

Computação Criativa e Inclusão na Educação: Aprendizagem Interativa com Interfaces Tangíveis

Alisson Lima , Leandro Soares Guedes

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS)
Laboratório de Inovação e Acessibilidade (LIA)
Aquidauana – MS – Brasil

alisson.lima2@estudante.ifms.edu.br,
leandro.guedes@ifms.edu.br

Abstract. *This paper investigates the use of creative computing, tangible interfaces, and pedagogical mediation as a strategy to promote accessibility in activities aimed at learning computational concepts by individuals with intellectual disabilities. The study adopts a qualitative and quantitative approach and was conducted in a real educational setting through workshops using Scratch and Makey Makey, with continuous adaptation of activities and interfaces. The results indicate progressive improvements in performance, including reduced response time, fewer errors, and increased participant autonomy. The analysis shows that the combination of physical manipulation, iterative design, and mediation supports the understanding of cause-and-effect relationships and enhances engagement. As contributions, the study systematizes an iterative adaptation process, presents empirical evidence, and discusses implications for the design of accessible educational technologies.*

Resumo. *Este artigo investiga a integração entre computação criativa, interfaces tangíveis e mediação pedagógica como estratégia para promover acessibilidade em atividades de aprendizagem de conceitos computacionais por pessoas com deficiência intelectual. A pesquisa, de natureza qualitativa e quantitativa, foi conduzida em contexto educacional real por meio de oficinas utilizando Scratch e Makey Makey, com adaptação contínua das atividades e interfaces. Os resultados indicam melhorias progressivas no desempenho, com redução no tempo de resposta, diminuição de erros e aumento da autonomia dos participantes. A análise evidencia que a combinação entre manipulação física, design iterativo e mediação favorece a compreensão de relações de causa e efeito e amplia o engajamento. Como contribuições, o estudo sistematiza um processo de adaptação iterativa, apresenta evidências empíricas e discute implicações para o design de tecnologias educacionais acessíveis.*

1. Introdução

O ensino de computação tem se expandido para diferentes contextos educacionais, incluindo iniciativas voltadas à inclusão de pessoas com deficiência intelectual. Nesse cenário, abordagens baseadas em programação por blocos, como o Scratch [Maloney et al. 2008], têm sido amplamente utilizadas por reduzirem barreiras de entrada e favorecerem a criação de projetos interativos. Fundamentado em princípios como *low floor, wide walls* e *high ceiling* [Brennan and Resnick 2012, Kafai and Burke 2015],

o Scratch tem demonstrado potencial para apoiar o desenvolvimento do pensamento computacional [Rodriguez et al. 2015]. No entanto, mesmo com essas características, a interação predominantemente baseada em tela ainda pode impor desafios relacionados à abstração e à acessibilidade cognitiva [Machado 2023], especialmente em contextos de deficiência intelectual.

Como alternativa, pesquisas em Interação Humano-Computador têm explorado o uso de interfaces tangíveis, que integram manipulação física e controle digital no mesmo artefato [Shaer and Hornecker 2010]. Ao ancorar a interação em experiências corporificadas, conforme discutido por [Dourish 2004], essas interfaces podem favorecer a compreensão de relações de causa e efeito e reduzir a dependência de representações simbólicas abstratas. Em contextos educacionais inclusivos, a combinação entre materiais manipuláveis, tecnologias interativas e abordagens baseadas em prototipação tem mostrado potencial para ampliar o engajamento e a participação [Honey and Kanter 2013, de Alencar 2023, da Silva Ferry 2023]. Apesar desses avanços, ainda há uma lacuna na literatura quanto à integração sistemática entre computação criativa, interfaces tangíveis e mediação pedagógica em contextos educacionais reais, bem como na análise empírica estruturada de seus impactos em termos de interação e aprendizagem.

Este trabalho investiga a integração entre computação criativa, interfaces tangíveis e mediação pedagógica em um contexto educacional real, em parceria com uma unidade da APAE. A partir da realização de oficinas com uso do Scratch e do Makey Makey, foram desenvolvidas e adaptadas atividades baseadas na manipulação de objetos físicos, com ajustes contínuos orientados pelas interações dos participantes.

Como contribuições, este estudo apresenta: (i) a sistematização de um processo de adaptação iterativa de interfaces e atividades em contexto inclusivo; (ii) uma análise empírica, baseada em dados qualitativos e quantitativos, sobre desempenho e padrões de interação; e (iii) a discussão de implicações para o design de tecnologias educacionais acessíveis em cenários reais.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados sobre computação criativa, interfaces tangíveis e tecnologias voltadas à deficiência intelectual. A Seção 3 descreve a metodologia adotada, incluindo contexto, participantes e desenho das atividades. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos nas oficinas. A Seção 5 discute os principais achados à luz da literatura. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

2.1. A plataforma Scratch e a promoção da computação criativa

A programação por blocos tem sido amplamente utilizada para reduzir barreiras de entrada no ensino de computação, especialmente em contextos educacionais diversos. Nesse cenário, o Scratch destaca-se como uma plataforma voltada à aprendizagem criativa, permitindo o desenvolvimento de projetos interativos por meio de estruturas visuais baseadas em eventos, condições e variáveis [Maloney et al. 2008]. Seu design fundamenta-se em princípios como *low floor*, *wide walls* e *high ceiling*, favorecendo tanto o acesso inicial quanto a progressão em complexidade, além de estimular criatividade e resolução de problemas [Brennan and Resnick 2012, Kafai and Burke 2015].

Estudos indicam que o Scratch contribui para o desenvolvimento do pensamento computacional ao estimular habilidades como sequenciação lógica, abstração e depuração [Rodriguez et al. 2015]. Essas abordagens, frequentemente alinhadas ao construcionismo [Papert 1980], têm demonstrado potencial para engajar estudantes em processos ativos de construção de conhecimento [Oliveira and Marques 2024, Silva and Pereira 2023]. Em contextos inclusivos, a integração entre programação por blocos e atividades práticas tem sido explorada como forma de ampliar a participação e reduzir barreiras cognitivas [Brito et al. 2018].

Apesar desses avanços, a interação exclusivamente digital ainda pode impor desafios relacionados à abstração e à acessibilidade cognitiva, especialmente para estudantes com deficiência intelectual [Machado 2023], indicando a necessidade de integrar essas plataformas a formas de interação mais concretas e sensoriais.

2.2. Interfaces tangíveis como suporte à aprendizagem inclusiva

As interfaces tangíveis têm sido investigadas na IHC como uma abordagem que aproxima a manipulação física de objetos da interação com sistemas digitais, permitindo que elementos concretos atuem simultaneamente como representação e controle [Shaer and Hornecker 2010]. Ao ancorar a interação em experiências corporificadas, essas interfaces reduzem a dependência de abstrações simbólicas e favorecem processos de aprendizagem baseados na ação [Dourish 2004].

A literatura indica que a manipulação direta de objetos físicos pode facilitar a compreensão de conceitos abstratos e reforçar relações de causa e efeito, especialmente em contextos educacionais inclusivos [Shaer and Hornecker 2010]. Esse tipo de interação está alinhado à cognição incorporada, na qual o conhecimento emerge da relação entre corpo, ambiente e artefatos [Dourish 2004].

No campo da acessibilidade, tecnologias tangíveis têm sido exploradas como alternativa às interfaces baseadas em tela, ampliando a participação de pessoas com deficiência em atividades educacionais mediadas por tecnologia [Bouck 2016]. Abordagens que integram cultura maker, materiais manipuláveis e prototipação iterativa também têm demonstrado potencial para promover experiências mais inclusivas [Honey and Kanter 2013, de Alencar 2023, da Silva Ferry 2023]. Estudos recentes também evidenciam o uso de sistemas multisensoriais interativos como estratégia para ampliar engajamento e acessibilidade em diferentes contextos, incluindo ambientes educacionais e culturais [Guedes et al. 2023, Guedes et al. 2025].

Apesar desses avanços, ainda há lacunas na compreensão de como diferentes configurações de interfaces tangíveis impactam a aprendizagem em contextos reais, especialmente no que se refere à acessibilidade cognitiva e à mediação pedagógica.

2.3. Aplicações de tecnologias criativas para pessoas com deficiência intelectual

O uso de tecnologias criativas em contextos de deficiência intelectual tem sido investigado como forma de promover engajamento, expressão e participação ativa. A combinação de atividades práticas, materiais manipuláveis e tecnologias interativas pode favorecer a construção de significado e a autonomia dos participantes [Rana and Ahmad 2021].

Na IHC, diferentes iniciativas têm explorado interfaces tangíveis e multisensoriais para apoiar a aprendizagem e a interação de pessoas com deficiência intelectual,

destacando a importância da adaptação contínua, da participação ativa e do suporte mediado [Bircanin et al. 2021, Ellis et al. 2021]. Essas abordagens frequentemente envolvem prototipação iterativa e uso de materiais acessíveis para reduzir barreiras de interação. Trabalhos recentes também têm explorado a integração entre computação criativa, materiais físicos e mediação pedagógica, evidenciando o papel da flexibilidade e da adaptação contínua no design de experiências inclusivas [Guedes et al. 2024a, Guedes et al. 2024b].

Além disso, investigações sobre tecnologias educacionais e assistivas têm apontado para a importância da inclusão digital e da articulação entre dimensões técnicas, pedagógicas e sociais no desenvolvimento de sistemas acessíveis [Figueiredo et al. 2019, Carneiro and Costa 2017, Santos et al. 2022]. Nesse contexto, a mediação humana emerge como elemento central para viabilizar a interação e promover a aprendizagem, em consonância com perspectivas sociointeracionistas [Vygotsky 1978, Vygotsky 1984]. Estudos também têm explorado o uso de tecnologias educacionais interativas em diferentes perfis de usuários, incluindo pessoas com deficiência intelectual e autismo, reforçando a importância de abordagens adaptativas e centradas no usuário [Caceres et al. 2025, Silva et al. 2025].

Adicionalmente, abordagens iterativas de design reforçam a importância de adaptar continuamente as interfaces com base na observação das interações dos usuários, destacando o papel do design centrado no usuário no desenvolvimento de soluções inclusivas [Guerreiro et al. 2020].

Diante desse cenário, embora existam avanços no uso de computação criativa, interfaces tangíveis e tecnologias assistivas, ainda há lacunas na integração sistemática desses elementos em contextos educacionais reais, especialmente no que se refere à articulação entre design, mediação pedagógica e análise empírica estruturada.

3. Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de natureza qualitativa e quantitativa, conduzida como um estudo exploratório em contexto educacional real, em parceria com uma unidade da APAE (Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais). O objetivo foi investigar estratégias para tornar atividades de computação mais acessíveis a pessoas com deficiência intelectual. A pesquisa foi estruturada a partir da realização de oficinas presenciais e de um processo contínuo de adaptação das atividades e das interfaces utilizadas, orientado pelas dificuldades observadas durante as interações.

A abordagem adotada combinou coleta de dados qualitativos e quantitativos, buscando compreender tanto o desempenho dos participantes quanto os padrões de interação emergentes ao longo das oficinas. O foco central não esteve apenas na aplicação de uma solução previamente definida, mas no processo de construção e refinamento das atividades, com ênfase na acessibilidade, na mediação pedagógica e na adequação das interfaces.

3.1. Contexto e participantes

Durante o período de um ano, o projeto contou com a participação de 26 estudantes, considerando a disponibilidade e interesse nas atividades propostas. Os participantes

tinham idades entre 18 e 45 anos e apresentavam diferentes níveis de autonomia, comunicação e habilidades motoras.

Antes do início das oficinas, foi realizado um diagnóstico inicial com o objetivo de identificar características relevantes para o planejamento das atividades, incluindo capacidade de atenção, coordenação motora fina, nível de independência em tarefas e familiaridade com tecnologias digitais. Esse levantamento subsidiou tanto o desenho das atividades quanto as decisões relacionadas às interfaces utilizadas, contribuindo para a redução de barreiras cognitivas e motoras desde as etapas iniciais.

As atividades foram conduzidas ao longo de múltiplas visitas à instituição, o que possibilitou acompanhar a evolução dos participantes em diferentes momentos e realizar ajustes progressivos nas estratégias pedagógicas e tecnológicas adotadas.

3.2. Design das atividades e processo de adaptação

O ambiente de aprendizagem foi concebido a partir da integração entre programação por blocos (Scratch), interfaces tangíveis (Makey Makey) e materiais físicos manipuláveis. As atividades foram planejadas com caráter lúdico e contextualizado, abordando temas do cotidiano, com o objetivo de favorecer o engajamento e facilitar a compreensão.

A configuração das interfaces e dos materiais foi definida de forma progressiva ao longo das oficinas, a partir de um processo contínuo de adaptação. As decisões de design foram orientadas pelas dificuldades observadas durante as interações, buscando ajustar tanto os elementos físicos quanto os digitais para melhor adequação ao perfil dos participantes.

Inicialmente, foram utilizadas superfícies condutivas baseadas em alumínio para viabilizar a interação com o Makey Makey. Ao longo das atividades, esse material foi substituído por massinha de modelar utilizada como material condutivo, adotada como alternativa mais adequada às características motoras e sensoriais dos participantes.

Também foram realizadas adaptações na organização física dos componentes do sistema. Para reduzir interferências visuais e facilitar a compreensão da interação, foi desenvolvida uma estrutura física (caixa organizadora) destinada a acomodar os fios e destacar apenas os pontos de contato relevantes, conforme ilustrado na Figura 1.

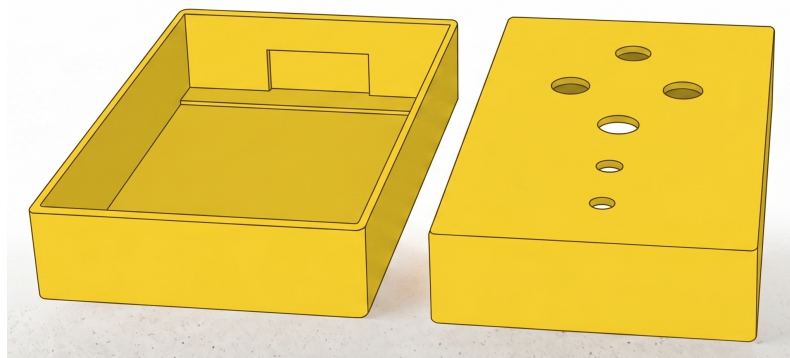


Figura 1. Modelo da caixa organizadora desenvolvida para estruturar os fios do Makey Makey e melhorar a organização da interface tangível.

Paralelamente, os jogos desenvolvidos no Scratch foram ajustados de forma incremental, incluindo modificações em elementos visuais e sonoros e na estrutura das interações. Essas adaptações foram realizadas ao longo das oficinas, com base na observação direta das interações dos participantes.

3.3. Procedimento das oficinas

As oficinas foram realizadas em encontros presenciais com duração entre 60 e 150 minutos. Cada sessão foi estruturada em quatro momentos principais: apresentação da atividade, demonstração guiada, interação prática e mediação individualizada.

Durante a demonstração, os mediadores explicavam de forma simplificada a relação entre as ações realizadas nos objetos físicos e as respostas do sistema digital. Em alguns momentos, também eram apresentados os blocos de programação do Scratch responsáveis pelas ações, com o objetivo de tornar mais explícita a relação entre entrada e saída do sistema. Embora os participantes não tenham programado diretamente, essa abordagem contribuiu para a compreensão das relações de causa e efeito.

Ao longo das atividades, foi oferecido suporte individualizado conforme necessário [Guedes et al. 2024b], respeitando o ritmo de cada participante. As estratégias de mediação foram ajustadas continuamente, buscando reduzir gradualmente a dependência de auxílio externo e estimular a autonomia.

3.4. Coleta, análise de dados e aspectos éticos

A coleta de dados combinou registros qualitativos e quantitativos, permitindo analisar tanto o desempenho dos participantes quanto seus padrões de interação ao longo das oficinas. Os dados quantitativos incluíram tempo de resposta, número de tentativas, taxa de acerto e nível de mediação necessário para execução das tarefas. Esses indicadores foram registrados de forma sistemática ao longo das sessões, possibilitando acompanhar a evolução do desempenho dos participantes.

Os dados qualitativos foram obtidos por meio de observação direta e anotações estruturadas realizadas pelos mediadores. A análise considerou três dimensões principais: autonomia, engajamento e compreensão de causa e efeito. A autonomia foi classificada em três níveis (assistido, parcialmente guiado e autônomo), com base na necessidade de intervenção do mediador. O engajamento foi inferido a partir de comportamentos observáveis, como iniciativa, repetição voluntária e exploração das interfaces. Já a compreensão de causa e efeito foi avaliada pela capacidade dos participantes de antecipar as respostas do sistema a partir de suas ações.

A análise foi conduzida por meio da triangulação entre os dados qualitativos e quantitativos, buscando identificar padrões consistentes ao longo das oficinas e relacionar desempenho mensurável com comportamentos observados.

O estudo foi conduzido em conformidade com as diretrizes éticas para pesquisas envolvendo seres humanos, com aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (Parecer nº 8.026.109; CAAE: 91883925.8.0000.0199) e autorização da instituição parceira (APAE). A participação foi voluntária, mediante consentimento dos responsáveis legais e assentimento dos participantes, sendo todos os dados tratados de forma anônima e armazenados em ambiente seguro.

4. Resultados

Esta seção apresenta a análise das interações dos participantes com as interfaces tangíveis desenvolvidas no estudo, estruturada em quatro dimensões principais: organização das atividades, adaptações iterativas de design, indicadores de desempenho e padrões de interação.

4.1. Estrutura e organização das oficinas

O projeto foi conduzido de forma iterativa, com ajustes contínuos nas interfaces físicas e nas estratégias de mediação pedagógica ao longo das atividades. A iniciativa integrou uma ação extensionista e foi desenvolvida em colaboração com a equipe pedagógica da instituição parceira, buscando alinhar as atividades às demandas cognitivas e comunicativas dos participantes.

Os temas abordados incluíram higiene pessoal, cinco sentidos, preservação ambiental e reconhecimento numérico. As atividades foram implementadas por meio de jogos desenvolvidos no Scratch integrados ao Makey Makey, explorando a manipulação de objetos físicos como forma de interação. Cada sessão contou com a participação de 10 a 20 estudantes e foi conduzida por dois professores e dois mediadores, garantindo acompanhamento individualizado. A Tabela 1 apresenta uma síntese das oficinas realizadas.

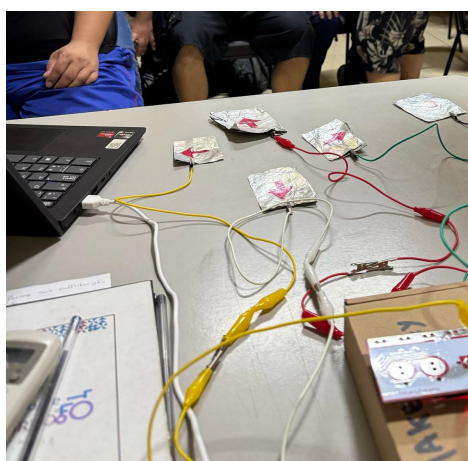
Oficina	Tema	Materiais	Etapas principais
1	Locais da cidade e higiene pessoal	Makey Makey, Scratch, massinha de modelar e alumínio	Modelagem de objetos e interação com quiz digital sobre ambientes cotidianos
2	Os cinco sentidos	Makey Makey, Scratch, massinha de modelar e papel	Construção de modelos sensoriais e interação com estímulos audiovisuais
3	Preservação ambiental	Makey Makey, Scratch, massinha de modelar, papel e alumínio	Construção de lixeiras condutivas e interação com jogo de separação de resíduos
4	Números de 1 a 9	Makey Makey, Scratch, modelos 3D e alumínio	Reconhecimento numérico por meio de interação com modelos físicos conectados ao sistema

Tabela 1. Síntese das oficinas realizadas

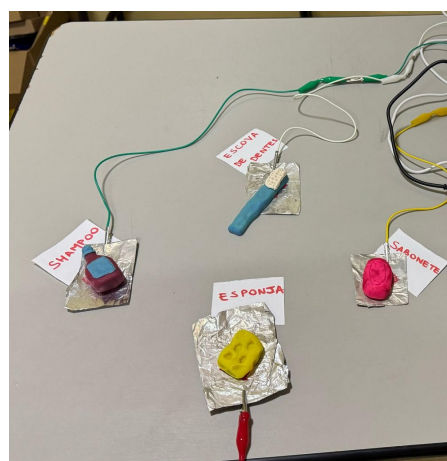
4.2. Adaptações iterativas de design

Na fase inicial, a interação foi implementada por meio de superfícies condutivas em alumínio conectadas ao Makey Makey. Observou-se que esse formato exigia alta precisão motora e apresentava área de contato reduzida, o que resultava em dificuldades recorrentes de acionamento. Nessas condições, foi registrada uma taxa aproximada de 45% de erros nas primeiras tentativas de uso.

Como estratégia de adaptação, as superfícies metálicas foram substituídas por elementos construídos com massinha de modelar utilizada como material condutivo. Essa modificação ampliou a área de contato e permitiu maior tolerância a variações motoras durante a interação. Após a substituição, a taxa de erros foi reduzida para cerca de 12%. A Figura 2 apresenta a comparação entre os dois protótipos utilizados.



(a) Interface inicial com alumínio



(b) Adaptação com massinha de modelar

Figura 2. Comparação entre protótipos de interface utilizados no estudo

Com o aumento do número de conexões, a exposição dos fios do Makey Makey passou a interferir na interação, gerando confusão visual e dificuldades operacionais. Essa configuração demandava intervenções frequentes dos mediadores para reorganização dos componentes, comprometendo a fluidez das atividades.

Para lidar com essa limitação, foi projetada e fabricada uma estrutura física de suporte por meio de modelagem em Blender (Figura 1) e impressão 3D. A caixa organizadora foi concebida para acomodar os cabos internamente e expor apenas os pontos de contato necessários à interação. Essa configuração contribuiu para tornar a interface mais organizada e facilitar a identificação dos elementos de controle pelos participantes.

4.3. Indicadores de desempenho e engajamento

A Tabela 2 apresenta os principais indicadores quantitativos observados ao longo das oficinas, incluindo tempo médio de resposta, número médio de tentativas, taxa média de acerto e nível de mediação necessário para execução das atividades.

Observa-se uma redução progressiva no tempo médio de resposta ao longo das oficinas, passando de 18,4 segundos na primeira atividade para 9,8 segundos na última.

Oficina	Tema da atividade	Tempo médio de resposta	Tentativas médias	Taxa média de acerto	Nível de mediação
1	Higiene pessoal	18,4 s	2,3	64%	Alto
2	Cinco sentidos	15,2 s	1,9	71%	Médio
3	Preservação ambiental	12,6 s	1,6	78%	Médio
4	Reconhecimento numérico	9,8 s	1,4	86%	Baixo

Tabela 2. Indicadores quantitativos observados ao longo das oficinas

De forma semelhante, o número médio de tentativas diminuiu de 2,3 para 1,4, enquanto a taxa média de acerto aumentou de 64% para 86%.

O nível de mediação necessário para a execução das atividades também apresentou variação ao longo do processo, passando de um padrão inicialmente classificado como alto para níveis mais baixos nas atividades finais. Esses resultados indicam mudanças graduais no desempenho e na forma de interação dos participantes ao longo das oficinas. Na atividade que envolveu modelos físicos impressos em 3D, todos os participantes completaram as tarefas propostas, sem registros de abandono.

4.4. Padrões de interação observados

A análise qualitativa das interações permitiu identificar três padrões recorrentes de comportamento ao longo das oficinas, relacionados ao nível de autonomia na execução das atividades.

Interações assistidas foram predominantes nas atividades iniciais, caracterizadas pela necessidade de orientação constante para execução das ações, tanto do ponto de vista motor quanto cognitivo. Nesses casos, os participantes dependiam da mediação para realizar as tarefas propostas.

Interações parcialmente guiadas passaram a ocorrer nas oficinas intermediárias, sendo caracterizadas pela realização independente de parte das ações, com solicitação de auxílio em momentos específicos.

Interações autônomas e exploratórias foram observadas com maior frequência nas oficinas finais. Nesse padrão, os participantes realizaram as atividades de forma independente e, em diversos casos, exploraram o sistema além das instruções apresentadas, testando diferentes formas de interação e repetindo ações para observar as respostas do sistema.

A ocorrência desses padrões variou ao longo das oficinas, com predominância de interações assistidas nas atividades iniciais e aumento gradual de interações parcialmente guiadas e autônomas nas atividades subsequentes.

Além disso, foram registrados comportamentos como repetição voluntária de

interações, iniciativa para iniciar atividades e exploração dos elementos disponíveis na interface. Também foram observadas melhorias na coordenação motora fina associadas à manipulação dos objetos físicos ao longo das oficinas.

5. Discussão

Os resultados indicam que a combinação entre computação criativa, interfaces tangíveis e mediação pedagógica amplia as possibilidades de interação de pessoas com deficiência intelectual em atividades mediadas por tecnologia. Mais do que viabilizar o acesso, essa integração contribui para reconfigurar a forma como conceitos computacionais são experienciados, deslocando a interação de um modelo predominantemente abstrato para um modelo baseado na ação.

5.1. Interfaces tangíveis e concretização de conceitos computacionais

A utilização de interfaces tangíveis permitiu materializar aspectos fundamentais da lógica computacional por meio da manipulação direta de objetos físicos. Esse tipo de interação, caracterizado pela integração entre representação e controle no mesmo elemento físico [Shaer and Hornecker 2010], foi implementado no estudo por meio da associação entre Makey Makey e Scratch, permitindo que relações de entrada e saída fossem experimentadas de forma concreta. Considerando que ambientes baseados exclusivamente em tela podem impor barreiras relacionadas à abstração [Machado 2023], essa abordagem contribuiu para reduzir a dependência de representações simbólicas.

Os resultados indicam que a compreensão dessas relações foi construída gradualmente ao longo das oficinas, acompanhando a familiarização dos participantes com os elementos físicos do sistema. A redução no número de tentativas e no tempo de resposta, combinada ao aumento da taxa de acerto, sugere maior consistência nas interações e melhor entendimento do funcionamento do sistema. Esse processo pode ser interpretado à luz da perspectiva de interação incorporada, na qual a cognição emerge da relação entre corpo, artefatos e ambiente [Dourish 2004], sendo a ação um elemento central na construção do conhecimento.

Nesse contexto, as interfaces tangíveis contribuíram para tornar mais explícitas as relações entre ação e resposta no sistema, aspecto já apontado na literatura como relevante em ambientes educacionais inclusivos [Shaer and Hornecker 2010]. Ao interagir diretamente com os objetos, os participantes puderam compreender de forma mais imediata os efeitos de suas ações, o que se refletiu nos indicadores de desempenho e nos padrões de uso observados. Esses resultados são consistentes com estudos que indicam que a manipulação física de artefatos pode favorecer a compreensão de conceitos abstratos e apoiar processos de aprendizagem em diferentes perfis cognitivos [Bouck 2016].

5.2. Adaptação iterativa como estratégia de acessibilidade

As adaptações realizadas ao longo das oficinas evidenciam o papel do design iterativo na construção de acessibilidade em contextos educacionais inclusivos. Em vez de uma configuração previamente definida, as interfaces foram ajustadas com base nas dificuldades observadas durante o uso, em linha com abordagens de prototipação iterativa que enfatizam experimentação e refinamento contínuo [Honey and Kanter 2013]. A

substituição de superfícies metálicas por massinha de modelar como elemento condutivo e a reorganização física dos componentes por meio da caixa estruturada ilustram como decisões de design foram diretamente orientadas pela interação com os participantes.

Os resultados mostram que essas adaptações impactaram a forma de uso do sistema. A redução das taxas de erro após a modificação dos materiais, associada à diminuição da necessidade de mediação ao longo das oficinas, indica que ajustes na interface influenciaram diretamente a usabilidade. Estudos que investigam tecnologias para pessoas com deficiência intelectual apontam que esse tipo de adaptação progressiva, construída a partir de situações reais de uso, é fundamental para tornar as interações mais acessíveis [Guedes et al. 2024a], especialmente quando combinada a estratégias de suporte e mediação [Guedes et al. 2024b].

A partir desses resultados, a acessibilidade pode ser compreendida menos como uma propriedade fixa do sistema e mais como um processo construído ao longo do uso. Essa perspectiva aproxima-se de abordagens de design centrado no usuário que consideram o contexto de interação como elemento central no desenvolvimento de soluções inclusivas [Guerreiro et al. 2020]. A necessidade de ajustes sucessivos observada nas oficinas reforça a importância de estratégias de design flexíveis, capazes de responder às características específicas dos participantes e às demandas emergentes do ambiente.

5.3. Mediação como parte do sistema interativo

Os dados evidenciam que a mediação pedagógica desempenhou um papel estruturante na interação com o sistema. A atuação dos mediadores não se restringiu ao suporte operacional, mas incluiu estratégias de orientação, incentivo e adaptação das atividades em tempo real, funcionando como elemento ativo na viabilização da interação. Em contextos educacionais inclusivos, essa dimensão é frequentemente apontada como central para reduzir barreiras de acesso e apoiar o uso de tecnologias por pessoas com deficiência [Figueiredo et al. 2019, Carneiro and Costa 2017].

Ao longo das oficinas, a redução progressiva do nível de mediação indica mudanças na forma como os participantes se relacionaram com o sistema. Inicialmente dependentes de apoio constante, os participantes passaram a realizar as atividades com menor intervenção, o que sugere um processo de apropriação das ações necessárias para interação. Esse comportamento pode ser interpretado à luz de perspectivas sociointeracionistas, nas quais o desenvolvimento ocorre por meio da internalização de práticas inicialmente mediadas [Vygotsky 1978, Vygotsky 1984].

Esses resultados indicam que, nesse tipo de contexto, a interação humano-computador não se limita à relação direta entre usuário e interface. A presença de mediadores, associada às características das interfaces e às estratégias pedagógicas adotadas, configura um sistema de interação mais amplo. Essa visão é consistente com abordagens que tratam a acessibilidade como resultado da articulação entre fatores técnicos, humanos e contextuais [Santos et al. 2022], reforçando a necessidade de considerar a mediação como parte integrante do design de experiências interativas inclusivas.

5.4. Engajamento e apropriação da tecnologia

O aumento gradual de interações autônomas e exploratórias indica que os participantes não apenas executaram as tarefas propostas, mas passaram a experimentar ativamente o sistema. Comportamentos como repetição voluntária de ações, iniciativa para iniciar atividades e exploração de diferentes formas de interação foram observados com maior frequência nas oficinas finais, o que indica uma transição de interações dependentes para padrões mais estáveis e independentes de uso. Esse tipo de progressão, associada à redução do número de tentativas e da necessidade de mediação, indica maior familiaridade com a interface e maior estabilidade nas interações.

A ocorrência desses comportamentos pode ser interpretada como um processo de apropriação da tecnologia, no qual os usuários deixam de apenas seguir instruções e passam a explorar o sistema de forma mais independente. Em estudos de IHC, [Bircanin et al. 2021] destacam que a participação ativa no uso da tecnologia é um fator relevante para promover inclusão digital, especialmente em públicos com deficiência. De forma semelhante, trabalhos que exploram interfaces tangíveis, como [Ellis et al. 2021], indicam que a manipulação direta de objetos favorece o envolvimento e amplia as possibilidades de interação, enquanto [Guedes et al. 2023] evidenciam o papel de experiências multisensoriais na promoção do engajamento.

Esses resultados sugerem que o engajamento observado não se restringe à execução das atividades, mas envolve uma relação mais ativa com o sistema. A exploração espontânea e a repetição de ações indicam que os participantes passaram a testar possibilidades e a antecipar respostas, o que se relaciona à construção de familiaridade com a interface. Essa perspectiva reforça a importância de projetar sistemas que permitam variação na interação e tolerância a diferentes formas de uso, aspecto apontado por [Bircanin et al. 2021] como central no desenvolvimento de tecnologias inclusivas.

5.5. Limitações

Algumas limitações devem ser consideradas. A necessidade de simplificação das atividades indica que ambientes de programação por blocos ainda podem apresentar desafios para determinados perfis, especialmente em níveis mais abstratos. O uso de massinha de modelar como material condutivo também demanda manutenção, o que pode impactar sua aplicação em longo prazo. Além disso, as atividades dependeram de mediação pedagógica contínua, fator que pode variar em outros contextos e influenciar a replicação da proposta.

6. Conclusão

Este trabalho investigou a integração entre computação criativa, interfaces tangíveis e mediação pedagógica como estratégia para promover acessibilidade em atividades de ensino de computação voltadas a pessoas com deficiência intelectual. A partir de oficinas realizadas em contexto real, foram desenvolvidas e adaptadas atividades com Scratch e Makey Makey, explorando a manipulação de objetos físicos como forma de interação. Os resultados indicaram melhorias nos indicadores de desempenho e mudanças nos padrões de interação, com aumento gradual da autonomia dos participantes.

Destaca-se a importância do processo de adaptação contínua das interfaces e das atividades. Ajustes nos materiais, na organização física e nas estratégias de mediação

contribuíram para reduzir barreiras de interação e tornar o sistema mais acessível. A combinação entre elementos físicos e suporte pedagógico mostrou-se relevante para favorecer interações mais compreensíveis e estáveis.

Como trabalhos futuros, aponta-se a necessidade de avaliar a proposta em outros contextos educacionais e investigar variações nos materiais e nas formas de interação. Também há potencial para analisar impactos em longo prazo, especialmente no que se refere à consolidação da autonomia e à ampliação da inclusão digital.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os participantes por suas valiosas contribuições e ao Emerson pela liderança na condução das atividades de pesquisa na APAE. Por fim, expressamos nossa gratidão ao IFMaker Educador, do IFMS, pelo financiamento desta pesquisa, bem como ao IFMS Campus Aquidauana pelo apoio à participação nesta Conferência.

Referências

- Bircanin, F., Brereton, M., Sitbon, L., Ploderer, B., Bayor, A. A., and Koplick, S. A. (2021). Including adults with severe intellectual disabilities in co-design through active support. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA. ACM.
- Bouck, E. C. (2016). A national snapshot of assistive technology for students with disabilities. *Journal of Special Education Technology*, 31(1):4–13.
- Brennan, K. and Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Brito, M. D. B., Gama, A. P., and Brasileiro, T. S. A. (2018). Inclusão digital por meio da cultura maker na escola pública: uma experiência colaborativa do scratch com autistas. *Revista Ensino de Ciências e Humanidades - Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH*, 2(1):8–30.
- Caceres, M. S., Carvalho, V. H. S., Rôa, J. C., and Guedes, L. S. (2025). Histórias inclusivas: Projetando um robô educacional para pessoas com deficiência intelectual. In *Anais do XXIV Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*, pages 377–399, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Carneiro, R. U. C. and Costa, M. C. B. (2017). Tecnologia e deficiência intelectual: práticas pedagógicas para inclusão digital. *Revista on line de Política e Gestão Educacional*, 21(Esp. 1):706–719.
- da Silva Ferry, A. (2023). Cultura maker & educação inclusiva: produção e validação de uma prancha grafo-tátil sobre destilação simples para o ensino de química a estudantes cegos. *Cadernos de Estágio*, 5(4).
- de Alencar, R. F. (2023). Cultura maker: Desenvolvimento de modelos de ecossistemas amazônicos utilizando impressão 3d para o ensino-aprendizagem de ecologia para alunos deficientes visuais.
- Dourish, P. (2004). *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press, Cambridge, MA.

- Ellis, K., Dao, E., Smith, O., Lindsay, S., and Olivier, P. (2021). Tapeblocks: A making toolkit for people living with intellectual disabilities. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–12.
- Figueiredo, R. V., Rocha, S. R. D. M., and Poulin, J. R. (2019). Contribuição da inclusão digital na afirmação de sujeitos com deficiência intelectual. *Revista Diálogo Educacional*, 19(61).
- Guedes, L. S., Johnstone, J., Ellis, K., and Landoni, M. (2024a). Creative Technologies in Action: Empowering Individuals with Intellectual Disabilities. In *Computers Helping People with Special Needs: 19th International Conference, ICCHP 2024, Linz, Austria, July 8–12, 2024, Proceedings, Part II*, page 193–200. Springer-Verlag.
- Guedes, L. S., Zanardi, I., Mastrogiuseppe, M., Span, S., and Landoni, M. (2024b). Scaffolding for inclusive co-design: Supporting people with cognitive and learning disabilities. In *Universal Access in Human-Computer Interaction: 18th International Conference, UAHCI 2024, Held as Part of the 26th HCI International Conference, HCII 2024, Washington, DC, USA, June 29 – July 4, 2024, Proceedings, Part II*, page 151–170, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Guedes, L. S., Zanardi, I., Span, S., and Landoni, M. (2023). Multisensory Diorama: Enhancing Accessibility and Engagement in Museums. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2023: 19th IFIP TC13 International Conference, York, UK, August 28 – September 1, 2023, Proceedings, Part II*, page 628–637. Springer-Verlag.
- Guedes, L. S., Zanardi, I., Span, S., and Landoni, M. (2025). EmpowerBox: Multisensory Box for Storytelling with People with Intellectual Disabilities. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2025: 20th IFIP TC 13 International Conference, Belo Horizonte, Brazil, September 8–12, 2025, Proceedings, Part I*, page 70–90. Springer-Verlag.
- Guerreiro, J., Silva, M., and Fernandes, C. (2020). Design inclusivo para deficiência intelectual: Prototipagem iterativa. *Revista de Acessibilidade Digital*, 12(3):45–60.
- Honey, M. and Kanter, D. E. (2013). *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. Routledge.
- Kafai, Y. B. and Burke, Q. (2015). *Connected code: Why children need to learn programming*. MIT Press.
- Machado, L. C. (2023). Educação inclusiva sob a ótica do ensino online para alunos com deficiência intelectual: perspectivas e desafios.
- Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., and Eastmond, E. (2008). Programming by choice: Urban youth learning programming with scratch. In *Proceedings of the 39th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 367–371.
- Oliveira, A. M. d. and Marques, H. R. B. (2024). A aprendizagem criativa na perspectiva de papert: como a informática na educação pode colaborar no processo de ensino e aprendizagem? *Revista Contemporânea*, 4(5):e4493–e4493.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.

- Rana, R. and Ahmad, I. (2021). Relationship between creativity and intelligence among individuals with intellectual disability. *International Journal of Inclusive Education*, 25(7):764–779.
- Rodriguez, C., Zem-Lopes, A. M., Marques, L., and Isotani, S. (2015). Pensamento computacional: transformando ideias em jogos digitais usando o scratch. *Anais do Workshop de Informática na Escola*, 21(1):62–71.
- Santos, R. E. D. S., Lopes, J. C. D. C., Silva, R. D. C. E. D., Souza, E. P. R., Silva, P. M. D., and Felix, Z. C. (2022). Currículo base para o ensino de pensamento computacional para pessoas com deficiência intelectual e múltipla: um relato de experiência com usuários da apae de serra talhada-pe. In *Anais do XXX Workshop sobre Educação em Computação (WEI 2022)*, pages 97–108.
- Shaer, O. and Hornecker, E. (2010). Tangible user interfaces: Past, present, and future directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3(1-2):1–137.
- Silva, K., Junior, A. C., Guedes, L., and Paiva, D. (2025). Exploring educational software in computing education for students with autism spectrum disorder: A systematic mapping study. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 1191–1205, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Silva, R. S. D. and Pereira, C. P. (2023). Prática do pensamento computacional e da aprendizagem criativa na língua inglesa utilizando o scratch: uma sequência didática. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 31:925–955.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*, volume 86. Harvard university press.
- Vygotsky, L. S. (1984). *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. Martins Fontes, São Paulo.