

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E
TECNOLÓGICA
CURSO DE MESTRADO

DJALMA FERNANDES DA SILVA NETO

**A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA NA
PROTOTIPAÇÃO DE UM JOGO EDUCATIVO DIGITAL**

Recife - PE

2021

DJALMA FERNANDES DA SILVA NETO

A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA NA PROTOTIPAÇÃO DE UM JOGO EDUCATIVO DIGITAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Educação Matemática e Tecnológica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação Matemática e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Franck Gilbert René Bellemain

Recife
2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Natalia Nascimento, CRB-4/1543

- S586e Silva Neto, Djalma Fernandes da.
A engenharia didático-informática na prototipação de um jogo educativo digital. / Djalma Fernandes da Silva Neto.
– Recife, 2021.
106 f.: il.
- Orientador: Franck Gilbert René Bellemain.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CE.
Programa de Pós-graduação em Educação Matemática e Tecnológica, 2021.
Inclui Referências e Apêndices
1. Jogos Matemáticos. 2. Jogos Pedagógicos – Jogos digitais. 3. Informática e Educação – Jogos educativos. 4. UFPE - Pós-graduação. I. Bellemain, Franck Gilbert René. (Orientador). II. Título.

370 (23. ed.)

UFPE (CE2022-001)

DJALMA FERNANDES DA SILVA NETO

**A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA NA PROTOTIPAÇÃO DE UM JOGO
EDUCATIVO DIGITAL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós Graduação em Educação Matemática
e Tecnológica, como requisito para
obtenção do título de Mestre em Educação
Matemática e Tecnológica.

Aprovado em: __/__/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Franck Gilbert René Bellemain (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ana Beatriz Gomes Pimenta de Carvalho (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Auta Luciana Laurentino (Examinadora Interna)

Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Ricardo Tiburcio dos Santos (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico este trabalho a vovô, de todo meu
coração.*

AGRADECIMENTOS

Existe tanta gente a quem agradecer por eu ter chegado até aqui, que eu tenho até medo de esquecer alguém. Se eu pudesse, listava um a um, mas saibam que todos estão comigo sempre.

Agradeço à minha família, em especial a meus pais Djalma Filho e Marcia Nery, por apoiarem cada decisão que eu tomo e nunca duvidarem de mim. Aos meus tios e padrinhos Cláudia Fernandes e Esdras Alves, que despertaram em mim a vontade de aprender e de ensinar. A minha prima Aricia, que passou por tudo isso antes de mim e me mantinha calmo esperando meu momento.

Ao amor da minha vida, Bruna Montenegro, a razão pela qual tudo isso existe. Sem ela, não teria o menor sentido. Wakanda Forever!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Franck Bellemain, por ter tido paciência de me guiar durante este caminho até o final. Seu conhecimento e competência me trouxeram até aqui de inúmeras formas.

À Profa. Dra. Verônica Gitirana e ao Prof. Dr. Anderson Silva, que me orientaram na graduação e abriram meus olhos à tecnologia educacional. Sem eles, eu nem teria começado.

Aos meus colegas do grupo LEMATEC, em especial Ricardo Tibúrcio, por abrir caminho com sua pesquisa e permitir que eu também desfrute de seus conhecimentos. A Tarcísio, Amanda, Patrícia, Gabriel e professora Paula, por tantas colaborações ricas e importantes.

Aos professores e funcionários do Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica da UFPE, que se viraram em dois durante esta pandemia.

Aos grupos dos Defensores, do Emergência, do Hangar do Kowalski, dos Doutrinadores. Quando eu estou pesado, vocês me fazem leve de novo.

"Não permita que o passado arruíne o seu futuro."
(Brian Lee O'Maley, em Scott Pilgrim Contra o
Mundo)

RESUMO

O uso de softwares para a educação matemática não é novidade entre as pesquisas acadêmicas, mas a mesma frequência não é observada ao se investigar sobre o uso de jogos digitais para o ensino de matemática. Por mais que usar jogos analógicos seja comum, ao se falar de jogos no computador há pouco auxílio na elaboração e concepção deles, por depender de habilidades não específicas dos professores de matemática, como programação e design. Em 2016, foi desenvolvida a Engenharia Didático-Informática, uma metodologia que alinhava os conceitos de Engenharia de Softwares com Engenharia Didática construindo um processo de elaboração de softwares educativos para o estudo da matemática. O objetivo desta pesquisa é articular o conhecimento que existe de elaboração de softwares da Engenharia Didático-Informática (EDI) com a metodologia de desenvolvimento de jogos Mechanics Dynamics and Aesthetics (MDA), de modo a ampliar as possibilidades dos pesquisadores no mundo digital em que se encontram. Estudando como se dá a utilização de jogos na educação matemática, foi possível construir a articulação entre a EDI e a MDA a partir do estudo de caso da elaboração de um jogo digital baseado num já existente – o Pokétronfo. Os questionamentos para análise de requisitos previstos pela EDI guiaram o processo de desenvolvimento do jogo, através de três versões experimentais, a fim de encontrar a mais didaticamente adequada. Nesta pesquisa é possível observar o passo-a-passo de como desenvolver os jogos digitais de modo que sejam educacionais e, ao mesmo tempo, atrativos e divertidos aos estudantes.

PALAVRAS-CHAVE: Pokétronfo. Jogos Matemáticos. Elaboração de Jogos Digitais. Jogos Educativos. Tecnologia da Educação.

ABSTRACT

The use of software for mathematics education is not new among academic research, but the same frequency is not observed when investigating the use of digital games for teaching mathematics. As much as using analog games is common, when talking about computer games there is little help in the elaboration and conception of them, as it depends on non-specific skills of math teachers, such as programming and design. In 2016, Didactic-Informatic Engineering was developed, a methodology that aligned the concepts of Software Engineering with Didactic Engineering, building a process for developing educational software for the study of mathematics. The objective of this research is to articulate the existing knowledge of the development of Didactic-Informatic Engineering (EDI) software with the Mechanics Dynamics and Aesthetics (MDA) game development methodology, in order to expand the possibilities of researchers in the digital world in which meet. By studying how games are used in mathematics education, it was possible to build a link between EDI and MDA based on the case study of the development of a digital game based on an existing one – Pokétrunfo. Questions for requirements analysis provided by EDI guided the game development process, through three experimental versions, in order to find the most didactically suitable one. In this research it is possible to observe the step-by-step of how to develop digital games so that they are educational and, at the same time, attractive and fun for students.

KEYWORDS: Pokétrunfo. Mathematical Games. Elaboration of Digital Games. Educational games. Education Technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de carta do Pokétronfo.....	17
Figura 2 - Enigmas de Yucatan.....	25
Figura 3 - Enigmas de Yucatan.....	26
Figura 4 - Capa norte-americana do jogo Super Mario Bros.....	31
Figura 5 - Level Design da primeira fase do Mario Bros.	32
Figura 6 - Fase do Mario Bros.....	33
Figura 7 - Exemplo de level design para aprendizagem de habilidades.	33
Figura 8 - Evolução da Curva de Aprendizagem da Fase do Mario Bros.....	34
Figura 9 - Exercício sobre operações com frações.	35
Figura 10 - Exercício sobre operações com frações.	36
Figura 11 - Exercício sobre operações com frações.	37
Figura 12 - Evolução da Curva de Aprendizagem da dos exercícios de frações.	38
Figura 13 - Dimensões da Engenharia Didática convergindo para a Dimensão Informática.	40
Figura 14 - O designer e o jogador possuem diferentes perspectivas quanto ao jogo.	41
Figura 15 - Esquema de articulação da MDA com a EDI.....	43
Figura 16 - Exemplo de Jogo Pokétronfo analógico.....	50
Figura 17 - Esquema de processo metodológico da EDI para o jogo.	51
Figura 18 - Protótipo Dragon Battle.....	68
Figura 19 - Tela de comparação dos atributos.....	69
Figura 20 - Tela inicial do protótipo Fraction Invaders.	70
Figura 21 - Tela principal do Fraction Invaders.....	71
Figura 22 - Alienígena de maior valor corretamente selecionado.	71
Figura 23 - Alienígena de menor valor selecionado.	72
Figura 24 - Tela final do Fraction Invaders.....	72
Figura 25 - Interação via chat.....	74
Figura 26 - Interação via chat.....	75
Figura 27 - Interação via chat.....	75
Figura 28 - Jogo Lunar Lander, de Atari.....	76
Figura 29 - Interação via chat.....	77
Figura 30 - Tela principal do protótipo Fractonium.....	79
Figura 31 - Tela de seleção correta no Fractonium.....	80
Figura 32 - Tela de seleção errada no Fractonium.	80
Figura 33 - Mini-game similar ao Lunar Lander.....	81
Figura 34 - Radar de mineração.	82
Figura 35 - Mini-game similar ao Lunar Lander.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representações de frações.	17
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do uso de jogos no processo de ensino-aprendizagem.	23
Tabela 3 - Estéticas de um jogo segundo o MDA.	42
Tabela 4 - Metodologia da EDI.....	44
Tabela 5 - EDI com elementos de MDA.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	13
1.2 APRESENTANDO O POKÉTRUNFO NA SUA VERSÃO ANALÓGICA.....	16
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO.....	18
1.4 PROBLEMA DE PESQUISA.....	19
1.5 OBJETIVOS.....	19
2. O USO DE JOGOS E SOFTWARES EDUCATIVOS NA EDUCAÇÃO.....	21
2.1 LUDICIDADE, JOGOS E EDUCAÇÃO	21
2.2 MILIEU E A CURVA DE APRENDIZAGEM	27
2.2.1 Super Mario e a matemática: um estudo de caso	30
3. A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA e a metodologia MECHANICS DYNAMICS AND AESTHETICS.....	39
3.1 DIMENSÕES DA EDI.....	39
3.2 ETAPAS DO MDA	40
3.3 ARTICULAÇÃO DA EDI COM MDA	42
4. METODOLOGIA	44
5. ESTUDO DE CASO: CONSTRUINDO UM JOGO EDUCATIVO DIGITAL	48
5.1 REGRAS DO POKÉTRUNFO: MODO TRUNFO.....	48
5.2 PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS DA EDI	50
5.2.1 Análises Preliminares	51
5.2.2 Análises a Priori.....	55
5.2.3 Experimento	57
6. OPERACIONALIZAÇÃO DA ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA	58
6.1 COMPOSIÇÃO DE EQUIPE PLURIDISCIPLINAR.....	58
6.2 QUESTIONAMENTOS PARA OBTENÇÃO DE REQUISITOS.....	60
6.2.1 Delimitação de Campo	61
6.2.2 Análise Preliminar	62
7. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	66
7.1 VERSÃO 1: DRAGON BATTLE.....	67
7.2 VERSÃO 2: FRACTION INVADERS	70
7.3 VERSÃO 3: FRACTONIUM	73
7.4 ANÁLISE A POSTERIORI E VALIDAÇÃO.....	84
8. CONCLUSÃO	87

REFERÊNCIAS	89
ANEXO A - LISTA DE NÚMEROS RACIONAIS POR FASE.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Com o avanço e a democratização cada vez maior da tecnologia, é natural que a educação faça uso de recursos tecnológicos para melhorar o processo de ensino-aprendizagem com maior frequência. Softwares e websites voltados para a educação vêm surgindo a cada dia e pesquisas sobre o desenvolvimento destes são cada vez mais necessárias, dado que o aprendizado deve ser feito de forma consciente e estruturada, num ambiente favorecedor do conhecimento, seja ele físico ou virtual.

Bittar (2016) percebeu que, apesar de muitas escolas da rede pública e privada possuírem centros de informática em suas dependências, as aulas realizadas nestes laboratórios tinham pouca ou nenhuma relação específica com o conteúdo da disciplina e “sem o aproveitamento do que a informática pode trazer como benefício para o processo de aprendizagem do aluno” (BITTAR, 2016, p. 2). Além dela, Nobre; DeSousa; Nobre (2015) estudaram que mesmo que o uso de computador favoreça o ensino e a aprendizagem, é preciso haver uma formação dos professores relativos a seu uso otimizado. Foi observado em sua pesquisa que os alunos não fazem uso do laboratório de informática de maneira efetiva e que faltam projetos educacionais nos quais a tecnologia seja parte efetiva do planejamento.

Santos (2016) observou, por sua vez, que o processo de concepção de softwares educativos apresentava baixo auxílio aos objetivos de aprendizagem. Mesmo que atributos determinantes na construção de softwares sejam descritos na metodologia de Engenharia de Software, definidos por Sommerville (2007) como Facilidade de Manutenção, Confiança, Eficiência e Usabilidade, estes critérios não abarcam fatores educativos. A união da Engenharia de Software com Educação Matemática era um desenvolvimento necessário e, por conta disso, surge a Engenharia Didático-Informática (SANTOS, 2016), uma engenharia de software educativo que proporciona uma metodologia para a elaboração específica destes.

Além disso, também na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) estudava-se o uso de jogos para o aprendizado da matemática e a eficácia deles como recurso pedagógico. Jogos matemáticos como o Bingo dos Racionais foram

elaborados no Laboratório LEMATEC (RAMOS, 2014) e pesquisas quanto a suas aplicabilidades foram desenvolvidas desde 2010, no Projeto Rede (GITIRANA *et al.*, 2013), um projeto que buscava a “formação continuada de professores da educação básica, com cursos e oficinas destinados a prepará-los para a criação, produção e integração de jogos educativos no ensino da matemática” (RAMOS, 2014, p. 18).

Desde 2019, um novo grupo focado nas linhas de Engenharia e Desenvolvimento foi formado na UFPE, com mestrandos, doutorandos e professores não só do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Tecnológica, como também da área de Design, Expressão Gráfica, Computação, Matemática, e Psicologia: o Atelier Digitas. Pesquisas envolvendo softwares para o ensino da matemática e novos métodos didáticos são realizadas neste grupo e a junção da elaboração de softwares educativos com o estudo de jogos para o ensino da matemática foi um dos pilares para o desenvolvimento deste trabalho.

Ainda que a Engenharia Didático-Informática tenha sido iniciada a partir da transposição informática do jogo educativo Bingo dos Racionais (RAMOS, 2014; SANTOS, 2016), construído no Projeto Rede, ao se desenvolver um jogo há questões de ludicidade que não abarcam conteúdos educativos, como também, ao se desenvolver um software há questões de educação que não abarcam ludicidade. É preciso relacionar a estrutura da Engenharia Didático-Informática ao design de jogos, de modo a ampliar a EDI ao desenvolvimento deste tipo de software educacional.

Jogos no ensino da matemática são comumente utilizados por professores para tornar as aulas mais agradáveis e fascinantes. Usar jogos estimula o raciocínio e confirma o valor formativo da matemática, “não no sentido apenas de auxiliar na estrutura do pensamento e do raciocínio dedutivo, mas, também, de auxiliar na aquisição de atitudes” (CABRAL, 2006, p. 19). Os jogos, de acordo com Groenwald e Timm (2002), estimulam o aprendizado por meio do caráter lúdico, desenvolvimento de técnicas intelectuais e formação de relações sociais. Elas afirmam que o jogo pode ser usado para mudar a rotina, despertar o interesse do aluno e fazê-lo gostar de aprender matemática. Batllori (2006) cita que, através dos jogos, é possível proporcionar experiências, estimular a aceitação de normas e hierarquias, o trabalho em equipe e o respeito pelos outros, já que, quando o estudante joga na escola e brinca com outros de idade aproximada à sua, frequentemente de várias procedências

e culturas, adquire importantes meios para sua socialização. Assim, é essencial que haja pesquisas e produções sobre sua utilização em sala de aula.

O estudo de jogos na educação matemática ainda continua na UFPE e, em 2018, no Departamento de Matemática, um novo projeto de desenvolvimento de jogos educativos foi realizado com estudantes da então graduação em Licenciatura em Matemática. Dentre os jogos criados está o Pokétrunfo (SILVA NETO, 2018), concebido por uma dupla de alunos: um jogo de cartas que estimulava a compreensão e comparação dos números racionais em representações diversas, como fração, porcentagem e decimais, fundamentado na Teoria dos Registros de Representação Semiótica (DUVAL, 2004).

Muito mais do que uma conversão do jogo Pokétrunfo para o computador, este trabalho aborda o processo de desenvolvimento de um jogo utilizando o aporte teórico da Engenharia Didático-Informática e suas implicações nesta elaboração. A democratização cada vez maior da tecnologia faz com que surjam novas oportunidades de ensino e usar recursos digitais é uma maneira de amplificar o acesso à educação em lugares fisicamente mais difíceis (SOUZA; GOMES; MOREIRA, 2014).

Usando o Pokétrunfo como estudo de caso, já que a elucidação dos conteúdos matemáticos já foi desenvolvida, poderemos entender como a Engenharia Didático-Informática relaciona-se com o desenvolvimento de jogos educativos, a fim de construir um protótipo cujo objetivo não é primariamente ser fiel ao jogo já existente, mas funcional em suas mudanças para a versão digital.

Este trabalho avaliou a possibilidade da modernização do que já existe, para ampliar o alcance deles e dar suporte à criação dos novos jogos. Por isso, ao conceber o jogo – e não somente transcrevê-lo digitalmente – todo processo de elaboração dele precisou passar por uma revisão para ver se atenderia ao método da EDI e como isto poderia enriquecê-la de modo a abraçar novos recursos.

A Engenharia Didático-Informática é um elemento muito presente nos objetivos do trabalho, e a articulação de Design de Jogos de Aprendizagem com o modelo metodológico da EDI é algo que traz duas vertentes ao texto: sua colaboração como metodologia de pesquisa e como metodologia de concepção-desenvolvimento. A EDI mobiliza a engenharia de softwares educativos como uma metodologia para o

processo de elaboração do software educativo, dando aporte ao desenvolvimento de Softwares Educativos de Tchounikine (2011).

Ao focar na articulação do design de jogos com a Engenharia Didático-Informática, buscamos o aprimoramento da metodologia para levantar requisitos em função de jogos educativos, assim como avaliar sua colaboração como processo metodológico para a construção deles. Realizando seus processos metodológicos e observando as lacunas referentes ao design de jogos educativos, a metodologia evolui simultaneamente à pesquisa, trazendo novas abordagens e situações específicas. A EDI foi pensada de modo abrangente (SANTOS, 2016), para ser adaptada a cada tipo de software a ser desenvolvido, portanto sua especialização contribui ainda mais para a validação de seu processo metodológico.

A EDI, como metodologia de pesquisa, vai guiar o trabalho, trazendo o aporte teórico necessário para a elaboração do Jogo Educativo e abrindo possibilidades para o aprimoramento desta a partir do preenchimento das situações não previstas em análises preliminares. Como metodologia de concepção-desenvolvimento, ela se adequa aos objetivos do trabalho, colaborando com sua estrutura para o passo-a-passo processual necessário na elaboração do Jogo. Estas adequações serão construídas a partir das reflexões sobre o jogo, seu desenvolvimento e preocupações didáticas já embutidas.

1.2 APRESENTANDO O POKÉTRUNFO NA SUA VERSÃO ANALÓGICA

O jogo Pokétrunfo foi desenvolvido em 2018 e sua versão original utilizava elementos manipuláveis físicos produzidos em papel, em formato de cartas pré-determinadas pelos autores. Nestas, havia números decimais em diversas representações (porcentagens, decimais, figurais...) que os jogadores precisavam comparar para determinar qual o maior deles, definindo assim o vencedor. A fluidez da conversão das representações das frações ajuda na fixação do conhecimento envolvendo números decimais. Duval (2004), em sua Teoria dos Registros de Representações Semióticas, afirma que um conceito matemático só é efetivamente aprendido quando a conversão entre seus registros de representação é feita de

maneira fluida e intuitiva. Exemplos de registros de representação de frações podem ser vistas no quadro a seguir:

Tabela 1 - Representações de frações.

Por extenso	Fração	Decimal	Porcentagem	Figural
Dois terços	$\frac{2}{3}$	0,666...	66,66... %	
Um décimo	$\frac{1}{10}$	0,1	10%	
Três quintos	$\frac{3}{5}$	0,6	60%	
Doze por cento	$\frac{12}{100}$	0,12	12%	

Fonte: Silva Neto, 2018

O desenvolvimento de um software educativo propriamente dito (SANTOS, 2016) do Pokétrunfo precisa que ele mantenha tais atribuições da versão física e ainda adicione outras, que seriam inviáveis numa versão estática. A princípio, a ideia do Pokétrunfo era criar um ambiente capaz de generalizar as diversas representações de fração, a fim de acostumar os estudantes desde cedo a converter e comparar seus valores mesmo sem executar operações complicadas e trabalhosas, sem precisar efetivamente mudar sua representação (SEVERO; VIALI, 2008).

Figura 1 - Exemplo de carta do Pokétrunfo.



Fonte: Silva Neto (2018).

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

Tomando o Pokétrunfo como base e aplicando a metodologia de Santos (2016), este trabalho propõe então uma investigação sobre a aplicabilidade da Engenharia Didático-Informática na elaboração de jogos educacionais, especificamente para o ensino da matemática, e necessidades de ajustes para adaptação da mesma.

No segundo capítulo, apresentamos uma fundamentação teórica sobre o uso de jogos e softwares educativos na educação matemática. Serão revisitados conceitos de ludicidade e uso de jogos para o aprendizado matemático, com aporte histórico, teórico e pedagógico. Características e contribuições dos softwares educativos para o ensino da matemática também passaram por revisões, a fim de explicitar mais detalhadamente a escolha de desenvolvimento de um jogo matemático virtual.

O terceiro capítulo traz a apresentação da Engenharia Didático-Informática e sua metodologia para elaboração de softwares educativos do tipo micromundos¹, assim como a apresentação e articulação com o Design de Jogos de Aprendizagens, utilizando da metodologia de elaboração de jogos MDA.

No capítulo de Metodologia explicitamos o processo metodológico adotado para alcançar os objetivos propostos. Apresentamos as etapas da criação do jogo,

¹ Micromundos são softwares de simulação computacional, nos quais os usuários podem transferir hábitos de exploração real para o ambiente virtual. (BARROS ; STIVAM, 2012)

suas similaridades e diferenças à Engenharia Didático-Informática e ao Design de Jogos de Aprendizado.

No quinto capítulo apresentamos a análise a priori, assim como aprofundamos as regras do Pokétronfo para estabelecer as etapas da elaboração do jogo educativo digital que possua características parecidas, seguindo os moldes da metodologia anteriormente proposta, na intenção de apresentar na prática como tal método pode ser reaproveitado em trabalhos e projetos futuros.

No sexto capítulo apresentamos a operacionalização da Engenharia Didático-Pedagógica na construção do nosso jogo educativo digital, com a formação da equipe, elicitação de requisitos, delimitação de campo e análises preliminares.

No sétimo capítulo é apresentado o diário de desenvolvimento do jogo educativo digital, detalhando o processo de elaboração e suas versões preliminares até a conclusão da versão aplicável para testes do jogo, a ser validado.

Finalmente, no último capítulo, concluiremos o trabalho apresentando considerações sobre a investigação, as contribuições da pesquisa à EDI e passos futuros para o design de jogos educativos. Esperamos que este trabalho possa colaborar com a Engenharia Didático-Informática e enriquecer o cenário de desenvolvimentos de jogos educativos digitais no ensino da matemática para estimular outros estudos na mesma temática.

1.4 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais as contribuições e limitações do processo metodológico da Engenharia Didático-Informática no desenvolvimento-validação de um recurso computacional do tipo jogos educativos?

1.5 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo geral:

- Conceber, prototipar e validar uma versão computacional de um jogo educativo digital orientado pelo quadro teórico-metodológico da Engenharia Didático-Informática articulado com a metodologia MDA.

Seus objetivos específicos são:

- Articular o design de jogos de aprendizado na elaboração de um jogo digital e a EDI;
- Analisar as dimensões epistemológica, cognitiva e didática em relação a números racionais, integrando a este a dimensão informática, de forma a estabelecer requisitos para o protótipo;
- Validar o software dentro do contexto e campo de situações construídas, utilizando-se do modelo estabelecido na EDI;
- Observar limitações e contribuições da EDI no desenvolvimento de um jogo educativo digital.

2. O USO DE JOGOS E SOFTWARES EDUCATIVOS NA EDUCAÇÃO

2.1 LUDICIDADE, JOGOS E EDUCAÇÃO

O ato de brincar não é novidade para nossa sociedade. Em túmulos egípcios de 4 a 5 mil anos atrás, já foram encontrados bonecas e brinquedos que indicavam o costume de realizar simulações simples a partir de brincadeiras (BERTOLDO; RUSCHEL, 2000). O ato de brincar é pesquisado há muito tempo, e é difícil existir um consenso sobre seu significado definido, mas Bertoldo e Ruschel, em seu artigo “Jogo, Brinquedo e Brincadeira – Uma Revisão Conceitual” (2000, p. 7), tentaram articular conceitos de Piaget, Benjamin, Didonet, Froebel, Vygotsky e Winnicott, em um parágrafo:

Baseado em tais teorias, verificamos que, ao brincar, a criança constrói conhecimento. E para isto uma das qualidades mais importantes do jogo é a confiança que a criança tem, quanto à própria capacidade de encontrar soluções. Confiante, pode chegar às suas próprias conclusões de forma autônoma. Assim, afirmamos que tanto o jogo quanto a brincadeira como o brinquedo podem ser englobados em um universo maior, chamado de ato de brincar. [...] A presente idéia vem ao encontro de acreditarmos que a linguagem cultural própria da criança é o lúdico. Portanto, o ato de brincar é importante, é terapêutico, é prazeroso, e o prazer é ponto fundamental da essência do equilíbrio humano. Logo, podemos dizer que a ludicidade é uma necessidade interior, tanto da criança quanto do adulto. Por conseguinte, a necessidade de brincar é inerente ao desenvolvimento. (BERTOLDO; RUSCHEL, 2000)

Assim, observamos que brincar é algo necessário para o desenvolvimento humano. Kishimoto (1994) defende o uso de jogos na representação mental e da realidade da criança. Mais ainda, diversos pesquisadores defendem o uso destas representações mentais como um instrumento para o desenvolvimento do conhecimento, por meio da ludicidade.

Ludicidade é um termo que tem origem do latim “ludus”, que significa “jogo”. Na educação infantil, porém, o termo tem usos mais abrangentes, sendo comumente

referenciado para atividades de desenvolvimento e aprendizado por meio de brincadeiras (SIGNIFICADOS, 2019). Leal e Teixeira (2013, p. 51), realizaram pesquisas envolvendo diversos autores e concluíram um conceito mais formal de ludicidade, relacionando o ato social de jogar com o favorecimento da interação entre meios, acelerando a devolução no processo, com ou sem professor:

O conceito de ludicidade que defendemos, pois, se articula a três dimensões: a) a de que o brincar e, de forma mais ampliada, as atividades lúdicas são criações culturais, são atos sociais, oriundos das relações dos homens entre si na sociedade; b) a ludicidade é um estado de ânimo, um estado de espírito que expressa um sentimento de entrega, de inteireza, de vivência plena (...); c) nesse sentido (...), defendemos a ideia de que as atividades lúdicas se façam presentes na sala de aula como elementos estruturantes do processo de ensinar e desencadeadores de aprendizagens significativas. Leal e Teixeira (2013, p. 51)

Assim, entendemos o quão desafiador e importante é estudar ludicidade para o aprendizado. Eva Maria Siqueira Alves, em seu livro *A Ludicidade e o Ensino da Matemática* (2006), investigou a evolução do brincar em sociedade, dentro dos aspectos lúdicos e educativos e citou exemplos em que desde a Antiguidade, Platão já defendia o ato de brincar como forma efetiva de aprendizado, considerando que a forma de jogo era uma forma de atrair a atenção das crianças (ALVES, 2006).

Barros (2012) preocupa-se, em sua pesquisa, com o caráter lúdico das brincadeiras. Ela afirma que é possível ver no ato da brincadeira de boneca, por exemplo, um aprendizado da cultura da sociedade. Repetindo a atuação da figura materna, a criança reproduz na boneca os padrões esperados a uma mulher daquela sociedade no contexto familiar. Mais que social, o jogo em sala de aula deve trazer a busca pela aquisição de conhecimentos, sem deixar de lado a ludicidade e o prazer. Sendo assim, é esperado que diversas pesquisas convirjam para o uso de jogos na educação. As atividades lúdicas estimulam o raciocínio, levando o aluno a situações conflitantes relacionadas com seu cotidiano e o uso de jogos ainda auxilia na estruturação do pensamento atitudinal (CABRAL, 2006).

Jogo é definido por Huizinga (2003, p. 256) “como uma atividade lúdica muito mais ampla que um fenômeno físico ou reflexo psicológico, sendo ainda, um ato

voluntário concretizado como evasão da vida real, limitado pelo tempo e espaço, criando a ordem através de uma perfeição temporária". Nestes jogos incluímos jogos de cartas, de tabuleiro, atléticos e infantis (LUCCHESE; RIBEIRO, 2009). A concepção de jogo é a de trazer um ambiente de regras claras que promovem a atividade entre os participantes.

Grando (2000), em sua pesquisa, fez uma investigação sobre o uso de jogos para o ensino-aprendizagem de matemática e elencou as vantagens e desvantagens de fazer uso deste instrumento em sala de aula.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do uso de jogos no processo de ensino-aprendizagem.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- fixação de conceitos já aprendidos de uma forma motivadora para o aluno; - introdução e desenvolvimento de conceitos de difícil compreensão; - desenvolvimento de estratégias de resolução de problemas (desafio dos jogos); - aprender a tomar decisões e saber avaliá-las; - significação para conceitos aparentemente incompreensíveis; - propicia o relacionamento das diferentes disciplinas (interdisciplinaridade); - o jogo requer a participação ativa do aluno na construção do seu próprio conhecimento; - o jogo favorece a socialização entre os alunos e a conscientização do trabalho em equipe; - a utilização dos jogos é um fator de motivação para os alunos; - dentre outras coisas, o jogo favorece o desenvolvimento da criatividade, de senso crítico, da participação, da competição "sadia", da observação, das várias formas de uso da linguagem e do resgate do prazer em aprender; - as atividades com jogos podem ser utilizadas para reforçar ou recuperar habilidades de que os alunos necessitem. Útil no trabalho com alunos de diferentes níveis; - as atividades com jogos permitem ao professor identificar, diagnosticar alguns erros de aprendizagem, as atitudes e as dificuldades dos alunos.	- quando os jogos são mal utilizados, existe o perigo de dar ao jogo um caráter puramente aleatório, tornando-se um "apêndice" em sala de aula. Os alunos jogam e se sentem motivados apenas pelo jogo, sem saber porque jogam; - o tempo gasto com as atividades de jogo em sala de aula é maior e, se o professor não estiver preparado, pode existir um sacrifício de outros conteúdos pela falta de tempo; - as falsas concepções de que se devem ensinar todos os conceitos através de jogos. Então as aulas, em geral, transformam-se em verdadeiros cassinos, também sem sentido algum para o aluno; - a perda da "ludicidade" do jogo pela interferência constante do professor, destruindo a essência do jogo; - a coerção do professor, exigindo que o aluno jogue, mesmo que ele não queira, destruindo a voluntariedade pertencente à natureza do jogo; - a dificuldade de acesso e disponibilidade de material sobre o uso de jogos no ensino, que possam vir a subsidiar o trabalho docente.

Fonte: Grando (2000, p. 35).

Grando (2000, p. 37) afirma ainda que “o elemento jogo se apresenta com formas específicas e características próprias, propícias a contribuir para a compreensão de muitas das estruturas existentes e algumas de difícil assimilação.”

Os jogos digitais, por sua vez, não são necessariamente representações virtuais dos jogos não digitais. Apesar de haver situações em que o mesmo jogo pode ser representado em mídias físicas e digitais, há jogos que não conseguiriam existir em ambiente físico. Os jogos digitais favorecem a resposta à atividade do usuário, tornando-a mais imediata e instantânea. Há situações de simulação em que um jogo pode direcionar a aprendizagem das habilidades necessárias para seu aperfeiçoamento, abrindo espaço para ser usado em educação. Sousa (2015) discutiu as diferenças entre jogos concretos e digitais em sua dissertação:

Nem todo jogo pode ser classificado como digital, pois este tem algumas especificidades, ramificações e características próprias. Além de possuir as características descritas dos jogos, entendemos que o jogo digital é um tipo de jogo desenvolvido através de programação de computador, com interface interativa, voltada para ações de um ou mais usuários em diversos tipos de suporte; os suportes podem nos revelar o estado da sociedade atual no que se refere à cultura e à tecnologia (Sousa, 2015, p. 31).

O uso de jogos na educação básica é estimulado pela Base Nacional Comum Curricular desde a Educação Infantil (a palavra “jogo” é citada no documento oficial da BNCC 165 vezes), como podemos conferir no trecho abaixo:

As diversas práticas letradas em que o aluno já se inseriu na sua vida social mais ampla, assim como na Educação Infantil, tais como cantar cantigas e recitar parlendas e quadrinhas, ouvir e recontar contos, seguir regras de jogos e receitas, jogar games, relatar experiências e experimentos, serão progressivamente intensificadas e complexificadas, na direção de gêneros secundários com textos mais complexos (BRASIL, 2018, p. 89).

É preciso, porém, tomar cuidado em relação ao uso de jogos na sala de aula: quando mal utilizado, acaba não sendo efetivo seu uso como facilitador do

aprendizado. Divertir-se requer uma disposição prévia que deve partir do próprio estudante. Paiva e Tori (2017), apontam que:

O mal-uso da aprendizagem por jogos pelo professor, pode descaracterizar duas grandes vantagens que facilitam o aprendizado: a diversão e a espontaneidade do jogo. Ainda pode-se citar como desvantagens:

- *Uso sem objetivo, com alunos jogando sem saberem o motivo;*
- *Perda da “ludicidade” do jogo, pela interferência do professor;*
- *A coerção, quando o professor exige que o aluno jogue, destruindo a voluntariedade pertencente à natureza do jogo.*

(Paiva e Tori, 2017, p. 3)

Assim, o jogo não pode ser uma aula disfarçada e o conhecimento estimulado por meio dele deve ser mais construtivista que um simples jogo de perguntas e respostas. Borin (1996) enfatiza que, nesse processo, o aluno passa a ser um elemento ativo na aprendizagem, vivenciando a construção do seu saber e deixando de ser um ouvinte passivo. Ao jogar, o aluno deve desenvolver habilidades que acelerem ou estimulem o aprendizado muitas vezes de forma indireta, não-tradicional. Borin (1996, p. 9), ao falar sobre jogos, afirma que “não basta ao professor conhecer os jogos e saber jogar, é necessário que o professor consiga aliar de forma interativa e dinâmica esse recurso, para não persistir na rotina, tão conhecida, da sala de aula”.

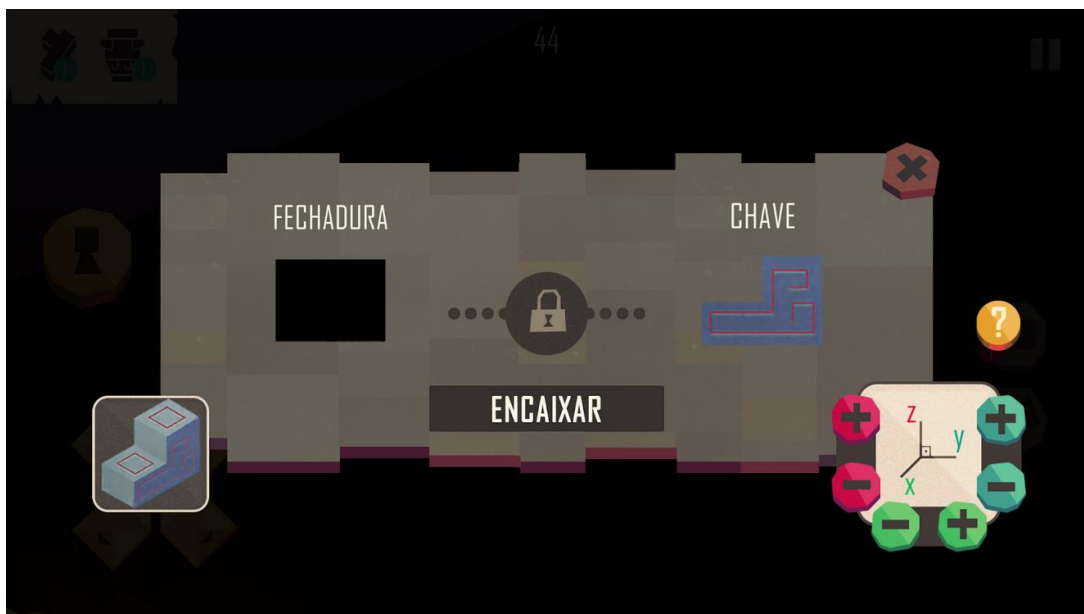
Como exemplo de jogo educativo digital, podemos apresentar o Enigmas de Yucatàn, desenvolvido no projeto MEC REDs, parceria do Centro de Informática da UFPE com o Ministério da Educação. Publicados entre 2020 e 2021, os jogos desenvolvidos neste projeto são elaborados de acordo com as habilidades da BNCC, e visam o aprendizado de conceitos de Matemática e suas Tecnologias para o Ensino Médio.

Figura 2 - Enigmas de Yucatan.



Fonte: Play Store (2020).

Figura 3 - Enigmas de Yucatan.



Fonte: Play Store (2020).

Pensando nisso, adiantamos que nosso trabalho de pesquisa traz a concepção e construção de um jogo digital que será usado para a educação, no sentido de que ele deve promover conhecimento. Partindo de um jogo pré-existente, como o Pokétrunfo, vamos buscar uma simulação do que acontece no jogo físico para o digital, de modo que o estudante tenha acesso às respostas rápidas de suas ações e escolhas. Apesar de trazer por vezes uma abordagem behaviorista ao aprendizado,

os jogos de simulação tentam dar um novo sentido de interação ao jogador que está em contato com o ambiente de aprendizado. A construção desse jogo, seguindo os princípios da Engenharia Didático-Informática como metodologia de concepção, trará novas perspectivas ao uso de jogos em situações de sala de aula e no papel do professor como parte de seu processo desenvolvidor.

2.2 MILIEU E A CURVA DE APRENDIZAGEM

Brousseau, em suas diversas pesquisas, estuda como é construído o conhecimento a partir de situações planejadas pelo professor. Brousseau elaborou teorias que estudam como as situações de desequilíbrio em sala de aula devem ser pensadas para facilitar o aprendizado dos estudantes: não deve ser difícil a ponto de o aluno não conseguir avançar; não deve ser fácil a ponto de o aluno não se sentir motivado. Este conceito foi denominado *milieu* por Brousseau (1990, p. 312), e traz grande iluminação para o uso de jogos em sala de aula, ao considerar ainda o conceito de *adidático* proposto por ele:

“O <milieu>, seja físico, social, cultural ou outro, desempenha um papel na utilização e aprendizagem do conhecimento pelo professor e pelo aluno, seja ou não convocado na relação didática”² (BROUSSEAU, 1990 p. 312).

Brousseau trouxe mais tarde (2016) o conceito de *adidático*, explicando sua definição e como é atuado em sala de aula:

“A noção de ‘adidacticidade’ (...) permite definir, entender, analisar e otimizar a participação do aluno no decorrer de uma aula, no centro da aquisição de conhecimento e paradoxo! Também podemos distingui-lo em um teste de controle tradicional! Acima de tudo, abre uma alternativa científica para se opor ao uso atualmente incoercível de modelos

² Do original : « Le milieu qu'il soit physique, social, culturel ou autre joue un rôle dans l'emploi et l'apprentissage des connaissances par l'enseignant et par l'élève, qu'on le sollicite ou ou non dans la relation didactique »

*behavioristas, dolorosos, limitados e, por fim, imorais*³ (BROUSSEAU, 2016, Tradução do autor).

Ao pensar jogos em sala de aula, o aluno deve ser estimulado a continuar jogando, mas sem a imposição do professor. Não estimulado no sentido de imposição, mas no sentido de incentivar o jogo, para que o aluno entenda a situação de aprender enquanto joga como dele próprio, não como imposição do professor. A partir do momento que o jogo se inicia, o estímulo passa a se dar por meio dos desafios do jogo, não pela interferência do professor.

Para que um jogo possa oferecer ao aluno uma possibilidade de conhecimento, Bellemain (1992), embasado por Brousseau, pensou em características que devem existir na situação do jogo na sala de aula:

- *“O aluno deve ser capaz de jogar o jogo, isto é, o aluno deve possuir o conhecimento necessário para efetivamente permitir-lhe jogar, desenvolver e implementar estratégias”.*
- *“Ele deve entender o significado do jogo e entender quando ele ganhou ou perdeu, e ter acesso a razões para um ganho ou perda”.*
- *“A informação referida deve emergir através de estratégias de aprendizagem que permitam aos estudantes ganhar o jogo (...), o estabelecimento de regras e restrições sobre a disponibilidade de instrumentos é uma maneira de controlar as estratégias para o aluno e fechar o problema que acompanha o jogo (BELLEMAIN, 1992, p. 79)”.*

Ou seja, o jogo deve ser jogado pelo aluno e este deve ser capaz de vencê-lo usando as regras já existentes. A partir destas, o aluno poderá desenvolver conhecimentos de forma construtiva e sequenciada, mantendo o caráter lúdico do processo.

No campo dos jogos eletrônicos, existe um conceito chamado “curva de aprendizagem”, que tenta estudar como o aprendizado das habilidades de um jogo é realizado e de que modo isto pode ser usado em prol da diversão e da evolução do

³ Do original: *“la notion d’« adidacticité » permet de définir, de comprendre, d’analyser et d’optimiser la part de l’élève dans le déroulement d’une leçon, au cœur de l’acquisition d’une connaissance et paradoxe ! On peut en distinguer aussi dans une épreuve traditionnelle de contrôle ! Elle permet surtout d’ouvrir une alternative scientifique à opposer à l’usage actuellement incoercible des modèles behavioristes, pénibles, limités et finalement immoraux.”*

jogador. Apesar do termo “aprendizado” ser usado, é preciso pensar com cuidado que, em contexto de jogo, ele se refere mais ao aprendizado de habilidades do que de desenvolvimento cognitivo. A articulação entre curva de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo neste trabalho pensa em como aproximar estes dois termos para a elaboração de jogos educativos.

Linton e Walsh, em 2004, definiram curva de aprendizagem como o conceito de que “quanto maior a experiência em uma determinada área, menores são os custos e o tempo para sua execução” (LINTON; WALSH, 2004, p. 521). Ou seja, ao participar do jogo, o jogador desenvolve habilidades ativas a ele e se torna cada vez melhor nelas, acelerando o processo de sua execução.

Ao pensar na situação que existe em sala de aula na qual o desafio proposto pelo professor não pode ser muito superior e nem inferior ao esperado para o desenvolvimento do aluno, enquanto num jogo um desafio não deve ser nem muito fácil nem muito difícil para manter o jogador jogando, a ideia de milieu pode ser relacionada com o conceito de curva de aprendizagem de um jogo eletrônico. A situação trazida por Brousseau é relacionada à situação do jogo como simulação, enquanto que o próprio milieu do jogo diz respeito ao processo de interação do jogo com o jogador, em suas respostas a partir de seus comandos. A sucessão de situações em função das variáveis se aproxima da curva de aprendizagem.

A curva de aprendizagem se preocupa em manter a atenção do jogador enquanto há sua evolução de habilidades, e em um milieu adequado o estudante está em contato com conhecimentos alcançáveis por ele próprio, em papel de protagonismo. O jogo deve, então, como o professor faz em sala de aula, manter um nível de dificuldade em que o jogador (ou o estudante) sempre se sinta desafiado e compelido a aprender mais, acelerando seu desenvolvimento:

“Da mesma forma, existe uma relação intrínseca entre o quanto o jogador aprende e o quanto ele é desafiado. Curvas de aprendizagem muito íngremes farão o jogador achar o jogo difícil, e não terão interesse em aprendê-lo, enquanto que curvas planas demais tornam o jogo fácil e, portanto, desinteressante.” (TROIS et al., 2012, p. 6)

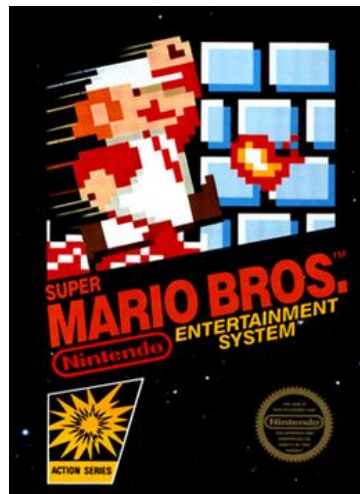
2.2.1 Super Mario e a matemática: um estudo de caso

Há muitos paralelos entre o desenvolvimento de jogos e a preparação de uma aula, afinal, jogar é inerente ao ser humano e está diretamente relacionado a aprender: “sistematizar esse aprendizado, organizá-lo, estudar as formas de dispor o conteúdo diz respeito não só a jogar e a se divertir, como também a potencializar o aprendizado” (TROIS *et al.*, 2012, p. 6). Num jogo eletrônico, as habilidades esperadas de um jogador a cada fase são bem determinadas por seus desenvolvedores e estas fases são construídas de modo a evoluir o uso de tais habilidades pelo jogador até um ponto em que ela seja intrínseca, automática, feita até inconscientemente. Estas habilidades podem até não coincidir com o esperado do estudante academicamente: o estudante engajado em jogos pode não ser o mesmo que é engajado na sala de aula. E ainda, o engajamento do estudante não significa mobilização de aprendizado, a estruturação do jogo por meio de suas mecânicas narrativa ou gráficos é que vai determinar o sucesso ou fracasso dos objetivos pedagógicos (TROIS *et al.*, 2012).

Ao preparar uma aula, o professor parte de conhecimentos já estabelecidos pelo estudante a fim de instigar novas situações em que este conhecimento seja utilizado e mais aprofundado. Estudar a curva de aprendizagem de um jogo é entender a internalização de padrões: inicialmente, realizar uma tarefa requer um custo e tempo que vai diminuindo conforme se ganha experiência e prática nesse campo (TROIS *et al.*, 2012). Para exemplificar, vamos relacionar uma curva de aprendizagem de um jogo eletrônico com o desenvolvimento de exercícios de fração, em um livro didático de matemática.

No jogo Super Mario Bros., de 1985, o conceito de curva de aprendizagem já era bem definido e explorado. Nele, o jogador assume o papel do personagem Mario, um encanador italiano em sua missão no Reino dos Cogumelos para salvar a Princesa Peach e libertar os Toads, pequenas criaturas cogumelos que foram transformadas em tijolos pelo terrível vilão Bowser e seus Koopa Troopas.

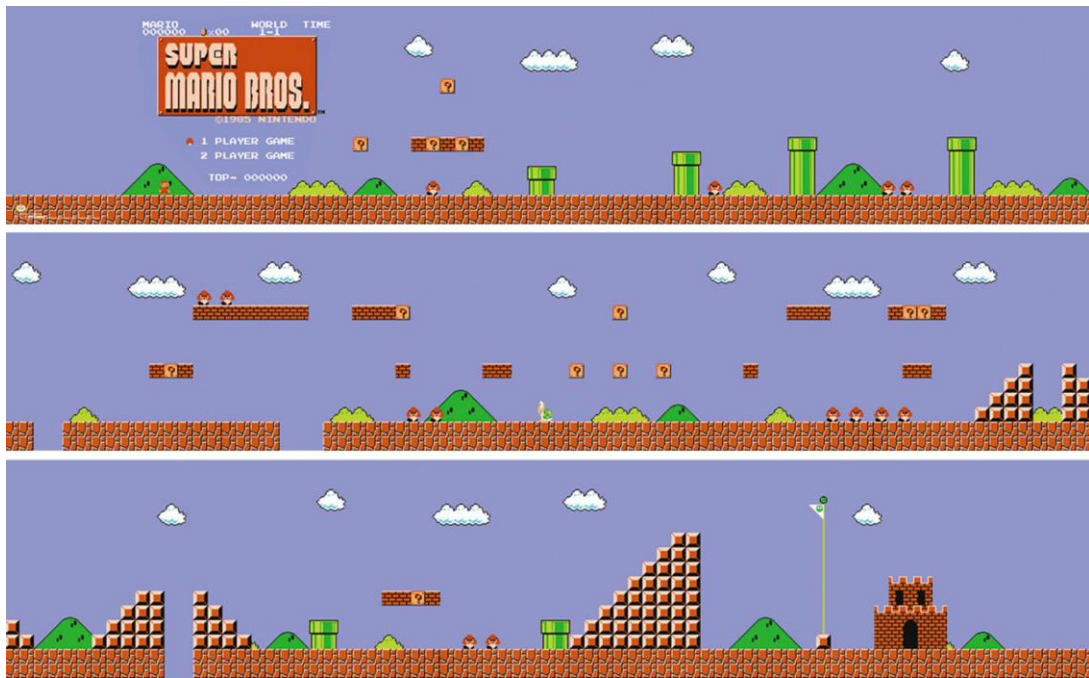
Figura 4 - Capa norte-americana do jogo Super Mario Bros.



Fonte: Wikipedia (2010).

Seu principal desenvolvedor e level-designer Shigeru Miyamoto utilizava constantemente a ideia de curva de aprendizagem na elaboração das fases do jogo, que sempre possuíam visão lateral, na qual o jogador guiava o Mario da esquerda para a direita, superando obstáculos e vencendo inimigos. Na primeira fase do jogo, o jogador aprenderá as habilidades básicas do protagonista: correr e saltar. Para tal, nenhum tutorial de explicação é dado, somente situações sequenciadas em que o aprendizado se dá de maneira progressiva e cadenciada.

Figura 5 - Level Design da primeira fase do Mario Bros.



Fonte: Wikipedia (2010).

Já num primeiro momento, o personagem precisa se deslocar para a direita, que é a habilidade de correr. Saltar sob as caixas com a marca de interrogação trará resultado diferente do que saltar sob as caixas de tijolos e tudo isso será aprendido progressivamente pelo jogador. Após esta interação, o jogador deverá aprender os limites do salto do Mario, na situação abaixo (observe que os canos têm alturas progressivas, de modo que o jogador entenda até que altura o Mario é capaz de saltar):

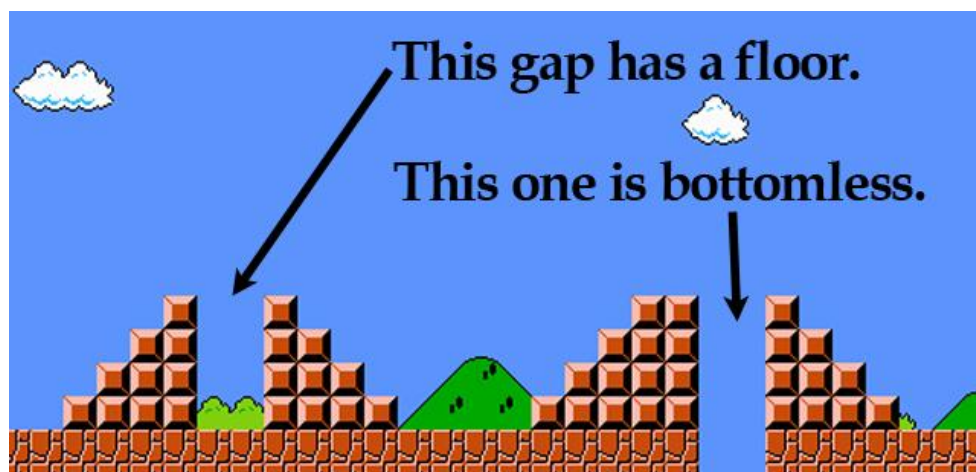
Figura 6 - Fase do Mario Bros.



Fonte: Wikipedia (2010).

Mais à frente, Miyamoto posicionou escadas com um espaço entre elas, que o jogador precisa saltar para chegar ao outro lado. Num primeiro momento, as escadas possuem um piso para os jogadores aprenderem o processo de correr e pular ao mesmo tempo, mas na segunda vez que você encontra as escadas você precisa ter aprendido tal processo para não cair, pois não existe piso no espaço entre elas.

Figura 7 - Exemplo de level design para aprendizagem de habilidades.

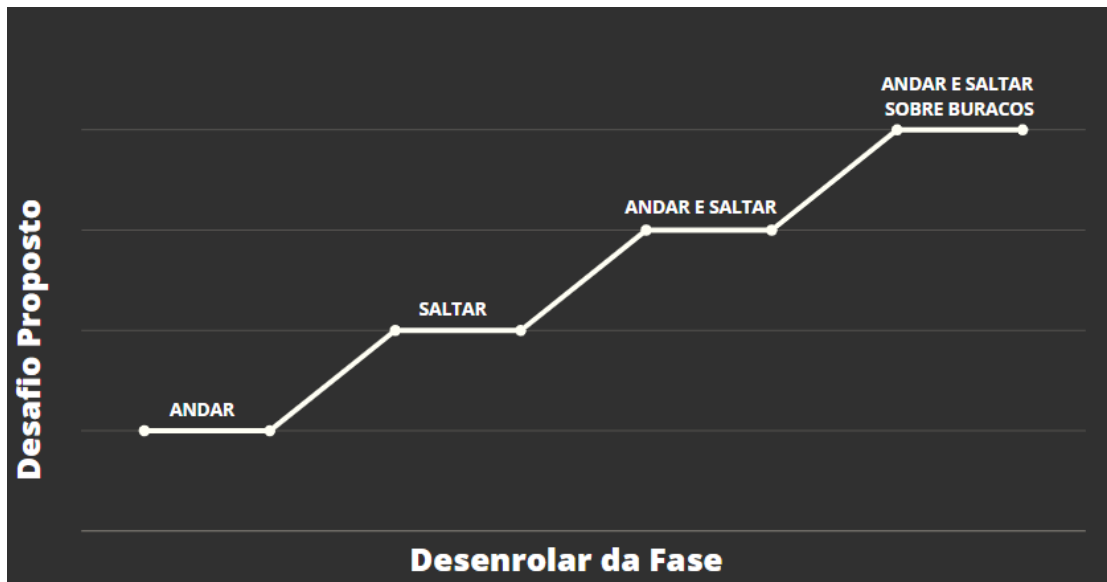


Fonte: Wirtanen (2015).

Numa entrevista à RetroVolve (2015, tradução do autor), Miyamoto explicou que “quando jogamos Mario pela primeira vez, é um desafio correr e pular ao mesmo tempo; novos jogadores normalmente caem no buraco porque não conseguem

realizar o pulo; mas eles acabam aprendendo.” Ele continua ainda dizendo que, como o jogo de 1985 era novidade em relação a esta jogabilidade, a curva de aprendizagem era um pouco mais alta e que, “graças a brilhantes decisões de design de jogos, esta curva de aprendizagem nunca pareceu escola ou trabalho”⁴.

Figura 8 - Evolução da Curva de Aprendizagem da Fase do Mario Bros.



Fonte: Autor.

Podemos observar que a aprendizagem de habilidades se dá de forma fluida e construída pelo designer de jogos. Se o jogador encontrasse uma escada sem piso numa primeira vez, ele não teria com que relacionar e poderia falhar na execução da habilidade diversas vezes, até se cansar e largar o jogo. Este desafio deve ser feito de maneira planejada, para que o conhecimento seja construído por meio dos experimentos e seu uso seja intuitivo. Esta situação se assemelha ao aprendizado a partir de desequilíbrio, tanto estudado por Piaget e de assimilações e acomodações, de Vygotsky. Não coincidência, Piaget e Vygotsky também foram fonte de inspiração para Guy Brousseau e o estudo do milieu.

Numa situação de ensino formal, o milieu é um conceito onde há a preocupação desta relação entre o que o estudante conhece e o que ele pode construir. Como exemplo, no livro Projeto Araribá Plus 6 (2014), da Editora Moderna (4ª Edição), Capítulo 6: Operações com Frações, podemos observar como é elaborada a situação

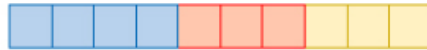
Então a curva de aprendizagem para o jogo estava bem mais embasada do que estávamos provavelmente lembrados. Graças a escolhas de design brilhantes, esta curva de aprendizagem nunca pareceu como estar na escola ou no trabalho.

didática e como o milieu pode ser associado ao da curva de aprendizagem, pois o estudante vai construindo o conhecimento enquanto realiza os exercícios propostos. Na página 169, podemos fazer um recorte dos exercícios 1 a 3 e analisá-los em seguida:

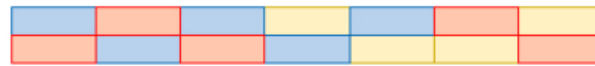
Figura 9 - Exercício sobre operações com frações.

1. Escreva as frações que representam a parte azul e a parte amarela de cada figura. Depois, efetue a adição dessas frações.

a.



b.



c.



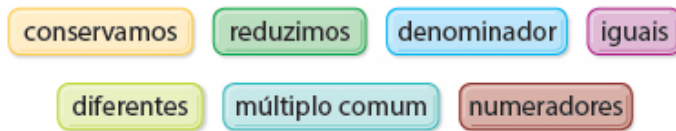
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Fonte: Projeto Araribá Plus 6 (2014).

Este é o primeiro exercício proposto, logo após a intervenção do professor ou da leitura do material sobre operações de soma e subtração com frações. Nele, o estudante vai precisar relembrar a definição de fração escrevendo a representação colorida e efetuar a adição delas numa figura já dada na questão.

Figura 10 - Exercício sobre operações com frações.

2. Copie as frases em seu caderno substituindo os ■ pelas palavras dos quadros.



- a. Para calcular a soma ou a diferença de duas ou mais frações com denominadores ■, adicionamos ou subtraímos os ■ e ■ os denominadores.
- b. Para calcular a soma ou a diferença de duas ou mais frações com denominadores ■, encontramos um ■ aos denominadores, ■ as frações a esse ■ comum e depois adicionamos ou subtraímos as frações.

Fonte: Projeto Araribá Plus 6 (2014).

Nesta segunda questão, o estudante precisará relembrar ou consultar o que foi trabalhado no texto do livro com o professor e associar o que deve ser feito em cada situação de soma ou diferença de frações com denominadores iguais ou diferentes. Aqui o processo sistemático é reforçado metodologicamente, para que o estudante saiba como proceder em cada situação e tenha onde consultar de modo mais rápido nas questões futuras.

Figura 11 - Exercício sobre operações com frações.

3. Efetue as operações indicadas e simplifique o resultado quando possível.

a. $\frac{1}{4} + \frac{5}{4}$

b. $\frac{7}{9} - \frac{1}{9}$

c. $\frac{18}{11} - \frac{4}{11}$

d. $\frac{6}{3} + \frac{2}{3}$

e. $2\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$

f. $3\frac{1}{6} - \frac{5}{6}$

g. $\frac{1}{4} + \frac{1}{2}$

h. $\frac{2}{8} + \frac{1}{4}$

i. $\frac{1}{4} - \frac{1}{6}$

j. $\frac{2}{3} - \frac{1}{2}$

k. $\frac{2}{5} + 3\frac{1}{2}$

l. $1\frac{1}{6} - \frac{3}{4}$

m. $\frac{1}{3} + \frac{2}{3} + \frac{4}{3}$

n. $\frac{9}{4} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$

Fonte: Projeto Araribá Plus 6 (2014).

A terceira questão é uma bateria de exercícios com os conceitos desenvolvidos até agora. Mas nesta bateria é possível relacionar uma curva de aprendizado: da letra A a D, são utilizadas somente frações de denominadores iguais; na E e F, são inseridas frações mistas com denominadores iguais; na G e H, são apresentados denominadores diferentes que são múltiplos entre si; na I e J, temos denominadores diferentes que não são múltiplos entre si; na K e L, misturam-se conceitos de denominadores diferentes com frações mistas; e, por fim, na M e N, são utilizadas operações com mais de duas frações. Ao fim desta questão, o estudante terá desenvolvido o conhecimento de soma e subtração com frações em suas diversas situações sistemáticas. O professor poderá, a partir das respostas dos alunos, saber em quais situações os estudantes mais têm dificuldades e trabalhar individualmente com cada um deles.

Figura 12 - Evolução da Curva de Aprendizagem da dos exercícios de frações.



Fonte: Autor.

Ao longo do processo de responder as questões, o estudante vai mobilizando novos conhecimentos que são gradativamente mais complexos de forma mais natural. Cada questão tem como função provocar a evolução deste conhecimento por meio de conflitos cognitivos de modo a fazer com que o estudante perceba em que situações é possível usar cada estratégia didática.

Ao relacionar o design de jogos com a Engenharia Didático-Informática poderemos, então, planejar situações de jogo que simulem habilidades a serem aprendidas pelos estudantes de um modo menos tradicional, com o uso de jogos educativos. Ao evocar as variáveis didáticas que o jogo deve ter para que a escolha dos valores destas variáveis seja feita de acordo com o nível de dificuldade, é possível traçar este paralelo entre curva de aprendizagem e curva de habilidade. Sendo assim, de que modo poderíamos repensar estes exercícios do livro didático num ambiente computacional para que o usuário aprendesse naturalmente ou se sentisse compelido a aprender mais para superar mais obstáculos?

3. A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA E A METODOLOGIA MECHANICS DYNAMICS AND AESTHETICS

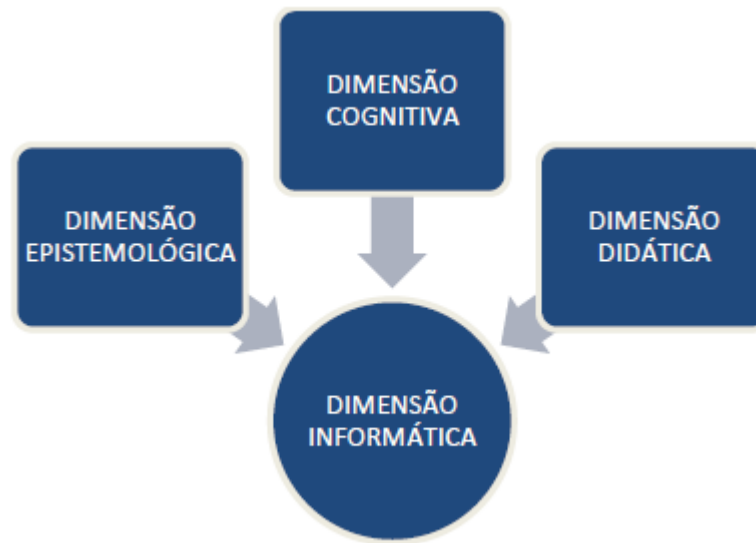
3.1 DIMENSÕES DA EDI

Ao perceber que a Engenharia de Softwares havia lacunas em relação às especificidades inerentes à criação de softwares educativos e que a Engenharia Didática possuía conceitos metodológicos capazes de enriquecer o desenvolvimento de softwares na área da educação, arquitetou-se um modelo teórico-metodológico que conseguia integrar a padronização do desenvolvimento de softwares e métodos de obtenção de requisitos e os elementos de investigação teórica sobre o ensino e aprendizagem na Engenharia Didático-Informática (SANTOS, 2016).

A Engenharia Didático-Informática visa sistematizar o desenvolvimento de softwares educativos em passos bem estruturados, desde sua concepção à validação, ampliando o quadro da Engenharia Didática com a inserção da dimensão informática. Esta, procura focar nos aspectos computacionais que viabilizam a representação dos conceitos matemáticos no ambiente web.

Assim, o modelo da Engenharia Didático-Informática compõe-se por quatro dimensões:

Figura 13 - Dimensões da Engenharia Didática convergindo para a Dimensão Informática.



Fonte: Siqueira (2019).

De modo genérico, a dimensão epistemológica estuda o conhecimento da habilidade matemática. A dimensão cognitiva aborda que teorias serão utilizadas no aprendizado de determinado assunto, como o aprendizado vai acontecer. Na dimensão didática investiga-se como é realizado o ensino de tal assunto, a fim de obter contribuições para o software. Na dimensão informática observamos como ocorre a contribuição da tecnologia computacional na aprendizagem do assunto e que características este software deve conter para atender os estudos das outras dimensões (SIQUEIRA, 2019).

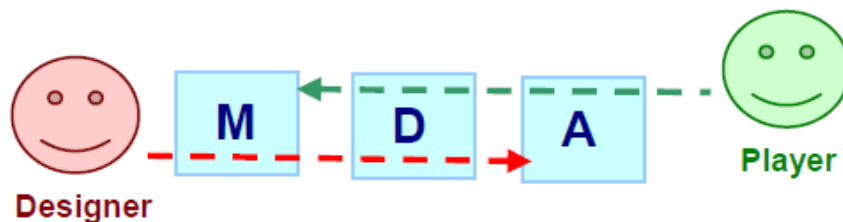
Partindo do fato de que a EDI ainda é um processo em construção, a abordagem de jogo digital educativo vai expandir seus horizontes e levar aportes ainda não definidos, como design, design de jogos e interface. A construção da EDI se dá de forma colaborativa e cada usuário pode inserir elementos a esta Engenharia.

3.2 ETAPAS DO MDA

Por conta deste processo construtivo, precisaremos assimilar processos metodológicos oriundos de outras estruturas. Por já termos usado metodologias de design de jogos em projetos paralelos de desenvolvimento de jogos virtuais, optamos por construir uma relação entre a EDI e o MDA: Mechanics, Dynamics and Aesthetics

(HUNICKE *et al.*, 2004). Em tradução simples, MDA significa “mecânica, dinâmica e estética” e é uma metodologia que aponta, dentre outras coisas, que o designer de jogos normalmente desenvolve o jogo seguindo esta lógica de criação: primeiro é pensado na mecânica, depois na dinâmica e por fim na estética de um jogo. Enquanto isso, o jogador absorve o jogo na ordem contrária: primeiro vê a estética, para ser conquistado pela dinâmica e se manter no jogo pela mecânica. O designer de jogos deve, então, se colocar no lugar do jogador e considerar a estética do jogo desde sua concepção, de um modo não só gráfico, como também sensorial.

Figura 14 - O designer e o jogador possuem diferentes perspectivas quanto ao jogo.



Fonte: Hunicke *et al.* (2004).

A estética do jogo vai determinar que tipo de jogo estamos desenvolvendo e, a partir dele, que dinâmicas e mecânicas queremos explorar em sua jogabilidade. Para descrever a estética de um jogo, precisamos saber que tipo de diversão queremos incentivar em sua jogabilidade. A classificação abaixo vem do artigo “MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research” (2004), de Robin Hunicke, Marc LeBlanc e Robert Zubek:

Tabela 3 - Estéticas de um jogo segundo o MDA.

Estéticas de um Jogo		
1	Sensação (Jogo como prazer-sensorial)	O Jogador desfruta de efeitos audiovisuais memoráveis.
2	Fantasia (Jogo como faz-de-conta)	Mundo imaginário.
3	Narrativa (Jogo como drama)	Uma história que leva o jogador a voltar sempre
4	Desafio (Jogo como uma pista de obstáculos)	Urge dominar algo. Aumenta a repetibilidade de um jogo.
5	Comunhão (Jogo como estrutura social)	Uma comunidade onde o jogador é uma parte ativa dela. Quase exclusivo para jogos multiplayer.
6	Descoberta (Jogo como território inexplorado)	Urge explorar o mundo do jogo.
7	Expressão (Jogo como auto-descoberta)	Própria criatividade. Por exemplo, a criação de personagem semelhante ao avatar do jogador.
8	Submissão (Jogo como passatempo)	Conexão com o jogo, como um todo, apesar das restrições.

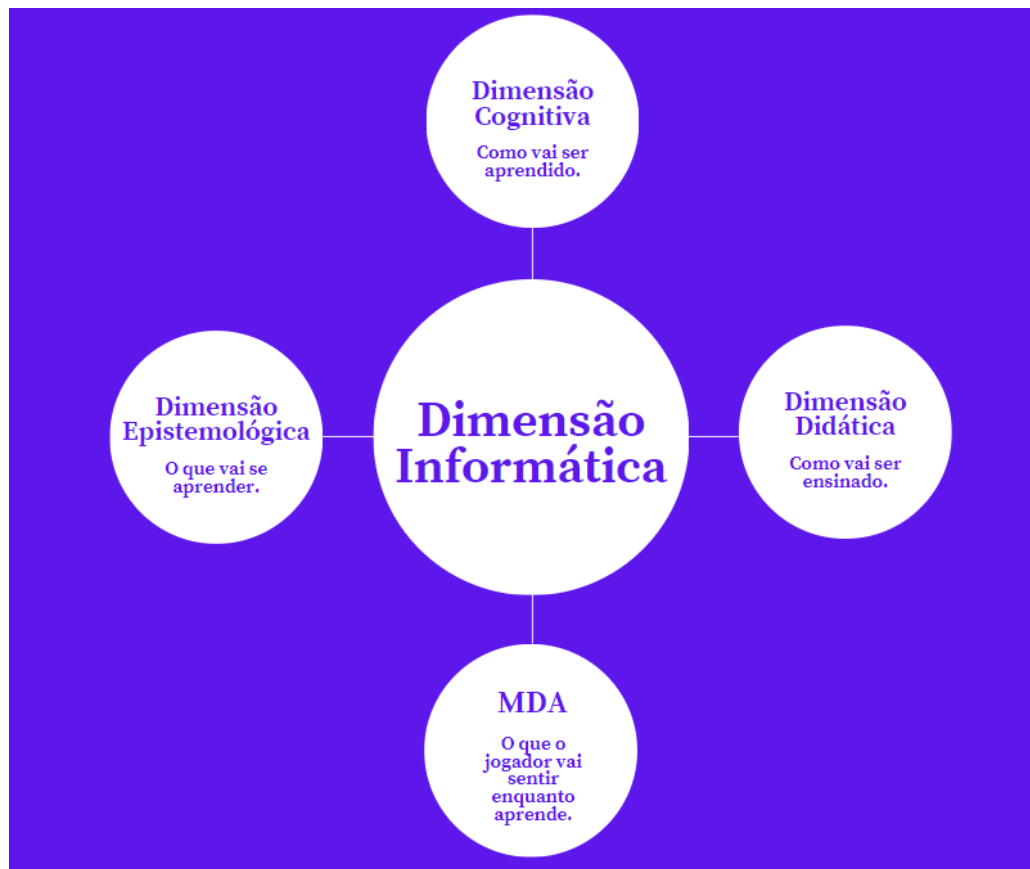
Fonte: Hunicke *et al.* (2004).

A escolha das estéticas do jogo vai servir como bússola para o desenvolvimento dele, pois a dinâmica vai tentar emular as sensações esperadas da estética e a mecânica vai dar o suporte necessário a tudo isso.

3.3 ARTICULAÇÃO DA EDI COM MDA

Ao articular os conceitos de MDA com o aporte teórico-metodológico da EDI, convergimos o desenvolvimento de softwares e o design de jogos a um ponto comum: o aprendizado. A diversão do jogo educativo deve ser sempre levada em consideração no desenvolvimento dele, pois não há aprendizado sem engajamento. Muito mais do que elaborar um protótipo de jogo educativo, espera-se que esta pesquisa dê suporte para a criação de muitos outros jogos, apontando situações e guiando a metodologia de desenvolvimento destes.

Figura 15 - Esquema de articulação da MDA com a EDI.



Fonte: Autor.

Dentro da dimensão informática da EDI, o desenvolvimento conjunto de requisitos e abordagens para o aprendizado do estudante vai ser trabalhado numa aproximação visual e, além disso, sensível para o usuário. Ao incorporar elementos da MDA no processo de desenvolvimento do jogo educativo, espera-se integrar recursos para que o jogador desenvolva habilidades e por meio de estímulos estéticos. Ou seja, por meio da estética do jogo o jogador é inserido num ambiente favorecedor de aprendizado.

4. METODOLOGIA

A Engenharia Didático-Informática surgiu a partir da articulação da Engenharia de Softwares com a Engenharia Didática, a fim de fundamentar um modelo que cobrisse tanto as necessidades de ensino e aprendizagem como a metodologia de concepção e desenvolvimento do programa (SILVA, 2016). Dessa maneira, a EDI reúne os percursos metodológicos e características de ambas as engenharias, com a inserção da Dimensão Informática no quadro da Engenharia Didática.

Dessa maneira, no modelo construído por Santos (2016), as dimensões estabelecidas permeiam as etapas do Modelo de Processo, como podemos ver a seguir:

Tabela 4 - Metodologia da EDI.



Fonte: Santos (2016).

A partir da utilização do processo metodológico da EDI, os recursos de design de jogos são inseridos e novas etapas são elaboradas a fim de estabelecer um novo processo, voltado para a construção de jogos educativos digitais, dentro da EDI. Como observaremos o processo metodológico de um protótipo da versão computacional do Pokétrunfo, nossos passos levarão em conta este jogo e seus requisitos, como o

ensino de frações e a Teoria dos Registros de Representação Semiótica, mas para cada jogo formulado, a parte teórica exige uma pesquisa específica e direcionada. No quadro acima temos as etapas, apresentadas por Santos (2016):

Delimitação de campo: nesta etapa é definido o campo de conceitos matemáticos a ser abordado pelo jogo, a equipe de desenvolvimento e sua função dentro do projeto.

Análises preliminares: a fundamentação em torno dos aspectos cognitivos, didáticos, epistemológicos e informáticos do campo abordado. São feitas pesquisas relacionadas ao campo abordado para dar início ao levantamento de requisitos.

Análise de requisitos: a fundamentação na Engenharia de Requisitos (SOMMERVILLE, 2004) permite tratar os resultados das análises preliminares, para definir os requisitos do sistema.

Análise a priori + prototipação: aqui acontece a elaboração do software propriamente dita. A programação, diagramação e design acontecem nesta etapa de prototipação, para que situações de uso, problemas de utilização e hipóteses de resultados são pensados numa análise a priori do protótipo de jogo a ser experimentado. No estudo de caso, teremos um diário de desenvolvimento desta etapa, a fim de apontar os casos e situações importantes na construção do protótipo, e como o design foi requisitado neste.

A Delimitação do Campo e a Fase Teórica deverão passar por modificações, para inserir conceitos de estética visual, interface de usuário e curva de aprendizado. Após a Análise de Requisitos, será inserido a etapa Análise de Modelos, que é focada na interligação entre os requisitos educacionais com os requisitos do MDA no design de jogos para a elaboração de Modelos a serem desenvolvidos pela equipe de programação antes da Análise a Priori e Prototipação.

Tabela 5 - EDI com elementos de MDA.



Fonte: Autor.

Análise de modelos: durante esta etapa é necessário que os professores e programadores se reúnam e façam um brainstorm com os questionamentos sobre Aesthetics do jogo e como a aprendizagem deve se dar durante a jogabilidade. Assim, a partir das ideias definidas nesta etapa, os programadores terão informação suficiente para elaborar as mecânicas dos protótipos iniciais.

Tendo fim a fase teórica e de construção do protótipo, testaremos ele em diversas situações propostas a fim de validar seu desenvolvimento e sua efetividade no tocante do ensino-aprendizagem do conceito proposto e na diversão esperada do jogo lúdico. Inicia-se, então, a fase experimental:

Fase experimental (Piloto + Professores + Alunos): é construído um piloto do software e aplicado em uso para análise dos professores, que contarão com formulários de avaliação do software e sua utilização em

sala de aula, e análise dos alunos, sobre a ludicidade do jogo e avaliação do aprendizado deles em situações construídas com o jogo.

Análise à posteriori e validação: nesta última etapa, é verificado, a partir das respostas dos professores e alunos usuários, se o software atende as necessidades esperadas de ensino e aprendizagem dos conceitos abordados. Ainda constará, nesta etapa, considerações sobre modificações planejadas a partir da análise e sugestões de melhorias obtidas nas fases experimentais.

“O procedimento de Validação consiste na conclusão da análise realizada. Nesse momento, verifica-se se o conjunto (fase teórica e experimental) contribui para o ensino e a aprendizagem de conhecimentos matemáticos. Esta fase busca compreender se o software atende aos requisitos que foram levantados. Considerando as dimensões da EDI (Epistemológica, Cognitiva, Didática e Informática) e os requisitos nelas levantados, analisa-se a eficácia do software em atendimento dos requisitos que foram definidos. Essa verificação é realizada, também, a partir dos elementos que foram levantados na fase de experimentação do software. Os problemas identificados na utilização, as sugestões dos usuários e as demais solicitações realizadas, devem ser consideradas no processo de validação do SE em desenvolvimento” (SANTOS, 2016, p. 58).

Por meio desta metodologia, poderemos observar em que momentos o Design de Jogos de Aprendizado foi necessário numa articulação com a EDI para a elaboração do software, a fim de elencar novas ou mais detalhadas etapas de construção específicas ou não para a elaboração de jogos educativos digitais. Na etapa de Análise à Priori, o processo metodológico do MDA se fará mais presente, pois serão elencados não somente os elementos de software que esperamos traduzir para o ambiente computacional, mas os elementos lúdicos esperados ao se jogar um jogo, situações presentes em metodologias de design de jogos.

5. ESTUDO DE CASO: CONSTRUINDO UM JOGO EDUCATIVO DIGITAL

Para o nosso estudo de caso na elaboração de jogo educativo digital seguindo os princípios da Engenharia Didático-Informática, vamos tomar como base o jogo analógico já desenvolvido Pokétrunfo, que promove a construção do conhecimento sobre os números racionais a partir de suas representações semióticas.

Como o Pokétrunfo foi idealizado e validado a partir de experimentações com estudantes do Ensino Fundamental (SILVA NETO, 2018), pudemos aproveitar o material produzido em relação ao ensino de frações, números racionais e da Teoria dos Registros de Representação Semiótica (DUVAL, 2004). Tomar como base um jogo analógico existente também nos ajuda na leitura de contribuições e limitações do computador tangente ao ensino por meio de jogos e da construção de um jogo. Vale salientar que o protótipo a ser desenvolvido não é uma adaptação do jogo Pokétrunfo para computador, e sim uma releitura a partir de seu objetivo e análises didáticas.

O jogo Pokétrunfo em sua versão analógica conta com 3 modos de jogo distintos: o modo Trunfo, o modo Captura e o modo Liga. Para este estudo, vamos considerar apenas o modo Trunfo.

5.1 REGRAS DO POKÉTRUNFO: MODO TRUNFO

Participantes: 2 a 4

Idade: a partir dos 10 anos

Objetivo: ser o jogador com mais cartas em sua “pilha de vitória” ao fim da partida.

Preparação do Jogo: As cartas são distribuídas em número igual para cada um dos jogadores. Cada jogador formará seu monte e só poderá ver a primeira carta da pilha. As cartas possuem uma série de informações: Força, Poder, Vigor, Saúde e Velocidade. Tipo e Fraqueza não serão usadas neste modo de jogo. Inicia o jogador à esquerda de quem distribuiu as cartas.

Como Jogar: Se você é o primeiro a jogar, escolha, dentre os atributos contidos em sua carta Pokémon, aquele que você julga capaz de superar a que se encontra nas cartas que seus adversários têm em mãos. Anuncie o atributo escolhido em voz alta

e ponha a carta na mesa. Os jogadores vão, um a um, revelar a primeira carta de seu monte e comparar o atributo escolhido de suas cartas com o atributo de seu Pokémon. Caso você tenha maior atributo, você pega a carta do adversário e põe em sua “pilha de vitória”; em caso de empate ou se seu atributo for menor, o adversário põe a carta em sua própria pilha de vitória. Quando todos os jogadores tiverem seu atributo comparado com a carta escolhida por você, ponha sua própria carta em sua pilha de vitória e passe a vez para o jogador à sua esquerda. Assim prossegue o jogo até que todas as cartas tenham sido reveladas, então os jogadores contam suas cartas nas pilhas de vitória e aquele com mais cartas é o vencedor, se tornando o Mestre Pokémon!

Exemplo: É a vez do jogador Ash, e ele está com a carta Pikachu. Ele escolheu o atributo Poder (representação figural de $\frac{3}{5}$), então os jogadores vão mostrar a primeira carta de seu monte: Brock tem o Bulbasaur, Gary tem o Charizard e Misty tem o Squirtle. Vão comparar, um a um, seu atributo Poder com o Poder do Pikachu:

- Bulbasaur tem Poder  , menor que o poder  do Pikachu, logo a carta do Bulbasaur vai para a pilha de vitória do jogador Ash.

- Charizard tem Poder 75%, que é maior que o poder  do Pikachu, logo a carta do Charizard, em vez de ir para a pilha de vitória do jogador Ash, vai para a pilha de vitória do próprio jogador Gary.

- Squirtle tem Poder  , que é menor que o poder  do Pikachu, logo a carta do Squirtle vai para a pilha de vitória do jogador Ash.

- Agora é a vez do jogador à esquerda de Ash pegar uma nova carta de seu monte e iniciar o processo de escolha e comparação dos atributos.

Figura 16 - Exemplo de Jogo Pokétrunfo analógico.



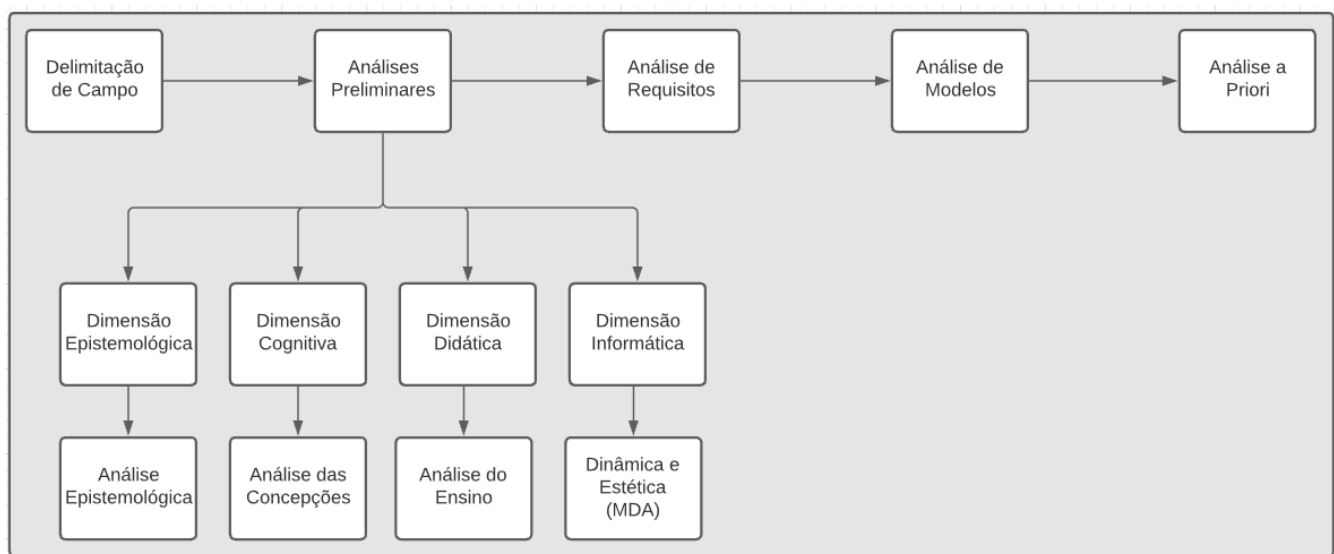
Fonte: Silva Neto, 2018.

5.2 PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS DA EDI

Do mesmo modo que a EDI traz a metodologia de desenvolvimento de Softwares Educativos, mas não prevê a construção de jogos, o MDA traz uma metodologia de desenvolvimento de jogos, mas não prevê a sua parte educacional. Articular as duas diretrizes vai unir o que há de melhor em ambas, pois uma tem elementos suficientes para cobrir o que falta na outra.

Em suas etapas metodológicas, quando elaboramos os requisitos e construímos as análises preliminares por dimensão, vamos expandir a Dimensão Informática, de modo a inserir elementos de Dinâmica e Estética que a MDA cobre com sua metodologia, como a ligação entre mecânica e estética, e a sensação a ser estimulada na execução do jogo. Tomando como base o esquema desenvolvido por Ramos (2014) na construção do Bingo dos Racionais a partir da Engenharia Didática, seguiremos:

Figura 17 - Esquema de processo metodológico da EDI para o jogo.



Fonte: Autor.

5.2.1 Análises Preliminares

Esta etapa do trabalho se constitui na realização de levantamentos sobre diversos questionamentos considerados na elaboração da situação didática, sequência e da análise a priori do nosso jogo baseado no Pokétronfo. Descreveremos as etapas: análise epistemológica, análise das concepções, análise de ensino e escolha de dinâmica e estética.

Análise Epistemológica

As primeiras noções propriamente científicas de número fracionário são atribuídas aos gregos como divisão entre dois números inteiros, mas desde muito antes outras civilizações usavam o conceito de fração e divisão sem definir tais resultados das operações como números (MOREIRA, 2014).

No Egito, a criação do número racional surgiu da necessidade de separar as terras para o plantio durante a baixa do rio Nilo (BOYER, 1974). Eles chegaram a usar frações unitárias e desenvolver a ideia de fração como parte de um todo, representando qualquer fração como soma de frações unitárias e desenvolveram a soma e a divisão entre frações. A notação posicional, capaz de representar as partes de uma divisão através de valores aproximados, foi desenvolvida pelos mesopotâmios, mas eles não trabalhavam com frações, somente com números decimais (BOYER, 1974). Apesar de usar representações diferentes, tanto os mesopotâmios quanto os gregos e egípcios trabalhavam com uma mesma ideia: o número racional.

Número racional é um número que pode ser representado como uma razão entre dois números inteiros. O conjunto dos números racionais é representado por $\mathbb{Q}$, e é definido por (sendo $\mathbb{Z}$ o conjunto dos números inteiros):

$$\mathbb{Q} = \left\{ \frac{a}{b} \mid a \in \mathbb{Z}; b \in \mathbb{Z}^* \right\}$$

Historicamente, o número racional tem vários significados, que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) classificam como: relação parte-todo, quociente, razão e operador multiplicativo.

Tais significados da fração podem aparecer não somente em representação de numerador-denominador, mas também de outras formas, chamados de registros de representação semiótica. A fração pode então ser um número racional, uma porcentagem, uma figura representando parte-todo, dentre outros. Catto (2000) afirma que uma mesma representação da fração apresenta significados diferentes de acordo com o contexto e, portanto, não devem ser tratadas isoladamente, mas sim ensinadas e analisadas em conjunto. Para Duval (2004), um conceito matemático só é efetivamente aprendido quando a conversão entre seus registros de representação é feita de maneira fluida e intuitiva.

Todas essas representações são formas diferentes de apresentar um mesmo número racional e, portanto, “a aprendizagem dos números racionais exige uma reflexão cuidadosa por parte dos professores sobre o papel e o funcionamento dessas representações a fim de favorecer a aprendizagem pelas crianças desse conteúdo” (MELO *et al.*, 2018, p. 84).

Análise das Concepções

O Pokétronfo, assim como o Bingo dos Racionais, é um jogo muito focado na percepção do estudante em relação a entender e reconhecer as diferentes representações dos números racionais, por meio de comparações entre estes números em representações distintas.

O jogo educativo digital a ser desenvolvido precisa, então, construir elementos que façam com que o estudante tenha interesse em descobrir qual das representações é a maior (ou menor) e naturalmente faça a escolha após esta comparação. É preciso criar um ambiente no qual a escolha do jogador seja significativa, para que o aluno não só procure acertar, como também deseje o acerto e perceba quando tenha feito a escolha errada.

A progressão de curva de aprendizagem do jogo precisa ter uma atenção especial em estimular o raciocínio do estudante para que ele compreenda os padrões de comparação entre frações, principalmente quando há denominadores iguais e diferentes.

Desta forma, nesta etapa da análise é preciso definir como é dado o feedback à resposta do estudante enquanto joga e como será dada a curva de aprendizagem do jogo, de acordo com o esperado do aprendizado em relação às séries escolares.

A estratégia do jogo para facilitar a aprendizagem no percurso do jogador nas fases do jogo se dá por iniciar as comparações usando representações figurais e depois seguir acrescentando representações de numerador-denominador aos poucos, primeiro com denominadores iguais e numeradores diferentes, em seguida com denominadores diferentes, mas numeradores iguais e depois com ambos diferentes.

Além disso, cada escolha correta na comparação entre os números racionais deve influenciar em momento posterior do jogo, para que se faça útil acertar cada escolha, mas que não haja uma penalização pelo erro, seguindo um reforço positivo.

Análise do Ensino

Nesta etapa, vamos estudar os objetivos em explorar elementos relacionados ao ensino dos números racionais.

Pensamos em situações na qual o estudante seja aproximado do saber, mas com uma intervenção menor do professor, pois o jogo pode ser usado com ou sem apoio presencial do professor ou da sala de aula. Nisso, a curva de aprendizagem contribui para o aprendizado por meio do jogo, pois o estudante tem seu próprio ritmo para aprender e passar de cada fase.

Enquanto no Pokétrunfo os próprios alunos faziam o papel de conferir o vencedor e comparar os valores escritos, no jogo o computador é quem faz esse papel e por isso precisamos pensar de que modo o estudante vai se fazer responsável por cada escolha e tenha vontade de acertar.

O papel do professor no uso do jogo fica a cargo de escolher fases específicas de acordo com o que ele espera trabalhar com os alunos e analisar os erros dos alunos de maneira percentual ou específica, podendo fazer um acompanhamento individual ou geral da turma.

Espera-se que o jogo seja capaz de apontar no que o aluno tem dificuldade, faça-o ter vontade de sobrepujar o erro e conte com a ajuda do professor para escolher fases específicas de ensino voltadas à turma ou ao aluno.

Dinâmica e Estética

Comparando à metodologia MDA, toda análise educacional feita envolve mecânicas esperadas do jogo: como é o processo de escolha, o que o professor deve ser habilitado a fazer com o jogo em sala de aula, como as representações dos números racionais são apresentadas aos jogadores, etc.

Na análise da dimensão informática, na metodologia da Engenharia Didático-Informática, estudamos como serão apresentados visualmente ao usuário os requisitos levantados de acordo com as dimensões anteriores. O que é esperado, fazendo uma comparação com design de jogos, é como a interação do usuário com o jogo. Portanto, é essencial uma análise que preveja o que será desenvolvido em termos de dinâmica e estética na metodologia da MDA.

Tomando a comparação dos números racionais como princípio do jogo Pokétrunfo, podemos listar as dinâmicas a seguir, que gostaríamos de manter no novo jogo a ser desenvolvido:

- a) O jogador é apresentado aos atributos a serem comparados e faz a comparação por meio de cálculo mental.
- b) Escolher o atributo de maior valor numérico beneficia o jogador (premiando com a carta do adversário).
- c) Perder uma carta tem pouco impacto na definição do vencedor do jogo, mas perder várias é mais impactante (dando chances iguais a ambos os competidores e desincentivando o uso de sorte).
- d) O tempo não é um fator prejudicial à jogabilidade.

Além disso, consideramos que a Estética do jogo Pokétrunfo se faz nos moldes da MDA como Fantasia (o mundo imaginário dos Pokémon), Desafio (ser apto a escolher o atributo de maior valor numérico) e Coleção (ter vontade de colecionar as cartas dos adversários para conhecer todos os pokémon disponíveis).

Logo, buscamos em nosso jogo educativo um jogo que seja capaz de manter o já estudado sucesso de jogabilidade do Pokétrunfo, mas que procure manter dinâmicas e estéticas próximas.

5.2.2 Análises a Priori

Partindo de uma versão computacional do Pokétrunfo, vamos destacar algumas variáveis presentes no jogo analógico que façam com que o computador acrescente dinamicidade ao jogo digital.

O Pokétronfo exige que os alunos façam associações dos conhecimentos matemáticos dos estudantes e não somente tentem, na sorte, descobrir qual a característica de maior valor dentre as disponíveis. O aluno é apresentado a diversas representações dos números racionais (porcentagem, figural, decimal e fração) e deve comparar seus valores mesmo em representações diferentes. Por isso, as variáveis presentes nesta análise envolvem a versão original do jogo e o estudo sobre sua contraparte digital servirá como alicerce na construção do jogo digital baseado nele.

Desta forma, as variáveis seriam:

1. Cartas

No jogo original, as cartas são embaralhadas e divididas entre os jogadores, mas na versão física não haverá cartas para sorteio. Em vez disso, apresentaremos números racionais em representações diferentes e o jogador deverá escolher o maior dentre eles, recebendo uma bonificação em caso de acerto, mas não punição em caso de falha. Num segundo momento, esta bonificação se fará mais relevante, fazendo com que o jogador tenha cada vez mais vontade de acertar.

2. Atributos

No jogo original, os atributos são apresentados em todas as representações de uma vez, mas na versão digital eles serão apresentados aos poucos, por ser mais flexível a construção de uma curva de aprendizado mais definida.

3. Tempo

Tempo: o jogo padrão tem 30 segundos para cada comparação entre os números apresentados. O professor deve ser capaz de alterar este número, aumentando-o até removendo-o completamente.

Mecânica central e mecânica de retenção: a cada quatro comparações, o jogo segue para uma nova jogabilidade, na qual cada acerto da fase anterior dá uma bonificação ao jogador. Esta segunda fase pode ser removida pelo professor.

4. Conteúdo

Conteúdo limitado aos números racionais e a comparação entre suas representações (porcentagem, figural, decimal e fração).

5.2.3 Experimento

Para a realização do experimento, contaremos com a contribuição de professores de matemática do ensino fundamental dos anos iniciais e finais, que usarão o jogo e comentarão possíveis utilizações para ele em sala de aula e fora dela, em tarefas individuais aos alunos.

Estas contribuições serão gravadas em áudio, com partes relevantes transcritas no capítulo de Validação. Os professores nos darão informações sobre a contribuição do computador ao ensino dos números racionais e à funcionalidade do jogo como objeto didático, a fim de validarmos sua construção como software desenvolvido à lua da Engenharia Didático-Informática.

6. OPERACIONALIZAÇÃO DA ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA

Neste capítulo apresentamos o desenvolvimento da EDI como pesquisa no desenvolvimento de jogos educacionais digitais. Fazendo uso do percurso metodológico da EDI (SANTOS, 2016), podemos observar que mudanças são essenciais na metodologia da EDI para que o software seja validado como jogo educativo digital.

A Engenharia Didático-Informática é uma metodologia em desenvolvimento, construída colaborativamente por estudos que visam a estruturação do desenvolvimento de softwares de educação matemática. Assim, o presente trabalho fez uso constante de consultas à estudos anteriores, como o de Silva (2016) e SANTOS (2016), que formalizaram a EDI, assim como de Ramos (2014), que serviu de inspiração na elaboração de uma versão digital de um jogo matemático analógico já existente.

Este processo é construído fazendo uso de uma equipe pluridisciplinar, que conta idealmente com a presença de especialistas em educação, em programação e em desenvolvimento de softwares. As conversas sobre o desenvolvimento do software levam sempre em consideração a opinião de todos da equipe, a fim de conseguir um resultado satisfatório em todos os aspectos.

6.1 COMPOSIÇÃO DE EQUIPE PLURIDISCIPLINAR

A equipe pluridisciplinar foi constituída por membros do Grupo de Pesquisa LEMATEC, com o auxílio de membros externos relativos ao desenvolvimento de jogos e programação de softwares. A tabela abaixo resume as funções e formações dos integrantes:

Tabela 6 - Equipe pluridisciplinar.

NOME	FUNÇÃO	FORMAÇÃO
FRANCK BELLEMAIN	ORIENTADOR DO ESTUDO	Graduado em Mathématiques, Mestre e Doutor em Didactique des Mathématiques
DJALMA NETO	ENGENHEIRO-PESQUISADOR	Licenciado em Matemática
AYRTON EUSÉBIO	DESIGNER DE EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	Graduando em Design
BRUNO PALERMO	GAME DESIGNER/PROGRAMADOR	Designer de Jogos e Especialista em Gamificação
RICARDO TIBURCIO	MEMBROS COLABORADORES	Doutor em Educação Matemática e Tecnológica
AMANDA RODRIGUES		Mestre em Educação Matemática e Tecnológica
PATRICIA BENEVIDES		Mestre em Educação Matemática e Tecnológica
TARCÍSIO ROCHA		Mestre em Educação Matemática e Tecnológica
GABRIEL VARELA		Licenciado em Expressão Gráfica

Fonte: Autor.

O Orientador do Estudo é o responsável pela orientação da presente pesquisa. O Engenheiro-Pesquisador é o professor responsável pelo direcionamento da pesquisa e pelas decisões de caráter educacional no desenvolvimento do protótipo. Ele recebe este título por desenvolver a pesquisa e participar do desenvolvimento do software simultaneamente.

O Designer de Experiência de Usuário é o responsável pelas decisões de caráter de utilização do jogador do jogo. A partir da classificação do usuário por um recorte de idade e ensino, o Designer de Experiência pôde fazer orientações em relação às cores, temas e disposição de elementos na tela. O Game Designer/Programador é o responsável por tomar decisões relativas à jogabilidade geral, bem como desenvolver a programação do código do software. A ele cabe decidir mecânicas, dinâmicas e estéticas relacionadas ao esperado a partir dos requisitos elicitados. Nos referimos à equipe sem os Designers (de Experiência e de Jogo), como Equipe Educacional, composta por Orientador, Pesquisador e Membros Colaboradores.

Os Membros Colaboradores trouxeram para a pesquisa discussões pertinentes em relação à utilização da EDI no desenvolvimento do jogo, nas escolhas de temas relativos ao conteúdo matemático e trouxeram seus estudos e experiências para ajudar na presente investigação. Como todos são professores, suas opiniões relativas ao uso do jogo em sala de aula foram essenciais na validação do jogo pela metodologia da EDI e na previsão de utilizações em sala de aula.

Todo processo de desenvolvimento da pesquisa e do protótipo foi realizado ao longo de dois anos, que contaram com quatro reuniões da Equipe Educacional completa, quatro outras somente com o orientador e engenheiro-pesquisador,

diversas reuniões de engenheiro pesquisador com designers, e ainda outras menores de membros da equipe geral. Estas interações estão explicitadas nas próximas sessões.

6.2 QUESTIONAMENTOS PARA OBTENÇÃO DE REQUISITOS

Para estabelecer os requisitos do protótipo até a fase de Análise de Requisitos, precisamos definir bem como se dará a Delimitação de Campo e Análise Preliminar do jogo. O esquema segue o mesmo apresentado na Metodologia, desenvolvido a partir do modelo proposto por Santos (2016) na elaboração da Engenharia Didático-Informática.

Consideramos manter os questionamentos de requisitos para observar se a estrutura se mantém mesmo quando desenvolvemos jogos educacionais digitais. Tais questionamentos foram discutidos em reuniões com a equipe e pesquisas foram realizadas para análise de ambientes similares que pudessem justificar a existência do jogo com o tema esperado. Sendo assim, os questionamentos para Delimitação de Campo foram:

Tabela 7 - Questionamentos desenvolvidos na concepção da EDI.

Qual campo de conhecimentos pretende-se abordar? Dentro deste campo de conhecimentos delimite conceitos e definições que serão trabalhadas e qual o foco que será dado ao conhecimento definido.
Considerando as tipologias de software educacionais existentes (tutoriais, jogos, simuladores, etc.) qual tipo de software pretende-se criar e quais são as justificativas para essa escolha?
-
Existem ambientes que trabalham com o domínio de interesse, quais são os recursos que contribuem para a aprendizagem e o que falta nesses softwares para contemplar as necessidades do domínio?

Fonte: Santos (2016).

Os requisitos a serem estabelecidos dependem destas respostas, assim como nas respostas dos questionamentos da Análise Preliminar, dados a partir das dimensões da EDI, também da dissertação de Santos (2016):

Tabela 8 - Questionamentos por dimensão.

DIMENSÃO COGNITIVA
Existem indicações na literatura de como o estudante aprende o conhecimento específico?
DIMENSÃO DIDÁTICA
Qual é o estado atual do ensino do domínio? Quais são as consequências desse ensino?
DIMENSÃO EPISTEMOLÓGICA
Quais são os aspectos do conhecimento que podem dificultar a aprendizagem?
DIMENSÃO INFORMÁTICA
Quais as características fundamentais que o ambiente deve conter para atender as necessidades/características que contribuam para o ensino e a aprendizagem do domínio?

Fonte: Santos (2016).

6.2.1 Delimitação de Campo

Para a Delimitação de Campo, em discussões com a equipe pluridisciplinar e pesquisas prévias tanto do Pokétronfo quanto do ensino de Frações, os questionamentos foram respondidos de seguinte modo:

a) Qual campo de conhecimentos pretende-se abordar? Dentro deste campo de conhecimentos delimite conceitos e definições que serão trabalhadas e qual o foco que será dado ao conhecimento definido.

Números racionais: o jogo apresentará números racionais em representações diversas para comparação de seus valores numéricos, a fim de que os estudantes conheçam cada representação e exercitem a conversão semiótica entre eles.

b) Considerando as tipologias de softwares educacionais existentes, qual tipo de software pretende-se criar e quais são as justificativas para esta escolha?

Será um jogo. Tal escolha foi feita por conta da faixa etária dos estudantes que são apresentados aos números racionais inicialmente, na intenção de inserir novos contextos educacionais para o ensino da matemática. De acordo com os objetivos traçados pela Base Nacional Comum Curricular, o ensino de frações usando representações decimais e numerador-denominador é dado a partir do 4º Ano do Ensino Fundamental.

c) Existem ambientes que trabalham com o domínio de interesse, quais são os recursos que contribuem para a aprendizagem e o que falta nesses softwares para contemplar as necessidades do domínio?

Em pesquisas, encontramos softwares similares de jogos relacionando frações a suas representações figurais. A jogabilidade encontrada neles contribui para o interesse do aluno em aprender para conquistar mais pontos e na interação entre usuários. Porém, apesar de haverem softwares que faziam comparações entre frações, não encontramos algum que o fizesse usando representações distintas num contexto de jogo de exploração, portanto consideramos seguir por este caminho.

6.2.2 Análise Preliminar

Definido o tema do jogo, partimos para as perguntas relacionadas às dimensões. Usando como referência estudos realizados no Bingo dos Racionais e no Pokétronfo, buscamos na Teoria dos Registros de Representações Semióticas um alicerce no desenvolvimento do jogo educativo digital em questão. Sendo assim, obtivemos:

a) Existem indicações na literatura de como o estudante aprende o conhecimento específico?

Como estamos focando no aprendizado das diversas representações dos números racionais, a revisão de literatura foi feita de acordo com a Teoria de Registros de Representação Semiótica (em francês: Théories Registres de Représentation Sémiotique) (DUVAL, 2004). Estas representações semióticas são constituídas de signos, usados para expressar, objetivar e tratar as representações materiais, visto

que os objetos matemáticos possuem caráter abstrato, somente acessíveis por diferentes representações, denominados registros semióticos.

Duval (2004) acredita, então, que para um conceito matemático ser efetivamente aprendido, além de saber representar tais conceitos abstratos utilizando diversas representações, o sujeito deve saber mobilizar ao menos dois destes registros de representação semiótica simultaneamente, coordenando-os de forma natural. Assim, não cabe somente o ensino do tratamento destas representações, mas também a conversão entre elas, a fim de que o entendimento seja completo.

Duval (2004) parte do princípio que os conceitos matemáticos são objetos abstratos que são tratados por meio de representações. Assim, o sujeito tem contato com tais objetos quando representados, e nesse sentido a concepção desenvolvida por cada um carrega elementos do conceito e elementos da representação de forma atrelada. Ao se trabalhar com diferentes representações de um mesmo objeto matemático, permite-se que o sujeito perceba os elementos que são do conceito e aqueles próprios da representação. Nesse sentido, é a atividade de conversão de representações central para o entendimento conceitual matemático.

b) Qual é o estado atual do ensino do domínio? Quais são as consequências desse ensino?

Ao realizar uma pesquisa com estudantes do 7º Ano do Ensino Fundamental, Monteiro e Groenwald (2014) apontaram que as maiores dificuldades dos alunos em aprender o conteúdo de frações em seu conceito, equivalência, simplificação e comparação entre elas. Tais dificuldades se dão porque os estudantes tratam numerador e denominador de forma independente, como dois números.

Na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais, o ensino de frações deve ser dado desde os anos iniciais do Ensino Fundamental, partindo de conceitos como meio e metade e, aos poucos, formalizando o conteúdo usando representações figurais e numéricas. Tais representações consideram números racionais não negativos até o 7º Ano. Espera-se que com estas diretrizes o ensino-aprendizagem de frações se dê de forma mais facilitada.

c) Quais são os aspectos do conhecimento que podem dificultar a aprendizagem?

Na dissertação de mestrado desenvolvida por DaSilva (2016), a autora fez um estudo com o uso do Bingo dos Racionais para observar como estudantes lidam com diferentes representações dos números racionais.

O fato de que, nos números naturais, as regras de comparação não são relativas aos números racionais é uma confusão frequente. Apesar de $\frac{2}{5}$ ser maior que $\frac{1}{5}$ (e o numerador 2 ser maior que o numerador 1), temos que $\frac{1}{2}$ é maior que $\frac{1}{3}$ (mesmo com o denominador 2 sendo menor que o 3).

Em decimais, a quantidade de casas decimais é um dificultante também, como podemos observar no recorte:

“Ainda sobre a comparação de números racionais, no caso da escrita decimal, é difícil para os estudantes aceitar que 1,0006 é menor que 1,5. Uma das razões para essa dificuldade é que, no contexto dos números naturais quanto maior a quantidade de ordens que o número possui, maior é esse número e esse é um teorema-em-ação que não leva a solução correta no âmbito da representação decimal de números racionais.” (DASILVA, 2016, p. 54)

Ou seja, o que os estudantes sentem com diferentes métodos para elaborar uma regra para comparar todas as representações é um dificultante do aprendizado. Enquanto ao trabalhar com denominadores iguais, o maior numerador indica a maior fração, ao trabalhar com numeradores iguais a maior fração é aquela com menor denominador. Devemos levar isso em consideração ao pensar nos aspectos do jogo.

d) Quais as características fundamentais que o ambiente deve conter para atender as necessidades/características que contribuam para o ensino e a aprendizagem do domínio?

Considerando as dimensões já citadas, é notável que o ambiente deve apresentar situações que o jogador perceba as similaridades entre as representações

e que construa a conversão de modo acertado. O jogo deve apresentar, então, um sistema de representações distintas bem equilibrado.

A comparação entre os elementos deve ser feita de um modo que o jogador se sinta compelido a acertar, então é essencial que o jogo contenha interação do estudante de modo a oferecer autonomia na escolha dele dentro de um contexto. Para que ele acerte com consciência, ele precisa querer acertar.

7. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Partindo do jogo analógico Pokétronfo e das perguntas norteadoras respondidas no capítulo anterior, poderíamos partir para o desenvolvimento do protótipo, usando a ferramenta virtual de desenvolvimento Construct 3. Por meio desta, é possível construir modelos de jogos e protótipos usando linguagem básica de programação e elaboração por blocos, na intenção de acelerar o processo de desenvolvimento. Esta etapa foi chamada de Análise de Modelos na metodologia da Engenharia Didático-Informática aplicada a jogos educacionais digitais.

A situação de pandemia acabou por limitar o contato entre orientador, orientando e desenvolvedores do jogo. Algumas imagens das conversas virtuais entre os participantes foram adicionadas ao longo deste estudo de caso para ilustrar os processos de decisão realizados e os motivos para seu embasamento. Por conta da pandemia o processo de experimentação com estudantes também foi limitado e tivemos que adaptar o processo com professores da área de estudo do conteúdo de frações.

Mesmo sendo um jogo existente, a mecânica de jogabilidade do Super Trunfo não é patenteável, pelo artigo 10 da Lei 9.279/1996 de Propriedade Industrial (JUSBRASIL, 1996):

“não se considera invenção nem modelo de utilidade: I – descobertas, teorias científicas e métodos matemáticos; [...]; IV – as obras literárias, arquitetônicas, artísticas e científicas ou qualquer criação estética; V – programas de computador em si; VI – apresentação de informações; **VII – regras de jogo**; [...]” (JUSBRASIL, 1996).

Faz-se, então, possível uma adaptação virtual de suas mecânicas. Porém, a Nintendo Co, Ltd. possui direitos de propriedade sobre o tema Pokémon, tornando inviável a construção de um Pokétronfo, mesmo que para fins educacionais e não-lucrativos. Sendo assim, adaptaremos o tema e procuraremos algo que mantenha a Estética do jogo, de modo a cativar a atenção dos jogadores de faixa etária entre 8 e 11 anos, alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental que estudam frações e números racionais.

Para a construção da nossa versão computacional do jogo, os requisitos a seguir precisam estar presentes para respeitar os princípios norteadores do original:

- a) O jogador é apresentado aos atributos a serem comparados e faz a comparação por meio de cálculo mental.
- b) Escolher o atributo de maior valor numérico beneficia o jogador.
- c) Perder uma carta tem pouco impacto na definição do vencedor do jogo, mas perder várias é mais impactante.
- d) O tempo não é um fator prejudicial à jogabilidade.
- e) Estética da MDA de Fantasia, Desafio e Coleção.

7.1 VERSÃO 1: DRAGON BATTLE

A primeira versão do nosso jogo se aproxima do que seria a versão computacional mais fiel do Super Trunfo analógico. É um jogo no qual o jogador enfrenta o computador e tenta acertar quais de seus atributos possuem valor numérico maior que o correspondente do adversário. Para o protótipo, usamos somente números naturais para acelerar o processo de prototipagem, como podemos observar abaixo:

Figura 18 - Protótipo Dragon Battle.



Fonte: Autor.

O tema do jogo apresentado é o do Dragon Ball, um desenho animado japonês dos anos 1990 exibido na TV brasileira a partir de 1996 (KAMISAMA EXPLORER, 2015). A mecânica do jogo é baseada no Super Trunfo: o jogador clica em qual característica do personagem Goku ele quer comparar com a da carta a ser apresentada. Caso seja maior, ele ganha um ponto e caso seja igual ou menor, o adversário que ganha um ponto.

Ao clicar na característica a ser comparada, a carta da direita é apresentada (neste caso, a do personagem Mestre Kame) e os valores das duas características são comparados. Para este exemplo, comparamos a característica Técnicas e, por isso, o adversário ganhou um ponto.

Figura 19 - Tela de comparação dos atributos.



Fonte: Autor.

O protótipo apresentava poucos elementos interativos e mobilizava pouco conhecimento, dado que o jogador não tinha com que comparar cada atributo antes de selecionar qual o maior. O jogo, em testes, acabou se tornando um jogo de sorte, e precisava de Dinâmicas a diminuir o fator sorte e estimular o jogador a pensar antes de agir.

Tabela 9 - Requisitos do protótipo Dragon Battle.

Princípios Norteadores	
O jogador é apresentado aos atributos a serem comparados e faz a comparação por meio de cálculo mental.	Não
Escolher o atributo de maior valor numérico beneficia o jogador.	Às vezes
Perder uma carta tem pouco impacto na definição do vencedor do jogo, mas perder várias é mais impactante.	Não
O tempo não é um fator prejudicial à jogabilidade.	Sim
Estética da MDA similar.	Não

Fonte: Autor.

Pensando nos requisitos, há muitas diferenças entre o que é apresentado e nosso objetivo dentro do jogo. Precisariamos corrigir as situações apresentadas.

7.2 VERSÃO 2: FRACTION INVADERS

A segunda versão do protótipo traz uma mecânica similar, mas com dinâmica diferente: apresenta os dois números racionais na tela e o jogador deve selecionar qual deles tem maior valor.

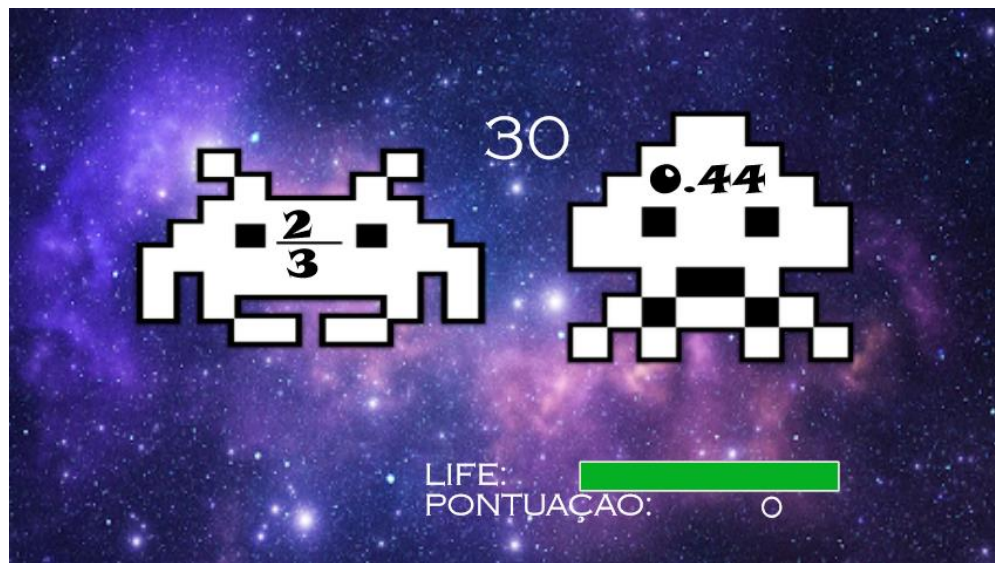
Figura 20 - Tela inicial do protótipo Fraction Invaders.



Fonte: Autor.

Na tela são apresentados dois “alienígenas” que estão invadindo o planeta Terra e o jogador deve defender-se atacando aquele de maior perigo, representado pelos valores numéricos. Acertar aquele de maior valor fazia com que ambos os alvos fossem atacados e destruídos, enquanto que acertar o de valor menor só destruía o menor deles, fazendo com que a Terra sofresse um ataque do maior.

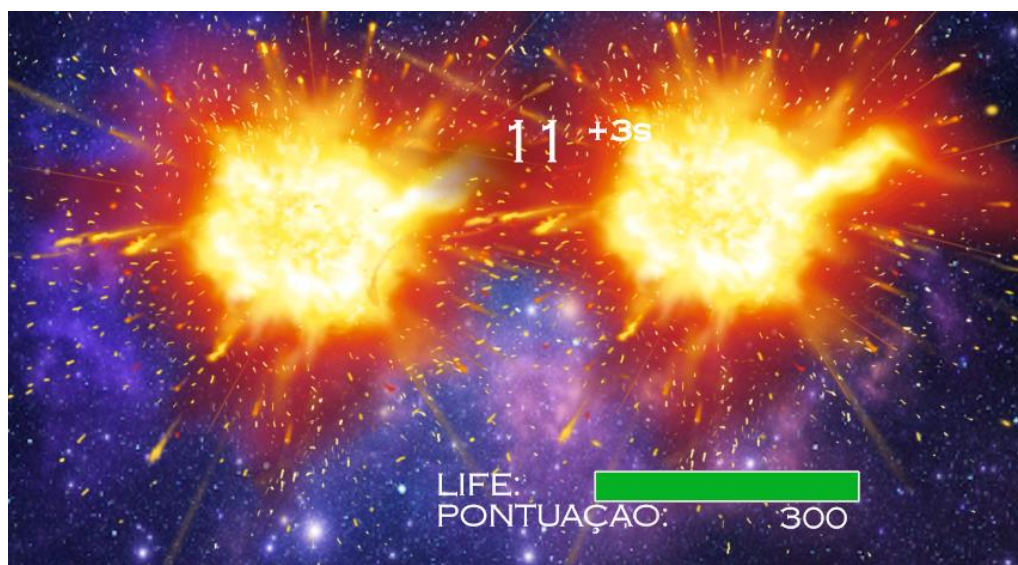
Figura 21 - Tela principal do Fraction Invaders.



Fonte: Autor.

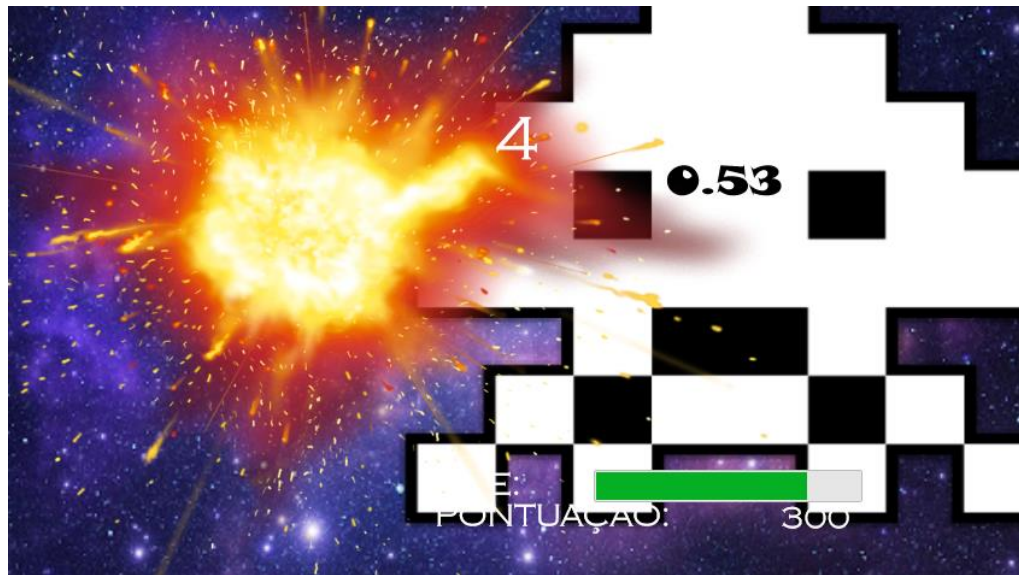
A tela apresenta a interface com os dois alvos, seus valores numéricos, a barra de verde que representa quantas vezes o jogador pode errar (chamada LIFE), o tempo inicial de 30 segundos e a pontuação do jogador. Acertar o alvo de maior valor gera 100 pontos ao jogador e acrescenta 3 segundos ao tempo da partida. Errar o alvo não acrescenta os 3 segundos e ainda esvazia a barra verde em 20%. O jogador deve conseguir a maior pontuação possível antes do tempo ou da barra verde esvaziar.

Figura 22 - Alienígena de maior valor corretamente selecionado.



Fonte: Autor.

Figura 23 - Alienígena de menor valor selecionado.



Fonte: Autor.

O jogo sofreu, do primeiro ao segundo protótipo, uma mudança significativa na dinâmica e estética, mas a mecânica ainda se mantém: o jogador precisa clicar no número de maior valor. A dinâmica do jogo agora envolve pressão de tempo e um sistema de pontuação que visa incentivar a competitividade entre os jogadores e o desejo de chegar cada vez mais longe. A estética do jogo perde o fator Coleção e traz elementos de ficção científica e viagens espaciais para Exploração, mas ainda faz muito uso de violência, fator preocupante para se usar em sala de aula com estudantes dos anos iniciais do Ensino Fundamental.

Figura 24 - Tela final do Fraction Invaders.



Fonte: Autor.

Em conversas com a Equipe Educacional, o sistema de tempo foi apontado como um dificultante ao aprendizado, por pressionar o estudante a dar uma resposta sem estimular o pensamento crítico. O código de desenvolvimento do jogo também não facilitava na apresentação de números decimais em representações não numéricas, como a figural.

Tabela 10 - Requisitos do protótipo Fraction Invaders.

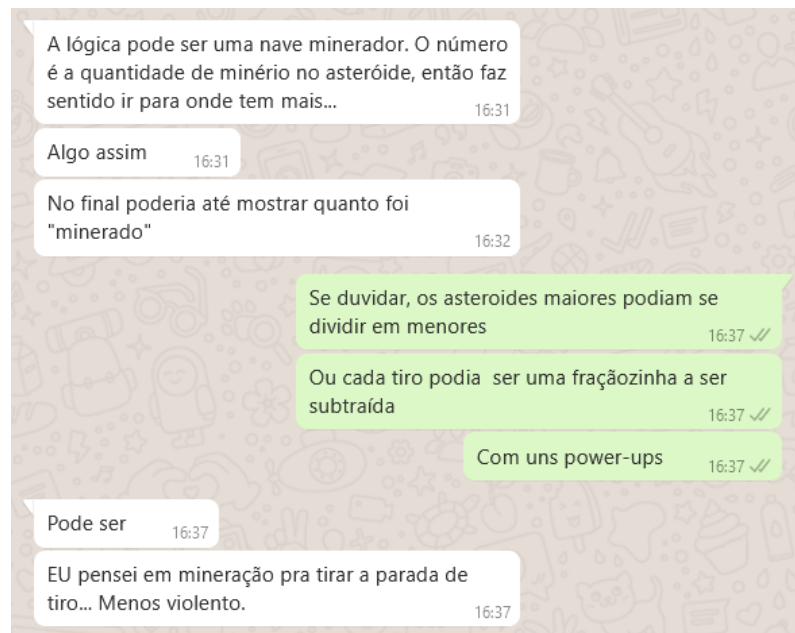
Princípios Norteadores	
O jogador é apresentado aos atributos a serem comparados e faz a comparação por meio de cálculo mental.	Sim
Escolher o atributo de maior valor numérico beneficia o jogador.	Sim
Perder uma carta tem pouco impacto na definição do vencedor do jogo, mas perder várias é mais impactante.	Sim
O tempo não é um fator prejudicial à jogabilidade.	Não
Estética da MDA similar.	Não

Fonte: Autor.

7.3 VERSÃO 3: FRACTONIUM

Por conta da pandemia, a maioria das conversas e orientações teve que ser dada por meio de reuniões virtuais. O fator violência foi debatido com o Designer de Experiência e o Designer de Jogo/Programador. Procurávamos soluções para que as escolhas dos alunos se justificassem em elementos que não significassem uma narrativa violenta, direta ou indiretamente.

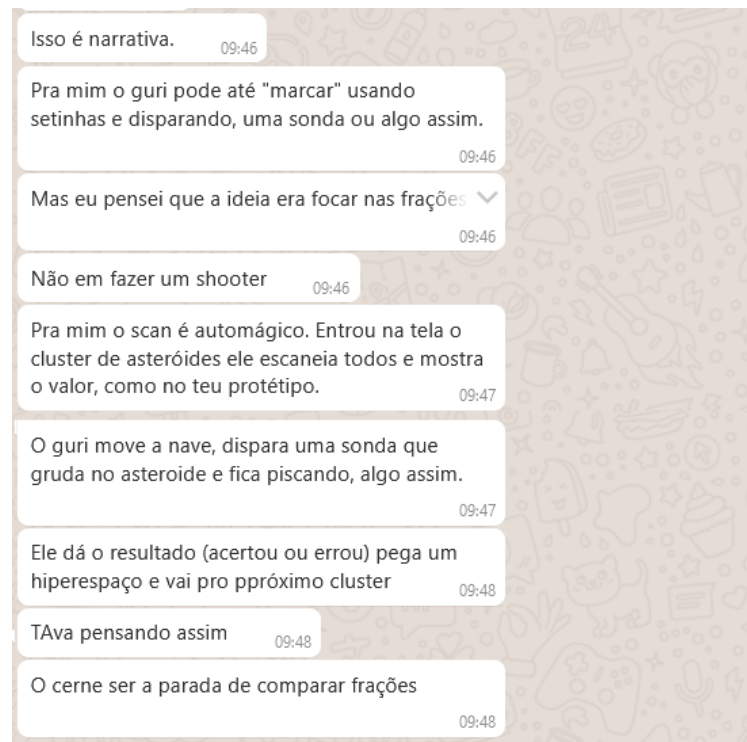
Figura 25 - Interação via chat.



Fonte: Autor.

Em conversa virtual com o programador, surgiu a ideia de usarmos naves espaciais mineradoras de asteroides. Assim, mantinha o aspecto de Exploração e um contexto para a escolha de maior número decimal, como um medidor arbitrário de minério dentro do asteroide. Conversando sobre a experiência do usuário, pensávamos em como apresentar os números decimais usando representações diversas.

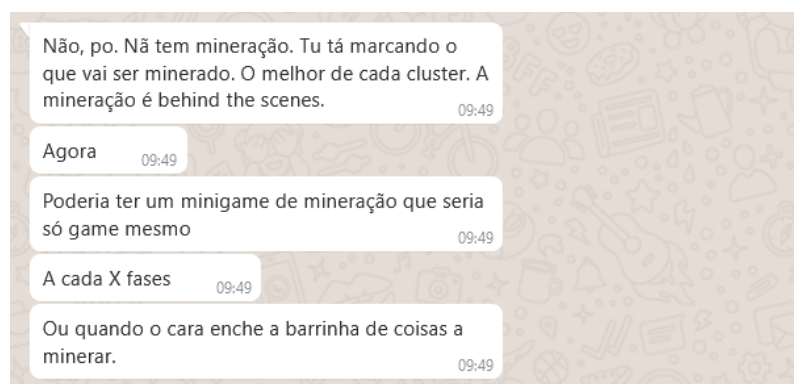
Figura 26 - Interação via chat.



Fonte: Autor.

Definida a narrativa e a estética do jogo, a intencionalidade do jogador precisava ser discutida. Como estabelecido nos requisitos, esperávamos que o jogador tenha vontade de escolher o maior valor numérico e não prejudicar demais no caso de uma escolha errada, para estimular o uso do pensamento crítico ao invés da sorte.

Figura 27 - Interação via chat.



Fonte: Autor.

Este “mini-game a cada X fases” foi pensado na intenção de dar aos jogadores uma sensação de exploração mais definida, um tempo entre as escolhas matemáticas

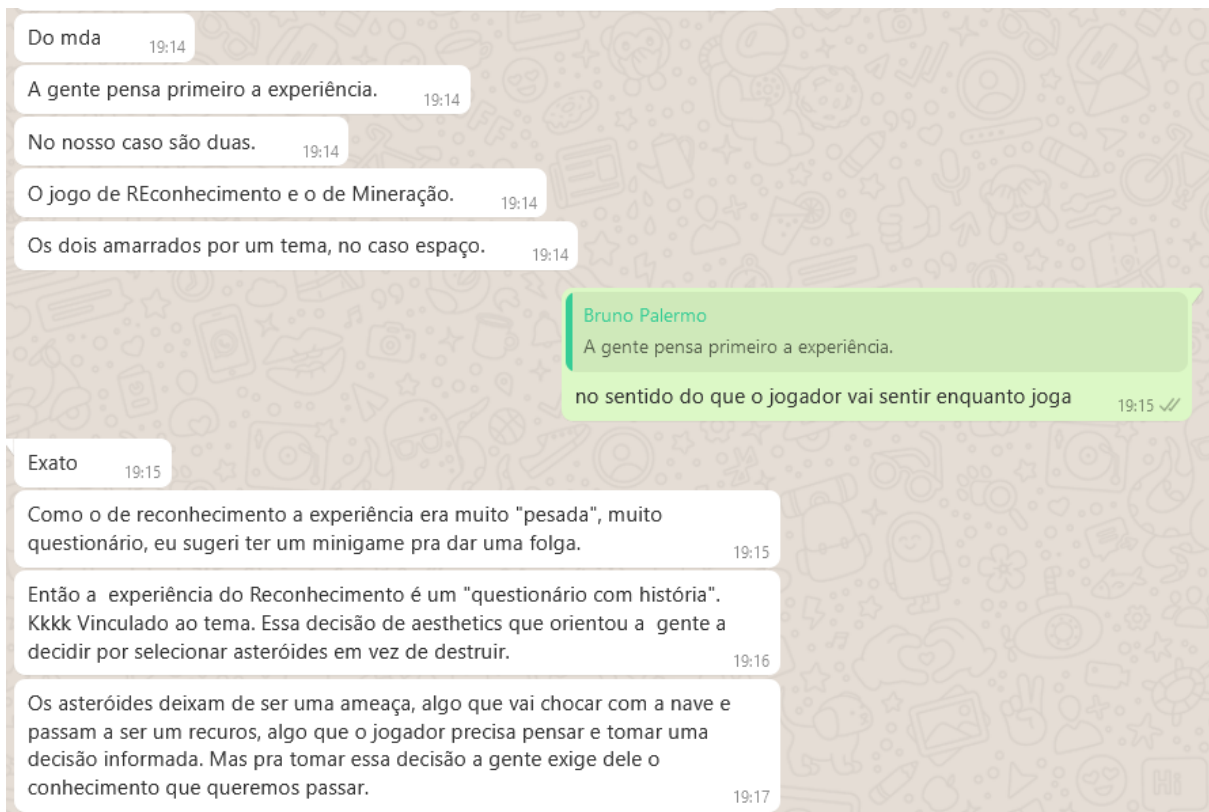
e um motivo para que os jogadores procurem acertar. Baseado em Lunar Lander, um jogo de videogame lançado nos Estados Unidos para Atari em 1979 (EDWARDS, 2019), o mini-game simulava o pouso da sonda mineradora nos asteroides pesquisados na fase de seleção das frações. Quanto mais acertos tem o jogador nas pesquisas anteriores, mais minério é possível coletar pelo jogador no mini-game.

Figura 28 - Jogo Lunar Lander, de Atari.



Fonte: Edwards (2019).

Figura 29 - Interação via chat.



Fonte: Autor.

Estabelecidos os critérios do jogo, enquanto o programador desenvolvia o protótipo o engenheiro-pesquisador pensava no desenvolvimento da curva de aprendizagem em relação à curva de dificuldade. Usando os parâmetros da Base Nacional Comum Curricular, foi possível prever como é definido o ensino de frações e estabelecer uma linha de progressão ao conhecimento esperado do estudante enquanto joga. As representações são apresentadas seguindo a progressão a seguir, e a lista completa dos números pode ser encontrada no Anexo A:

- I. Figurais, denominadores iguais;
- II. Figurais, denominadores diferentes;
- III. Frações e Figurais, denominadores iguais;
- IV. Frações e Figurais, denominadores diferentes;
- V. Figurais e Porcentagens;
- VI. Figurais, Porcentagens e Frações;

- VII. Frações e Porcentagens;
- VIII. Porcentagens e Decimais;
- IX. Frações, Porcentagens e Decimais;
- X. Figuras, Frações, Porcentagens e Decimais.

A imagem seguinte apresenta a tela principal do jogo, onde o jogador faz sua escolha de qual asteroide minerar. Estes asteroides descem a partir do topo da tela e se fixam na metade, para dar a impressão de tempo, mas não considerar o tempo propriamente dito. Esta sugestão foi dada pela Equipe Educacional. Nos botões inferiores da esquerda o jogador movimenta a nave para definir qual asteroide será minerado e o botão da direita é o botão de escolha. A imagem representa a tela de um celular na vertical e os botões são posicionados de modo a facilitar o uso para aparelhos celulares. Na parte superior é possível ver um contador de asteroides para chegar à fase do mini-game.

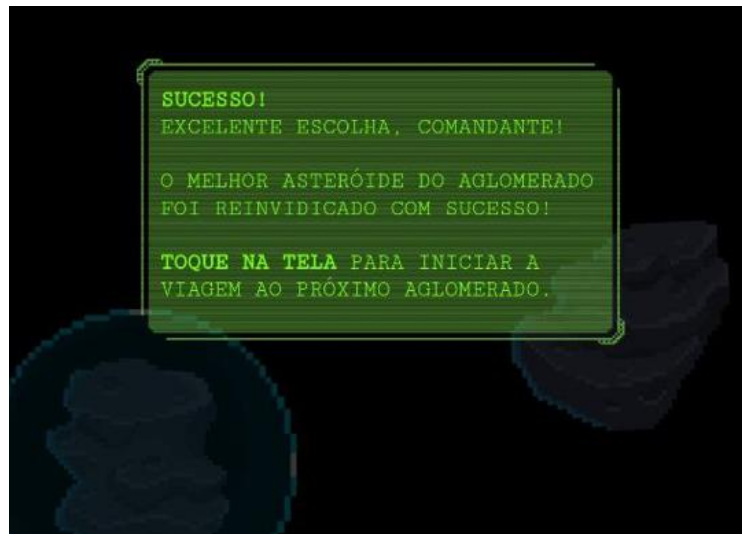
Figura 30 - Tela principal do protótipo Fractonium.



Fonte: Autor.

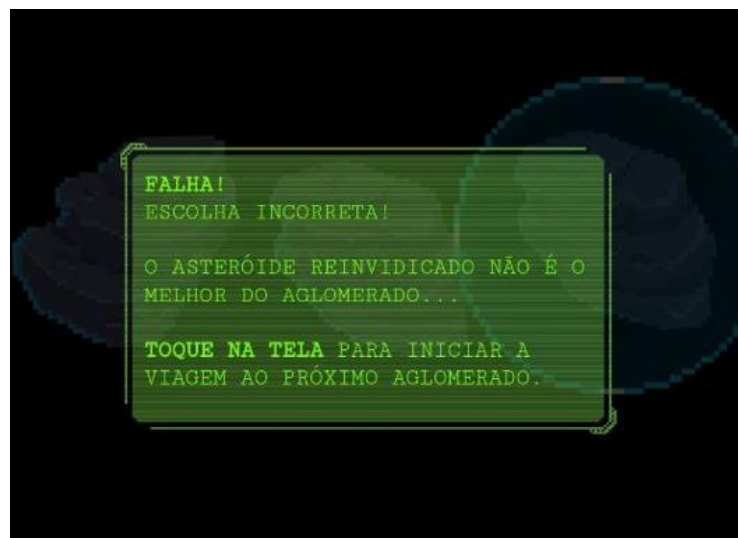
As imagens a seguir apresentam as mensagens que aparecem na tela em caso de sucesso (escolher o asteroide de maior valor numérico) ou falha (não fazer a escolha correta). Estas mensagens de feedback imediato foram acrescentadas após conversas com a Equipe Educacional.

Figura 31 - Tela de seleção correta no Fractonium.



Fonte: Autor.

Figura 32 - Tela de seleção errada no Fractonium.



Fonte: Autor.

Após a quarta escolha, o jogo muda de tela, para a fase do mini-game, como apresentado a seguir.

Figura 33 - Mini-game similar ao Lunar Lander.



Fonte: Autor.

A tela do mini-game apresenta a sonda espacial no centro da tela, a quantidade de minério disponível no asteroide na parte superior, os locais de mineração destacados em verde e os controles similares à fase anterior. O jogador utiliza os controles da esquerda para apontar a direção que a sonda deve se mover e com o botão da direita dá um impulso para se deslocar até lá. Este movimento foi pensado para simular o pouco espacial de uma sonda lunar, com gravidade reduzida e controle fazendo uso da inércia.

Figura 34 - Radar de mineração.



Fonte: Autor.

Quando nenhum local de mineração está à mostra na tela, é possível saber para onde a sonda deve se deslocar por conta do indicador verde que aparece na tela do jogador. Acertar mais asteroides faz com que mais locais de mineração estejam disponíveis na tela, e completando quatro minerações o jogo transporta novamente o jogador à tela de seleção de asteroides a partir de seus valores numéricos, repetindo sempre o ciclo de quatro asteroires e quatro minerações.

Figura 35 - Mini-game similar ao Lunar Lander.



Fonte: Autor.

Dados os requisitos pretendidos no jogo, este protótipo é o que mais se assemelha ao jogo esperado, dada mudança na estética já realizada no protótipo anterior. O jogo Fractonium é o que mais apresentou potencial lúdico e didático para o ensino de comparações de frações em representações distintas, construído de acordo com os moldes da Engenharia Didático-Informática articulados com o MDA.

Tabela 11 - Requisitos do protótipo Fractonium.

Princípios Norteadores	
O jogador é apresentado aos atributos a serem comparados e faz a comparação por meio de cálculo mental.	Sim
Escolher o atributo de maior valor numérico beneficia o jogador.	Sim
Perder uma carta tem pouco impacto na definição do vencedor do jogo, mas perder várias é mais impactante.	Sim
O tempo não é um fator prejudicial à jogabilidade.	Sim
Estética da MDA similar.	Sim

Fonte: Autor.

7.4 ANÁLISE A POSTERIORI E VALIDAÇÃO

Assim como o desenvolvido na dissertação de Santos (2016), que fez uso da EDI para um estudo de caso na concepção de um software de micromundos voltado ao ensino de função, conferir se o produto desenvolvido corresponde às necessidades apontadas nas pesquisas teóricas serve como forma de validação da construção do software por meio de sua metodologia. Cada dimensão apresenta seus requisitos para a elaboração do software e inserir etapas da MDA na concepção do jogo permite ainda validar se as suas especificações de mecânica, dinâmica e estética estão sendo atendidas também.

É importante ressaltar que no ano de 2020 passamos pela pandemia de Covid-19, impossibilitando uma etapa de testes presenciais com alunos por grande parte do ano letivo. Substituímos esta parte da validação por conversas com a Equipe Educacional, na intenção de ouvir situações escolares nas quais o uso do protótipo desenvolvido se faria interessante para o ensino-aprendizagem de números racionais. Os professores do grupo de pesquisa usaram sua experiência em docência para prever como os alunos receberiam o jogo e sugerir mudanças e fatores adicionais ao jogo de modo que tornasse a experiência de usar o jogo ainda mais rica.

Referente a Dimensão Cognitiva, consideramos na literatura a Teoria dos Registros de Representações Semióticas, de modo a apresentar números racionais em representações distintas para que o conhecimento sobre estes números seja mobilizado. Os requisitos cognitivos levantados foram: apresentar números racionais em representações distintas, articulação entre as representações e conexão entre as representações.

Na Dimensão Didática, o requisito diz respeito a como o conteúdo é ensinado e as consequências desse ensino. Assim, fazendo uso do jogo é desejável que o professor consiga perceber quais conversões de representações estão menos assimiladas no conhecimento de cada estudante e reforçar estas mais individualmente. Neste aspecto, o jogo serve até como ferramenta de avaliação.

Nas conversas da Equipe Educacional o jogo se mostrou eficaz nestes requisitos, e ainda foi sugerido que fosse dado ao professor a liberdade de interferir nas representações a serem apresentadas em sua sala de aula. Por exemplo, o professor poderia usar somente as representações figural e porcentagem numa atividade específica.

Em relação à Dimensão Epistemológica, a curva de aprendizagem estipulada pelo engenheiro-pesquisador tenta cobrir as dificuldades de aprendizagem apresentadas no ensino de comparações entre frações, como a relação entre numeradores iguais ou de denominadores iguais. As pesquisas realizadas durante a elicitación de requisitos apontaram que há dificuldades no conceito, equivalência, simplificação e comparação entre frações. Ao apresentar estes números racionais numa crescente de dificuldade, o jogador vai captando passo-a-passo as regras individuais de comparação entre frações e relacionando com suas outras representações para facilitar.

A Dimensão Informática procura atender aos requisitos de funcionalidade do software de modo a tornar a experiência mais dinâmica e interativa. A formatação do software em forma de jogo e suas escolhas relativas à mecânica, dinâmica e estética previamente estudados no Pokétronfo deram um aporte à pesquisa em relação à recepção dos jogadores ao jogo. Com a análise a posteriori, é possível validar que o jogo foi construído fazendo uso da metodologia da Engenharia Didático-Informática e que a interação com a MDA se fez essencial no desenvolvimento da ludicidade do

software, para que ele não só fosse uma ferramenta de uso do professor, como também do estudante.

Há uma preocupação no sentido de que o jogo desenvolvido possui um caráter significativamente behaviorista. O fato do jogo ser individual limita possibilidades para uso e influência do professor na construção do aprendizado. Os elementos socio-cognitivos (discussão entre jogadores e verificação de vencedor, por exemplo), que existem na versão de papel tanto do Bingo dos Racionais quanto no Pokétronfo são mais difíceis de implementar na versão virtual e o processo de não estar próximo dos estudantes em decorrência da pandemia deixou o ambiente de construção do jogo mais limitado. É possível destacar isto como uma lacuna da articulação da EDI com o MDA e pensar nesta consideração como pistas para reflexões futuras.

Ainda assim, ao estimular uma sensação de exploração espacial no decorrer do jogo, o estudante entra num ambiente imersivo de aprendizagem, no qual o professor pode fazer uso para o conteúdo das frações. A articulação do uso da metodologia MDA com a dimensão Informática da EDI traz a abordagem de que o ensino-aprendizagem é realizado dentro deste ambiente propício.

8. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo a prototipação e validação de um jogo educativo digital, de modo a observar se a Engenharia Didático-Informática possui direcionamentos para desenvolvimento de softwares diferentes de micromundos. Para tal, contou com a colaboração do grupo de pesquisa Atelier Digitas, no Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Tecnológica da UFPE. A contribuição do grupo de pesquisa foi essencial no desenvolvimento do protótipo e na validação dele, dada situação de pandemia na qual nos encontramos.

A metodologia adotada foi a da Engenharia Didático-Informática, fundamentada na articulação dos aspectos de ensino-aprendizagem da matemática ao desenvolvimento de softwares, voltadas ao uso da construção de ferramentas computacionais para o uso na educação. Além da EDI, esta pesquisa foi fundamentada na metodologia de desenvolvimento de jogos Mechanics Dynamics and Aesthetics (MDA) e, após definição do tema do jogo, a Teoria dos Registros de Representações Semióticas.

Os protótipos Dragon Battle, Fraction Invaders e Fractonium foram desenvolvidos pelo designer de jogos Bruno Palermo, a quem atribuiu-se o termo “Game-Designer/Programador”. Além dele, a orientação do professor Dr. Franck Bellemain serviu de alicerce ao desenvolvimento da construção de jogos usando a EDI como resultado da pesquisa. Os protótipos foram todos apresentados a ele e à Equipe Educacional composta por membros do grupo LEMATEC/Atelier Digitas, que colaboraram com suas considerações e sugestões.

Ao iniciar o desenvolvimento do protótipo do jogo, definiu-se como base o Pokérunfo, um jogo de cartas analógico desenvolvido pelo mesmo autor desta pesquisa. Trâmites legais gerariam atrito com os direitos autorais das imagens do jogo e tal tema acabou por sofrer modificações, levando a um jogo de temática de exploração espacial, mas mantendo a essência de comparação de valores e previsão de jogadas.

A partir daí iniciou-se a fase das análises, com a Análise Preliminar e Análise de Requisitos, para determinar um quadro dos aspectos epistemológicos, didáticos,

cognitivos e informáticos relacionados ao conceito, além de buscar associar com a mecânica, dinâmica e estética do jogo original.

Na fase de prototipação foi analisado o quanto dos requisitos estava presente em cada modelo e como acrescentar o que faltava à composição do próximo. Discussões com a Equipe foram essenciais nesta fase, por ajudar a pensar novas abordagens e apresentações para o uso do recurso em sala de aula.

Todos os protótipos foram desenvolvidos na plataforma Construct 3 de desenvolvimento de jogos, para facilitar a compreensão aos usuários da plataforma que não possuem experiência com linguagens de programação.

Após as prototipações, foi discutido em grupo como se daria a validação do jogo, considerando que o uso presencial numa sala de aula não seria possível. A integração do jogo em situações de sala de aula pelos professores do grupo de pesquisa serviu para demonstrar que a proposta se apresentava com características formais e critérios para uso possíveis de aplicação, portanto sua construção sob os termos da EDI era viável.

Acreditamos que é possível ainda refinar a pesquisa, fazendo uso do jogo em sala de aula num momento presencial para observar o uso dele na prática por professores e alunos, assim como testar a elaboração de outros tipos de jogos fazendo uso da metodologia da Engenharia Didático-Informática.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. M. S (ed.). **Ludicidade e o Ensino de Matemática (a)**. Campinas, São Paulo: Papirus Editora, 2006. 112 p.
- BARROS, A. P. R. M.; STIVAM, E. P. O software GeoGebra na concepção de micromundo. **Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo**, v. 1, n. 1, p. 184-194, 2012.
- BARROS, L. D. O. **Análise de um jogo como recurso didático para o ensino da geometria: jogo dos polígonos**. Dissertação (mestrado em Educação Matemática e Tecnológica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- BARROS, L. D. O.; BELLEMAIN, F. G. R. **Análise de um Jogo como Recurso Didático para o Ensino da Geometria: Batalha Geométrica**. Editora Realize, 2009.
- BATLLORI, J. **Jogos para treinar o cérebro**. 1. ed. São Paulo: Madras, 2006. 152 p.
- BELLEMAIN, F. **Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie**. Tese de doutorado. Université Joseph Fourier. Grenoble I, Français, 1992.
- BERTOLDO, J. V.; RUSCHEL, M. A. M. **Jogo, Brinquedo e Brincadeira – Uma Revisão Conceitual**. Labrinjo, 2000.
- BITTAR, M. Possibilidades e dificuldades da incorporação do uso de softwares na aprendizagem da matemática. O estudo de um caso: o software Aplusix. **III SIPEM–Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática**, 2016.
- BORIN, J. **Jogos e resolução de problemas: uma estratégia para as aulas de matemática**. São Paulo: IME-USP, São Paulo, 1996.
- BOYER, C. B. **História da Matemática**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <basenacionalcomumcurricular.mec.gov.br>. Acesso em: 21 dez. 2020.
- BROUSSEAU, G. R. **Petite histoire du concept « adidactique »**. 2016. Disponível em: <<http://guy-brousseau.com/3326/rp-2016-4-petite-histoire-du-concept-adidactique/>>. Acesso em: 12 fev 2020.
- BROUSSEAU, Guy. Le contrat didactique: le milieu. **Recherches en didactique des mathématiques**, v. 9, n. 9.3, p. 309-336, 1990.
- CABRAL, M. A. **A utilização de jogos no ensino de matemática. Trabalho de Conclusão de Curso**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CATTO, G. G. **Registros de representação e o número racional: Uma abordagem nos livros didáticos**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2000.
- DASILVA, A. R. M. **Como os estudantes lidam com diferentes representações? Um estudo com o bingo dos números racionais**. Dissertação (Mestrado em

Educação Matemática e Tecnológica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

DUVAL, R. Registros de Representações Semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em Matemática. MACHADO, S. D. A. (Ed.). **Aprendizagem em matemática: registros de representação semiótica**. Campinas: Papirus, 2004. p.11-33.

EDWARDS, B. **50 Years on the Moon: The Evolution of Lunar Lander Games**. PCMag. 2019. Disponível em: < <https://www.pcmag.com/news/50-years-on-the-moon-the-evolution-of-lunar-lander-games> >. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.

GITIRANA, V., TELES, R. A. M., BELLEMAIN, P. M. B., CASTRO, A.T., ALMEIDA, I.A.C., LIMA, P. F., BELLEMAIN, F. **Jogos com Sucata na Educação Matemática**. 1. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2013. 180 p.

GRANDO, R. C. **O conhecimento matemático e o uso de jogos na sala de aula**. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2000.

GROENWALD, C. L. O.; TIMM, U. T. **Utilizando curiosidades e jogos matemáticos em sala de aula**. 2002. Disponível em: <<http://www.somatematica.com.br>>. Acesso em: 01 Fev. 2021.

HUIZINGA, J. Homo ludens: o jogo como elemento da cultura. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003. p. 256.

HUNICKE, R.; LEBLANC, M.; ZUBEK, R. MDA: A formal approach to game design and game research. **Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI**. 2004. p. 1722.

JUSBRASIL. Código de Propriedade Industrial - Lei 9279/96/Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996. 1996. Disponível em: <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91774/codigo-de-propriedade-industrial-lei-9279-96#art-10>>. Acesso em: 18 dez 2020.

KAMISAMA EXPLORER. **Datas referentes à franquia Dragon Ball no Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://www.kamisama.com.br/datas-referentes-a-franquia-dragon-ball-no-brasil/>>, Acesso em: 12 Jan. 2021.

KISHIMOTO, T. M. O jogo e a educação infantil. **Perspectiva**, v. 12, n. 22, p.105-128, 1994).

LEAL, L. A. B.; TEIXEIRA, C. M. D. A. A ludicidade como princípio formativo. **Interfaces Científicas-Educação**, v. 1, n. 2, p. 41-52, 2013.

LINTON, J. D.; WALSH, S. T. Integrating innovation and learning curve theory: an enabler for moving nanotechnologies and other emerging process technologies into production. **R&D Management**, v. 34, n. 5, p. 517-526, 2004.

LUCCHESI, F.; RIBEIRO B. Conceituação de jogos digitais. **São Paulo**, 2009.

MELO, M.; MONTENEGRO, G.; SANTOS, L.; MORAIS, M.; BELLEMAIN, P. Bingo dos Números Racionais. GITIRANA, V.; TELES, R.; BELLEMAIN, P.; CASTRO, A.; CAMPOS, I.; LIMA, P.; BELLEMAIN, F. (Eds). **Jogos com Sucata na Educação Matemática**. Pernambuco: Editora UFPE, 2018.

MONTEIRO, A. B.; GROENWALD, C. L. O. Dificuldades na aprendizagem de frações: reflexões a partir de uma experiência utilizando testes adaptativos. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 103-135, 2014.

MOREIRA, R. S. **Erros cometidos pelos alunos ao estudar números racionais na sua forma fracionária em uma escola pública de Vitória da Conquista**, Monografia (Licenciatura plena em Matemática), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2014.

NOBRE, R. H.; DESOUSA, J. A.; NOBRE, C. S. P. Uso dos Laboratórios de Informática em Escolas do Ensino Médio e Fundamental no Interior Nordeste. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 23, n. 3, 2015.

PAIVA, C. A.; TORI, R. Jogos Digitais no Ensino: Processos cognitivos, benefícios e desafios. **XVI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital**, p. 1-4, 2017..

PLAY STORE. 2021. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.gov.mec.vlabEnigmasDeYucatn&hl=pt_BR&gl=US>. Acesso em: 10 Abr. 2021.

PROJETO ARARIBÁ PLUS 6. **Matemática**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2014.

RAMOS, C. S. **Princípios da Engenharia de Software Educativo com Base na Engenharia Didática: Uma Prototipação do Bingo dos Racionais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SEVERO, D.F.; VIALI, L. Os Registros de Representação Semiótica e os Números Racionais. **III Mostra de Pesquisa da Pós-Graduação – PUCRS**, 2008.

SIGNIFICADOS. **Ludicidade**. 2019. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/ludicidade/>> Acesso em: 10 abr. 2021.

SIQUEIRA, J. E. D. M. **Articulando os registros de representação semiótica das curvas cônicas através da integração de recursos computacionais**. Tese (Doutorado em Educação Matemática e Tecnológica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA NETO, D. F. **O jogo Pokétrunfo como recurso didático para o ensino das diversas representações dos números racionais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SOMMERVILLE, I (Ed.). **Engenharia de Software**. 8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.

SOUSA, C. A. B. **O JOGO EM JOGO: a contribuição dos games no processo de aprendizagem de estudantes do Ensino Fundamental**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SOUZA, W. G.; GOMES, C. A. S.; MOREIRA, S. P. T. Educação a Distância como possibilidade de democratização do ensino superior: uma discussão à luz do

pensamento de Democracia e Educação de John Dewey. **Anais do 20º CIAED- Congresso Internacional ADEB de Educação a Distância**. Piracicaba/SP, 2014.

SANTOS, R. T. **Processo de Desenvolvimento de Software Educativo: um Estudo da Prototipação de um Software para o Ensino de Função**. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica), Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

TCHOUNIKINE, P. **Computer Science and educational software design: A Resource for Multidisciplinary Work in Technology Enhanced Learning**. Springer Science & Business Media, Estados Unidos, 2011. 200 p.

TROIS, S.; SILVA, R. P.; SILVA, T. L. K.; CECHIN, V. A. Um novo contexto para mobile games comerciais: adaptação para fins de ensino. **Revista da Educação Superior do Senac-RS**, p. 149, 2012.

WIRTANEN, J. **Super Mario Bros. Levels Were Originally Sketched Out on Graph Paper**. RetroValve. 2015. Disponível em: <<http://retrovalve.com/super-mario-bros-levels-were-originally-sketched-out-on-graph-paper/>>. Acesso em: 12 Mai. 2020.

ANEXO A - LISTA DE NÚMEROS RACIONAIS POR FASE

Instruções

Cada setor tem um número de aglomerados a serem visitados que deve ser preenchido em “Total de Aglomerados”. Esses aglomerados serão carregados aleatoriamente da coleção daquele setor. A coleção é uma lista de 10 aglomerados cada um com 2 ou 3 asteroides. Cada asteroide tem um numerador, denominador e tipo.

Os tipos possíveis são:

Graphic: Mostra o número como gráfico de torta;

Fraction: Mostra o número no formato de fração $\frac{x}{y}$;

Decimal: Mostra o número como um decimal com duas casas;

Percentual: Mostra o número como uma porcentagem.

Exemplo

Setor 1

Total de Aglomerados: 3

Aglomerado 1

- Fraction, 1, 3
- Fraction, 1, 2

Aglomerado 2

- Fraction, 2, 5
- Graphic, 2, 6

[...]

Aglomerado 10

- Graphic, 2, 4
- Graphic, 2, 3

Setor 1

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic, 2, 4
- Graphic, 1, 4

Aglomerado 2

- Graphic, 2, 3
- Graphic, 1, 3

Aglomerado 3

- Graphic, 3, 4
- Graphic 1, 4
- Graphic 2, 4

Aglomerado 4

- Graphic 2, 5
- Graphic 3, 5

Aglomerado 5

- Graphic 4, 5
- Graphic 1, 5
- Graphic 5, 5

Aglomerado 6

- Graphic 3, 8
- Graphic 4, 8
- Graphic 6, 8

Aglomerado 7

- Graphic 2, 4
- Graphic 3, 4

Aglomerado 8

- Graphic 1, 3
- Graphic 2, 3
- Graphic 3, 3

Aglomerado 9

- Graphic 5, 8
- Graphic 3, 8

Aglomerado 10

- Graphic 1, 2
- Graphic 2, 2

Setor 2

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic 1, 2
- Graphic 3, 4

Aglomerado 2

- Graphic 5, 8
- Graphic 3, 4

Aglomerado 3

- Graphic 1, 2
- Graphic 3, 6
- Graphic 4, 7

Aglomerado 4

- Graphic 3, 7
- Graphic 2, 5

Aglomerado 5

- Graphic 3, 4
- Graphic 3, 6
- Graphic 3, 8

Aglomerado 6

- Graphic 4, 7
- Graphic 5, 6
- Graphic 1, 3

Aglomerado 7

- Graphic 1, 3
- Graphic 2, 7
- Graphic 4, 10

Aglomerado 8

- Graphic 6, 12
- Graphic 4, 5

Aglomerado 9

- Graphic 1, 2
- Graphic 4, 8
- Graphic 2, 3

Aglomerado 10

- Graphic 3, 5
- Graphic 1, 2

Setor 3

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic, 1, 4
- Fraction, 2, 4

Aglomerado 2

- Graphic 2, 6
- Fraction 1, 6
- Graphic 1, 6

Aglomerado 3

- Graphic 3, 5
- Fraction 2, 5

Aglomerado 4

- Graphic 1, 6
- Fraction 2, 6

Aglomerado 5

- Fraction 5, 8
- Graphic 3, 8
- Graphic 6, 8

Aglomerado 6

- Fraction 3, 4
- Fraction 1, 4
- Graphic 1, 4

Aglomerado 7

- Fraction 3, 5
- Fraction 2, 5

Aglomerado 8

- Fraction 3, 6
- Fraction 5, 6

Aglomerado 9

- Fraction 4, 6
- Graphic 3, 6

Aglomerado 10

- Fraction 7, 10
- Graphic 6, 10

Setor 4

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic, 1, 4
- Fraction, 2, 4

Aglomerado 2

- Graphic 2, 3
- Fraction 1, 4
- Graphic 1, 4

Aglomerado 3

- Graphic 3, 5
- Fraction 2, 3

Aglomerado 4

- Graphic 1, 4
- Fraction 2, 6

Aglomerado 5

- Fraction 5, 6
- Graphic 3, 4
- Graphic 6, 8

Aglomerado 6

- Fraction 1, 3
- Fraction 1, 4
- Graphic 1, 2

Aglomerado 7

- Fraction 3, 5
- Fraction 2, 3

Aglomerado 8

- Fraction 1, 5
- Fraction 1, 8

Aglomerado 9

- Graphic 5, 6
- Graphic 3, 4
- Fraction 2, 2

Aglomerado 10

- Graphic 2, 5
- Fraction 4, 10
- Fraction 3, 5

Setor 5

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic 2, 5
- Percentual 45%

Aglomerado 2

- Graphic 1, 4
- Percentual 50%

Aglomerado 3

- Graphic 1, 2
- Percentual 60%

Aglomerado 4

- Graphic 5, 6
- Percentual 70%

Aglomerado 5

- Graphic 6, 10
- Graphic 2, 3
- Percentual 50%

Aglomerado 6

- Graphic 4, 5
- Percentual 50%
- Percentual 70%

Aglomerado 7

- Graphic 6, 8
- Percentual 50%
- Percentual 80%

Aglomerado 8

- Graphic 3, 5
- Graphic 6, 10
- Percentual 75%

Aglomerado 9

- Graphic 1, 12

- Percentual 10%

Aglomerado 10

- Graphic 1, 5
- Percentual 25%

Setor 6

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Graphic 2, 5
- Percentual 70%
- Fraction 3, 4

Aglomerado 2

- Graphic 1, 6
- Percentual 18%
- Fraction 1, 8

Aglomerado 3

- Graphic 5, 7
- Percentual 54%
- Fraction 4, 7

Aglomerado 4

- Graphic 3, 6
- Percentual 60%
- Fraction 1, 2

Aglomerado 5

- Graphic 3, 4
- Percentual 68%
- Fraction 3, 5

Aglomerado 6

- Graphic 1, 2
- Percentual 56%

- Fraction 2, 3

Aglomerado 7

- Graphic 4, 5
- Percentual 80%
- Fraction 7, 8

Aglomerado 8

- Graphic 6, 9
- Percentual 72%
- Fraction 9, 10

Aglomerado 9

- Graphic 6, 8
- Percentual 49%
- Fraction 5, 6

Aglomerado 10

- Graphic 1, 3
- Percentual 22%
- Fraction 1, 5

Setor 7

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Fraction 1, 2
- Percentual 30%

Aglomerado 2

- Fraction 5, 6
- Percentual 75%

Aglomerado 3

- Fraction 8/12
- Percentual 80%

Aglomerado 4

- Fraction 3, 5
- Percentual 62%

Aglomerado 5

- Fraction 2, 7
- Percentual 35%

Aglomerado 6

- Fraction 5, 8
- Percentual 62%
- Fraction 5, 10

Aglomerado 7

- Fraction 1, 3
- Percentual 30%
- Fraction 3, 10

Aglomerado 8

- Fraction 6/9
- Percentual 66%
- Percentual 33%

Aglomerado 9

- Fraction 2, 10
- Percentual 18%
- Percentual 2%

Aglomerado 10

- Fraction 1, 4
- Percentual 12%

Setor 8

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Percentual 12%
- Decimal 0,15

Aglomerado 2

- Percentual 75%
- Decimal 0,82

Aglomerado 3

- Percentual 62%
- Decimal 0,6

Aglomerado 4

- Percentual 46%
- Decimal 0,458

Aglomerado 5

- Percentual 50%
- Percentual 5%
- Decimal 0,05

Aglomerado 6

- Percentual 62%
- Percentual 75%
- Decimal 0,8

Aglomerado 7

- Percentual 99%
- Percentual 80%
- Decimal 0,9

Aglomerado 8

- Percentual 0,6%
- Decimal 0,6
- Decimal 0,06

Aglomerado 9

- Percentual 10%
- Decimal 0,12
- Decimal 0,25

Aglomerado 10

- Percentual 70%

- Decimal 0,724
- Decimal 0,734

Setor 9

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Percentual 16%
- Decimal 0,2
- Fraction 1, 6

Aglomerado 2

- Percentual 35%
- Decimal 0,305
- Fraction 2, 7

Aglomerado 3

- Percentual 50%
- Decimal 0,5
- Fraction 2, 3

Aglomerado 4

- Percentual 66%
- Decimal 0,6
- Fraction 2, 3

Aglomerado 5

- Percentual 48%
- Decimal 0,75
- Fraction 3, 5

Aglomerado 6

- Percentual 72%
- Decimal 0,56
- Fraction 5, 6

Aglomerado 7

- Percentual 82%
- Decimal 0,8
- Fraction 7, 8

Aglomerado 8

- Percentual 70%
- Decimal 0,6
- Fraction 3, 5

Aglomerado 9

- Percentual 76%
- Decimal 0,748
- Fraction 10, 12

Aglomerado 10

- Percentual 41%
- Decimal 0,420
- Fraction 4, 7

Setor 10

Total de Aglomerados: 4

Aglomerado 1

- Percentual 25%
- Decimal 0,3
- Fraction 1, 5

Aglomerado 2

- Percentual 6%
- Decimal 0,3
- Graphic 1, 6

Aglomerado 3

- Percentual 16%
- Graphic 1, 6
- Fraction 2, 6

Aglomerado 4

- Graphic 1, 2
- Decimal 0,54
- Fraction 6, 10

Aglomerado 5

- Percentual 21%
- Decimal 2,7
- Fraction 2, 7

Aglomerado 6

- Percentual 8%
- Decimal 0,2
- Graphic 1, 10

Aglomerado 7

- Percentual 63%
- Graphic 4, 5
- Fraction 3, 6

Aglomerado 8

- Graphic 83%
- Decimal 0,38
- Fraction 4, 5

Aglomerado 9

- Percentual 54%
- Decimal 0,6
- Fraction 2, 3

Aglomerado 10

- Decimal 0,81
- Fraction 8, 9
- Percentual 84%