

# Sistemas Inteligentes para Desenvolvimento de Competências e Diagnóstico de pessoas com o Transtorno do Espectro do Autismo: Uma Revisão Sistemática da Literatura

*Title: Intelligent Systems for Skills Development and Diagnosis of people with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of the Literature*

Nathália Assis Valentim  
Universidade Federal de Uberlândia  
nathaliavalentim@outlook.com

Valéria Peres Asnis  
Universidade Federal de Uberlândia  
valeria.asnis@ufu.br

Nassim Chamel Elias  
Universidade Federal de São Carlos  
nassim@ufscar.br

Fabiano Azevedo Dorça  
Universidade Federal de Uberlândia  
fabianodor@ufu.br

## Resumo

O Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) é um tema que pode ser discutido em diversas áreas do conhecimento. Periódicos e conferências científicas importantes incluem temas relacionados ao TEA no seu âmbito de interesse. Neste contexto, a área de Inteligência Artificial (IA), com o seu crescimento rápido e a grande variedade de locais de disseminação, também tem abordado o TEA e o desenvolvimento de tecnologias, o que representa atualmente um desafio aos pesquisadores em manter o acompanhamento das novas descobertas e tendências nesta área. Nesta perspectiva, este trabalho coletou e analisou artigos de pesquisa que abordaram o TEA considerando aplicações de IA para o desenvolvimento de tecnologias no âmbito do treinamento educacional e comportamental, com o objetivo de detectar tendências, padrões, lacunas e oportunidades de pesquisa, proporcionando uma visão detalhada deste campo de pesquisa em um período de 6 anos. Adotou-se a abordagem de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como metodologia para responder importantes questões de pesquisa na área.

**Palavras-chave:** Sistemas Inteligentes para Educação; Inteligência Artificial; Transtorno do Espectro do Autismo; Revisão Sistemática da Literatura

## Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a topic that can be discussed in several areas of knowledge. Important scientific journals and conferences include topics related to ASD in their scope of interest. In this context, the area of Artificial Intelligence (AI), with its rapid growth and the wide variety of dissemination sites, has also addressed ASD and the development of technologies, which currently represents a challenge for researchers to keep up with the new discoveries and trends in this area. In this perspective, this work collected and analyzed research papers that addressed ASD considering AI applications for the development of technologies in the educational and behavioral training scope, with the objective of detecting trends, patterns, gaps and research opportunities, providing a comprehensive and detailed view of this field of research in a period of 6 years. The Systematic Literature Review (SLR) approach was adopted as a methodology to answer important research questions in the area.

**Keywords:** Smart Learning Environments; Artificial intelligence; Autism Spectrum Disorder; Systematic Review of Literature

## 1 Introdução

O Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) está listado na categoria dos transtornos de neurodesenvolvimento e é diagnosticado na presença de déficits persistentes na comunicação e interação social em múltiplos contextos, acompanhados por comportamentos excessivamente repetitivos e interesses restritos que podem trazer prejuízo para o funcionamento diário e para a aprendizagem de forma geral. A noção de espectro foi introduzida para refletir a grande variabilidade comportamental e de sintomas apresentados pelos indivíduos com esse diagnóstico (APA, 2014).

O número de casos de TEA diagnosticados em todo o mundo vem aumentando nos últimos anos. De acordo com o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) dos Estados Unidos da América, em 2018, a prevalência de TEA foi de uma em cada 44 crianças com oito anos de idade. Considerando que esses diagnósticos dependem de julgamentos corretos sobre se cada característica listada nos critérios está presente ou não, torna-se essencial o desenvolvimento de técnicas precisas de diagnóstico precoce de pessoas com TEA e tratamentos adequados para elas (Lara, 2016). O desenvolvimento dessas técnicas pode estar relacionado, muitas vezes, com o uso da Inteligência Artificial (IA) (Pontes, Cerqueira, Lima, de Brum, & Brunoni, 2020).

Por não existirem meios simples pelos quais se possa testá-lo, muito menos medi-lo, o TEA está distante de ser definido com exatidão. É considerado um transtorno que vai além da sua complexidade (Onzi & Gomes, 2015). As causas para o TEA são multifatoriais, podendo sofrer forte influência genética e ambiental e até mesmo causas não genéticas. Portanto, afirma-se que não há uma única causa específica e nem marcadores biológicos para o TEA (Rapin & Tuchman, 2009).

Pessoas com autismo podem apresentar, além de déficits na comunicação, interação sociais e padrões de comportamentos restritos e repetitivos. Desse modo, o uso da tecnologia pode auxiliar no desenvolvimento de capacidades em pessoas com autismo como, por exemplo, potencializar o processo de aprendizagem, melhorar a comunicação e as habilidades sociais (Proença et al., 2019).

A variabilidade de características, comportamentos e níveis de desenvolvimento do TEA se torna, muitas vezes, um desafio no que concerne aos aspectos de aprendizagem destes indivíduos. Neste sentido, a qualidade do processo educacional das pessoas com TEA vai depender, dentre vários aspectos, da capacidade do ambiente acolher a pessoa, conhecimento acerca do TEA por parte da equipe educacional, elaboração de propostas individualizadas e diferenciadas e estratégias como, por exemplo, o uso de tecnologias que irão possibilitar o acesso às atividades e potencializar a ação da pessoa com TEA em realizá-las, favorecendo o ganho de habilidades de repertórios importantes para esta fase de desenvolvimento.

As abordagens computacionais são capazes de atender e auxiliar pessoas com TEA de acordo com suas respectivas necessidades (Deliberato, Gonçalves, & Macedo, 2009). Neste contexto, este trabalho coletou e analisou artigos de pesquisa que abordaram o TEA considerando aplicações de IA para o desenvolvimento de tecnologias no âmbito de diagnósticos e de ensino de novos comportamentos, com o objetivo de detectar tendências, padrões, lacunas e oportunidades de pesquisa, proporcionando uma visão detalhada deste campo de pesquisa em um período de 6 anos. Adotou-se a abordagem de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como metodologia para

responder importantes questões de pesquisa na área.<sup>1</sup>

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta conceitos fundamentais relacionados a esta pesquisa. A Seção 3 descreve a metodologia adotada para conduzir este trabalho. A Seção 4 apresenta e discute as descobertas mais relevantes relacionadas a este estudo. A Seção 5 apresenta as considerações finais.

## 2 Conceitos Fundamentais

### 2.1 Inteligência Artificial

Abordagens na área de IA têm ganhado importância para resolver problemas complexos em várias áreas, sendo relevante para desenvolver estudos que abordem o TEA. No escopo do TEA, a IA tem sido aplicada com o papel de identificar fraquezas e a melhorar a capacidade de comunicação e interação social de pessoas com autismo. As pesquisas realizadas envolvendo essas pessoas tem o foco no desenvolvimento de aplicações que sejam capazes de armazenar conhecimento, aplicar o conhecimento armazenado para resolver problemas e adquirir novo conhecimento através da experiência, ou seja, representação, raciocínio e aprendizagem (Lima, 2021).

Abordagens de IA podem aprender com exemplos, são tolerantes a falhas no sentido de lidar com dados ruidosos e incompletos, com problemas não-lineares e, uma vez treinados, podem executar previsões e generalizações em alta velocidade (Mellit & Kalogirou, 2008). Exemplos do uso de abordagens de IA relacionadas ao TEA são para reconhecimento de emoções (Nunes & Aguiar, 2020), e para o ensino de competências emocionais e sociais em pessoas com TEA (Dantas, de Melo, Neves, Milessi, & do Nascimento, 2019). Desse modo, a IA contribui com pessoas com autismo, especialmente, fortalecendo suas interações sociais diárias, adequando a expressividade da fala e reduzindo o discurso repetitivo.

Os conceitos de IA têm sido amplamente utilizados para construção de ferramentas que implementem técnicas e que apoiem a aprendizagem. Dentre esses conceitos, o de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*, no inglês) é um dos mais importantes. A aprendizagem de máquina é o campo de pesquisa dedicado ao estudo formal de sistemas de aprendizagem e é construído de forma interdisciplinar com base em Estatística, Ciência da Computação, Engenharias, Ciência Cognitiva, Teoria da Otimização e muitas outras disciplinas da ciência e da matemática (Ghahramani, 2003).

Dentro do campo de Aprendizagem de Máquina, é possível distinguir diferentes tipos como a aprendizagem supervisionada (*Supervised Learning*, do inglês) e a aprendizagem não supervisionada (*Unsupervised Learning*, do inglês). A Figura 1 ilustra a diferença entre aprendizagens supervisionada e não supervisionada. A aprendizagem supervisionada acontece a partir de um conjunto de dados rotulados, previamente definidos, cujo objetivo é encontrar uma função que seja capaz de prever rótulos desconhecidos. Neste contexto, uma característica importante é a capacidade de generalização. Na aprendizagem não supervisionada o conjunto de dados utilizado não possui nenhum tipo de rótulo e, a partir de análises, é possível descobrir similaridades entre

<sup>1</sup>A equipe responsável pela condução desta pesquisa é interdisciplinar, composta por dois pesquisadores da área de Inteligência Artificial, e dois pesquisadores da área de Educação Especial, tecnologias assistivas e TEA.

os objetos e agrupá-los de acordo com sua similaridade. Assim, a IA permite a descoberta de padrões sutis, com combinações de recursos, que a princípio podem não parecer relevantes ou óbvios para o olho humano, com potencial para identificar a natureza heterogênea do TEA. A construção de algoritmos podem agrupar diferenças para separar consistentemente pessoas com autismo daquelas que não estão no espectro do autismo.

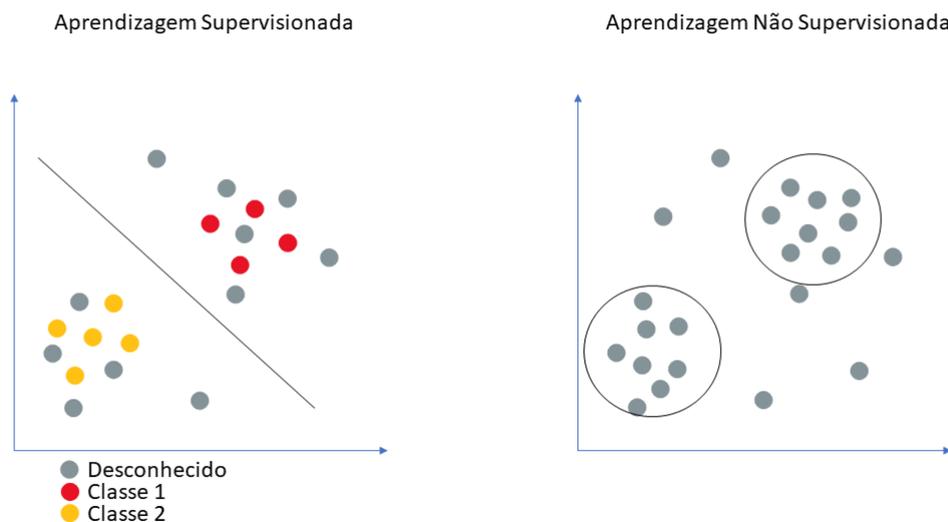


Figura 1: Aprendizagem supervisionada e aprendizagem não supervisionada.

## 2.2 Modelos Computacionais

Os modelos computacionais podem ser definidos como representações simplificadas e úteis para predição de fenômenos diversos visando a simulação ou entendimento destes. Esses modelos são codificados em linguagem computacional para fins de execução em um computador e podem ser criados manualmente por especialistas por meio de equações matemáticas ou, então, automaticamente por meio de técnicas de IA (Augusto, 2015).

Em relação às vantagens, às limitações e às recomendações que estão associadas a cada modelo, podem variar de acordo com a formulação e descrição do fenômeno que é dada através das equações e leis que são empregadas. Além disso, também podem variar de acordo com os esquemas numéricos, a representatividade dos dados de entrada e a validade dos parâmetros informados (Richit, Kobiyama, & Silva, 2017).

## 2.3 Teoria Cognitiva

A Teoria Cognitiva foi criada pelo suíço *Jean Piaget* para explicar o desenvolvimento cognitivo humano. Os processos cognitivos são aqueles que envolvem habilidades relacionadas ao desen-

volvimento do pensamento, raciocínio, linguagem, memória, abstração, etc (Simão, 2002).

Ainda na infância, os processos cognitivos têm início e estão diretamente relacionados à aprendizagem, em que é preciso compreender a ação do indivíduo no processo de construção do conhecimento, no que se refere às suas estruturas mentais e sobre o que é preciso fazer para aprender. A principal contribuição da Teoria Cognitiva é permitir um maior nível de compreensão sobre como as pessoas aprendem, partindo do princípio de que essa aprendizagem é resultado da construção de um esquema de representações mentais que se dá a partir da participação ativa do indivíduo e que resulta no processamento de informações que serão internalizadas e transformadas em conhecimento (Lakomy, 2008).

## 2.4 Transtorno do Espectro do Autismo

De acordo com o DSM-5 (APA, 2014), como critérios diagnósticos para o TEA estão os déficits persistentes na comunicação e na interação social em múltiplos contextos como déficits na reciprocidade socioemocional, déficits nos comportamentos comunicativos não verbais usados para interação social, déficits para desenvolver, manter e compreender relacionamentos. Além disso, pessoas com autismo têm padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades como: movimentos motores, uso de objetos ou fala estereotipados ou repetitivos; insistência nas mesmas coisas, adesão inflexível a rotinas ou padrões ritualizados de comportamento verbal ou não verbal; interesses fixos e altamente restritos que são anormais em intensidade ou foco; e hiper ou hiporreatividade a estímulos sensoriais ou interesse incomum por aspectos sensoriais do ambiente.

Desta forma, o TEA é definido por prejuízos que são persistentes na comunicação e na interação social. Além disso, é definido também por prejuízos nos comportamentos que podem incluir os interesses e os padrões de atividades, sintomas estes que estão presentes desde a infância e que são limitantes ou prejudiciais ao funcionamento do indivíduo em seu cotidiano.

Há um consenso de que abordagens computacionais para intervenção educacional e treinamento comportamental intensivo podem melhorar déficits na comunicação social das pessoas com autismo (Dawood, Turner, & Perepa, 2018). Essas abordagens computacionais podem ser construídas como sendo tecnologias para incentivar e auxiliar pessoas com autismo a interagirem socialmente com outras pessoas, e conseqüentemente, facilitar o seu processo e aprendizagem (desenvolvimento cognitivo).

## 3 Metodologia

A realização de uma revisão de literatura bem elaborada permite uma visão geral de uma área de conhecimento, possibilitando o entendimento do estado da arte. Para alcance desse entendimento, existem trabalhos voltados para a realização de pesquisas bibliográficas, seguindo metodologias rigorosas para obtenção de dados e apresentação de resultados.

Um documento que apresentou uma orientação geral para a realização de Revisões Sistemáticas de Literatura (RSL) foi criado com o objetivo de introduzir o conceito de revisões rigorosas para a comunidade de engenharia de software e pesquisadores (Kitchenham, 2004). Para os au-

tores a revisão sistemática é um meio de avaliar e interpretar pesquisas disponíveis relevante para uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse. Em geral, revisões sistemáticas têm como objetivo apresentar uma avaliação justa de um tópico de pesquisa usando uma metodologia que seja confiável e rigorosa. A metodologia deste trabalho utiliza um guia proposto.

O processo adotado foi dividido em três passos principais: *Planejamento da RSL*, justificando a necessidade da RSL; *Condução da RSL*, onde a amostra é coletada, os estudos primários são lidos e os dados são extraídos. Por fim, *Resultados da RSL*, fazendo análise dos resultados, produzindo relatórios para publicações das informações geradas. A Figura 2 mostra os passos de uma RSL.



Figura 2: O processo da RSL.

Um protocolo de revisão é importante para especificar quais serão os métodos utilizados para a realização da revisão sistemática. A elaboração desse protocolo é necessária para fornecer diretrizes ao pesquisador sobre como executar a tarefa e reduzir a possibilidade de viés e é parte essencial não apenas do planejamento da RSL, mas também a condução da RSL, que são detalhados nas subseções 3.1 e 3.3.

### 3.1 Planejamento da RSL

A primeira e importante atividade durante o planejamento é a formulação das questões de pesquisa. Neste trabalho, as questões de pesquisa (QP) abordadas estão apresentadas na Tabela 1.

#### 3.1.1 Estratégia de busca de estudos primários

O processo de busca dos estudos primários é uma busca manual de procedimentos de conferências e periódicos. No caso, os estudos buscados tratavam sobre Inteligência Artificial. Os repositórios bibliográficos para as buscas foram *DBLP* e *IEEE Xplore*. Os termos de busca e filtros aplicados são os apresentados na Tabela 2. A coleta de todos os estudos primários, a partir de 2015 até o ano de 2021, foi realizada obtendo um retorno de 42 artigos para análise inicial e aplicação dos

Tabela 1: Questões de Pesquisa.

Questões	
QP1	Quais técnicas de detecção e intervenção do TEA e que estão relacionadas com a IA são abordadas nos estudos?
QP2	Quais ferramentas relacionadas à IA e que servem de apoio ao TEA são abordadas nos estudos?
QP3	Quais são os modelos computacionais criados ou utilizados, nos estudos, para pessoas com o TEA?
QP4	O que os estudos falam sobre a Teoria Cognitiva, associadas com o TEA e relacionadas com IA?

critérios de seleção, conforme descritos no item 3.1.2.

As bases citadas foram escolhidas por serem suficientemente abrangentes para propiciar um estudo amplo e de forma satisfatória considerando os aspectos qualitativo e quantitativo em relação aos trabalhos analisados, permitindo-se delinear de forma clara e objetiva o estado da arte no campo de pesquisa objeto deste estudo. No futuro, outras bases poderão ser consideradas com objetivo de se ampliar a quantidade de trabalhos analisados.

Tabela 2: Termos de Busca.

Metadados	"autism"AND "artificial intelligence"
Filtros Aplicados	learning (artificial intelligence) OR support vector machines OR neural netse-motion recognition OR convolucional neural nets OR human-robot interaction OR teaching OR educational OR computer aided instruction OR intelligent tu-toring system OR software agents

### 3.1.2 Critérios de seleção de estudo

Com o objetivo de montar a amostra final, aplicou-se os critérios de inclusão e exclusão. O critério de inclusão foi coletar estudos primários sobre a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial retornados a partir dos termos de busca definidos com fins de apoio a pessoas com TEA.

O procedimento de seleção dos estudos primários, conforme critérios estabelecidos, aconteceu a partir da análise dos estudos primários em si, analisando Título, *Abstract*, *Keywords* e o texto. Os critérios de exclusão foram estudos com publicação anterior ao ano de 2015, estudos que não fossem escritos em inglês e estudos secundários, como, por exemplo: monografias, dissertações, teses e/ou resumos. A partir das referências bibliográficas dos estudos primários selecionados, novos estudos foram adicionados à coleção. Na segunda seleção, inicialmente, somente o Título do estudo foi analisado e, em caso de dúvidas, analisou-se também o *Abstract* e as *Keywords*. A partir disso, aplicou-se os critérios de inclusão e exclusão para a definição da amostra final. O processo de seleção dos estudos é mostrado na Figura 3.

Foram selecionados, ao total, 28 estudos, seguindo os termos de busca, sendo que 18 estudos eram de Conferências e os outros 10 eram de Periódicos. A lista completa dos estudos da amostra final está disponível na Tabela 3, apontando os autores e os objetivos de cada estudo, e nas Referências Bibliográficas deste trabalho.



Figura 3: Processo de seleção dos estudos da amostra.

Tabela 3: Lista de Estudos da Amostra Final por ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor

<b>Autores</b>	<b>Objetivo do Estudo</b>
Al Banna, Ghosh, Taher, Kaiser, and Mahmud (2020)	Detectar emoções em pessoas com TEA durante a pandemia do COVID-19 usando IA.
Farsi, Doctor, Petrovic, Chandran, and Karyotis (2017)	Propor um modelo computacional para identificar se uma criança é diagnosticada com TEA.
Asgari, Van Santen, and Papadakis (2017)	Usar IA para explorar a viabilidade de técnicas baseadas na fala para avaliar automaticamente um teste NWR, um marcador útil para detectar distúrbios de linguagem, voltado para pessoas com TEA.
Bardhan et al. (2016)	Rastrear o TEA em crianças usando dispositivos inteligentes.
Bhuyan, Lu, Ahmed, and Zhang (2017)	Detectar atributos específicos de uma criança com TEA, usando modelos computacionais.

Bowrin and Iqbal (2020)	Avaliar a eficácia de uma intervenção que incorpora tecnologias de agentes conversacionais de IA e técnicas de terapia de ativação comportamental em uma amostra de pessoas com TEA.
Crimi, Doderer, Murino, and Sona (2017)	Construir um modelo autorregressivo para a conectividade estrutural integrando a atividade funcional, diferenciando pessoas saudáveis de pessoas com TEA.
Dawood et al. (2018)	Propor um modelo de computação afetiva para detectar e inferir estados afetivo-cognitivos em tempo real para alunos com e sem TEA.
Liang, Sabri, Alnajjar, and Loo (2021)	Classificar comportamentos autoestimulatórios do TEA usando recursos de coerência temporal e SVM.
Mishra and Pati (2021)	Detectar o TEA usando Recurso Morfométrico de Superfície de sMRI em Aprendizagem de Máquina.
Muty and Azizul (2016)	Propor o desenvolvimento de um framework computacional para automatizar o processo de diagnóstico comportamentos estereotipados em crianças com TEA.
Noriega (2015)	Apoiar o tratamento de pessoas com TEA e outros distúrbios neurológicos com coerência central fraca através de um modelo computacional usando IA.
Noriega (2016)	Usar um modelo computacional que sugere que a coerência central fraca pode ser responsável por uma falha em controlar ou modular a experiência de entradas sensoriais em pessoas com TEA.
Nunes and Aguiar (2020)	Criar um aplicativo para auxiliar crianças com TEA no reconhecimento e uso adequado de expressões faciais para representar as emoções primárias.
Palestra, Carolis, and Esposito (2017)	Propor o tratamento do TEA assistido por robô inteligente.
Pan, Hirokawa, and Suzuki (2015)	Medir a interação facial com base nas características cognitivas humanas através de um sistema usando IA em uma amostra com pessoas com TEA.
Pancerz, Paja, and Gomula (2016)	Usar dados apropriados para construir classificadores mais simples e precisos, usando IA, na detecção do TEA.
Penchina, Sundaresan, Cheong, and Martel (2020)	Propor um classificador de aprendizagem profunda no tratamento de ansiedade em pessoas com TEA.
Rabbi, Hasan, Champa, and Zaman (2021)	Criar um modelo de rede neural convolucional para detecção em estágio inicial do TEA
Saranya and Anandan (2021)	Propor uma técnica de aprendizagem de máquina no prognóstico do TEA.
Shahamiri and Thabtah (2020)	Criar um método de triagem usando IA para classificações pré-diagnósticas precisas, eficiência e acessibilidade do processo de triagem do TEA.
Takçı and Yeşilyurt (2021)	Usar técnicas de aprendizagem de máquina para diagnosticar o TEA.
Thabtah, Kamalov, and Rajab (2018)	Obter características em métodos de triagem comuns de TEA, a fim de alcançar uma triagem eficiente usando IA.
Tummala (2021)	Usar técnicas de aprendizagem de máquina para auxiliar na detecção do TEA a partir de ressonância magnética cerebral.
Vijayan, Janmasree, Kerethana, and Sylva (2018)	Propor um assistente de aprendizagem inteligente baseado em computação cognitiva que poderia fornecer material didático adequado ao identificar uma criança com TEA.
Zhang et al. (2015)	Medir a carga cognitiva experimentada por um indivíduo com TEA enquanto ele dirige em um sistema de direção baseado em realidade virtual usando IA.
Zhao et al. (2019)	Investigar um modelo computacional que permite a comparação sistemática de dados de fenótipo com dados de genótipo com base em técnicas de aprendizado de máquina, em uma amostra de pessoas com TEA.
Zheng et al. (2016)	Fazer intervenção mediada por um robô para a aprendizagem de habilidades de imitação em criança com TEA, usando IA.

### 3.2 Avaliação da qualidade

O procedimento de avaliação da qualidade dos estudos da amostra foi aplicado, seguindo as diretrizes sugeridas por Kitchenham and Charters (2007). Esse procedimento consiste em elaborar questões de avaliação para se obter uma pontuação final para cada artigo. O procedimento de pontuação das questões de avaliação foi de S (sim) = 1, P (parcialmente) = 0.5 e N (não) = 0. Na RSL foi utilizada quatro questões de avaliação (QA) conforme a tabela 4:

Tabela 4: Questões de Avaliação.

Questões	
QA1	Foi utilizada alguma ferramenta para auxiliar a abordagem apresentada?
QA2	Foi apresentada alguma metodologia de desenvolvimento para dar suporte à abordagem apresentada?
QA3	Foi realizado algum tipo de experimento?
QA4	O estudo faz alguma comparação com outras metodologias ou outros estudos?

### 3.3 Condução da RSL

#### 3.3.1 Extração do Dados

Na fase de extração de dados, os estudos foram lidos e analisados através da ferramenta *Mendeley*, um gerenciador de referência e rede social acadêmica. Nesta ferramenta, é possível uma melhor classificação dos estudos com a possibilidade de criação de *tags* e notas que permitem o leitor fazer uma análise mais detalhada e individual dos estudos, registrando informações relevantes para responder as questões de pesquisas definidas.

#### 3.3.2 Síntese dos Dados

A fase de síntese de dados consistiu em, a partir dos dados que foram extraídos, gerar informações que serão apresentadas na terceira e última fase da RSL, referente aos resultados, a Seção 4.

## 4 Resultados e Discussões

Os estudos foram avaliados usando os critérios estabelecidos na Subseção 3.2. A pontuação de cada estudo é apresentada na Tabela 5. Os resultados da análise mostram que a qualidade dos estudos selecionados é elevada, com uma média de 3,4 pontos nos 4 pontos definidos. Apenas três estudos (E4, E5 e E25) obtiveram pontuação inferior à 3 pontos, mas os mesmos foram mantidos na RSL por indicarem possibilidades de trabalhos futuros.

Os países dos autores que produziram os estudos que compõem a amostra também foram levantados para que fosse possível identificar as regiões que mais se dedicam à pesquisa sobre o TEA e IA. A Figura 4 mostra que, de acordo com a amostra coletada para este estudo, os EUA são destaque no que tange a pesquisa na área. Contudo, ainda de acordo com a amostra, percebe-se uma variedade de países que também realizaram pesquisas na área nos últimos anos, ainda que em menor quantidade.

Os dados extraídos foram sintetizados com base na estratégia de extração de dados. Uma

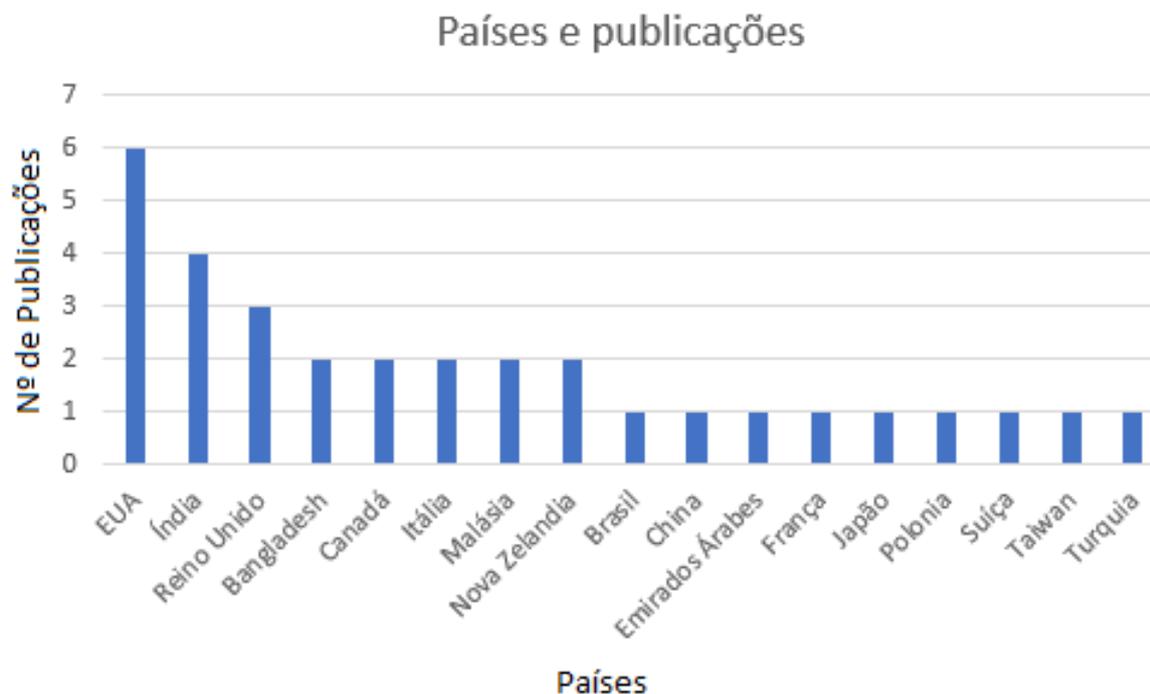


Figura 4: Países dos autores dos estudos da amostra.

nuvem de palavras foi criada a partir de todos os estudos presentes na amostra, conforme a Figura 5, usando a *Wordclouds*, uma ferramenta gratuita e *online*. Onde palavras aparecem com tamanhos relevantes, indicando que são palavras que apareceram com frequência nos estudos. E palavras próximas entre si, indicando, portanto, uma correlação considerando o escopo da área de pesquisa em questão e seu estado da arte.

Observa-se na Figura 5 a incidência dos termos *autism* e *ASD* em tamanho grande, mostrando a forte relação do estudo com o autismo. Além disto, o termo *learning* aparece também em tamanho grande e bem próximo ao termo *autism*, demonstrando forte correlação entre estes termos nos estudos analisados neste trabalho, ou seja, como os trabalhos analisados estão associados a questão do autismo, mas com a preocupação em relação ao aspecto da aprendizagem, ou seja, ao contexto educacional.

O termo *children* surge também em tamanho considerável bem próximo ao termo *autism* e *learning*, o que mostra a forte correlação entre os três termos, e como a maioria dos trabalhos realmente se preocupa com a questão da aprendizagem de pessoas com TEA na infância.

A seguir, os termos *model*, *features*, *method* e *approach* também aparecem bem próximos e em tamanho considerável, o que transparece a forte correlação entre a aprendizagem em crianças com autismo e modelos, métodos e abordagens computacionais.

Os termos *affective*, *facial*, *methods*, *system* e *communication* aparecem próximas, mostrando a existência de estudos que adotam a computação afetiva como técnica para intervenção através da IA.

Tabela 5: Avaliação da qualidade dos estudos da RSL.

Estudos	Título do Estudo	QA1	QA2	QA3	QA4	Total
E1	Farsi et al. (2017)	s	s	s	s	4
E2	Al Banna et al. (2020)	s	s	s	n	3
E3	Asgari et al. (2017)	s	s	s	n	3
E4	Bardhan et al. (2016)	s	s	p	n	2,5
E5	Bhuyan et al. (2017)	s	p	s	n	2,5
E6	Bowrin and Iqbal (2020)	s	s	n	n	2
E7	Crimi et al. (2017)	s	s	s	s	4
E8	Dawood et al. (2018)	s	s	s	s	4
E9	Liang et al. (2021)	s	s	s	s	4
E10	Mishra and Pati (2021)	s	s	s	s	4
E11	Muty and Azizul (2016)	s	s	s	n	3
E12	Noriega (2015)	s	s	s	s	4
E13	Noriega (2016)	s	s	s	s	4
E14	Nunes and Aguiar (2020)	s	s	n	s	3
E15	Palestra et al. (2017)	s	s	s	n	3
E16	Pan et al. (2015)	s	s	s	s	4
E17	Pancerz et al. (2016)	s	s	s	s	4
E18	Penchina et al. (2020)	s	s	s	s	4
E19	Rabbi et al. (2021)	s	s	s	s	4
E20	Saranya and Anandan (2021)	s	s	s	s	4
E21	Shahamiri and Thabtah (2020)	s	s	s	s	4
E22	Takçı and Yeşilyurt (2021)	s	s	s	s	4
E23	Thabtah et al. (2018)	s	s	s	s	4
E24	Tummala (2021)	s	s	s	n	3
E25	Vijayan et al. (2018)	s	s	n	n	2
E26	Zhang et al. (2015)	s	s	s	n	3
E27	Zhao et al. (2019)	s	s	s	n	3
E28	Zheng et al. (2016)	s	s	s	n	3

Prosseguindo a análise, conforme apresenta-se a seguir, a amostra foi dividida em grupos de estudos, no qual cada grupo evidencia um determinado tema principal tratado, todos relacionados com IA: *Técnicas de Detecção, Ferramentas de Apoio, Modelos Computacionais e Teoria Cognitiva*.

#### 4.1 Técnicas de Detecção e Intervenção

Nos casos do TEA, as primeiras manifestações podem acontecer nos primeiros anos de vida da criança. Uma vez que a detecção precoce do TEA e a intervenção adequada podem melhorar a condição de pessoas com TEA, técnicas com esta finalidade têm sido usadas. Por isso, investigou-se a seguinte questão de pesquisa: **Quais técnicas de detecção e intervenção do TEA e que estão relacionadas com a IA são abordadas nos estudos?**

A Figura 6 mostra o número de estudos que foram encontrados no período selecionado para este trabalho e que utilizaram técnicas variadas de aprendizagem de máquina para auxiliar na detecção do autismo e também na intervenção. O aumento significativo de estudos da amostra com a finalidade de detecção do TEA no ano de 2021 indica um significativo interesse no uso da IA com essa finalidade. Dos 28 trabalhos encontrados, oito trataram da detecção e cinco trataram



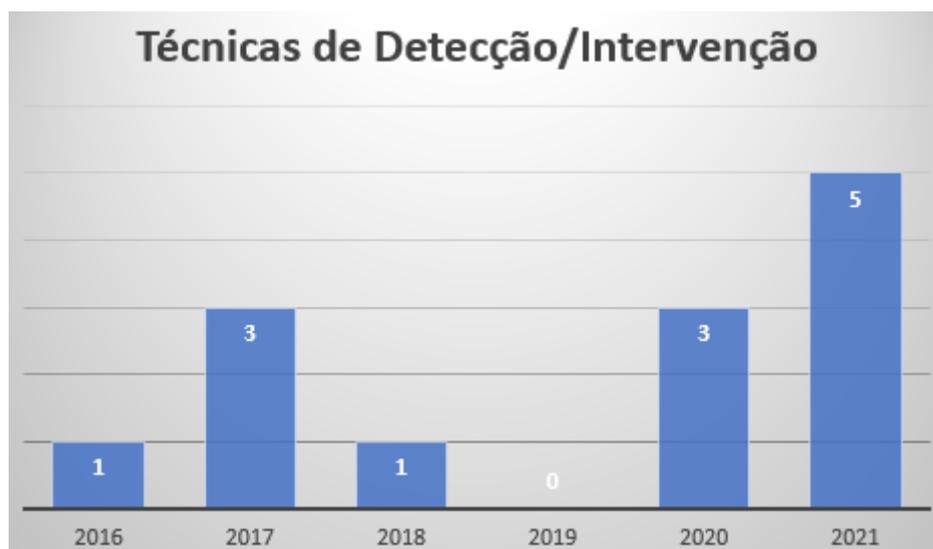


Figura 6: Número de estudos da amostra que trataram sobre Técnicas de Detecção e Intervenção.

por sinais precoces do autismo é uma área de intensa investigação científica (Zanon, 2016). Em Liang et al. (2021), a principal inovação é utilizar a coerência temporal entre quadros adjacentes como supervisão livre e estabelecer uma margem discriminativa global para extrair características de comportamentos autoestimulatórios discriminativos de mudança lenta. Toda esta inovação, além do uso de classificadores como o *K-Means*, usou *Temporal Coherency Deep Networks and Support-Vector Machines (TCDN-SVM)*, uma combinação de recursos de aprendizagem de máquina supervisionada e não supervisionada.

Em Takçı and Yeşilyurt (2021), empregaram-se oito algoritmos de aprendizado de máquina mais proeminentes, com uma avaliação empírica de seus desempenhos no diagnóstico do TEA em quatro conjuntos de dados de referência diferentes, atualizados e originários dos testes de triagem *QCHAT*, *AQ-10-child* e *AQ-10-adult*. Também utilizaram métricas de precisão, sensibilidade, especificidade e precisão de classificação para examinar seus desempenhos. De acordo com os resultados experimentais, os melhores resultados são obtidos com o *C-SVC*, um classificador baseado em uma Máquina de Vetores de Suporte (SVM).

Em Tummala (2021), foi desenvolvida uma ferramenta, utilizando conceitos de *Deep Learning*, mais precisamente, baseada em *Siamese Neural Network (SNN)* e que pode ser usada para diagnóstico de autismo a partir de ressonância magnética. Em Mishra and Pati (2021) foi apresentada uma abordagem de aprendizagem de máquina como *Árvore de Decisão (DT)* e a *Random Forest (RF)* para a detecção de TEA usando características morfométricas de superfície de ressonância magnética estrutural ponderada. Em Saranya and Anandan (2021), apresentou-se o *Worm Optimized Extreme Learning Machines (ELM)* para diagnóstico precoce de TEA. O algoritmo proposto é um algoritmo de aprendizado inteligente que fornece decisões estáveis e precisas para o diagnóstico do TEA.

Em Asgari et al. (2017), criou-se um método para automatizar Pontuação de *Nonword Repetition (NWR)* e aplica técnicas de aprendizado de máquina para prever pontuações fornecidas por patologistas de fala e linguagem em pessoas com TEA. Em Crimi et al. (2017), utilizou-se Máquina de Vetores de Suporte (SVM) para diferenciar sujeitos saudáveis e pacientes jovens com



Figura 7: Técnicas utilizadas nos estudos da amostra.

TEA. Em Thabtah et al. (2018), dois algoritmos de aprendizagem de máquina foram utilizados, derivando sistemas de classificação automatizados com relação à especificidade, sensibilidade, valores preditivos positivos (PPVs), valores preditivos negativos (NPVs) e precisão preditiva na detecção do TEA.

Em Shahamiri and Thabtah (2020), foi proposto um novo sistema de triagem de autismo que substitui as funções convencionais de pontuação em métodos de triagem clássicos usando Redes Neurais Convolucionais (CNN). Em Penchina et al. (2020), foi proposto classificador de aprendizagem profunda usando Rede Neural Recorrente de Curto Prazo (LSTM RNN), capaz de identificar estados de ansiedade em pacientes adolescentes com autismo. Em Bowrin and Iqbal (2020), avaliou-se a eficácia de uma intervenção que incorpora tecnologias de agentes conversacionais de Inteligência Artificial e técnicas de terapia de ativação comportamental voltadas para pessoas com autismo.

No que se refere à IA, abordagens como as detectadas nos estudos da amostra podem auxiliar nessa busca, uma vez que elas permitem classificar e organizar dados, encontrando neles padrões, associações, mudanças e anomalias relevantes, além de possibilitar o fortalecimento da aprendizagem automática. Contudo, comumente, essas técnicas podem ter alto custo computacional. Além disso, a maioria dos estudos teve como público alvo crianças, descartando adolescentes e adultos. Desse modo, as técnicas de detecção do TEA podem se relacionar com IA tendo aumentada a sua exploração futura em pesquisas científicas, visando o baixo custo computacional e uma variedade de público alvo.

## 4.2 Ferramentas de Apoio ao aprendizado de pessoas com TEA

O aprendizado da comunidade autista por meio de abordagens tecnológicas tem se tornado cada vez mais frequente, proporcionando uma metodologia de ensino mais ativa, na qual a pessoa com autismo participa de todo o processo, motivando-a a desenvolver diversas capacidades cognitivas, sensoriais e interacionais, a partir de jogos e brincadeiras lúdicas. Desta forma, o aprendizado torna-se mais atraente e significativo. As ferramentas de apoio podem fomentar esse aprendizado, tornando-o interativo, econômico e simples de usar. Por isso, investigou-se a seguinte questão de pesquisa: **Quais ferramentas relacionadas à IA e que servem de apoio ao TEA são abordadas nos estudos?**

O uso da tecnologia tem se tornado cada vez mais frequente na educação, através de computadores, tablets e brinquedos digitais. A Figura 8 mostra o número de estudos que foram encontrados no período selecionado para este trabalho e que criaram ou propuseram ferramentas de apoio ao TEA. Para isso, os estudos citaram o uso de robôs, *games* e ferramentas de triagem. Apesar do declínio no número de estudos da amostra com a finalidade de ferramentas de apoio ao TEA ao longo dos anos, o número total de estudos na amostra pode indicar um significativo interesse no uso da IA com essa finalidade.

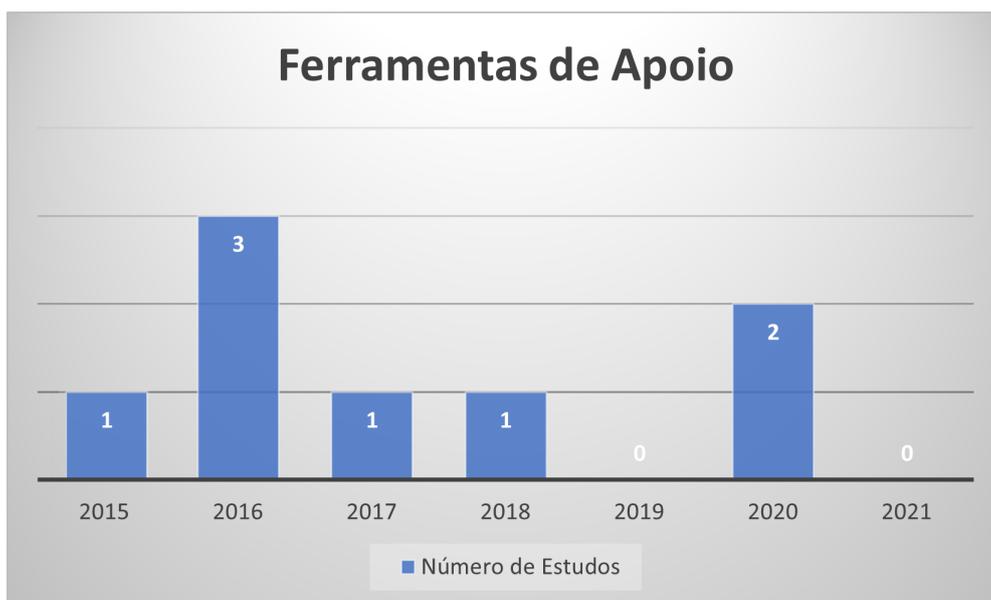


Figura 8: Número de estudos da amostra que trataram sobre Ferramentas de Apoio.

Em Pan et al. (2015), foi implementado um sistema automático baseado na visão que mede a interação facial com base na característica cognitiva humana. Alguns resultados experimentais foram apresentados em Muty and Azizul (2016), que propôs o desenvolvimento de um *framework* computacional para automatizar o processo de diagnóstico de autismo. Em Zheng et al. (2016), um novo sistema de intervenção mediada por robô para aprendizagem de habilidades de imitação, que é considerada uma área de déficit central para crianças com TEA. Em Bardhan et al. (2016), foi proposta uma ferramenta para rastrear o autismo em crianças usando dispositivos inteligentes, informando o usuário, armazenando as respostas em um banco de dados e sugerindo um centro de recursos para confirmação e intervenção.

Em Palestra et al. (2017), foi apresentado um sistema de Inteligência Artificial para tratamento do autismo, assistido por robôs. O robô atua como um mediador social, tentando eliciar comportamentos específicos em crianças com autismo. Em Vijayan et al. (2018), foi proposto um assistente de aprendizagem inteligente baseado em computação cognitiva, usando Redes Neurais, que pode fornecer material didático adequado para alunos com TEA. Em Al Banna et al. (2020), foi proposto um sistema baseado em Inteligência Artificial que usa dados do sensor para monitorar a condição do paciente com TEA durante a pandemia do *COVID-19* e, com base na emoção e na expressão facial do paciente, ajusta o método de aprendizagem por meio de jogos e tarefas. Em Nunes and Aguiar (2020), um aplicativo mobile foi desenvolvido para auxiliar crianças com TEA no reconhecimento e uso adequado de expressões faciais para representar as emoções primárias.

Resultados preliminares nos estudos mostram que essas ferramentas podem atrair a atenção das crianças com TEA e ensinar gestos a elas, podendo servir de apoio a um terapeuta humano, por exemplo. Embora nenhuma conclusão generalizada possa ser feita sobre a eficácia dessas ferramentas de apoio, devido ao número de estudos que tratavam sobre o assunto não ser alto, os resultados iniciais apontados neles são promissores e podem ter sua exploração no futuro ampliada, inclusive para pessoas com autismo que não sejam, necessariamente, de alto funcionamento. Ferramentas que possam servir de fomento para o processo de aprendizagem de pessoas com autismo de baixo funcionamento. Além disso, pesquisas na área da computação voltadas para pessoas com autismo de baixo funcionamento podem ser questões em aberto na área.

### 4.3 Modelos Computacionais

Os modelos computacionais podem trazer representações simplificadas e possibilita a simulação ou entendimento do TEA. Por isso, investigou-se a seguinte questão de pesquisa: **Quais são os modelos computacionais criados ou utilizados, nos estudos, para pessoas com o TEA?**

A Figura 9 mostra o número de estudos que foram encontrados no período selecionado para este trabalho e que criaram ou propuseram modelos computacionais, relacionados com IA e que serviram de apoio ao TEA. Esses estudos abordaram a utilização ou criação de modelos computacionais em temas relacionados ao TEA e mencionaram modelos como *Discriminant SNP Identifier (DSI)*; *Fuzzy* e *STICKMAN*, etc. O número de estudos da amostra que abordaram modelos computacionais foi baixo ao longo dos anos, inclusive com a ausência de estudos no ano de 2020. Contudo, baseando-se na amostra, percebe-se que os autores que abordaram a temática são de distintas comunidades acadêmicas, sugerindo um interesse disseminado no uso e/ou criação de modelos computacionais relacionados a IA.

Em Noriega (2015) foi apresentado um modelo computacional que apoia a noção de que a coerência central fraca, um viés de processamento para características e informações locais, pode ser responsável por anormalidades de percepção por não conseguir controlar problemas sensoriais no autismo. Em Zhao et al. (2019), modelos identificadores de Polimorfismo de Nucleotídeo Único (SNP) permitiram a comparação sistemática entre dados e também abordaram uma análise eficiente de milhões de SNP para selecionar um conjunto que estivesse relacionado à fisiopatologia do TEA e discriminantes entre os subgrupos. Em Dawood et al. (2018), criou-se um modelo de computação afetiva, usando técnicas de aprendizagem, como Rede Neural Convolucional (CNN), para detectar e inferir estados afetivo-cognitivos em tempo real para alunos com e sem TEA.

Em Farsi et al. (2017), usou-se *Fuzzy Cognitive Maps (FCMs)* como recurso, eles tiveram

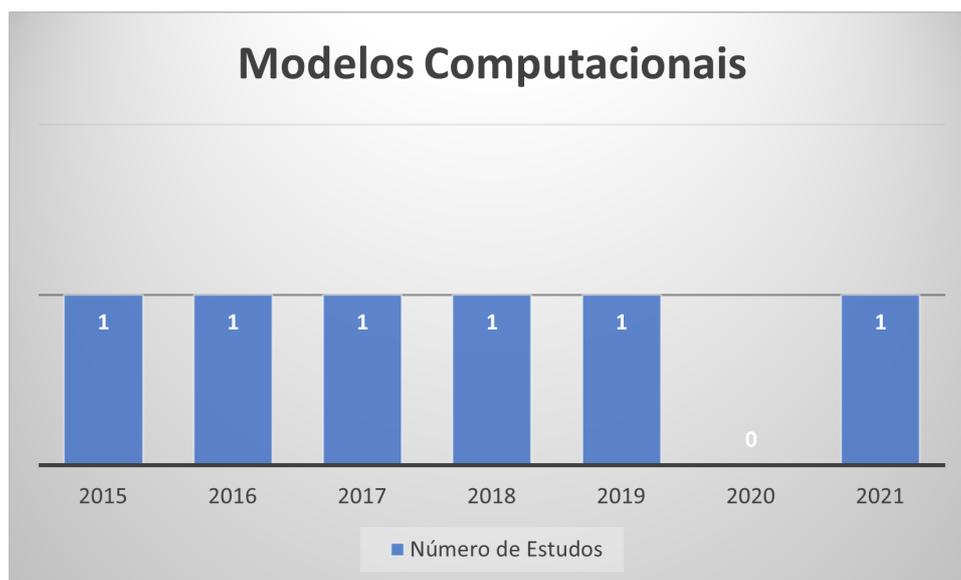


Figura 9: Número de estudos da amostra que trataram sobre Modelos Computacionais.

o objetivo de auxiliar na tomada de decisão dentro de um domínio médico, devido à existência de altos níveis de incerteza. Já o modelo computacional *STICKMAN* foi abordado em Muty and Azizul (2016) como um modelo que permite estimar assimetrias do corpo humano que indicam possíveis características do TEA. Em Rabbi et al. (2021), foram usados cinco algoritmos diferentes para classificar o Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) em crianças: *Multilayer Perceptron (MLP)*, *Random Forest (RF)*, *Gradient Boosting Machine (GBM)*, *AdaBoost (AB)* e *Convolutional Neural Network (CNN)*. A partir disso, um modelo computacional foi proposto para auxiliar na detecção precoce do autismo.

Os estudos encontrados mostraram que os modelos computacionais mencionados podem auxiliar no desenvolvimento de sistemas que objetivam auxiliar na compreensão de áreas complexas como a área relacionada a transtornos como o TEA e outros, em aspectos de diagnósticos, de intervenções, de aprendizagem, etc. Desse modo, os modelos computacionais são interessantes temas de pesquisa científica para serem relacionados com IA.

#### 4.4 Teoria Cognitiva

A Teoria Cognitiva, criada para explicar o desenvolvimento cognitivo humano, pode se relacionar com a computação. Desse modo, a Teoria Cognitiva pode ser promissora para estudar a experiência perceptiva de indivíduos com autismo. Por isso, investigou-se a seguinte questão de pesquisa: **O que os estudos falam sobre a Teoria Cognitiva, associadas com o TEA e relacionadas com IA?**

A Figura 10 mostra o número de estudos que foram encontrados no período selecionado para este trabalho e que trataram sobre a Teoria Cognitiva, relacionados com IA e TEA. Apesar do baixo número de estudos que abordaram o tema, relacionando-o com IA, a principal contribuição da Teoria Cognitiva é permitir que o nível de compreensão sobre como as pessoas aprendem seja aumentado, partindo do princípio de que essa aprendizagem é resultado da construção de um

esquema de representações mentais que se dá a partir da participação ativa do sujeito. Isso resulta no processamento de informações que serão internalizadas e transformadas em conhecimento. Desse modo, percebe-se que a temática apesar de muito potencial, tem a real necessidade de mais pesquisas e produções científicas nessa para se relacionar IA, uma vez que a quantidade de estudos na área não é expressiva.



Figura 10: Número de estudos da amostra que trataram sobre a Teoria Cognitiva.

Em Zhang et al. (2015) abordagens de IA, como Máquina de Vetores de Suporte (SVM) e Redes Neurais foram usadas para medir a carga cognitiva experimentada por um indivíduo com TEA enquanto ele dirige em um sistema de direção baseado em Realidade Virtual. Em Noriega (2016) uma série de algoritmos é proposta para codificar as interações auditivo-visuais por meio de funções, que modelam as interações neurais laterais que reforçam ou enfraquecem a aprendizagem em um mapa auto-organizado para pessoas com TEA. O estudo realizado por Noriega (2015), apesar do foco na apresentação de um modelo computacional, apoia a teoria da fraca coerência central e pode ser considerado um estudo relevante para a Teoria Cognitiva.

## 5 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O trabalho coletou e analisou artigos de pesquisa que abordaram o TEA considerando aplicações de IA para o desenvolvimento de tecnologias no âmbito do diagnóstico e de intervenções educacionais e comportamentais, com o objetivo de detectar tendências, padrões, lacunas e oportunidades de pesquisa, proporcionando uma visão detalhada deste campo de pesquisa em um período de 6 anos. Considerando os critérios, foram encontrados e analisados 28 estudos publicados a partir do ano de 2015 até o ano de 2021, com objetivo de obter um panorama mais atual sobre o tema. Observou-se que no campo educacional e na qualidade de vida de crianças com autismo, configura-se um novo desafio e necessidade o desenvolvimento de tecnologias para apoiar-las, visando diminuir o prejuízo nesses campos.

A partir da análise de resultados realizada neste trabalho, pode-se perceber que a área de pesquisa sobre técnicas de detecção do TEA relacionadas com IA têm sido exploradas porém ainda timidamente. Contudo, o uso de modelos computacionais para simulação ou entendimento do TEA, abordagens que envolvam teoria cognitiva e, especificamente, a construção de ferramentas de apoio para pessoas já diagnosticadas com autismo e que requerem um ambiente que fomente aspectos como aprendizado, comunicação e interação social, podem ser consideradas áreas de pesquisa deficitárias no estado da arte de acordo com os trabalhos encontrados, no que tange tecnologias voltadas para pessoas com autismo.

Os estudos permitem concluir que detectar e intervir no autismo o quanto antes é essencial. Contudo, a maioria dos métodos existentes para detecção de autismo precocemente não é viável devido aos seus extensos custos computacionais. E, ainda assim, embora haja estudos com pesquisas que se concentrem em melhorar déficits de comunicação nas populações de TEA, há pouca ênfase dedicada à melhoria de habilidades relevantes para adolescentes e adultos, concentrando em crianças.

Conclui-se também que o número de estudos que constroem ferramentas de apoio para o TEA mostra uma grande oscilação numérica com tendência ao decréscimo do número de estudos, podendo ser considerada uma área de pesquisa deficitária. Os resultados apontam que existem questões em aberto para pessoas com autismo que não sejam, necessariamente, de alto funcionamento, por exemplo: o desenvolvimento de tecnologias que fomentem o processo de aprendizagem de pessoas com autismo de baixo funcionamento; pesquisas na área da computação voltadas para pessoas com autismo de baixo funcionamento. Nos estudos que envolveram diretamente o campo educacional, os níveis de aprendizagem não foram especificados. Contudo, por serem voltados para crianças que costumeiramente estão nos níveis da pré-escola e fundamental, significando uma oportunidade de pesquisa o direcionamento de estudos para níveis de aprendizagem como médio, superior e profissional.

Os estudos que abordam modelos computacionais tanto para uso quanto para novas criações visando uma resposta rápida e adequada no tratamento de pessoas com TEA e estudos que abordam a Teoria Cognitiva, indicam áreas de pesquisa deficitárias. Contudo, tais áreas significam também lacunas para novas pesquisas científicas.

Ainda, como sugestões de trabalhos futuros nessa linha de pesquisa, pode-se considerar estudos que visem a utilização de técnicas com baixos custos computacionais, sendo esta uma dificuldade percebida nos estudos. Além disso, sugere-se também estudos que fomentem não somente a detecção do autismo, mas que fomentem também, através de tecnologias, o aprendizado, a comunicação e a interação social de pessoas com autismo, com abordagens voltadas não apenas para crianças, mas também adolescentes e adultos, visto que poucos estudos da amostra estavam voltados para este público.

## **Agradecimento**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) - DEMANDA UNIVERSAL Processo: APQ-00837-21.

## Referências

- Al Banna, M. H., Ghosh, T., Taher, K. A., Kaiser, M. S., & Mahmud, M. (2020). A monitoring system for patients of autism spectrum disorder using artificial intelligence. In *International conference on brain informatics* (pp. 251–262). doi: [10.1007/978-3-030-59277-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59277-6_23) [GS Search]
- APA, A. P. A. (2014). *Dsm-5: Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais*. Artmed Editora. [GS Search]
- Asgari, M., Van Santen, J., & Papadakis, K. (2017). Automatic scoring of a nonword repetition test. *Proceedings - 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2017, 2017-Decem(3)*, 304–308. doi: [10.1109/ICMLA.2017.0-143](https://doi.org/10.1109/ICMLA.2017.0-143) [GS Search]
- Augusto, D. A. (2015). *Entenda o que são modelos computacionais e como o siss-geo os utiliza*. Retrieved from <https://www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/aplicativo-siss-geo-apresenta-resultados-de-participa%C3%A7%C3%B5es-partir-do-lan%C3%A7amento-em-2015>
- Baker, R., Isotani, S., & Carvalho, A. (2011, xx xx). Mineração de Dados Educacionais: Oportunidades para o Brasil. *Revista Brasileira de Informática na Educação, 19(02)*, xx. doi: [10.5753/RBIE.2011.19.02.03](https://doi.org/10.5753/RBIE.2011.19.02.03) [GS Search]
- Bardhan, S., Mridha, G. M. M., Ahmed, E., Ullah, M. A., Ahmed, H. U., Akhter, S., ... Mamun, K. A. A. (2016). Autism Barta - A smart device based automated autism screening tool for Bangladesh. *2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision, ICIEV 2016*, 602–607. doi: [10.1109/ICIEV.2016.7760073](https://doi.org/10.1109/ICIEV.2016.7760073) [GS Search]
- Bhuyan, F., Lu, S., Ahmed, I., & Zhang, J. (2017). Predicting efficacy of therapeutic services for autism spectrum disorder using scientific workflows. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017, 2018-Janua*, 3847–3856. doi: [10.1109/Big-Data.2017.8258388](https://doi.org/10.1109/Big-Data.2017.8258388) [GS Search]
- Bowrin, P., & Iqbal, U. (2020). Strengthening behavior and social functioning among persons with autism spectrum conditions using artificial intelligence and behavioral activation: Protocol for the well-being and health for loved ones with asd (whole) psychosocial pilot randomized controlled trial. In *Digital personalized health and medicine* (pp. 1399–1400). IOS Press. doi: [10.3233/SHTI200461](https://doi.org/10.3233/SHTI200461) [GS Search]
- Brasil (2008). Parâmetros curriculares nacionais - Terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental - Matemática. *Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental*. [GS Search]
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. In L. E. Associates (Ed.), *Cognition and instruction* (p. 292-332). Taylor and Francis. doi: [10.1207/s1532690xci0804\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2) [GS Search]
- Clark, C. R., Nguyen, F., & Sweller, J. (2005). *Efficiency in learning - evidence-based guidelines to manage cognitive load*. San Francisco, CA, USA: Wiley. doi: [doi.org/10.1002/pfi.4930450920](https://doi.org/10.1002/pfi.4930450920) [GS Search]
- Crimi, A., Doderò, L., Murino, V., & Sona, D. (2017). Case-control discrimination through effective brain connectivity. *Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging*, 970–973. doi: [10.1109/ISBI.2017.7950677](https://doi.org/10.1109/ISBI.2017.7950677) [GS Search]
- Dantas, A. C., de Melo, S., Neves, L., Milessi, T., & do Nascimento, M. Z. (2019). Michelzinho: Jogo sério para o ensino de habilidades emocionais em pessoas com autismo ou deficiência

- intelectual. In *Brazilian symposium on computers in education (simpósio brasileiro de informática na educação-sbie)* (Vol. 30, p. 644). doi: [10.5753/cbie.sbie.2019.644](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2019.644) [GS Search]
- Dawood, A., Turner, S., & Perepa, P. (2018). Affective computational model to extract natural affective states of students with asperger syndrome (AS) in computer-based learning environment. *IEEE Access*, 6, 67026–67034. doi: [10.1109/ACCESS.2018.2879619](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879619) [GS Search]
- Deliberato, D., Gonçalves, M. d. J., & Macedo, E. C. d. (2009). Comunicação alternativa: teoria, prática, tecnologias e pesquisa. *São Paulo: Memnon*. [GS Search]
- Farsi, A. A., Doctor, F., Petrovic, D., Chandran, S., & Karyotis, C. (2017). Interval valued data enhanced fuzzy cognitive maps: Towards an approach for autism deduction in toddlers. In *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-IEEE)* (p. 1-6). doi: [10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015702](https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015702) [GS Search]
- Ghahramani, Z. (2003). Unsupervised learning. In *Summer school on machine learning* (pp. 72–112). doi: [10.1007/978-3-540-28650-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-28650-9_5) [GS Search]
- Kautzmann, T. (2015). Um modelo de agente pedagógico para o treinamento adaptativo da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento em sistemas tutores inteligentes. *Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada*. doi: [10.5753/cbie.wcbie.2016.51](https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2016.51) [GS Search]
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. [GS Search]
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. [GS Search]
- Lakomy, A. M. (2008). Teorias cognitivas da aprendizagem. *São Paulo: IBPEX*. [GS Search]
- Lara, C. J. G.-M. J., A. C. M.; Espinoza (2016). A fast automated diagnosis system for autism spectrum disorders based on eye tracking technology. doi: [10.13140/RG.2.2.32220.28809](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32220.28809) [GS Search]
- Liang, S., Sabri, A. Q. M., Alnajjar, F., & Loo, C. K. (2021). Autism spectrum self-stimulatory behaviors classification using explainable temporal coherency deep features and svm classifier. *IEEE Access*, 9, 34264-34275. doi: [10.1109/ACCESS.2021.3061455](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061455) [GS Search]
- Lima, B. R. (2021). Desenvolvimento de aplicativo de inteligência artificial para estímulo e aprendizagem de autistas para melhora na comunicação: Estudo de caso apae arujá e poá. *Revista Computação Aplicada-UNG-Ser*, 9(1), 5–9. doi: [10.33947/2316-7394-v9n1-3527](https://doi.org/10.33947/2316-7394-v9n1-3527) [GS Search]
- Mason, R. (2012). *Designing introductory programming courses: the role of cognitive load*. Unpublished doctoral dissertation, Southern Cross University, Lismore, AU. [GS Search]
- Mellit, A., & Kalogirou, S. A. (2008). Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5), 574 - 632. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128508000026>
- Mishra, M., & Pati, U. C. (2021). Autism spectrum disorder detection using surface morphometric feature of smri in machine learning. In *2021 8th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC)* (p. 17-20). doi: [10.1109/ICSCC51209.2021.9528240](https://doi.org/10.1109/ICSCC51209.2021.9528240) [GS Search]
- Muty, N., & Azizul, Z. (2016). Detecting arm flapping in children with Autism Spectrum Di-

- sorder using human pose estimation and skeletal representation algorithms. *4th IGNITE Conference and 2016 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Application, ICAICTA 2016*, 1–6. doi: [10.1109/ICAICTA.2016.7803118](https://doi.org/10.1109/ICAICTA.2016.7803118) [GS Search]
- Noriega, G. (2015). A Neural Model to Study Sensory Abnormalities and Multisensory Effects in Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(2), 199–209. doi: [10.1109/TNSRE.2014.2363775](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2014.2363775) [GS Search]
- Noriega, G. (2016). Encoding auditory-visual interactions in a neural model of sensory abnormalities in autism. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2016-October*, 2680–2686. doi: [10.1109/IJCNN.2016.7727535](https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727535) [GS Search]
- Nunes, G. M., & Aguiar, Y. P. C. (2020). Emotismo: Um aplicativo para auxiliar crianças no espectro autista a reconhecer e reproduzir emoções. In *Anais do xxxi simpósio brasileiro de informática na educação* (pp. 692–701). doi: [10.5753/cbie.sbie.2020.692](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.692) [GS Search]
- Onzi, F. Z., & Gomes, R. F. (2015). *Transtorno do espectro autista: a importância do diagnóstico e reabilitação* (third ed., Vol. 12). Lajeado: Caderno pedagógico. [GS Search]
- Palestra, G., Carolis, B. D., & Esposito, F. (2017). Artificial intelligence for robot-assisted treatment of autism. In D. Impedovo & G. Pirlo (Eds.), *Proceedings of the workshop on artificial intelligence with application in health co-located with the 16th international conference of the italian association for artificial intelligence (ai\*ia 2017), bari, italy, november 14, 2017* (Vol. 1982, pp. 17–24). CEUR-WS.org. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-1982/paper3.pdf> [GS Search]
- Pan, Y., Hirokawa, M., & Suzuki, K. (2015). Measuring K-degree facial interaction between robot and children with autism spectrum disorders. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2015-Novem*, 48–53. doi: [10.1109/RO-MAN.2015.7333683](https://doi.org/10.1109/RO-MAN.2015.7333683) [GS Search]
- Pancerz, K., Paja, W., & Gomula, J. (2016). Random forest feature selection for data coming from evaluation sheets of subjects with ASDs. *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2016*, 8, 299–302. doi: [10.15439/2016F274](https://doi.org/10.15439/2016F274) [GS Search]
- Penchina, B., Sundaresan, A., Cheong, S., & Martel, A. (2020). Deep lstm recurrent neural network for anxiety classification from eeg in adolescents with autism. In *International conference on brain informatics* (pp. 227–238). doi: [10.1007/978-3-030-59277-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59277-6_21) [GS Search]
- Pontes, A. N., Cerqueira, T. M. G., Lima, N. M. L., de Brum, E. H. M., & Brunoni, D. (2020). Triagem do transtorno do espectro do autismo em escolares: uso da inteligência artificial. *MEMNON EDIÇÕES CIENTÍFICAS LTDA.*, 51. [GS Search]
- Proença, M. F. R., de Moraes Filho, I. M., Santos, C. C. T., Rodrigues, T. P. R., Cangussu, D. D. D., & de Souto, O. B. (2019). A tecnologia assistiva aplicada aos casos de transtorno do espectro do autismo (tea). *Revista Eletrônica Acervo Saúde*(31), e541–e541. doi: [10.25248/reas.e541.2019](https://doi.org/10.25248/reas.e541.2019) [GS Search]
- Rabbi, M. F., Hasan, S. M. M., Champa, A. I., & Zaman, M. A. (2021). A convolutional neural network model for early-stage detection of autism spectrum disorder. In *2021 international conference on information and communication technology for sustainable development (icict4sd)* (p. 110–114). doi: [10.1109/ICICT4SD50815.2021.9397020](https://doi.org/10.1109/ICICT4SD50815.2021.9397020) [GS Search]
- Rapin, I., & Tuchman, R. F. (2009). Onde estamos: Visão geral e definições. *Autismo: Abordagem*

- Neurobiológica. Porto Alegre: Artmed.* Retrieved from <http://docplayer.com.br/1589268-Onde-estamos-visao-geral-e-definicoes.html> [Acessado em: Setembro de 2021]
- Richit, L. A., Kobiyama, M., & Silva, R. V. d. (2017). Uma revisão de modelos computacionais (softwares) para a simulação de fluxo de detritos. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico].*[Porto Alegre: ABRH, 2017]. [GS Search]
- Saranya, A., & Anandan, R. (2021). Autism spectrum prognosis using worm optimized extreme learning machine (woem) technique. In *2021 international conference on advance computing and innovative technologies in engineering (icacite)* (p. 636-641). doi: [10.1109/ICA-CITE51222.2021.9404729](https://doi.org/10.1109/ICA-CITE51222.2021.9404729) [GS Search]
- Seffrin, H., Rubi, G. L., & Jaques, P. A. (2013). Uma Rede Bayesiana aplicada à Modelagem do Conhecimento Algébrico do Aprendiz. In M. C. C. Baranauskas, R. Bonacin, M. A. F. Borges, & C. G. da Silva (Eds.), *Simpósio brasileiro de informática na educação* (pp. 597–606). Campinas: SBC. doi: [10.5753/CBIE.SBIE.2013.597](https://doi.org/10.5753/CBIE.SBIE.2013.597) [GS Search]
- Shahamiri, S. R., & Thabtah, F. (2020). Autism AI: a New Autism Screening System Based on Artificial Intelligence. *Cognitive Computation*, *12*(4), 766–777. doi: [10.1007/s12559-020-09743-3](https://doi.org/10.1007/s12559-020-09743-3) [GS Search]
- Simão, L. M. (2002). *Noção de objeto, concepção de sujeito: Freud, piaget e boesch*. Casa do Psicólogo. [GS Search]
- Takçı, H., & Yeşilyurt, S. (2021). Diagnosing autism spectrum disorder using machine learning techniques. In *2021 6th international conference on computer science and engineering (ubmk)* (p. 276-280). doi: [10.1109/UBMK52708.2021.9558975](https://doi.org/10.1109/UBMK52708.2021.9558975) [GS Search]
- Thabtah, F., Kamalov, F., & Rajab, K. (2018). A new computational intelligence approach to detect autistic features for autism screening. *International Journal of Medical Informatics*, *117*, 112-124. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386505618300546>
- Tummala, S. (2021). Deep learning framework using siamese neural network for diagnosis of autism from brain magnetic resonance imaging. In *2021 6th international conference for convergence in technology (i2ct)* (p. 1-5). doi: [10.1109/I2CT51068.2021.9418143](https://doi.org/10.1109/I2CT51068.2021.9418143) [GS Search]
- Vijayan, A., Janmasree, S., Keerthana, C., & Syla, L. B. (2018). A Framework for Intelligent Learning Assistant Platform Based on Cognitive Computing for Children with Autism Spectrum Disorder. *2018 International CET Conference on Control, Communication, and Computing, IC4 2018*, 361–365. doi: [10.1109/CETIC4.2018.8530940](https://doi.org/10.1109/CETIC4.2018.8530940) [GS Search]
- Zanon, A. B. C., Regina Basso (2016). Bases teóricas do desenvolvimento pré-linguístico: Implicações para o diagnóstico precoce do autismo. *Departamento de Psicologia do Desenvolvimento e da Personalidade Núcleo de Estudos e Pesquisas em Transtornos do Desenvolvimento (NIEPED) Universidade Federal do Rio Grande do Sul–UFRGS, RS*, 33. doi: [10.5902/1984686X41167](https://doi.org/10.5902/1984686X41167) [GS Search]
- Zhang, L., Wade, J., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2015). Cognitive state measurement from eye gaze analysis in an intelligent virtual reality driving system for autism intervention. *2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII 2015*, 532–538. doi: [10.1109/ACII.2015.7344621](https://doi.org/10.1109/ACII.2015.7344621) [GS Search]
- Zhao, J., Nguyen, T., Kopel, J., Koob, P. B., Adieroh, D. A., & Obafemi-Ajayi, T. (2019). Genotype Combinations Linked to Phenotype Subgroups in Autism Spectrum Disorders.

*2019 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology, CIBCB 2019*. doi: [10.1109/CIBCB.2019.8791461](https://doi.org/10.1109/CIBCB.2019.8791461) [GS Search]

Zheng, Z., Young, E. M., Swanson, A. R., Weitlauf, A. S., Warren, Z. E., & Sarkar, N. (2016). Robot-Mediated Imitation Skill Training for Children with Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(6), 682–691. doi: [10.1109/TNSRE.2015.2475724](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2475724) [GS Search]