Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

OPEN ACCESS

doi.org/10.51891/rease.v12i11.31679

AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE DO JOGO EDUCATIVO MATHCLIMBER

HEURISTIC USABILITY EVALUATION OF THE EDUCATIONAL GAME MATHCLIMBER

EVALUACIÓN HEURÍSTICA DE USABILIDAD DEL JUEGO EDUCATIVO MATHCLIMBER

Lucas Scheffer Hundsdorfer[1]
Agnaldo da Costa[2]
Arlete Teresinha Beuren[3]

RESUMO: Este trabalho apresenta uma avaliação heurística de usabilidade da interface do MathClimber, jogo educativo de plataforma bidimensional desenvolvido na Godot Engine, no qual estudantes dos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental resolvem equações matemáticas progressivas ao coletar operandos distribuídos pelo cenário. Objetiva identificar problemas de interface que imponham carga cognitiva desnecessária ao aprendiz e comprometam a transposição didática pretendida, no contexto da pré-validação técnica do software. Trata-se de uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e descritiva, na qual três avaliadores inspecionaram as telas do jogo com base nas dez heurísticas de Nielsen e classificaram os problemas encontrados pela escala de severidade de cinco níveis. Os resultados apontam doze problemas de usabilidade, sendo dois graves (severidade 3), correspondentes à ausência de comando para desfazer a coleta indevida de um número e à fragilidade na prevenção de erros de coleta, além de oito problemas leves (severidade 2) e dois cosméticos (severidade 1), sem ocorrência de problemas catastróficos. Destacam-se como pontos positivos a equação-alvo fixa no topo da tela e a tela de retorno pós-falha que confronta a meta com a resposta do jogador. Conclui-se que refatorações pontuais no design de interação são necessárias para que a interface atue como mediadora transparente da aprendizagem.

Palavras-chave: Interação humano-computador. Avaliação heurística. Jogo educativo.

ABSTRACT: This paper presents a heuristic usability evaluation of the MathClimber interface, a two-dimensional educational platform game developed in the Godot Engine, in which elementary and middle school students solve progressive math equations by collecting operands scattered across the level. It aims to identify interface problems that impose unnecessary cognitive load on learners and compromise the intended didactic transposition, within the context of the software's technical pre-validation. This is applied research with a qualitative and descriptive approach, in which three evaluators inspected the game's screens based on Nielsen's ten heuristics and classified the problems found using a five-level severity scale. The results reveal twelve usability problems, including two major problems (severity 3): the absence of a command to undo the improper collection of a number, and weak prevention of collection errors. In addition, eight minor problems (severity 2) and two cosmetic problems (severity 1) were found, with no catastrophic problems. Positive aspects include the fixed target equation at the top of the screen and the error screen that compares the goal with the player's answer. It is concluded that targeted refactoring of the interaction design is necessary for the interface to act as a transparent mediator of learning.

Keywords: Human-computer interaction. Heuristic evaluation. Educational game.

[1] Graduando em Ciência da Computação (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Santa Helena. Lattes:
[2] Orientador. Docente do curso de Ciência da Computação (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Santa Helena.
[3] Orientadora. Docente do curso de Ciência da Computação (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Santa Helena.

RESUMEN: Este trabajo presenta una evaluación heurística de usabilidad de la interfaz de MathClimber, un juego educativo de plataformas bidimensional desarrollado en Godot Engine, donde estudiantes de educación primaria y secundaria resuelven ecuaciones matemáticas progresivas al recoger operandos distribuidos por el escenario. Busca identificar problemas de interfaz que impongan una carga cognitiva innecesaria al aprendiz y comprometan la transposición didáctica prevista, en el contexto de la prevalidación técnica del software. Se trata de una investigación aplicada, de enfoque cualitativo y descriptivo, en la que tres evaluadores inspeccionaron las pantallas del juego según las diez heurísticas de Nielsen y clasificaron los problemas encontrados mediante la escala de severidad de cinco niveles. Los resultados señalan doce problemas de usabilidad, entre ellos dos problemas graves (severidad 3): la ausencia de un comando para deshacer la recolección indebida de un número y la fragilidad en la prevención de errores de recolección; además, ocho problemas leves (severidad 2) y dos cosméticos (severidad 1), sin problemas catastróficos. Destacan como puntos positivos la ecuación objetivo fija en la parte superior de la pantalla y la pantalla de error que confronta la meta con la respuesta del jugador. Se concluye que son necesarias refactorizaciones puntuales en el diseño de interacción para que la interfaz actúe como mediadora transparente del aprendizaje.

Palabras clave: Interacción humano-computadora. Evaluación heurística. Juego educativo.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), é estabelecida a necessidade de desenvolver no Ensino Fundamental competências que articulem o raciocínio lógico-matemático ao uso de tecnologias digitais, promovendo o que Wing (2006) define como pensamento computacional. No entanto, o ensino de operações matemáticas abstratas frequentemente enfrenta desafios relacionados à retenção de atenção e ao engajamento dos estudantes. Nesse cenário, a gamificação e os jogos digitais educativos emergem como ferramentas pedagógicas promissoras, capazes de transformar conceitos abstratos em experiências interativas (Kapp, 2012).

Para que um jogo com a intenção de educar atinja seus objetivos alguns requisitos têm de ser cumpridos. Um desses requisitos é a transposição didática, entendida por Chevallard (1991) como a adaptação do saber científico em saber ensinável, aqui por meio de mecânicas de jogo. Todavia, a eficácia dessa transposição depende diretamente da usabilidade da Interface do Usuário. Se a interface for complexa ou confusa, o estudante aloca sua capacidade cognitiva na navegação do sistema em vez de focar no aprendizado dos conteúdos matemáticos.

Diante dessa problemática, desenvolveu-se o *MathClimber*, um jogo de plataforma focado nos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental em que o jogador navega por cenários para resolver equações matemáticas progressivas (envolvendo adições, subtrações, multiplicações, operações com parênteses e potenciação). Para garantir que o software cumpra seu papel sem impor barreiras de usabilidade, torna-se essencial avaliar a adequação da sua interface.

O objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação heurística de usabilidade da interface do jogo *MathClimber*, fundamentada nas dez heurísticas de Nielsen (1994a), analisando como o *game design* e a transposição didática dialogam com a experiência do usuário. A pesquisa justifica-se pela importância de consolidar parâmetros de Interação Humano-Computador (IHC) em softwares educativos, servindo como modelo para o desenvolvimento de jogos acadêmicos com foco no Ensino Fundamental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O projeto de interfaces educativas para o público escolar requer a compreensão das estruturas cognitivas em desenvolvimento ao longo da Educação Básica. De acordo com a epistemologia genética de Piaget (1976), os estudantes dos anos iniciais do Ensino Fundamental situam-se predominantemente no estágio das operações concretas (aproximadamente dos 7 aos 11 anos), no qual a internalização de conceitos depende da manipulação e visualização de objetos tangíveis, ao passo que nos anos finais (a partir dos 11 ou 12 anos) consolida-se a transição para o estágio operatório formal, marcado pelo pensamento hipotético-dedutivo e pelo manejo de expressões mais complexas. No contexto dos ambientes virtuais, a interface gráfica atua como um "objeto concreto digital" que apoia ambas as faixas etárias, permitindo que relações lógico-matemáticas e algébricas sejam exploradas por meio de ações perceptíveis e espaciais.

Essa perspectiva foi expandida por Papert (1980) em sua teoria do Construcionismo, na qual o computador é concebido como um suporte material para a construção ativa do conhecimento. Para Papert, a interação com o software permite que o estudante externalize suas hipóteses mentais e vivencie o erro não como uma falha punitiva, mas como uma oportunidade de depuração e reestruturação do raciocínio lógico. Assim, o design de interação e o feedback visual tornam-se componentes essenciais para guiar esse processo investigativo sem gerar frustração.

Nesse cenário, a passagem do conceito formal para o ambiente digital é fundamentada pela Transposição Didática de Chevallard (1991), que descreve a conversão do "saber sábio" em "saber ensinado" por meio de metáforas lúdicas e regras operacionais. Sob a ótica da gênese instrumental (Rabardel, 1995), a interface de usuário (UI) constitui o artefato técnico que só se converte em instrumento cognitivo quando a criança assimila suas affordances e as integra aos seus esquemas mentais de resolução de problemas, destacando a necessidade de uma interação intuitiva e com baixa carga cognitiva acessória.

A Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), complementada pela Resolução CNE/CP n.º 1/2022 (Brasil, 2022), regulamenta a inclusão da Computação na Educação Básica, estabelecendo que o raciocínio algorítmico, a abstração e a representação de dados devem ser fomentados desde o Ensino Fundamental.

Nesse escopo, o Pensamento Computacional é definido por Wing (2006) como uma habilidade fundamental que envolve a resolução de problemas, o desenho de sistemas e a compreensão do comportamento humano a partir de conceitos basilares da ciência da computação. Conforme pontuam Grover e Pea (2013), a introdução dessas competências na Educação Básica (K-12) exige ferramentas que reduzam a sobrecarga sintática por meio de estratégias visuais e interativas. Ao exigir que o aluno encontre e combine operandos e operadores em tempo real para satisfazer equações-alvo, o jogo estimula processos de decomposição de problemas e reconhecimento de padrões lógicos de forma intuitiva.

A aplicação de elementos de jogos em contextos não lúdicos visa potencializar a motivação intrínseca e o engajamento dos estudantes. Conforme sistematizado por Kapp (2012), a gamificação eficiente em ambientes de aprendizagem depende da articulação equilibrada entre regras claras, ciclos de desafio e sistemas de feedback imediato. Essa dinâmica favorece a imersão e o estado de *flow* (fluxo), conceituado originalmente por Csikszentmihalyi (1990) como o estado mental em que o equilíbrio entre a habilidade do indivíduo e o desafio proposto maximiza o envolvimento cognitivo, favorecendo a retenção do conhecimento e reduzindo barreiras emocionais frente ao erro (Hamari et al., 2016).

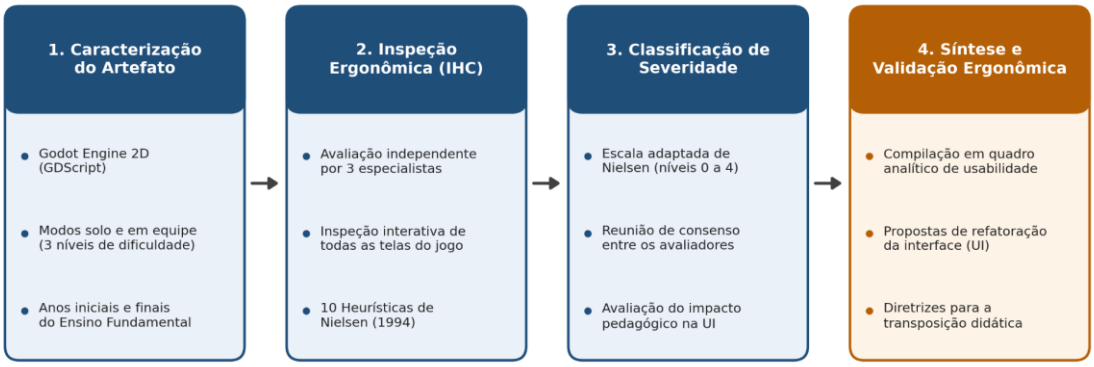
Contudo, a imersão só é sustentável se a interação com o sistema for fluida. No campo da IHC, a Avaliação Heurística descrita por Nielsen (1994a) constitui um dos métodos de inspeção de usabilidade mais difundidos para identificar falhas de design na UI. Embora a literatura apresente conjuntos heurísticos voltados especificamente à jogabilidade (*playability*), como os princípios de *game design* de Pinelle, Wong e Stach (2008) e o protocolo *Heuristic Evaluation for Playability* (HEP) de Desurvire, Caplan e Toth (2004), optou-se neste estudo pelas dez heurísticas clássicas de Nielsen (1994a) porque o foco da pré-validação recai sobre a ergonomia dos componentes de interface (HUD, notação simbólica, prevenção de entradas acidentais e modais de feedback) enquanto mediadores didáticos. Estudos correlatos que aplicam inspeções heurísticas em jogos educativos de matemática, como o trabalho de Azevêdo, Rousy e Siebra (2018), demonstram que falhas básicas de visibilidade, controle e feedback na interface comprometem diretamente a compreensão das regras aritméticas pela criança. Assim,

em jogos como o *MathClimber*, a inspeção de Nielsen permite verificar se a interface comunica com precisão as metas matemáticas sem impor atritos cognitivos desnecessários à navegação do jogador.

3 METODOLOGIA

Para sistematizar e evidenciar a sequência de etapas adotadas nesta pesquisa, a abordagem foi estruturada em etapas progressivas, que vão desde a caracterização da arquitetura do artefato até a consolidação das diretrizes para validação ergonômica. A representação esquemática da metodologia é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo do procedimento metodológico de avaliação e validação ergonômica



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada com abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada no método de inspeção ergonômica de software por meio da Avaliação Heurística de Usabilidade (Nielsen, 1994a). Em consonância com o fluxo da Figura 1, o percurso metodológico estruturou-se em quatro etapas principais: (1) Caracterização do Artefato (*MathClimber*), contemplando sua arquitetura, modos e público escolar; (2) Inspeção Ergonômica (IHC), executada de forma independente por três avaliadores especialistas sobre todas as telas do jogo com base nas dez heurísticas de Nielsen; (3) Classificação de Severidade, mediante escala adaptada de cinco níveis (0 a 4), reunião de consenso entre os avaliadores e análise do impacto pedagógico na interface; e (4) Síntese e Validação Ergonômica, consolidando o quadro analítico de usabilidade, as propostas de refatoração da UI e as diretrizes para apoiar a transposição didática.

O objeto de análise deste estudo é o jogo educativo MathClimber (versão 1.0, compilada para plataforma desktop/PC), desenvolvido na Godot Engine utilizando a linguagem GDScript. Trata-se de um jogo de plataforma 2D voltado a estudantes dos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental, cujo objetivo é solucionar desafios matemáticos progressivos integrando raciocínio lógico e coordenação motora. O software dispõe de modos de jogo individual (solo) e cooperativo (em equipe), organizados em três níveis de dificuldade que progridem desde adições, subtrações e multiplicações simples até expressões compostas com parênteses e potenciação. A dinâmica central de jogabilidade baseia-se na navegação por plataformas onde números (operandos) estão dispostos no cenário, enquanto a interface superior (Head-Up Display - HUD) exibe uma equação-alvo pré-definida com o resultado esperado visível. Para coletar um operando e preencher o respectivo espaço vazio da equação, o jogador deve aproximar o personagem do número no cenário e acionar a tecla [E]. Uma vez preenchidos todos os espaços da expressão no HUD, o deslocamento do personagem até a porta de saída na extremidade do mapa aciona a verificação da resposta: caso a igualdade matemática seja satisfeita, a fase é concluída; caso a combinação esteja incorreta, o sistema exibe um modal de diagnóstico de erro e reinicia o desafio.

A inspeção foi conduzida em outubro de 2026 por três avaliadores especialistas vinculados ao projeto e à área de Computação, atendendo à recomendação de Nielsen (1994a) de empregar entre três e cinco avaliadores para ampliar a cobertura de problemas identificados e mitigar o viés de um inspetor único. Cada avaliador percorreu de forma independente todas as telas do sistema, incluindo menu principal, seleção de modos e dificuldades, fase introdutória de tutorial, fases dos três níveis de dificuldade no HUD de partida e modais de vitória e erro, em sessões individuais com duração média de 45 minutos, seguidas de reunião de consenso para consolidação da lista final de problemas.

O procedimento de inspeção seguiu as diretrizes preconizadas por Nielsen (1994a), aplicando o conjunto das 10 Heurísticas de Usabilidade Geral:

- Visibilidade do status do sistema;
- Correspondência entre o sistema e o mundo real;
- Controle e liberdade do usuário;
- Consistência e padrões;
- Prevenção de erros;
- Reconhecimento em vez de memorização;

• Flexibilidade e eficiência de uso;

• Estética e design minimalista;

• Ajuda para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros;

• Ajuda e documentação.

Para a sistematização das não conformidades identificadas na interface, utilizou-se a escala de severidade de cinco níveis adaptada de Nielsen (1994a, 1994b) ao contexto de jogos educativos:

• 0 - Não é um problema: Não afeta a usabilidade do jogo.

• 1 - Problema cosmético: Não necessita de correção urgente, afetando apenas detalhes visuais secundários.

• 2 - Problema leve: Ocorre com baixa frequência ou é facilmente contornado pelo jogador, com baixa prioridade de correção.

• 3 - Problema grave: Dificulta a execução da tarefa matemática ou prejudica o fluxo lúdico do estudante, exigindo alta prioridade de correção.

• 4 - Catástrofe de usabilidade: Impede a continuidade do jogo ou inviabiliza a resolução do problema pedagógico, demandando correção obrigatória antes da liberação do software.

Os dados resultantes da inspeção foram compilados em quadro analítico contendo a identificação individual de cada problema, a heurística violada, o elemento da UI avaliado, o impacto pedagógico gerado, o grau de severidade consensual e as propostas de refatoração de interface.

4 RESULTADOS

A avaliação heurística aplicada à interface do *MathClimber* permitiu mapear doze problemas de usabilidade distribuídos entre as dez heurísticas, evidenciando tensões entre a proposta de transposição didática e a ergonomia de interação. No tocante à primeira heurística, visibilidade do status do sistema, o HUD superior exibe de forma contínua a equação e o cronômetro (Figura 2). Contudo, identificaram-se dois problemas distintos de severidade 2 (leve): o primeiro (P1) consiste na ausência de um indicador visual de foco ativo no espaço (*slot*) da operação que está sendo preenchido, gerando ambiguidade no momento da tomada de decisão; o segundo (P2) refere-se à abertura da porta de saída na extremidade do mapa sem sinalizador sonoro ou luminoso no campo de visão imediato do jogador, dificultando a percepção de que a condição de término foi atingida. Em relação à segunda heurística,

correspondência entre o sistema e o mundo real, também foram desmembradas duas não conformidades: a primeira (P3) diz respeito ao uso da letra "x" minúscula como operador de multiplicação. Embora essa grafia seja comum em livros didáticos dos anos iniciais, ela conflita com a notação algébrica da incógnita *x* introduzida nos anos finais do Ensino Fundamental, nos quais se preconiza o símbolo tipográfico (×) ou o ponto central (·), configurando um problema cosmético de severidade 1. Já a segunda (P4) reside no mapeamento do comando de coleta na tecla [E] sem a exibição de um ícone ou legenda persistente no HUD ou junto aos números após a fase de tutorial, exigindo que o estudante memorize uma convenção oriunda de jogos de computador (severidade 2).

Figura 2 – Interface em tempo de jogo destacando o HUD superior e a porta de saída na extremidade do mapa

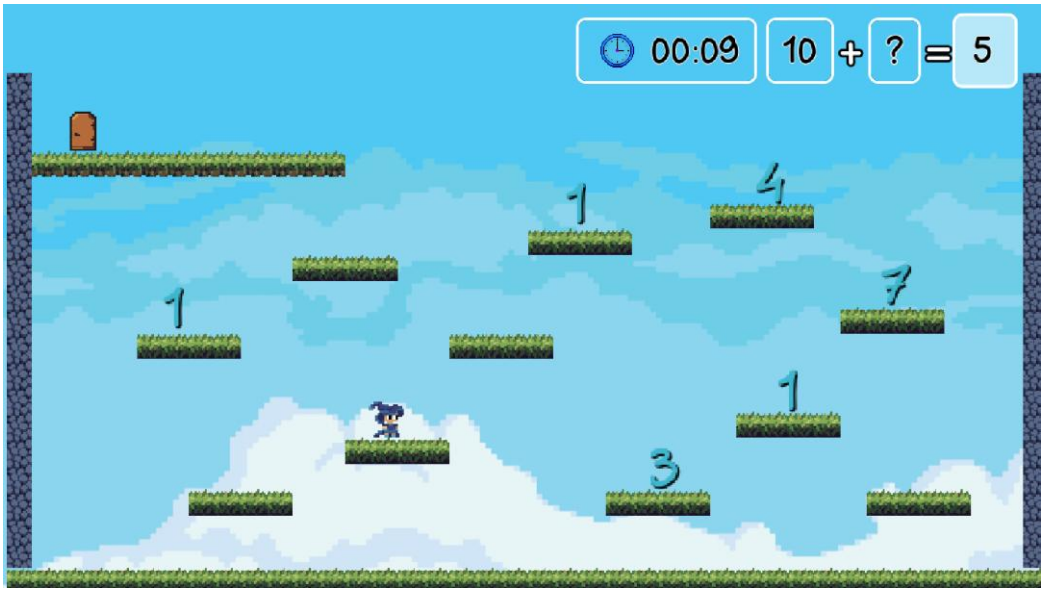


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A terceira heurística, controle e liberdade do usuário, evidenciou o gargalo ergonômico mais crítico do artefato (P5), recebendo severidade 3 (grave). O sistema não disponibiliza comando para descarte ou desfazimento (*undo*) de um operando coletado por engano. Conforme ilustrado na Figura 3, ao coletar o número 10, o estudante depara-se no HUD com a expressão "10 + ? = 5", que já se torna matematicamente impossível no conjunto dos números naturais disponíveis no cenário. Ainda assim, como a porta de saída funciona na prática como o gatilho de submissão da equação completa (divergindo da mensagem do tutorial segundo a qual a porta só se abriria mediante a conta correta), o jogador fica aprisionado ao erro: ele é obrigado a coletar um segundo número qualquer e deslocar-se até a porta para provocar a tela de erro e o reinício

da fase. Esse fluxo punitivo impõe perda forçada de tempo e rompe o estado de *flow* necessário à aprendizagem (Csikszentmihalyi, 1990; Hamari et al., 2016). No que concerne à quarta heurística, consistência e padrões, o layout dos botões e o padrão cromático mantêm uniformidade estilística nos menus e transições. Entretanto, identificou-se um problema cosmético (P6, severidade 1) na apresentação visual das operações ao longo da progressão de dificuldade: enquanto as operações básicas utilizam caixas e espaçamento uniformes, as expressões com potenciação (como em "3^2 - 2 = 7", visível no HUD da Figura 2, onde o expoente fica comprimido fora da moldura do operando) e com parênteses nos níveis avançados sofrem ligeira compressão tipográfica no HUD, quebrando a padronização visual entre as fases.

Figura 3 – Estado de preenchimento dos operandos no HUD sem mecanismo de descarte (undo) de valores incorretos

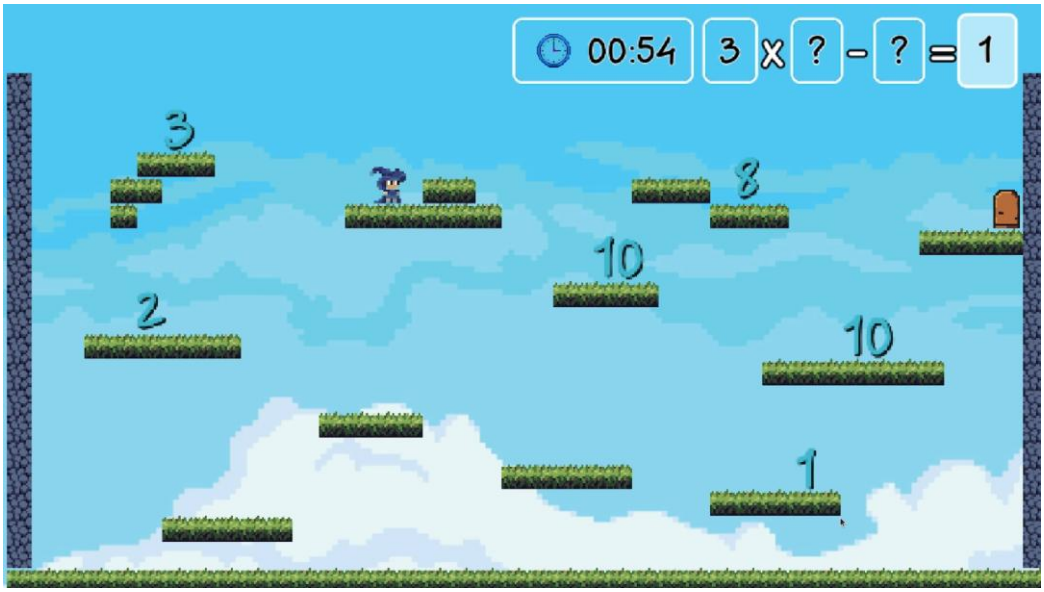


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

No âmbito da quinta heurística, prevenção de erros, a interface atua de maneira passiva e frágil (P7, severidade 3). Embora a coleta exija o acionamento da tecla [E], o amplo raio de colisão em torno dos números disposto em plataformas estreitas faz com que o jogador, ao manter a tecla pressionada ou acioná-la repetidamente durante trajetórias de salto, colete involuntariamente operandos adjacentes indesejados. Ademais, como evidenciado na própria Figura 3 ("10 + ? = 5"), o sistema não oferece confirmação visual de alcance nem impede ou alerta o preenchimento de um valor que torna a igualdade aritmética imediatamente insolúvel. Em contrapartida, a sexta heurística, reconhecimento em vez de memorização, constitui um dos pontos fortes do design ao manter a equação-alvo fixa no topo da tela (Figura 4), aliviando a

memória de trabalho do estudante enquanto calcula trajetórias de salto. Não obstante, registrou-se como problema leve (P8, severidade 2) a ausência de apoio visual para etapas intermediárias em expressões mais extensas, forçando o aluno a recalcular mentalmente toda a sentença a cada operando inserido. Ressalta-se, sob o ponto de vista pedagógico, que eventual refatoração desse item não deve exibir o resultado parcial final da conta, pois isso entregaria a resposta pronta por tentativa e erro e esvaziaria o raciocínio aritmético, devendo apenas destacar visualmente a precedência ou o agrupamento dos termos já preenchidos.

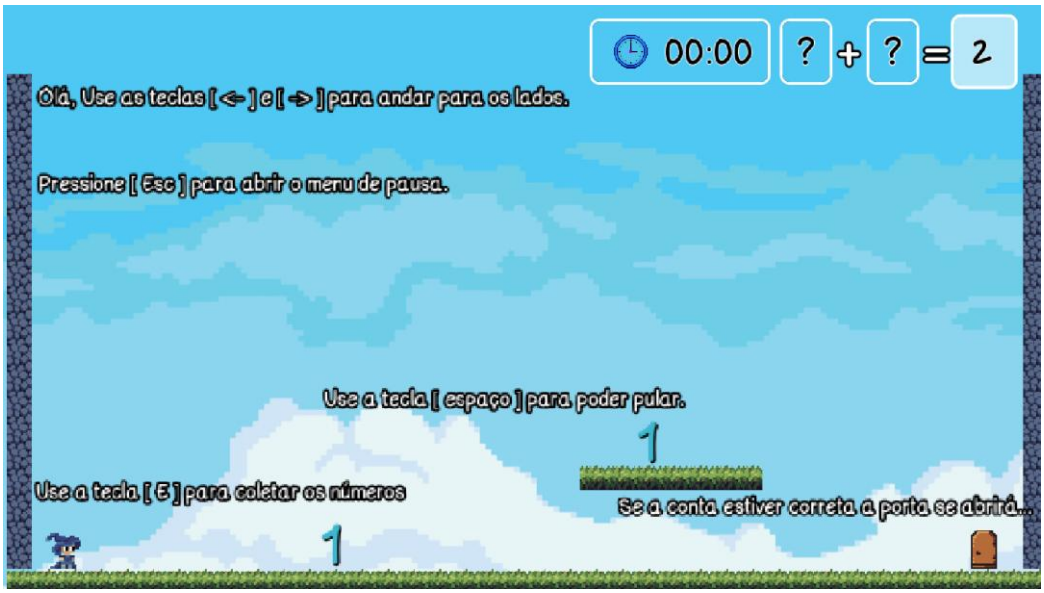
Figura 4 – Disposição espacial dos números em plataformas verticais e visualização contínua da meta matemática



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Sob o prisma da sétima heurística, flexibilidade e eficiência de uso, identificou-se a ausência de aceleradores de navegação durante a partida (P9, severidade 2). Embora o software ofereça flexibilidade inicial por meio dos modos solo, em equipe e dos três níveis de dificuldade, a inexistência de uma tecla de atalho dedicada para reinicialização rápida da fase (quick-restart) penaliza o jogador mais experiente, que precisa pausar a partida e navegar pelo menu para recomeçar um percurso mal executado. Quanto à oitava heurística, estética e design minimalista, constatou-se uma violação na fase introdutória de tutorial (P10, severidade 2). Conforme exibido na Figura 5, a exposição simultânea de múltiplos blocos extensos de texto sobre o cenário celeste gera poluição visual e concorre com a visualização das plataformas e do avatar, dificultando a leitura inicial dos comandos.

Figura 5 – Sobrecarga textual sobreposta ao cenário celeste na fase introdutória de tutorial



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Na nona heurística, ajuda para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros, o modal pós-falha cumpre importante função pedagógica ao confrontar a meta esperada com a expressão submetida pelo jogador (Figura 6), favorecendo o ciclo de depuração descrito por Papert (1980). Nos testes realizados durante a inspeção, constatou-se que o algoritmo de validação do jogo funciona corretamente e aceita qualquer combinação matematicamente válida, tanto pela propriedade comutativa (como 4 + 10 = 14) quanto em fases que admitem múltiplas respostas entre os números disponíveis no cenário, a exemplo da Figura 4 (3 × ? - ? = 1, na qual tanto 3 × 1 - 2 = 1 quanto 3 × 3 - 8 = 1 são aceitas e concluem a fase). Todavia, verificou-se ambiguidade no feedback textual da tela de erro (P11, severidade 2): quando o jogador erra a operação (como ao submeter 1 + 10 = 11 na Figura 6), o modal exibe apenas uma combinação pré-definida como exemplo ("A conta era: 10 + 4 = 14"), transmitindo ao estudante a falsa impressão de que o problema admitiria apenas aquela única resposta fixa.

Figura 6 – Modal explicativo de erro exibindo a comparação entre a equação esperada e a submetida pelo jogador



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Por fim, na décima heurística, ajuda e documentação, constatou-se que o jogo restringe suas orientações às mensagens estáticas da primeira fase (P12, severidade 2), carecendo de uma seção consultável de instruções no menu principal ou de um glossário sobre a precedência de operadores para apoio aos níveis avançados. O saneamento dessas inconsistências mapeadas é necessário para que a interface atue como mediadora cognitiva transparente, viabilizando a transposição didática pretendida no projeto do *MathClimber*.

O Quadro 1 sintetiza os doze problemas identificados individualmente e associados às respectivas heurísticas de Nielsen, detalhando o elemento da interface, o impacto pedagógico, a severidade atribuída (Sev.) e a proposta de refatoração. Observa-se que nenhum problema foi classificado como catastrófico (severidade 4), enquanto dois problemas foram classificados como graves (severidade 3), oito como leves (severidade 2) e dois como cosméticos (severidade 1).

Quadro 1 – Síntese da avaliação heurística da interface do MathClimber

ID / Heurística violada	Elemento da UI e problema identificado	Impacto pedagógico	Sev.	Proposta de refatoração
P1 (1. Visibilidade do status do sistema)	HUD superior: ausência de indicador visual de foco ativo no espaço (slot) da operação em preenchimento.	Ambiguidade na tomada de decisão sobre qual termo da equação receberá o próximo número coletado.	2	Destacar visualmente com borda ou pulsação o espaço ativo da equação no HUD.

ID / Heurística violada	Elemento da UI e problema identificado	Impacto pedagógico	Sev.	Proposta de refatoração
P2 (1. Visibilidade do status do sistema)	Porta de saída: ativação na extremidade do mapa sem sinal sonoro ou luminoso no campo de visão imediato do jogador.	Dificuldade de perceber que todos os espaços foram preenchidos e que a equação já pode ser validada na porta.	2	Emitir feedback sonoro e indicador visual direcional ao preencher o último espaço da equação.
P3 (2. Correspondência entre o sistema e o mundo real)	Operador no HUD: uso da letra "x" minúscula como sinal de multiplicação.	Embora usual nos anos iniciais, gera ambiguidade com a incógnita algébrica x nos anos finais do Ensino Fundamental.	1	Adotar o símbolo tipográfico de multiplicação (×) ou o ponto central (·) conforme o nível escolar.
P4 (2. Correspondência entre o sistema e o mundo real)	Comando de coleta: mapeado na tecla "E" sem legenda ou ícone persistente na interface após a fase de tutorial.	Exige memorização de atalho típico de jogos de computador, sem dica visual contínua durante as partidas.	2	Exibir rótulo ou ícone contextual da tecla "E" quando o avatar estiver próximo a um operando.
P5 (3. Controle e liberdade do usuário)	Coleta de operandos: ausência de comando para descartar ou desfazer (undo) um número coletado por engano (ex.: "10 + ? = 5" na Figura 3).	Aprisiona o jogador a uma equação já insolúvel, obrigando-o a ir até a porta para forçar o erro e reiniciar a fase, quebrando o flow.	3	Implementar tecla dedicada para descartar o último operando coletado e alinhar o texto do tutorial ao funcionamento da porta.
P6 (4. Consistência e padrões)	Operadores no HUD: compressão tipográfica em expressões compostas com parênteses e potenciação nos níveis avançados.	Quebra da padronização visual e redução da legibilidade entre as fases iniciais e avançadas.	1	Padronizar o espaçamento e o dimensionamento dinâmico da fonte no HUD em todas as fases.
P7 (5. Prevenção de erros)	Coleta em plataformas estreitas: amplo raio de colisão associado ao acionamento da tecla "E", sem alerta para entradas insolúveis.	Coleta involuntária de operandos adjacentes durante saltos e inserção de valores que inviabilizam a igualdade.	3	Reduzir e destacar a zona de alcance do número coletável, evitando coletas múltiplas com a tecla pressionada.
P8 (6. Reconhecimento em vez de memorização)	HUD superior: ausência de sinalização da estrutura ou agrupamento parcial em expressões longas.	Exige recálculo mental completo da expressão a cada operando inserido nos níveis mais complexos.	2	Destacar a ordem de resolução dos termos preenchidos, sem exibir o resultado numérico final para não entregar a resposta.
P9 (7. Flexibilidade e eficiência de uso)	Fluxo de partida: ausência de tecla de atalho dedicada para reinício rápido da fase (quick-restart).	Penaliza o jogador experiente, que precisa pausar a partida e navegar pelo menu para recomeçar.	2	Criar tecla de atalho direta (com confirmação rápida) para reinício imediato da fase.
P10 (8. Estética e design minimalista)	Fase introdutória de tutorial: múltiplos blocos extensos de texto exibidos simultaneamente sobre o cenário.	Poluição visual que concorre com as plataformas e o avatar, dificultando a leitura inicial dos comandos.	2	Apresentar as instruções de forma progressiva por meio de caixas curtas acionadas por proximidade.
P11 (9. Ajuda para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros)	Modal pós-falha: exibe apenas uma combinação estática como correta (ex.: "A conta era: 10 + 4 = 14"), mesmo quando há	Aparenta restringir o problema a uma única resposta fixa, podendo gerar confusão quanto à comutatividade e a	2	Reformular o texto do modal de erro para explicitar que qualquer combinação matematicamente válida é aceita pelo jogo, indicando apenas a diferença entre o valor obtido e a meta.

ID / Heurística violada	Elemento da UI e problema identificado	Impacto pedagógico	Sev.	Proposta de refatoração
	múltiplas soluções no cenário (ex.: 3 × ? – ? = 1).	combinações equivalentes.		
P12 (10. Ajuda e documentação)	Documentação interna: instruções restritas às mensagens estáticas da primeira fase.	Impede a consulta posterior aos comandos e à precedência de operadores nas fases avançadas.	2	Incluir seção de instruções no menu principal e guia rápido sobre hierarquia de operadores.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A sistematização apresentada no Quadro 1 evidencia a utilidade da inspeção heurística para relacionar o *game design* à transposição didática em softwares educativos (Chevallard, 1991; Rabardel, 1995). Quando mecânicas de plataforma 2D, como o salto próximo a múltiplos operandos (P7) e a submissão obrigatória na porta sem opção de desfazer (P5), geram atritos operacionais, o estudante desvia recursos atencionais da resolução aritmética para o controle motor e a recuperação de falhas da interface. Esses achados convergem com a literatura sobre usabilidade em jogos digitais e educativos: Pinelle, Wong e Stach (2008) apontam que falhas de controle e ausência de resposta visual imediata estão entre os problemas mais recorrentes em jogos, enquanto Azevêdo, Rousy e Siebra (2018), ao avaliarem jogos educativos de matemática, também identificaram que feedbacks rígidos e ausência de instruções acessíveis prejudicam a autonomia do aluno. Dessa forma, a distribuição de severidades obtida oferece subsídios práticos que fundamentam tanto o aprimoramento técnico do artefato quanto as diretrizes de design necessárias para preservar o estado de *flow* (Csikszentmihalyi, 1990; Hamari et al., 2016) e a mediação pedagógica do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo demonstra que o desenvolvimento de jogos educativos para os anos iniciais e finais do Ensino Fundamental exige um alinhamento cuidadoso entre as intenções pedagógicas e as escolhas ergonômicas de interface. A avaliação heurística aplicada ao *MathClimber* atingiu o objetivo proposto ao diagnosticar que, embora o artefato promova a transposição didática das operações matemáticas para o formato de plataforma lúdica, a presença de doze problemas de usabilidade impõe barreiras cognitivas evitáveis à experiência do aprendiz.

A identificação de duas não conformidades graves (severidade 3), referentes à ausência de comando de reversão na coleta de números e à fragilidade na prevenção de coletas acidentais,

somada aos problemas leves (severidade 2), como a poluição visual na etapa introdutória e a apresentação de resposta única no modal de erro, evidencia a necessidade de refatorações pontuais no design de interação. Tais ajustes são indispensáveis para assegurar que a interface atue como uma mediadora instrumental transparente, evitando que o estudante dispense esforço atencional no contorno de limitações do software em detrimento da resolução dos desafios matemáticos.

As limitações do trabalho concentram-se na natureza analítica da inspeção por especialistas, realizada sem a participação direta de estudantes reais nesta etapa, indicando como trabalhos futuros a implementação das refatorações propostas e a condução de testes empíricos de usabilidade e de impacto pedagógico com turmas dos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental.

REFERÊNCIAS

AZEVÊDO, M.; ROUSY, D.; SIEBRA, C. AHJED - Avaliação Heurística para Jogos Educacionais Digitais. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGÍA E INFORMÁTICA EDUCATIVA (TISE), 23., 2018, Brasília. **Nuevas Ideas en Informática Educativa**, Santiago, v. 14, p. 126-133, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CP n.º 1, de 4 de outubro de 2022. Estabelece normas sobre Computação na Educação Básica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2022.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique**: du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow**: the psychology of optimal experience. New York: Harper & Row, 1990.

DESURVIRE, H.; CAPLAN, M.; TOTH, J. A. Using heuristics to evaluate the playability of games. In: CHI '04 EXTENDED ABSTRACTS ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2004, Viena. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2004. p. 1509-1512. DOI: https://doi.org/10.1145/985921.986102.

GROVER, S.; PEA, R. Computational Thinking in K-12: A review of the state of the field. **Educational Researcher**, v. 42, n. 1, p. 38-43, 2013. DOI: https://doi.org/10.3102/0013189X12463051.

HAMARI, J. et al. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. **Computers in Human Behavior**, v. 54, p. 170-179, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.045.

KAPP, K. M. **The Gamification of Learning and Instruction**: game-based methods and strategies for training and education. San Francisco: Pfeiffer/John Wiley & Sons, 2012.

NIELSEN, J. Heuristic evaluation. In: NIELSEN, J.; MACK, R. L. (ed.). **Usability Inspection Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994a. p. 25-62.

NIELSEN, J. **Severity ratings for usability problems**. Fremont: Nielsen Norman Group, 1994b. Disponível em: https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems/. Acesso em: 14 out. 2026.

PAPERT, S. **Mindstorms**: children, computers, and powerful ideas. New York: Basic Books, 1980.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**: problema central do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PINELLE, D.; WONG, N.; STACH, T. Heuristic evaluation for games: usability principles for video game design. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS (CHI '08), 26., 2008, Florença. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2008. p. 1453-1462. DOI: https://doi.org/10.1145/1357054.1357282.

RABARDEL, P. **Les hommes et les technologies**: approche cognitive des instruments contemporains. Paris: Armand Colin, 1995.

WING, J. M. Computational thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, p. 33-35, 2006. DOI: https://doi.org/10.1145/1118178.1118215.