfeiçoar e ampliar os auxílio deste robô para o tratamento de crianças com TEA. Além desse público, pretende-se investigar como esse robô pode ser personalizado para auxiliar, por exemplo, crianças com TDAH e dislexia.

¹ Os valores foram cotados em maio de 2023 em sites de produtos eletrônicos, em especial no da nossa cidade - Eletrônica Cuiabá (site: <https://eletronicacuiaba.com.br/>).

² Cotação do dia 21 de maio de 2023: 1 USD = 5 BRL

³ Site: <https://www.robotlab.com/solicitar-proposta-robot-nao-v6>

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Centro de Reabilitação Integral Dom Aquino Corrêa (CRIDAC), à FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por tornarem possível a realização e implementação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Barnes, J. A., Park, C. H., Howard, A. and Jeon, M. (2021). ChildRobot Interaction in a Musical Dance Game: An Exploratory Comparison Study between Typically Developing Children and Children with Autism. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(3), pp.249–266.
- Bettarello, F.; Caniato, M.; Scavuzzo, G. and Gasparella, A. (2021). Indoor acoustic requirements for autism-friendly spaces. *Applied Sciences*, 11(9), p.3942.
- Clark, C., Sliker, L., Sandstrum, J., Burne, B., Haggett, V. and Bodine, C. (2019). Development and preliminary investigation of a semiautonomous Socially Assistive Robot (SAR) designed to elicit communication, motor skills, emotion, and visual regard (engagement) from young children with complex cerebral palsy: A pilot comparative trial. *Advances in Human-Computer Interaction*.
- Del Piero, G. P., Mota, A. D. S., Valadao, C. T., Caldeira, E. M., Bastos-Filho, T. F.; Espirito Santo, E. S. and Santo, E. S. (2019). Implementation of Dynamic Faces Based on Proxemics for Robot-ASD Children Interaction. In: 14^o Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.
- Dell Technologies (2018). The Robot Enhancing How Children with Autism Learn | Dell Technologies. Disponível em: <https://www.dell.com/en-us/perspectives/the-robot-enhancing-how-children-with-autism-learn/>.
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews*, 107, 367-392.
- IBGE (2021). Estimates of resident population for Municipalities and Federation Units | IBGE. www.ibge.gov.br. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/en/statistics/social/population/18448-estimates-of-resident-population-for-municipalities-and-federation-units.html>.
- Kozima, H., Nakagawa, C. and Yano, H. (2005), March. Using robots for the study of human social development. In AAAI Spring Symposium on Developmental Robotics (Vol. 2005). Palo Alto, CA, USA: Citeseer.
- Kozima, H.; Michalowski, M.P. and Nakagawa, C. (2009). Keepon. *International Journal of Social Robotics*, 1(1), pp.3–18. doi:<https://doi.org/10.1007/s1236900800098>.
- Kumazaki, H.; Muramatsu, T.; Yoshikawa, Y.; Matsumoto, Y.; Ishiguro, H.; Kikuchi, M.; Sumiyoshi, T. and Mimura, M. (2020). Optimal robot for intervention for individuals with autism spectrum disorders. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 74(11), pp.581–586. doi:<https://doi.org/10.1111/pcn.13132>.
- Lucker, J. R. (2013). Auditory Hypersensitivity in Children With Autism Spectrum Disorders. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 28(3), 184–191. doi:<https://doi.org/10.1177/1088357613475810>.
- Maenner, M. J. (2023). Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2020. *MMWR. Surveillance Summaries*, 72(2).
- Marques, F. A., Neves, I. V. D. S., Fagundes, E. M., Lima, E. M., Kempner, T. R., Nunes, E. P. S. and Borges, L. C. L. F. (2023). Social benefit analysis of the Otto robot in therapies for children with ASD. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences Workshops (IMXw '23)*, Nantes, France. ACM, New York, NY, USA. doi: <https://doi.org/10.1145/3604321.3604343>.
- Otto-Meyer, S., Krizman, J., White-Schwoch, T., & Kraus, N. (2018). Children with autism spectrum disorder have unstable neural responses to sound. *Experimental Brain Research*, 236, 733-743.
- Rebouças, G., Kempner, T. R., Nunes, E. P. S., Borges, L. C. L. F. B. (2021). Modelagem 3D do Robô Otto para o atendimento de crianças com Transtorno do Espectro Autista. In *Anais da XXI Escola Regional de Informática de Mato Grosso*, (pp. 35-41). Porto Alegre: SBC. doi:<https://doi.org/10.5753/eri-mt.2021.18222>.
- Robokind (2018). How a Robot Named Milo Helps Children With Autism Develop Social Skills | Robokind. Disponível em: <https://www.robokind.com/press-mentions/how-a-robot-named-milo-helps-children-with-autism-develop-social-skills>.
- Salvador, M. J., Silver, S. and Mahoor, M. H. (2015). An emotion recognition comparative study of autistic and typically developing children using the zeno robot. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. pp.6128–6133. doi:<https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7140059>.
- Vukićević, S., Đorđević, M., Glumbić, N., Bogdanović, Z., and Jovičić M. D. (2019). A Demonstration Project for the Utility of Kinect-Based Educational Games to Benefit Motor Skills of Children with ASD. *Perceptual and Motor Skills*. doi: <https://doi.org/10.1177/0031512519867521>.
- Wang, Q., Hoi, S. P., Song, C., Li, T., Lam, C. M.; Wang, Y. and Yi, L. (2021). Circumscribed Interest Modulates Attention to Eyes in Boys With and Without Autism Spectrum Disorder. *Front. Psychiatry* 12:627365. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.627365>.