

Janela Periódica Inclusiva: Uma Abordagem Baseada no Desenho Universal para Aprendizagem

**Vitor Tavares de Oliveira¹, Carla Santos de Oliveira¹,
Renato Augusto Platz Guimarães Neto¹, Daniela Eloise Flôr¹,
Elizete Pinto Cruz¹, Michele Barboza dos Santos¹**

¹Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Campus Paranavaí

{vtavares.eng, carlasdeoliveiraf, renatoplatz11}@gmail.com

{daniela.flor, elizete.cruz, michele.santos}@ifpr.edu.br

Abstract. *School inclusion is the foundation for a more just and equitable society. The “Inclusive Periodic Window” proposes an accessible and interactive educational experience, integrating adaptive technologies into the Periodic Table, grounded in Universal Design for Learning. The proposal catered to students with hearing and visual impairments, autism, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, and various educational challenges. Its prototype incorporates Libras (Brazilian Sign Language), Braille, audio narration, subtitles, and dynamic visual elements, ensuring an immersive and personalized experience. With an integrated hardware and software system, the initiative broadens the understanding of a fundamental concept in the field of chemistry, making it accessible to various students.*

Resumo. *Inclusão escolar é a base para uma sociedade mais justa e igualitária. A “Janela Periódica Inclusiva” propõe uma experiência educacional acessível e interativa, integrando tecnologias adaptativas à Tabela Periódica, fundamentada no Desenho Universal para Aprendizagem. A proposta atendeu estudantes com deficiência auditiva, visual, autismo, Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade e dificuldades educacionais diversas. Seu protótipo incorpora Libras, Braille, narração em áudio, legendas e elementos visuais dinâmicos, garantindo uma experiência imersiva e personalizada. Com um sistema de hardware e software integrados, a iniciativa pluraliza a compreensão de um conceito fundamental na área de química, tornando-o acessível para vários estudantes.*

1. Introdução

A inclusão no ensino é um dos pilares fundamentais para a construção de uma sociedade mais justa e igualitária. Segundo [Mantoan 2015], a inclusão escolar vai além da presença física de estudantes com deficiência ou necessidades educacionais específicas em escolas regulares, trata-se de garantir que todos tenham acesso à aprendizagem e ao desenvolvimento em um ambiente acolhedor e respeitoso. Nesse sentido, discutir práticas pedagógicas inclusivas que promovam o aprendizado de todos os alunos é essencial para construir um sistema educacional verdadeiramente democrático.

Com esse propósito, a Janela Periódica Inclusiva busca integrar diferentes tecnologias que, devidamente alinhadas, proporcionam uma experiência de aprendizado acessível, interativa e inclusiva para alunos com diferentes habilidades e limitações.

O projeto se fundamenta nos princípios do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA ou UDL, do inglês Universal Design for Learning) que, conforme destacado por [Rose 2000], visa criar ambientes educacionais acessíveis e inclusivos, atendendo às especificidades de todos os alunos.

O DUA está estruturado em três princípios fundamentais: (1) fornecer múltiplos meios de representação (o que representa o conteúdo), (2) oferecer múltiplos meios de ação e expressão (como os estudantes interagem e demonstram o que sabem), e (3) garantir múltiplos meios de engajamento (por que os estudantes aprendem). Esses princípios visam contemplar diferentes estilos de aprendizagem, promovendo acessibilidade cognitiva, sensorial, motora e afetiva.

Esta proposta, intitulada “Janela Periódica Inclusiva”, destaca-se por incorporar janelas interativas em cada elemento da Tabela Periódica tradicional, permitindo que os usuários explorem curiosidades e informações adicionais sobre cada elemento químico. Enquanto outras iniciativas voltadas ao ensino inclusivo da Tabela Periódica contribuem significativamente para a acessibilidade, este modelo amplia essas possibilidades ao garantir que o maior número possível de indivíduos tenha acesso equitativo às oportunidades de aprendizagem, promovendo inclusão e a redução de barreiras educacionais.

Para isso, o produto desenvolvido oferece aos professores uma ferramenta inovadora, capaz de disponibilizar materiais acessíveis a todos os estudantes, independentemente de suas singularidades, abrangendo pessoas com deficiência visual, auditiva, daltônicas, autistas, com altas habilidades/superdotação (AH/SD) e com Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH).

2. Outras Perspectivas de Inclusão

Durante as investigações para identificar uma estratégia de aprendizagem eficaz para o ensino da tabela periódica a alunos com necessidades educacionais específicas, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que revelou uma variedade de produtos desenvolvidos com objetivos semelhantes. No entanto, observou-se que cada projeto estava direcionado a atender uma ou outra demanda sem contemplar uma abordagem abrangente que integrasse diferentes necessidades de forma inclusiva.

Um dos primeiros trabalhos identificados foi a Tabela Periódica com suporte em Libras para o ensino, apresentado por [dos Santos 2020]. O projeto foi desenvolvido para auxiliar professores de Ciências e Química no ensino inclusivo de alunos com deficiência auditiva. Um diferencial da iniciativa é sua implementação em um site interativo. Segundo [Medeiros et al. 2024], o desenvolvimento desse recurso considerou a escassez de materiais didáticos adaptados para alunos surdos, resultando em uma plataforma digital que utiliza imagens com símbolos em Libras para apoiar o trabalho dos professores.

Outro trabalho que incorporou elementos de inclusão no ensino da Tabela Periódica foi um projeto desenvolvido pela Universidade Virtual do Estado de São Paulo. Conforme descrito por [Univesp sd], o objetivo da iniciativa é tornar a Tabela Periódica acessível a pessoas com deficiência visual, considerando que, geralmente, suas informações são apresentadas de forma predominantemente visual e com alta complexidade. Para isso, recursos de audiodescrição foram adotados, fornecendo detalhes sobre o nome, símbolo, número atômico, massa atômica e a classificação de cada elemento.

Com o mesmo objetivo de atender às necessidades de pessoas com deficiência visual, foram identificados dois trabalhos que empregaram o Braille como recurso para tornar a Tabela Periódica mais acessível. Conforme apresentado por [de Oliveira et al. 2013], o Braille é uma ferramenta fundamental para deficientes visuais, pois possibilita a representação de informações por meio tátil. Nesse projeto, o sistema foi utilizado no desenvolvimento de uma Tabela Periódica adaptada, na qual cada elemento é representado por informações táteis, incluindo o símbolo, o nome e o número atômico.

Outro projeto que utilizou o Braille desenvolveu uma Tabela Periódica acessível, combinando recursos visuais tradicionais com informações táteis. Assim, o material atende tanto pessoas com deficiência visual quanto sem deficiência visual. Segundo [Masson et al. 2016], o projeto prevê ainda a criação de uma apostila complementar, em português e Braille, com dados detalhados sobre cada elemento químico.

Após a análise de trabalhos correlatos, evidenciou-se a importância da tecnologia como um recurso essencial para a promoção da inclusão. Esse aspecto se manifesta tanto na elaboração de materiais didáticos mais acessíveis quanto na implementação de recursos como audiodescrição dos elementos químicos. Além disso, ficou evidente a necessidade de desenvolver uma Tabela Periódica que integre múltiplos recursos, de modo a atender diferentes necessidades especiais sem se restringir a uma única abordagem.

3. O Desafio da Inclusão e a Consolidação da Janela Periódica Inclusiva

A diversidade estudantil no campus do IFPR Paranavaí é uma realidade, contemplando alunos com deficiência auditiva, visual, intelectual, físico, neuromotora e múltiplas. Essa heterogeneidade evidencia a necessidade de práticas educacionais mais inclusivas, que atendam às diferentes formas de aprendizado e garantam a plena participação de todos os estudantes. Nesse contexto, a Tabela Periódica representa um desafio comum a todos, pois sua complexidade estrutural pode dificultar a compreensão e o engajamento dos alunos nos componentes curriculares de Química, tanto na Educação Básica quanto na Licenciatura em Química.

Conforme evidenciado na pesquisa bibliográfica, a oferta de materiais didáticos verdadeiramente inclusivos ainda é limitada. Muitos dos recursos disponíveis são desenvolvidos para atender a necessidades específicas, sem integrar múltiplas adaptações em uma única solução. Essa fragmentação dificulta a criação de um ambiente educacional acessível a diferentes perfis de estudantes simultaneamente.

Diante desse contexto, o projeto foi concebido para oferecer uma alternativa inclusiva e acessível, alinhada às necessidades educacionais dos alunos do IFPR Paranavaí. Com uma estrutura flexível e expansível, busca não apenas ampliar as possibilidades de ensino, mas também aproximar os estudantes da área de Química, tornando o aprendizado mais dinâmico e engajador. Ao integrar diferentes recursos adaptativos em um único material, a iniciativa visa contribuir para a superação das barreiras no ensino da Tabela Periódica, promovendo um ambiente mais equitativo e estimulante para todos.

A Janela Periódica Inclusiva foi concebida como uma iniciativa inovadora e submetida à XII Feira de Inovação Tecnológica do IFPR (IFTECH) – 2024, realizada no Campus Paranavaí, onde foi aprovada como uma proposta relevante no campo da acessibilidade educacional.

A equipe responsável pelo projeto reuniu profissionais e estudantes de diferentes áreas, garantindo uma abordagem multidisciplinar essencial para a inovação, a viabilidade técnica e a aplicabilidade do sistema. O grupo contou com uma professora de Ciências/Matemática, uma professora de Educação Especial e intérprete de Libras, uma professora de Engenharia de Software, um professor de Engenharia Elétrica, um estudante de Licenciatura em Química, dois alunos de Engenharia de Software e um aluno do Ensino Médio do curso Técnico em Informática.

Essa diversidade de formações possibilitou uma integração equilibrada entre pedagogia, tecnologia e acessibilidade, garantindo que o projeto atendesse às demandas educacionais inclusivas e promovesse um impacto positivo no ensino da Química.

O projeto recebeu apoio financeiro institucional para seu desenvolvimento. Sua relevância e impacto foram reconhecidos ao conquistar o primeiro lugar na competição do campus, garantindo sua seleção para representar a instituição na etapa estadual.

No IX Seminário de Extensão, Ensino, Pesquisa e Inovação (Se²p²in), onde competiu com representantes de diversos campi do estado, o projeto conquistou novamente o primeiro lugar, consolidando sua contribuição como uma inovação educacional inclusiva.

Como consequência desses reconhecimentos, foram iniciados, em parceria com o Núcleo de Inovação Tecnológica do Campus Paranavaí (NIT), todos os trâmites para a concessão da patente pela Agência de Inovação da instituição, assegurando a proteção intelectual do projeto e possibilitando sua futura aplicação em larga escala.

4. Design e Funcionalidade da Tabela Periódica Inclusiva

A estrutura física da Janela Periódica Inclusiva consiste em uma Tabela Periódica tradicional com 208 cm de comprimento por 156 cm de altura. Conforme ilustrado na Figura 1, a versão adaptada foi construída em MDF cru e possui um sistema de dobradiça interna que permite reduzir seu comprimento pela metade, facilitando o transporte.

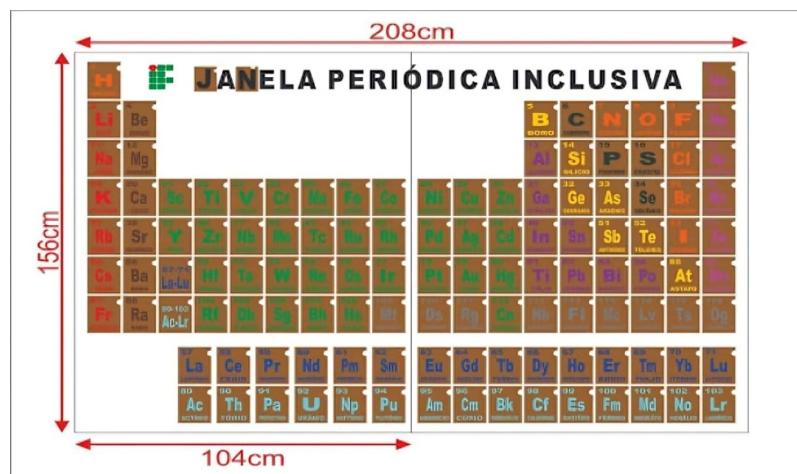


Figura 1. Dimensões do Protótipo

Na proposta, os símbolos, nomes dos elementos e números atômicos são apresentados em acrílico colorido em português, no sistema indo-árabico e no Sistema Braille (a), com alto contraste e alto relevo, características essenciais para estudantes com baixa visão.

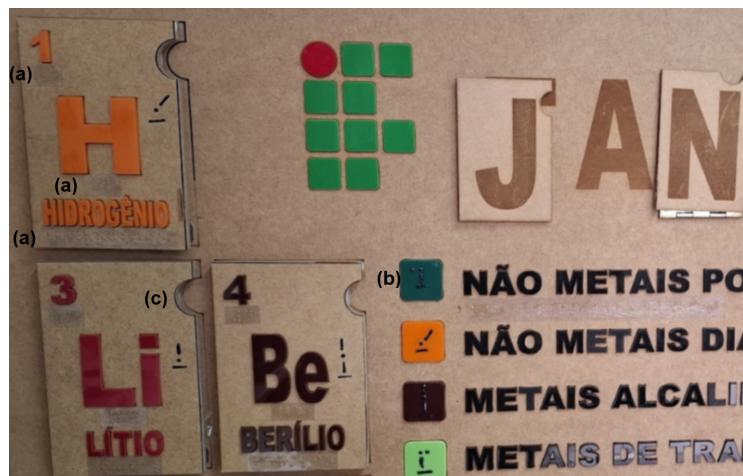


Figura 2. Destaques para características físicas

Além disso, as cores também diferenciam as classificações químicas, como não metais poliatônicos em verde escuro e não metais diatônicos em laranja, permitindo a compreensão tanto visual quanto tátil, conforme ilustrado na Figura 2.

Outra integração significativa para apoiar a identificação de cores por pessoas cegas foi o código de cores See Color. Esse recurso pode ser visto como destaque (b) na Figura 2. O See Color facilita a identificação de cores evitando leituras extensas em Braille. Conforme descrito por [Marchi et al. 2022], a linguagem tátil emprega oito códigos: três para as cores primárias (vermelho, azul e amarelo), três para as cores secundárias (verde, laranja e lilás) e dois para as cores neutras (preto e branco).

Os elementos são dispostos em “janelas articuladas” que permitem interação tátil, como demonstrado em (c) da Figura 2. Em cada compartimento móvel, o usuário encontra uma imagem ilustrativa do elemento, que pode representar sua ocorrência na natureza, sua aplicação na indústria ou uma curiosidade sobre seu nome, conforme Figura 3. Além disso, os adesivos com as imagens incluem as fontes do texto mencionado no áudio e da própria imagem, assegurando a veracidade e a credibilidade das informações.

Já na parte interna da janela, há um QR Code que ao ser escaneado direciona o usuário para um vídeo não listado no YouTube. Esse vídeo apresenta informações adicionais sobre o elemento e é disponibilizado em Libras, acompanhado de legendas em língua portuguesa. Dessa forma, tanto alunos surdos que dominam Libras quanto aqueles que não possuem esse conhecimento podem usufruir do mesmo conteúdo.

A abertura das janelas, acionada por sensores, ativa a audiodescrição do conteúdo exibido em Libras, além das imagens internas, tornando o material acessível também para pessoas com deficiência visual. O áudio é transmitido por meio de um headphone Bluetooth, conectado ao hardware da tabela, proporcionando uma experiência personalizada para estudantes cegos, autistas e com TDAH.

Os áudios foram gravados por crianças com altas habilidades/superdotação, que possuem um profundo interesse pelo tema. Motivadas por essa paixão, elas se engajaram ativamente na construção do protótipo, contribuindo significativamente para tornar o conhecimento acessível a um público mais amplo.



Figura 3. Demonstração do QRCode/Imagen

Desde o início, ficaram fascinadas com a possibilidade de utilizar seu talento para criar audiodescrições detalhadas e precisas. Seu objetivo era garantir que estudantes com deficiência visual, auditiva ou dificuldades de aprendizagem pudessem explorar o conteúdo de forma plena e enriquecedora.

Com um olhar atento e curiosidade científica, as crianças dedicaram-se a descrever cada elemento químico de maneira clara e envolvente, pesquisaram suas características, analisaram a melhor forma de transmitir as informações e buscaram adaptar a linguagem para que todos pudessem compreender, independentemente de suas limitações.

Ao participarem diretamente da gravação das audiodescrições, tiveram a oportunidade de aplicar seu interesse pela Química de forma criativa e prática. O desafio de tornar a ciência mais inclusiva e acessível impulsionou seu aprendizado e os levou a refletir sobre novas formas de comunicação científica.

Ainda que a estrutura física da Janela Periódica tenha sido projetada com atenção à acessibilidade — e já tenha sido testada com usuários cadeirantes sem apresentar limitações de alcance — reconhece-se que, em casos de restrições motoras severas nos membros superiores, a autonomia na interação com recursos físicos pode ser comprometida, independentemente do suporte didático adotado. Esse aspecto não configura uma limitação exclusiva da proposta, mas reforça a importância de estratégias complementares e da mediação pedagógica para garantir a plena participação de todos os estudantes.

Com o objetivo de criar uma versão mais compacta, facilitando o transporte a longas distâncias e reduzindo os custos logísticos, sem comprometer a demonstração das funcionalidades do produto, foi desenvolvida uma versão reduzida da Janela Periódica Inclusiva. Conforme ilustrado na Figura 4 (a), a versão completa do projeto contempla todos os elementos químicos.

Já a versão compacta, representada em (b), apresenta cinco elementos — Hidrogênio, Lítio, Berílio, Sódio e Magnésio — mantendo todos os recursos de acessibilidade e interatividade do modelo original. Dessa forma, seu impacto educacional e inclusivo pode ser demonstrado de maneira prática e eficiente em inúmeras oportunidades.



Figura 4. Versão completa (a) e compacta (b) da Janela Periódica Inclusiva

5. O Sistema Embarcado na Janela Periódica Inclusiva

Para atender de forma coerente às demandas educacionais e aos princípios do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA), o desenvolvimento da Janela Periódica Inclusiva exigiu a articulação de diversos componentes de hardware, integrados a um software adaptativo. Essa integração foi essencial para garantir que vários recursos de acessibilidade fossem plenamente funcionais. Dessa forma, o protótipo possibilita que os alunos explorem e compreendam os conceitos químicos de maneira autônoma e contemporânea, independentemente de suas necessidades individuais de aprendizagem.

Duas plataformas abertas diferentes de hardware foram utilizadas. O sistema empregou duas unidades de Arduino Mega ADK, responsáveis pelo gerenciamento dos sensores e controle geral, e 1 unidade de ESP32S, responsável pela comunicação sem fio e integração dos dispositivos.

Para detectar a abertura das janelas, foram desenvolvidos 118 sensores de magnetismo de forma artesanal, garantindo maior precisão e reduzindo os custos de fabricação. O funcionamento do hardware está diretamente vinculado ao movimento das janelas, utilizando imãs de neodímio para controlar os sensores magnéticos.

Cada janela possui imãs fixados, responsáveis por manter o sensor em um estado de controle. Ao ser aberta, o deslocamento do imã altera o campo magnético, modificando o estado do sensor, que, por sua vez, aciona os recursos de acessibilidade correspondentes.

A comunicação entre os sensores e as placas Arduino ocorre de forma simples e eficiente, sem necessidade de bibliotecas ou frameworks adicionais. Como operam em um sistema binário, a leitura direta dos estados HIGH (1) e LOW (0) nos terminais das placas é suficiente para detectar mudanças e disparar os eventos necessários.

As duas placas de Arduino presentes no protótipo têm como função principal gerenciar os sensores magnéticos associados às janelas. A utilização de duas unidades tornou-se oportuna devido ao grande número de elementos da Tabela Periódica e de terminais disponíveis para conexão no Arduino Mega ADK. Para otimizar o desempenho e a distribuição das conexões, cada Arduino é responsável por monitorar metade dos elementos, sendo posicionados em lados opostos da estrutura. Esse arranjo evitou a sobrecarga de cada microcontrolador e melhorou a responsividade na detecção da abertura das janelas.

Para possibilitar o envio das audiodescrições ao abrir cada janela, foi desenvolvido um protótipo de hardware capaz de operar todo o sistema de forma eficiente e integrada. O armazenamento dos áudios ocorre localmente por meio de um módulo de cartão de memória, eliminando a necessidade de conexão à internet. A reprodução do áudio é realizada por um fone de ouvido com Bluetooth A2DP (Advanced Audio Distribution Profile), garantindo uma transmissão de alta qualidade. Toda a organização do sistema pode ser visualizada na Figura 5.

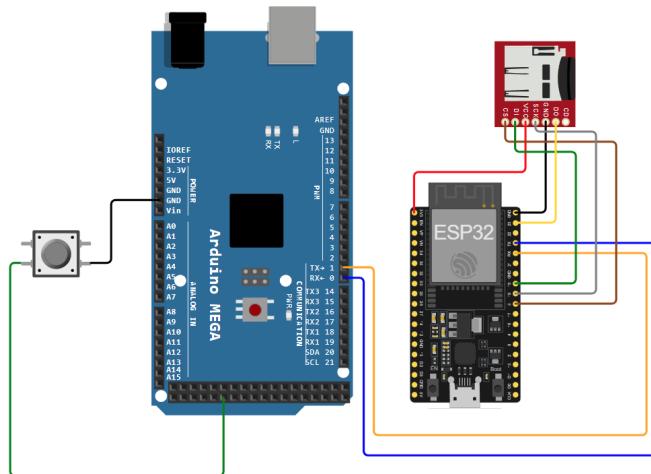


Figura 5. Conexão do Hardware

Quando uma janela é aberta e o sensor de magnetismo detecta a mudança de estado, a placa Arduino correspondente registra essa alteração em seu GPIO (General Purpose Input/Output). Em seguida, interpreta o sinal recebido, identifica o elemento químico associado e encaminha a informação para a placa ESP32S, responsável pela transmissão do áudio. A ESP32S foi escolhida por sua capacidade de comunicação via Bluetooth, incluindo suporte ao protocolo A2DP, garantindo áudio nítido e de alta qualidade.

A comunicação entre as placas Arduino e a ESP32S ocorre via serial UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), garantindo uma troca estável de informações entre os dispositivos. Para essa integração, foram utilizadas funcionalidades da framework, que simplificam a definição do Baud Rate e a configuração das portas seriais TX e RX, de envio e recebimento de dados. Esse processo assegura a coordenação precisa do protótipo, permitindo a interação fluida entre os componentes do sistema.

Quando a placa ESP32S recebe a identificação do elemento químico de uma das placas Arduino, ela acessa o módulo de cartão de memória e localiza o áudio correspondente, utilizando o número atômico como referência. Essa abordagem simplifica e dispensa a necessidade de conexão com a internet. Após identificar e carregar o arquivo, a ESP32S transmite a audiodescrição diretamente para o fone de ouvido.

Para garantir o funcionamento eficiente do hardware e a gestão otimizada do sistema, foi desenvolvido um conjunto de softwares especializados, que operam de forma integrada em cada uma das placas. Esse conjunto assegura a comunicação contínua entre os componentes, minimiza o tempo de resposta e permite uma operação com baixa latência, resultando em um desempenho ágil e confiável.

A programação das placas foi realizada por meio de sistemas embarcados, utilizando as linguagens C e C++, em conjunto com a framework Arduino Wiring, inicialmente desenvolvida por [Barragán sd]. Para facilitar o desenvolvimento e a gestão do código, foi empregada a plataforma PlatformIO, que oferece um ambiente integrado para programação de sistemas embarcados.

Para a programação na placa ESP32S, foram necessárias bibliotecas adicionais para garantir a execução correta do projeto. A biblioteca SdFat [Greiman sd] foi utilizada para a leitura dos arquivos armazenados no cartão de memória, enquanto a biblioteca Arduino-Audio-Tools [Schatzmann sda] viabilizou o processamento desses arquivos para reprodução de áudio. A transmissão via Bluetooth fez uso da biblioteca ESP32-A2DP [Schatzmann sdb], permitindo a reprodução dos áudios diretamente no fone de ouvido.

6. Primeiras Impressões e Reflexões

O desenvolvimento e aprimoramento do projeto ocorreram, inicialmente, por meio de testes em ambiente controlado, conduzidos pela própria equipe, sob a coordenação e supervisão da professora de Educação Especial. O objetivo foi verificar se os múltiplos formatos de apresentação da informação, percepção e estímulos sensoriais estavam garantidos e se atendiam às diretrizes do DUA. Também foram analisadas a conexão entre o conteúdo principal, o uso de símbolos e as informações complementares, avaliando se essa estrutura favorecia a compreensão e a construção do conhecimento pelos usuários.

Após os testes em ambiente controlado, considerou-se pertinente observar a aceitação preliminar da proposta em cenários reais. Assim, a Janela Periódica Inclusiva foi apresentada em eventos acadêmicos e científicos, caracterizados por ambientes dinâmicos, com múltiplos estímulos e interações. Essas ocasiões permitiram observar a interação espontânea do público com o protótipo, gerando percepções iniciais sobre sua aplicabilidade, atratividade e potencial didático. Embora essas interações não configurem uma validação científica formal, contribuíram para identificar ajustes e direcionamentos para o aprimoramento contínuo do projeto. A Figura 6 ilustra esse cenário de interação.



Figura 6. Registro de interação durante a IFTech

Nessas oportunidades, a Janela Periódica Inclusiva foi manipulada por estudantes com diferentes necessidades educacionais, além de ser avaliada por professores de distintas áreas do conhecimento que visitavam os eventos. A interação com esses docentes permitiu obter percepções variadas sobre a aplicabilidade do recurso em diferentes contextos educacionais. A diversidade do público-alvo possibilitou verificar a adaptabilidade do produto a distintos perfis, com ênfase na inclusão e autonomia durante a interação.

- Experiência com Estudante com Deficiência Visual Total: Uma das primeiras avaliações foi realizada por uma estudante com deficiência visual total do Campus Paranavaí, que utilizou o sistema de forma completamente independente. A interação ocorreu por meio do Braille, dos códigos See Color e das informações transmitidas por áudio, sugerindo que os recursos de acessibilidade implementados favorecem a experiência de aprendizado.
- Experiência com Estudante com TDAH: Outro caso registrado foi o de um estudante diagnosticado com TDAH, que indicou maior foco e engajamento ao utilizar o sistema. Observou-se que os estímulos visuais, aliados à interação ativa e ao áudio descritivo, contribuíram para a manutenção da concentração. Esse resultado sugere que o design multimodal pode favorecer a aprendizagem e a retenção de informações para usuários com essa necessidade.
- Experiência com Estudante com Baixa Visão: Um estudante com deficiência visual parcial (baixa visão) relatou que a qualidade do áudio era satisfatória, mesmo em um ambiente ruidoso. Isso reforça a importância do headphone Bluetooth com suporte ao codec A2DP, que garante clareza na transmissão do som. Embora não tivesse conhecimento em Braille, sua familiaridade com o See Color facilitou a identificação dos elementos e sua associação com as legendas da Janela.
- Experiência com Estudante com Deficiência Auditiva Total: Outro participante que interagiu com o produto foi um estudante com deficiência auditiva total, cuja principal forma de comunicação é a Libras. Durante o uso, ele explorou as janelas dos elementos de seu interesse e acessou os códigos QR. Ao escanear os códigos, foi redirecionado para vídeos em Libras, contendo as mesmas informações transmitidas pelo áudio do headphone. Esse tipo de recurso multimodal está alinhado às diretrizes do Desenho Universal, que indicam a importância de disponibilizar informações em diferentes formatos para atender a diversas necessidades.

Durante as feiras os professores que visitavam observaram que a proposta, ao apresentar os elementos químicos de maneira visual, auditiva, sinestésica e interativa, facilita a compreensão dos conceitos fundamentais da Química e das Ciências. A utilização de recursos multimodais, como cores, imagens e explicações simples (audiodescrição e vídeos em Libras), torna o conteúdo mais dinâmico e acessível, especialmente para alunos com dificuldades de aprendizagem ou deficiências.

A capacidade da Janela Periódica Inclusiva de atender aos usuários que interagiram com ela indica sua flexibilidade e potencial em proporcionar uma experiência acessível e autônoma. Além disso, o uso de múltiplos formatos de interação — como áudio descritivo, Braille, códigos See Color, estímulos visuais e vídeos em Libras — reforça a importância das abordagens multimodais para garantir acessibilidade em diferentes contextos educacionais. Essa diversidade de recursos amplia as possibilidades de uso pedagógico da ferramenta, permitindo sua adaptação a diferentes perfis e realidades escolares.

O término da primeira versão do projeto coincidiu com o final do ano letivo, postergando alguns aprimoramentos para o ano letivo de 2025. Para a próxima versão, pretende-se aperfeiçoar os recursos existentes e expandir as possibilidades de aplicação, considerando outras especificidades educacionais.

Além disso, será essencial verificar o uso em sala de aula articulado com temas relacionados à Tabela Periódica, observando sua eficácia como ferramenta pedagógica integrada ao ensino.

As primeiras interações possibilitaram uma análise qualitativa da recepção da Janela Periódica Inclusiva, revelando pontos fortes e oportunidades de aprimoramento. Os relatos indicam que diversos princípios do Desenho Universal para Aprendizagem foram contemplados, como o uso equiparável, a simplicidade intuitiva e a apresentação da informação por múltiplos canais. No entanto, aspectos como esforço físico reduzido e tolerância a erro ainda se configuram como desafios a serem enfrentados em versões futuras.

Também se reconhece a necessidade de uma validação quantitativa mais robusta. Para isso, está em desenvolvimento um protocolo de pesquisa com aplicação em contextos escolares reais, cuja submissão ao Comitê de Ética já está prevista. Essa próxima etapa será fundamental para aprofundar a análise do impacto pedagógico da proposta, de forma ética e metodologicamente estruturada.

7. Considerações Finais

A Janela Periódica Inclusiva representa um avanço na democratização do ensino de Química, demonstrando que a acessibilidade pode ser integrada de forma orgânica ao processo educacional. Mais do que um recurso didático adaptado, o projeto propõe um novo modelo de ensino, onde a inclusão não é um complemento, mas sim parte fundamental da experiência de aprendizado.

O desenvolvimento do protótipo revelou desafios importantes, como a necessidade de equilibrar custo, tecnologia e aplicabilidade pedagógica. A adoção de plataformas abertas e sensores artesanais viabilizou a proposta, permitindo que o material fosse replicado e adaptado conforme diferentes contextos escolares. Além disso, a experiência com o Desenho Universal para Aprendizagem (DUA) reforçou a importância de recursos que atendam diferentes estilos cognitivos, garantindo que o ensino da Química seja acessível e engajador para todos os estudantes.

Contudo, a implementação do projeto também evidenciou oportunidades de aprimoramento. Um dos desafios observados foi a subutilização das placas de prototipagem, que possuem recursos excedentes para a aplicação proposta. Como solução, prevê-se o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso própria, otimizada para os requisitos específicos do sistema, tornando o hardware mais eficiente e acessível.

Além disso, para ampliar o impacto do projeto, será explorada a criação de uma versão compacta e portátil, projetada para ambientes com espaço reduzido e para facilitar o transporte por professores, essa adaptação não só reduzirá custos, como também expandirá a aplicabilidade do material em diferentes cenários educacionais.

O projeto deverá passar por mais validações ao longo deste ano, permitindo ajustes e melhorias contínuas com base nas necessidades observadas e no *feedback* de usuários.

Pretende-se também explorar maneiras de disponibilizar o projeto para um público mais amplo, proporcionando a outras escolas o acesso a essa solução inovadora desenvolvida no campus.

Em última instância, o projeto reafirma que a inclusão e a inovação devem caminhar lado a lado no ensino de Ciências. Soluções acessíveis podem ser incorporadas ao currículo escolar sem exigir complexidade ou investimentos elevados. A Janela Periódica Inclusiva se configura, portanto, como um exemplo de como a tecnologia pode transformar barreiras em oportunidades, promovendo um ensino mais equitativo e significativo para todos.

Referências

- Barragán, H. (s.d.). Wiring: The First Development Platform for Arduino. <https://wiring.org.co/>. Acessado em: 25 jan. 2025.
- de Oliveira, J. S., Fenner, H., Appelt, H. R., and dos Santos Pizon, C. (2013). Ensino de química inclusivo: tabela periódica adaptada a deficientes visuais. *Experiências em Ensino de Ciências*, 8(2):28–36.
- dos Santos, A. E. (2020). Tabela periódica inclusiva: Profa. alda ernestina. Acesso em: 02 fev. 2025.
- Greiman, B. (s.d.). SdFat Library. <https://github.com/greiman/SdFat>. Acessado em: 25 jan. 2025.
- Mantoan, M. T. E. (2015). *Inclusão escolar: O que é? Por quê? Como fazer?* Summus Editorial.
- Marchi, S. R., Brogin, B., and Okimoto, M. L. L. R. (2022). See color: Desenvolvimento de uma linguagem tátil das cores para pessoas com deficiência visual. *Estudos em Design*, 30(1).
- Masson, R., Chiari, P. H., Cardoso, T. P., and Mascarenhas, Y. P. (2016). Tabela periódica inclusiva. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 16(S1):999–1003.
- Medeiros, A. R. N., dos Santos, A. E., Carvalho, V. S., Chiquitto, A. G., and Mourão, F. P. (2024). Tabela periódica inclusiva: desenvolvimento de um software para auxiliar professores no ensino inclusivo da química. *Educação Química en Punto de Vista*, 8:18–29. Acesso em: 02 fev. 2025.
- Rose, D. (2000). Universal design for learning. *Journal of Special Education Technology*, 15(4):47–51.
- Schatzmann, P. (s.d.a). Arduino Audio Tools Library. <https://github.com/pschatzmann/arduino-audio-tools>. Acessado em: 25 jan. 2025.
- Schatzmann, P. (s.d.b). Esp32 a2dp library. <https://github.com/pschatzmann/ESP32-A2DP>. Acessado em: 25 jan. 2025.
- Univesp (s.d.). Tabela periódica acessível. Acesso em: 02 fev. 2025.