



A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA E A PRODUÇÃO DE JOGOS MATEMÁTICOS DE SIMULAÇÃO PARA SITUAÇÕES DIDÁTICAS

*L'Ingénierie Didactique-Informatique et la production de jeux mathématiques de
simulation pour des situations didactiques*

Tarcisio Rocha dos Santos

Doutor em Educação Matemática e Tecnológica
Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Pernambuco – Pernambuco – Brasil
tarcisio.rsantos@ufpe.br
<https://orcid.org/0000-0002-2005-6437>

Franck Gilbert René Bellemain

Doutor em Didática da Matemática
Universidade Federal de Pernambuco – Pernambuco – Brasil
franck.bellemain@ufpe.br
<https://orcid.org/0000-0001-5358-2057>

Péricles de Lima Sobreira

Doutor em Ciência da Computação
Université du Québec en Outaouais – Québec - Canadá
pericles.delimasobreira@uqo.ca
<https://orcid.org/0000-0002-4869-3155>

Resumo

O presente artigo apresenta parte dos resultados de uma pesquisa de doutorado que teve como objetivo a proposição de um modelo de processo de *software* da Engenharia Didático-Informática destinado especificamente aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas. A investigação citada trouxe como motivação a ampliação da discussão trazida pela Engenharia Didático-Informática (EDI) acerca da problemática existente em torno da qualidade de *softwares* educativos e seus processos de produção. No nosso caso, buscamos dar seguimento aos estudos da EDI a partir da utilização da versão mais recente dessa metodologia de produção de *software* educativo na concepção de um jogo matemático de simulação destinado ao uso em situações didáticas: o Mankala Colhe Três Digital. Com isso, pudemos realizar uma análise do uso dessa

metodologia para uma tipologia de *software* educativo diferente das que até então tinham sido utilizadas (ambientes de simulação/micromundos) e, como resultado dessa análise, propor um modelo de processo de *software* da EDI direcionado aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas.

Palavras-Chave: Engenharia Didático-Informática; desenvolvimento de *softwares* educativos; jogo matemático de simulação; Mankala Colhe Três; Situações Didáticas.

Résumé

Cet article présente une partie des résultats d'une recherche doctorale visant à proposer un modèle de processus logiciel de l'Ingénierie Didactique-Informatique conçu spécifiquement pour les jeux mathématiques de simulation destinés aux situations didactiques. La recherche susmentionnée a motivé l'élargissement de la discussion apportée par l'Ingénierie Didactique-Informatique concernant les problèmes existants autour de la qualité des logiciels éducatifs et de leurs processus de production. Dans notre cas, nous cherchons à poursuivre les études de l'Ingénierie Didactique-Informatique en utilisant la version la plus récente de cette méthodologie de production de logiciels éducatifs dans la conception d'un jeu mathématique de simulation destiné à être utilisé dans des situations didactiques : le Mankala Colhe Três Digital. Grâce à cela, nous avons pu réaliser une analyse de l'utilisation de cette méthodologie pour un type de logiciel éducatif différent de ceux qui étaient utilisés jusqu'alors (environnements de simulation/micromondes) et, à la suite de cette analyse, proposer un modèle de processus de logiciel pour l'Ingénierie Didactique-Informatique spécifique pour des jeux mathématique de simulation pour des situations didactiques.

Mots-clés: Ingénierie Didactique-Informatique; développement de logiciels éducatifs; jeu mathématique de simulation; Mankala Colhe Três; situations didactiques.

INTRODUÇÃO

Com o intuito de contribuir com o debate acerca da problemática da qualidade de *softwares* educativos e de seus processos de produção, o presente artigo apresenta parte dos resultados de uma pesquisa mais ampla de doutorado, que teve como objetivo geral a proposição de um modelo de processo de *software* da Engenharia Didático-Informática (EDI) destinado à produção de jogos matemáticos de simulação a serem utilizados como instrumentos centrais na vivência de situações didáticas.

A Engenharia Didático-Informática é uma metodologia de produção de *softwares* educativos desenvolvida a partir das contribuições do campo de estudos e investigações da Educação Matemática e sua articulação com os indicativos e orientações da Engenharia de *Software* (TIBURCIO *et al.*, 2021). Essa metodologia representa um dos principais produtos do que vem sendo estudado no Grupo de Pesquisa “Atelier Digitas – CAC/UFPE/CNPq”, que, por sua vez, traz contribuições oriundas de investigações

anteriores do grupo de pesquisa “Laboratório de Ensino da Matemática e Tecnologia (LEMATEC)”, atualmente desativado.

Dentre as principais pesquisas envolvendo o desenvolvimento da EDI, destacamos as pesquisas de Ramos (2014), Tiburcio (2016) e Tiburcio (2020), que buscaram sistematizar a articulação entre os princípios metodológicos da Engenharia de *Softwares* Educativos e a Engenharia Didática (ARTIGUE, 1996). A versão atual da EDI, aprimorada por Tiburcio (2020), possui um modelo de processo de *software* composto por quatro fases (analítica, hipotética, experimental e operacional) e quatro ciclos formados pelas integrações de fases (analítico-hipotético, hipotético-experimental, experimental-operacional e operacional-analítico).

A pesquisa de Tiburcio (2020) trouxe alguns encaminhamentos para futuras investigações, dentre as quais destacamos dois deles: (1) pôr em prática a EDI em sua versão recém aprimorada pelo pesquisador, para verificar as contribuições e limitações dessa metodologia no desenvolvimento de produtos de *softwares* educativos; (2) utilizar a EDI na criação de outros tipos de *softwares*, diferentes dos ambientes de simulação/micromundos, ao considerar o fato de que as pesquisas anteriores que utilizaram a EDI investigaram apenas *softwares* dessa tipologia.

Os dois encaminhamentos futuros de Tiburcio (2020), citados no parágrafo anterior, foram considerados como motivadores para a pesquisa apresentada neste artigo. De fato, ao propor a concepção de uma versão digital do jogo matemático Mankala Colhe Três, baseada nos fundamentos metodológicos da Engenharia Didático-Informática, investigamos as particularidades desse processo de produção com o fim de elaborar um modelo de processo de *software* da EDI específico aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas.

O jogo Mankala Colhe Três, criado na UFPE entre os anos de 2010 e 2011, por meio do projeto “Formação docente: interdisciplinaridade e ação docente – Projeto Rede” (GITIRANA *et al.*, 2013), foi bastante estudado pelos seus criadores que, por meio de diversas utilizações em formações de professores no âmbito do projeto, elencaram várias finalidades educacionais, apresentadas a seguir: desenvolver estratégias de quantificar mentalmente; resolver problemas de situações mistas (aditivas e multiplicativas); dividir por cálculo mental; mapear as possibilidades; reconhecer divisores de um determinado número; identificar múltiplos de um número; reconhecer números primos.

Esse jogo também foi objeto de pesquisa de Santos (2014), que, fundamentado da Teoria das Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1997), investigou a fundo seu potencial didático. Como resultados de sua pesquisa, Santos (2014) enfatizou o potencial do jogo na mobilização de conhecimentos matemáticos de distintas naturezas além de destacar resultados positivos envolvendo análises das interações dos sujeitos e do equilíbrio entre a dimensão lúdica e a intencionalidade didática das situações de jogo. Como encaminhamentos futuros, o pesquisador elencou aspectos que visavam a ampliação do potencial educativo do Mankala Colhe Três por meio de considerações sobre possibilidades de modificação de características do jogo e de sugestões metodológicas de seu uso em situações didáticas.

A partir de uma análise dos encaminhamentos para pesquisas futuras de Santos (2014), percebemos que a proposição de uma versão digital do Mankala Colhe Três satisfaria tais indicações de ampliação do potencial educativo do jogo. Com isso, nossa escolha de conceber o Mankala Colhe Três Digital, fundamentado na EDI, representaria simultaneamente uma continuidade às pesquisas de Santos (2014) e de Tiburcio (2020), ao buscar verificar as contribuições e limitações do uso da EDI recém aprimorada, em especial na concepção de um *software* de tipologia diferente aos ambientes de simulação/micromundos, e que considera a ampliação do potencial educativo do jogo Mankala Colhe Três, idealizado sob uma perspectiva informática.

Ao acreditarmos que a concepção de uma versão digital do Mankala Colhe Três, baseada nos princípios metodológicos da Engenharia Didático-Informática, forneceria elementos suficientes para a proposição de um modelo de processo de *software* da EDI destinado à produção de jogos matemáticos de simulação para o uso em situações didáticas, a pesquisa apresentada no presente texto foi conduzida metodologicamente pela realização das etapas do modelo de processo de *software* da EDI apresentado por Tiburcio (2020). Simultaneamente à realização das etapas, cada uma destas foi submetida a uma análise de seu uso e das particularidades provenientes dos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas.

Neste texto, apresentaremos inicialmente uma fundamentação acerca da Engenharia Didática e da Engenharia de *Software*, de modo a fornecer uma base para a compreensão das origens da Engenharia Didático-Informática. Em seguida, trataremos

mais detalhes sobre o desenvolvimento da EDI e das características dessa metodologia de produção de *software* educativo em sua versão atual, aprimorada por Tiburcio (2020).

Dando seguimento à abordagem mais teórica de nossa pesquisa, examinaremos a realização das etapas da EDI na concepção do Mankala Colhe Três Digital ao passo que discutiremos sobre as particularidades desse processo. Por fim, como principal resultado de nossa pesquisa, apresentaremos o modelo de processo de *software* da EDI destinado aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas.

AS ENGENHARIAS DE *SOFTWARE* E DIDÁTICA

A Engenharia de *Software* é uma disciplina da engenharia que tem como preocupação todos os aspectos de produção de *software*, considerando desde os estágios iniciais, como a especificação do sistema, até sua manutenção, em que o sistema já está em uso (SOMMERVILLE, 2011).

Uma importante definição da Engenharia de *Software*, que utilizaremos bastante neste texto, é a de *processo de software*, que, segundo Sommerville, “é uma sequência de atividades que leva à produção de um produto de *software*” (SOMMERVILLE, 2011, p. 5). O autor apresenta quatro atividades fundamentais presentes em todos os processos de *software*:

1. Especificação de *software*, em que clientes e engenheiros definem o *software* a ser produzido e as restrições de sua operação;
2. Desenvolvimento de *software*, em que o *software* é projetado e programado;
3. Validação de *software*, em que o *software* é verificado para garantir que é o que o cliente quer;
4. Evolução de *software*, em que o *software* é modificado para refletir a mudança de requisitos do cliente e do mercado (SOMMERVILLE, 2011, p. 5-6).

Outra maneira de conceituar a Engenharia de *Software* é trazida por Magela, quando afirma que ela pode ser compreendida como um

Conjunto de técnicas, métodos, ferramentas e processos utilizados na especificação, construção, implementação e manutenção de um *software* que visa a garantir a gerência, o controle e a qualidade dos artefatos gerados através de recursos humanos (MAGELA, 2006, p. 24).

É importante destacar, na citação acima, que o autor enfatiza a necessidade de gerência, controle e qualidade dos artefatos envolvidos. Esses aspectos serão

considerados neste trabalho e se relacionam diretamente com a problemática que originou a Engenharia Didático-Informática.

Por volta das décadas de 1970 e 1980 estudiosos da França iniciaram as primeiras investigações a respeito da Engenharia Didática, por meio da busca por uma metodologia de auxílio à elaboração de sequências didáticas voltadas ao ensino de matemática. Ao sistematizar os principais resultados desses estudos, Michèle Artigue produziu um artigo, em 1990, que trazia o enfoque de metodologia de pesquisa à Engenharia Didática, apresentando suas características, singularidades e fases (BITTAR, 2017).

Sobre algumas características da Engenharia Didática como metodologia de pesquisa, Almouloud e Coutinho afirmam que

A Engenharia Didática, vista como metodologia de pesquisa, caracteriza-se, em primeiro lugar, por um esquema experimental baseado em "realizações didáticas" em sala de aula, isto é, na concepção, realização, observação e análise de sessões de ensino. Caracteriza-se também como pesquisa experimental pelo registro em que se situa e modo de validação que lhe são associados: a comparação entre análise *a priori* e análise *a posteriori*. Tal tipo de validação é uma das singularidades dessa metodologia, por ser feita internamente, sem a necessidade de aplicação de um pré-teste ou de um pós-teste (ALMOULOU E COUTINHO, 2008, p. 66).

A Engenharia Didática é constituída por quatro fases: (i) análises prévias; (ii) concepção e análise *a priori*; (iii) experimentação; (iv) análise *a posteriori* e validação (ARTIGUE, 1996). Uma importante característica da Engenharia Didática, apresentada na citação anterior, é a forma como é dada a sua validação, estritamente interna, por meio do confronto entre a análise *a priori* e os resultados analisados da experimentação, na análise *a posteriori*.

A fase de análises prévias da Engenharia Didática é organizada em três dimensões: epistemológica, cognitiva e didática. A dimensão epistemológica se associa às características do saber em jogo, a dimensão cognitiva se associa às características cognitivas do público ao qual se dirige o ensino e a dimensão didática se associa às características do funcionamento do sistema de ensino (ARTIGUE, 1996).

A concepção e análise *a priori* é uma fase da Engenharia Didática que se caracteriza pela atuação do pesquisador sobre um determinado número de variáveis de comando, que ele propõe como pertinentes para o problema estudado. Essas variáveis podem ser diferenciadas como as variáveis *macro-didáticas* (ou *globais*), que se refere à organização global da engenharia, e as variáveis *micro-didáticas* (ou *locais*), que se refere

à organização local da engenharia, ou seja, “à organização de uma sessão ou de uma fase, podendo umas e outras ser, por sua vez, variáveis de ordem geral ou variáveis dependentes do conteúdo didático cujo ensino é visado” (ARTIGUE, 1996, p. 202-203).

É na fase de experimentação que o dispositivo preparado é posto em prática. A análise da realização dessa fase subsidia a fase seguinte, de análise *a posteriori*, por meio do conjunto de dados obtidos na experimentação, como observações de sessões de ensino, produções dos alunos em ambientes escolares ou fora deles, além da possibilidade de uso de instrumentos complementares, como questionários e testes, advindos de metodologias externas (ARTIGUE, 1996). Como já mencionamos, é no confronto entre as análises *a priori* e *a posteriori* que a validação da investigação se dá, de forma estritamente interna.

A ENGENHARIA DIDÁTICO-INFORMÁTICA

Conforme abordamos anteriormente, a proposta teórico-metodológica da Engenharia Didático-Informática emerge a partir de questões em torno da qualidade de *softwares* educativos para o ensino e a aprendizagem da Matemática e dos métodos do desenvolvimento desses *softwares*, considerando tanto aspectos teóricos quanto práticos sobre o desenvolvimento de recursos (RAMOS, 2014).

Por meio de uma pesquisa de mestrado, que teve como objetivo integrar os princípios teórico-metodológicos da Engenharia Didática à Engenharia de *Softwares* Educativos no contexto da concepção e do desenvolvimento de uma versão digital do jogo matemático Bingo dos Racionais, Ramos (2014) iniciou a busca pela articulação entre tais engenharias. Essa busca foi motivada principalmente pelo fato de o jogo Bingo dos Racionais ter sido criado considerando princípios teórico-metodológicos da Engenharia Didática, em que foi realizada uma análise *a priori* detalhada das situações de jogo (MELO *et al.*, 2013). Tal análise foi retomada por Ramos (2014) para investigar os aportes da Engenharia Didática à Engenharia de *Softwares* Educativos no caso da concepção de situações didáticas no contexto computacional.

Uma importante característica da Engenharia Didático-Informática, trazida por Ramos (2014), é o olhar transdisciplinar atribuído à Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991), que resulta na Transposição Didático-Informática. Similarmente à Transposição Didática, que se debruça nos fenômenos de transformação do saber de referência em saber a ensinar, a Transposição Didático-Informática insere a

dimensão informática nesse processo de transformação, ocasionado pela presença do computador ao longo de todo o processo de produção de *softwares* educativos (BELLEMAIN, 2000).

Sobre esse processo, Balacheff afirma que

O que normalmente é chamado de informatização não é uma simples transliteração; ambientes de aprendizagem informatizados são o resultado de uma construção que é o local de novas transformações de objetos de ensino. Chamamos, portanto, esse processo de *transposição informática* (BALACHEFF, 1994, p. 1, tradução nossa).

Nomeada na época por *Engenharia Didática Informática*, a Engenharia Didático-Informática (EDI) foi sugerida por Ramos (2014) a partir da proposição de um processo de produção de *software* educativo baseado em uma reformulação do Bingo dos Racionais, que incorporou a dimensão informática na engenharia didática que havia sido realizada na produção do jogo físico, considerando, assim, os aspectos relacionados à Transposição Didático-Informática.

Com o objetivo de criar um processo de desenvolvimento de *software* educativo do tipo micromundo para a aprendizagem de Matemática, que considerasse as potencialidades teóricas e tecnológicas da Engenharia Didática e da Engenharia de *software* em uma perspectiva transdisciplinar, Tiburcio (2016) realizou uma pesquisa de mestrado que deu continuidade ao estudo da problemática da concepção de recursos tecnológicos digitais, tratado por Ramos (2014).

Em sua pesquisa, Tiburcio (2016) enfatizou que a articulação entre a Engenharia de *Software* e a Engenharia Didática precisava ser realizada devido ao fato de que ambas as engenharias apresentam limitações para a produção de *softwares* educativos, caso sejam consideradas separadamente. Além disso, mesmo reconhecendo as grandes contribuições de Ramos (2014) em sua primeira elaboração da Engenharia Didático-Informática, Tiburcio percebeu que havia a necessidade de explicitar melhor suas fases e outras características, que dificultavam a utilização da EDI na criação de *softwares* educativos, como podemos observar na citação que segue:

A intenção de relacionar a ED com a ESE não apresentou os elementos comuns e também os complementares em ambas as engenharias, além disso, o desenvolvimento do *software* foi claramente pautado na Engenharia Didática, onde não ficou compreensível quais são as fases do esquema proposto, bem como os processos (etapas) de criação do Bingo dos Racionais nos resultados da pesquisa. Isso que nos motivou a dar continuidade ao que fora sugerido por Ramos (2014) (TIBURCIO, 2016, p. 30).

Como resultado de sua pesquisa, Tiburcio (2016) sistematizou a Engenharia Didático-Informática e apresentou uma primeira versão do modelo de processo de *software* da EDI. Dando seguimento a sua pesquisa de mestrado, Tiburcio desenvolveu uma pesquisa de doutorado (TIBURCIO, 2020) que visou o aprimoramento da EDI por meio da análise de seu uso em pesquisas posteriores a seu trabalho de mestrado (SILVA, 2016; SILVA, 2019; SIQUEIRA, 2019), além da análise de um resgate de engenharias de produtos de *softwares* educativos consolidados.

Ao apresentar seus resultados de pesquisa, Tiburcio (2020) elencou as implementações realizadas na versão atual da EDI em cinco blocos: (1) caracterização da Engenharia Didático-Informática como uma metodologia para o desenvolvimento de *software* educativo; (2) atualização dos fundamentos teóricos e metodológicos das engenharias Didática e de *Software*; (3) articulação teórica explícita entre as engenharias Didática e de *Software*; (4) apresentação esclarecedora de cada fase/ciclo do modelo de processo de *software*; (5) flexibilização do modelo de processo considerando um ciclo, removendo etapas rígidas e lineares (TIBURCIO, 2020). Segue uma ilustração do atual modelo de processo de *software* da EDI:

Figura 1 - Modelo de processo de *software* da Engenharia Didático-Informática



Fonte: Tiburcio (2020, p. 168).

O modelo de processo da EDI possui quatro fases (analítica, hipotética, experimental e operacional) e quatro ciclos, constituídos pela integração de fases (analítico-hipotético, hipotético-experimental, experimental-operacional e operacional-analítico). Como pode ser percebido na Figura 1, o modelo de processo da EDI não propõe rigidez entre etapas e procedimentos, considerando a revisitação de fases já desenvolvidas, além de um ciclo contínuo de evolução do *software*.

Na etapa de *especificação*, os problemas existentes que o *software* a ser desenvolvido buscará ajudar a solucionar, relacionados ao ensino e a aprendizagem, são delimitados, de modo a definir quais serão os saberes abordados e o modo como as tecnologias poderão contribuir em suas compreensões. Ainda nessa etapa são definidos os usuários em potencial do *software* e a composição da equipe transdisciplinar de desenvolvimento (TIBURCIO, 2020).

As *análises prévias* são caracterizadas pelo levantamento analítico das temáticas que envolvem os saberes especificados, para que sejam fornecidos encaminhamentos didáticos, epistemológicos, cognitivos e informáticos. Esses encaminhamentos subsidiarão o levantamento dos primeiros requisitos do *software* (TIBURCIO, 2020).

A etapa de *levantamento de requisitos* é direcionada pelas análises prévias e deve ser sistematizada em um documento de requisitos, categorizado por dimensões (epistemológica, cognitiva, didática e informática). Sobre essa etapa, Tiburcio *et al.* (2021) ressaltam que

A obtenção desses requisitos deve ser guiada pelas contribuições percebidas nas análises realizadas com o objetivo de expor o maior número de subsídios sobre os conhecimentos que o *software* a ser produzido abordará. Fazem parte da atividade de levantamento: obter, analisar, especificar e validar os requisitos. Ao final do levantamento obtém-se o documento de requisitos do *software* (TIBURCIO *et al.*, 2021).

Tiburcio (2020) destaca que, devido ao fato de o modelo de processo da EDI ser cíclico, recomenda-se que os requisitos sejam gerenciados ao longo de todo o ciclo de vida do *software*.

Na *concepção e análise a priori* são idealizadas as situações de uso do *software*. Também é nesta etapa em que são decididos os referenciais teóricos e metodológicos pensados para auxiliar as práticas docentes e discentes (TIBURCIO *et al.*, 2021).

A etapa de *prototipação*, segundo Tiburcio (2020), deve ocorrer conjuntamente a idealização das situações de utilização do *software*, de modo que os profissionais de design e arquitetura de *software* possam compreender e executar os requisitos e funcionalidades do produto. Segue uma citação que traz as articulações entre as etapas de *concepção e análise a priori e prototipação* da EDI:

As situações de utilização, bem como o protótipo, devem ser construídas objetivando superar os problemas de ensino e aprendizagem (e de outras naturezas) descritos pela equipe considerando o levantamento teórico nas dimensões da EDI e, principalmente, analisando o documento de requisitos. Esse procedimento serve para fundamentar o *software* na base teórica e metodológica em pesquisas com resultados consolidados que foram analisadas pela equipe (TIBURCIO, 2020, p. 174-175).

Tiburcio *et al.* (2021) afirmam que o método de prototipação mais indicado na EDI é a prototipação em telas, por considerar sua facilidade na apresentação de requisitos e de funcionalidades desejadas, em que são utilizados editores de texto ou imagens que simulem o layout inicial do *software* educativo, incluindo a exibição de seus botões, menus etc.

Na EDI, o *desenvolvimento* se caracteriza pelo design e pela arquitetura do *software* e representa a etapa em que são elaborados os componentes internos e externos do sistema. Tiburcio *et al.* enfatizam que essa etapa deve ocorrer simultaneamente à *experimentação*, como podemos verificar na citação a seguir:

A etapa do desenvolvimento ocorre de forma simultânea à experimentação, ao passo que a utilização do protótipo nas situações idealizadas em fases anteriores trará subsídios para nortear as características que o produto deve conter. Desse modo, o protótipo desenvolvido deve ser posto à prova pela equipe e possíveis usuários, e as experiências de utilização devem ser registradas com o objetivo de obter elementos de análise e implementação (TIBURCIO *et al.*, 2021, p. 18).

É na etapa de *experimentação* da EDI que o *software* em desenvolvimento é colocado em situações reais de utilização. Esse uso pode demandar alterações, modificações e diversas novas implementações no produto, que devem ser consideradas e realizadas ao passo que se experimenta. Essa testagem das funcionalidades do *software* pela equipe de desenvolvimento e por usuários em potencial já representam elementos da etapa *análise a posteriori*, que, por sua vez, se relaciona fortemente com a etapa de *verificação e validação*, pois é a partir do confronto entre as hipóteses iniciais e a análise da *experimentação* e das implementações realizadas pela equipe que o *software* que a

verificação e validação dos *softwares* são efetivadas, em termos de atendimento aos objetivos esperados (TIBURCIO *et al.*, 2021).

O ciclo do processo da EDI possui a etapa de *evolução*, que liga a fase operacional à fase analítica novamente, conduzindo a produção do *software* a um recomeço. Essa é uma importante característica da EDI, já que ela considera a possibilidade de novas especificações, requisitos e necessidades advindas do uso e análise do *software* educativo desenvolvido. Na *evolução*, considera-se a premissa do processo de *manutenção* do *software*, através dos retornos advindos dos usuários e equipe de desenvolvedores, que continuam a investigar o *software* e seu uso após seu desenvolvimento.

CONCEPÇÃO DO MANKALA COLHE TRÊS DIGITAL

Conforme abordamos na Introdução deste trabalho, buscamos atender aos objetivos da pesquisa por meio da realização das etapas do modelo de processo da Engenharia Didático-Informática na concepção de uma versão digital do jogo matemático Mankala Colhe Três, tendo em vista que acreditávamos que, deste modo, obteríamos informações suficientes das particularidades do processo de produção de jogos matemáticos de simulação para situações didáticas e, com isso, seríamos capazes de propor um modelo de processo específico para a produção desse tipo de *software* educativo.

Apresentaremos, nesta seção, como cada etapa da EDI foi realizada para a concepção do Mankala Colhe Três Digital, focando nas particularidades percebidas no uso dessa metodologia. Descreveremos a seguir as etapas de *especificação*, *análises prévias*, *levantamento de requisitos*, *concepção e análise a priori* e discutiremos acerca da *prototipação* e do *desenvolvimento*.

Na etapa de *especificação*, destacamos algumas particularidades percebidas em jogos matemáticos de simulação para situações didáticas. Uma delas se refere à definição dos conhecimentos que pretendemos abordar por meio do jogo. De fato, como percebido com o Mankala Colhe Três, esse tipo de recurso possui aspectos educativos que não são necessariamente caracterizados como conhecimentos matemáticos, em que destacamos os aspectos lúdico, cultural e pedagógico. Todos esses aspectos foram sinalizados em pesquisas envolvendo situações de uso do Mankala Colhe Três físico e serviu de base para uma análise que incluiu noções educativas mais amplas.

Outro aspecto que destacamos na análise da realização da etapa de *especificação*, e que ainda se relaciona com o papel educativo do jogo, foi o fato de percebermos a necessidade de refinar o olhar às noções suscetíveis de serem mobilizadas por meio de situações com o jogo, através da distinção entre *noções matemáticas*, *paramatemáticas* e *protomatemáticas*, tratadas por Chevallard (1991) ao discutir a epistemologia do regime didático do saber.

Segundo Chevallard (1991), as *noções matemáticas* são, de fato, os conteúdos de saber. As *noções paramatemáticas* são consideradas como objetos de saber “auxiliares”, vistos como necessários para o ensino e a aprendizagem dos objetos matemáticos e que precisam ser “aprendidos”, ou “conhecidos”, mas não “ensinados”, como as noções de parâmetro, de equação e de demonstração. Já sobre as *noções protomatemáticas*, o teórico as considera como uma camada mais profunda de noções, mobilizadas implicitamente pelo contrato didático, podendo ser entendidas como as capacidades desenvolvidas, como criar e testar hipóteses, analisar dados etc.

Ancorados nos resultados dos principais estudos envolvendo o jogo Mankala Colhe Três como recurso educativo (ANDRADE *et al.*, 2013; SANTOS, 2014), destacamos a *divisibilidade* como *noções matemáticas*, que representa o principal conhecimento que se pretende abordar por meio das situações de uso do jogo. Enfatizamos também que tal conhecimento se relaciona com os conceitos de *múltiplos de um número*, *números primos* e *números compostos*.

Em termos de *noções paramatemáticas*, elencamos as capacidades de: quantificar mentalmente; dividir por cálculo mental; mapear possibilidades mentalmente; reconhecer divisores e múltiplos de um número; e reconhecer números primos e compostos. Como *noções protomatemáticas*, foram identificadas as seguintes capacidades: reconhecimento de padrões; formulações; e testes de estratégias.

Também fez parte da *especificação* do Mankala Colhe Três Digital a análise do seu diferencial se comparado ao ambiente papel-lápis ou à sua versão física, em que nos guiamos pelos direcionamentos trazidos por Santos (2014) ao elencar importantes características de modificação do jogo e de adaptações de seu uso em situações didáticas.

Finalizando as principais sistematizações das particularidades percebidas na realização da etapa de *especificação*, discutimos sobre o público-alvo a quem se destina o jogo e sobre a composição da equipe de desenvolvedores. Primeiramente, vimos que o

jogo Mankala Colhe Três Digital amplia o seu público-alvo, ao considerar seu uso tanto em níveis escolares mais amplos quanto em ambientes sem intencionalidade didática, enfatizando seu aspecto lúdico. Em relação à composição da equipe de desenvolvimento, vimos a necessidade de considerar uma equipe que, mesmo que não contenha muitos profissionais envolvidos, possua profissionais que domine com competência os temas das diversas áreas envolvidas no projeto de *software*, de modo a propiciar uma integração consistente dessas áreas sob uma perspectiva transdisciplinar.

A realização da etapa de *análises prévias* foi baseada nas considerações oriundas da especificação do *software*, que focou em aspectos que envolvem o caráter didático do Mankala Colhe Três Digital e o seu potencial educativo em geral. Para isso, percebemos que era mais conveniente realizar nosso estudo analítico por meio de seções temáticas que integrassem encaminhamentos das dimensões epistemológica, cognitiva, didática, informática, entre outras. As seções temáticas foram intituladas como: os jogos matemáticos na Educação Matemática; o Mankala Colhe Três; a Teoria das Situações Didáticas e a análise do potencial educativo do Mankala Colhe Três; e a Transposição Didático-Informática do Mankala Colhe Três.

Tendo em vista que a etapa de *levantamento de requisitos* considera a obtenção, a análise, a especificação e a validação dos requisitos e é direcionada pelas contribuições advindas das análises prévias, seguimos as recomendações de Tiburcio (2020) e realizamos essa etapa por meio de fases, que leva em consideração: (i) o favorecimento do ensino e da aprendizagem de conhecimentos matemáticos por meio do *software* educativo; (ii) a análise externa do *software* educativo; (iii) a construção de um documento de requisitos categorizado pelas dimensões epistemológica, didática, cognitiva e informática; (iv) e a verificação dos requisitos quanto à pertinência, consistência e integralidade.

Como resultados das duas primeiras fases citadas acima, percebemos que o ensino e a aprendizagem das noções a serem mobilizadas pelo uso do jogo podem ser favorecidos se considerarmos tanto os resultados apresentados pelas principais pesquisas envolvendo o jogo físico Mankala Colhe Três (ANDRADE *et al.*, 2013; SANTOS, 2014) quanto os encaminhamentos para pesquisas futuras da pesquisa de Santos (2014), que fornece importantes elementos para a ampliação do potencial educativo do jogo físico e que, ao nosso ver, podem ser satisfeitos em uma versão digital do jogo, que considere toda

diversidade de novas possibilidades de situações de uso do jogo a partir de um viés informático.

A terceira fase do *levantamento de requisitos* se refere à criação do documento de requisitos, que, segundo Tiburcio (2020), deve ser sistematizado por meio de um quadro categorizado por dimensões. Uma primeira particularidade que percebemos sobre esse documento foi a necessidade de distinção entre *requisitos educativos* e *requisitos computacionais*. Com isso, produzimos dois documentos de requisitos: (1) o Documento de Requisitos conforme sugerido por Tiburcio (2020); e (2) o Modelo de Casos de Uso do Mankala Colhe Três Digital, fundamentado nos princípios propostos pelo modelo de Processo Unificado da *Rational* (RUP), contendo detalhadamente os requisitos funcionais e não funcionais do sistema.

É importante destacar que, ao construir o quadro do Documento de Requisitos, achamos adequado categorizar todos os requisitos educativos advindos das análises prévias em três grupos: o bloco *cognitivo-epistemológico*; o bloco *didático-informático*; e a *dimensão sociocultural*. Essa escolha se deu por razões de conexões percebidas entre dimensões e pela necessidade de criação de uma nova dimensão que considerasse os aspectos referentes às origens do Mankala Colhe Três.

Sobre a quarta fase da etapa de *levantamento de requisitos*, consideramos que as ações referentes à verificação de pertinência, consistência e integralidade dos requisitos devem ser realizadas ao longo de todo o processo de produção do jogo digital, convergindo com a posição de Tiburcio (2020) quando este enfatiza sobre a necessidade da realização do gerenciamento de requisitos ao longo de todo o ciclo de vida do *software*.

A etapa de *concepção e análise a priori* foi realizada por meio da produção do Modelo de Casos de Uso do Mankala Colhe Três Digital, que, como já afirmamos, representa um tipo de documento de requisitos do jogo digital. Percebemos que a elaboração desse documento traz elementos suficientes para a realização da etapa de *concepção e análise a priori* da EDI, em que são apresentados: o seu histórico de alterações; o diagrama de casos de uso do sistema da Linguagem de Modelagem Unificada (UML); os requisitos funcionais; e os requisitos não funcionais.

A etapa de *prototipação* do Mankala Colhe Três Digital foi considerada tanto na compreensão de sistematização das funcionalidades do sistema quanto como uma

construção de uma versão inicial do sistema, suscetível de ser minimamente experimentada por usuários em potencial.

Para a sistematização dos requisitos funcionais do jogo, o Modelo de Casos de Uso forneceu detalhadamente cada funcionalidade do sistema, contendo fluxos (principal e secundários) de eventos, atores envolvidos, entrada e condições, saída e pós-condições, entre outros. Já em relação ao protótipo como *software* minimamente desenvolvido, concluímos que, devido ao fato dele já considerar implementações iniciais do sistema, deveria ser tratado na etapa de *desenvolvimento* do jogo digital.

Ao nos debruçarmos nas considerações da EDI sobre a etapa de *desenvolvimento*, que se caracteriza pelo design e pela arquitetura do *software* educativo, nos deparamos com uma problemática importante em torno da viabilidade do uso dessa metodologia, tendo em vista a necessidade da presença de uma equipe transdisciplinar de desenvolvimento. Com efeito, as pesquisas que se utilizaram da EDI como metodologia para a proposição de *softwares* educativos pertencem a área da Educação Matemática e têm sido desenvolvidas em ambientes científicos que, nem sempre, dispõem de uma diversidade de profissionais, especialmente da Engenharia de *Softwares* e que possuam um perfil técnico que favoreçam um diálogo integrado aos educadores matemáticos.

Diante dessa problemática, vimos a necessidade de fornecer mais elementos da Engenharia de *Software* para a etapa de desenvolvimento da EDI, que buscasse permitir uma aproximação maior entre o conjunto de requisitos educativos levantados pelas investigações teóricas em torno do ensino e da aprendizagem e os elementos de design e arquitetura do *software* a ser implementado. Com isso, estipulamos um novo objetivo de pesquisa: construir uma metodologia para a etapa de desenvolvimento da EDI que forneça um percurso para transformação dos requisitos em código a ser implementado no desenvolvimento de jogos matemáticos de simulação para situações didáticas.

Para a construção de uma metodologia de auxílio à etapa de desenvolvimento, nos utilizamos de elementos do modelo do Processo Unificado da *Rational* (RUP) e da Linguagem de Modelização Unificada (UML). Como resultado, trouxemos detalhadamente as etapas de transformação dos requisitos do jogo digital em diagramas visuais da UML que se aproximem ao máximo do código final a ser implementado no sistema. Mais especificamente, a metodologia propõe que se parta do Modelo de Casos de Uso do jogo, como um artefato de entrada, e se chegue ao diagrama de classes de

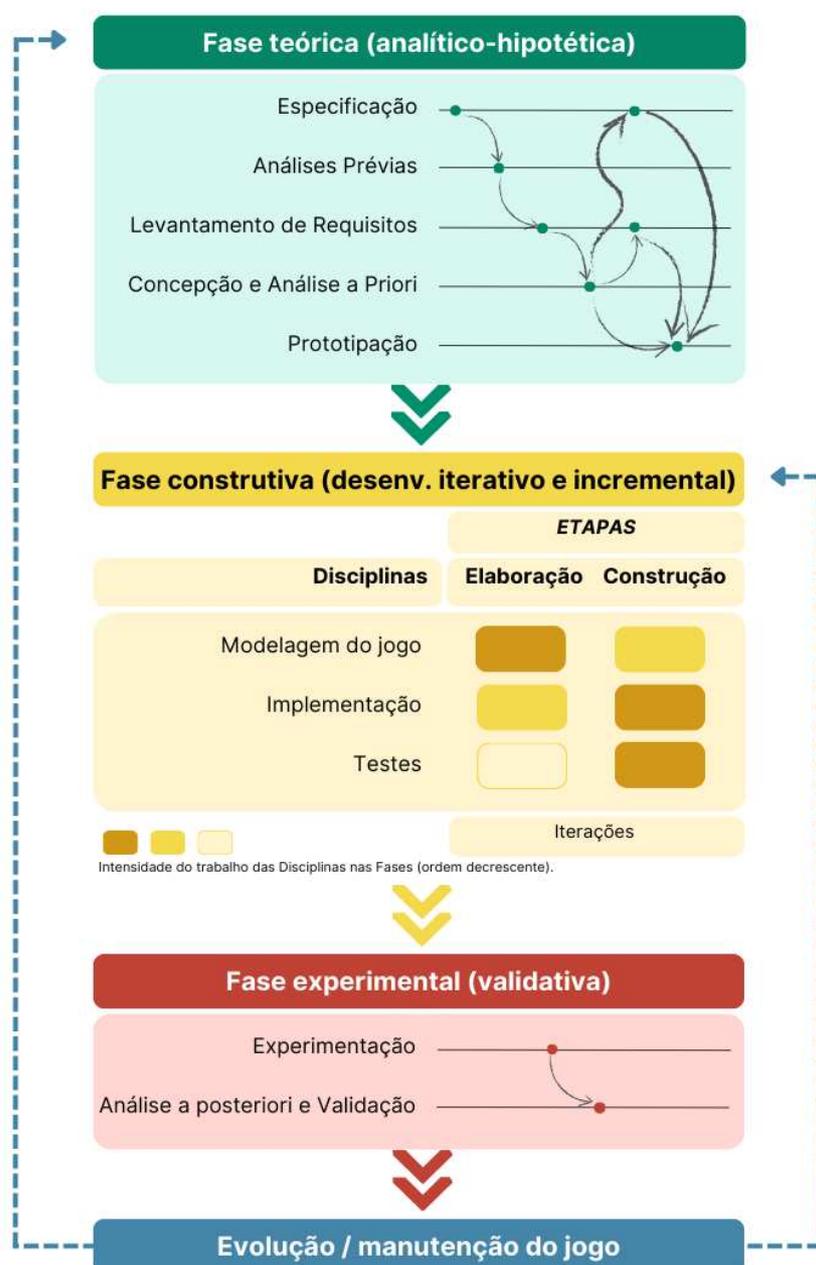
design do sistema, se utilizando de processos contendo diversos outros tipos de diagramas UML (diagrama de caso de uso, diagrama de atividade, diagrama de sequência, diagrama de classes de análise).

Na pesquisa mais ampla, na qual o presente artigo faz referência, a metodologia de auxílio à etapa de desenvolvimento citada acima foi exemplificada pela modelagem de uma funcionalidade do Mankala Colhe Três Digital, que representou a realização de uma iteração inicial da modelagem completa do sistema. A modelagem completa do Mankala Colhe Três Digital, contendo cada funcionalidade do sistema e todos os relacionamentos entre suas classes de design, representa um dos nossos encaminhamentos para futuras investigações, ao considerar não apenas a concepção do jogo digital, mas seu pleno desenvolvimento.

O MODELO DE PROCESSO DA EDI DESTINADO AOS JOGOS MATEMÁTICOS DE SIMULAÇÃO PARA SITUAÇÕES DIDÁTICAS

Ao sistematizar todos os resultados obtidos na análise das particularidades do uso dos princípios metodológicos da EDI na concepção do Mankala Colhe Três Digital, além das contribuições advindas da metodologia de auxílio à etapa de desenvolvimento construída, elaboramos um modelo de processo de *software* da Engenharia Didático-Informática destinado à produção de jogos matemáticos de simulação para situações didáticas, a ser apresentado a seguir.

Figura 2 - Modelo de processo da EDI destinado aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas



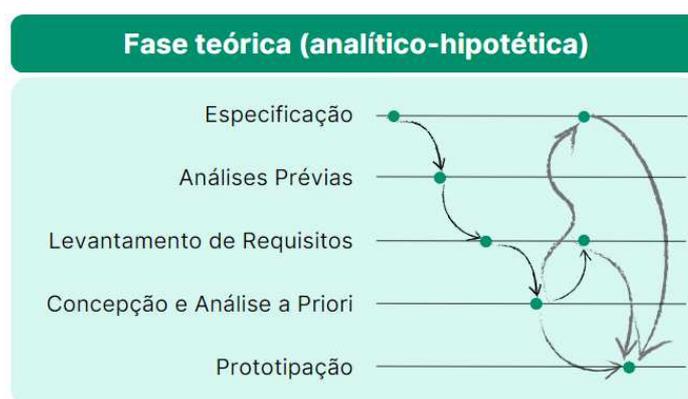
Fonte: elaborada pelo autor.

Como pode ser verificado na Figura 2, o modelo é dividido em três fases (teórica, construtiva e experimental) e uma etapa de transição entre fases (evolução/manutenção do jogo). Todas as fases se relacionam entre si e cada uma delas possui etapas internas específicas e um fluxo de realização dessas etapas.

Explanando um pouco melhor sobre as relações entre fases, a fase teórica conduz à fase construtiva que, por sua vez, traz elementos para a realização da fase experimental. Os resultados da fase experimental fornecem elementos para a evolução e manutenção do *software*, realizados por meio de mudanças de natureza teórica e/ou construtiva.

Podemos perceber que as fases teórica e experimental possuem setas internas indicando o fluxo de realização das etapas de cada fase, que acontecem temporalmente da esquerda para a direita e consideram revisitações às etapas internas às fases. Sobre o fluxo da fase construtiva, por possuir características distintas das outras, detalharemos posteriormente. Uma característica do nosso modelo é que cada uma das fases possui um marco específico, representado por artefatos que subsidiarão a realização da fase posterior.

Figura 3 - Fase teórica (analítico-hipotética)



Fonte: elaborada pelo autor.

A fase teórica do modelo, ilustrada na Figura 3, possui as etapas de *especificação*, *análises prévias*, *levantamento de requisitos*, *concepção e análise a priori* e *prototipação*. Essas etapas são desenvolvidas seguindo um fluxo natural, representado pelas setas, que se inicia pela realização da *especificação* do jogo, segue pelos estudos das *análises prévias*, que, por sua vez, traz subsídios ao *levantamento de requisitos* educativos para permitir a realização da *concepção e análise a priori* e da *prototipação*.

Ainda sobre a compreensão do fluxo da fase teórica, concordamos com a posição de Tiburcio (2020), no contexto da EDI, quando ele afirma que pode haver ajustes na especificação do *software* ou nos requisitos levantados a partir do momento em que as situações de uso e levantamento de hipóteses relativas ao atendimento das questões relacionadas ao ensino e a aprendizagem são idealizadas. Sendo assim, concluímos que

deve haver a possibilidade de retorno às etapas de *especificação* e/ou de *levantamento de requisitos* a partir da *concepção e análise a priori*. Este fato está representado no modelo pelas setas que ligam tais etapas.

Detalharemos a seguir como cada etapa da fase teórica está sendo considerada no nosso modelo, iniciando pela *especificação* e pelas *análises prévias*. Essas duas fases iniciais foram pensadas de modo similar à proposta de Tiburcio (2020), no modelo de processo geral da EDI. Destacamos apenas a nossa consideração sobre a necessidade de flexibilidade na composição da equipe transdisciplinar – ao considerar uma equipe menos ampla em números de profissionais, mas que estes possuam competência para tratarem de questões das diversas áreas envolvidas no projeto – e a importância do olhar para as *noções matemáticas, paramatemáticas e protomatemáticas* durante esse estudo inicial do jogo como recurso educativo.

O *levantamento de requisitos* de nosso modelo compreende a sistematização dos requisitos educativos do jogo digital conforme proposto por Tiburcio (2020), no modelo de processo da EDI, mas enfatizamos que há duas naturezas de requisitos a serem tratadas na produção do *software* educativo: os educativos e os computacionais. Apesar de o foco desta etapa ser o de sistematização dos requisitos educativos em um quadro categorizado por dimensões (documento de requisitos), os requisitos funcionais e não funcionais deverão ser amplamente discutidos e detalhados na etapa seguinte, de *concepção e análise a priori*, caracterizada pela produção do Modelo de Casos de Uso, que aprimora o documento de requisitos do sistema.

Como discutimos anteriormente, no modelo de processo geral da EDI, a *prototipação* pode ser compreendida de duas formas: (i) como uma sistematização dos requisitos educativos em documentos que apresentam visualmente as telas idealizadas do jogo digital; (ii) uma versão inicial do sistema minimamente desenvolvido e suscetível de ser experimentado por usuários em potencial. No nosso modelo consideraremos as duas produções, mas em fases distintas. Chamamos de *prototipação* a sistematização dos requisitos educativos “em telas” e defendemos que a produção de uma versão beta do sistema precisa ser realizada na fase construtiva, tendo em vista que já demanda algum nível de implementação computacional.

Mesmo considerando a riqueza de informações presentes no Modelo de Casos de Uso, nossa escolha em manter a prototipação “em telas” no nosso modelo se deu pelo

fato de defendermos o importante papel do aspecto visual da interface do usuário para jogos matemáticos de simulação destinado a situações didáticas, principalmente em relação à ênfase na dimensão lúdica do jogo.

Os marcos da realização da fase teórica são as produções da prototipação em telas do jogo digital e do Modelo de Casos de Uso do sistema. Esses dois documentos representam os artefatos de entrada da fase construtiva, a ser detalhada nos parágrafos seguintes.

Figura 4 - Fase construtiva (desenvolvimento iterativo e incremental)



Fonte: elaborada pelo autor.

A fase construtiva é composta pelas etapas de *elaboração* e *construção* e por meio das disciplinas *modelagem do jogo*, *implementação* e *testes*. Essa fase representa uma das principais contribuições da nossa pesquisa para a EDI, pois traz elementos mais detalhados sobre o que Tiburcio (2020) chama de etapa de *desenvolvimento* do modelo de processo geral da EDI.

A primeira característica que gostaríamos de destacar nesta fase é que ela propõe um desenvolvimento iterativo e incremental, inspirado nos princípios do modelo de processo do RUP. Deste modo, o desenvolvimento do jogo digital acontece a partir da realização de uma sequência de atividades de modo a transformar os requisitos oriundos da fase teórica, através do Documento de requisitos e do Modelo de casos de uso, em um modelo de projeto contendo as classes de design do sistema. Essa transformação é guiada pela metodologia construída na nossa pesquisa, que se utiliza de elementos da UML.

Esclarecendo um pouco mais o esquema da Figura 4, as etapas de *elaboração* e *construção* acontecem temporalmente nessa ordem por meio da realização de várias

atividades pertencentes às disciplinas de forma iterativa. Ou seja, inicialmente são desenvolvidas atividades focadas na *elaboração* do sistema, que se caracteriza, de modo geral, pela definição da arquitetura básica do sistema, em que o foco maior está na modelagem do jogo e na implementação das primeiras versões do sistema, para a realização dos primeiros testes. Em seguida, dá-se início à etapa de *construção* do jogo propriamente dita, que considera todas as contribuições da etapa anterior para a implementação das classes completas de design do sistema. Nessa etapa, a ênfase maior está nas disciplinas de implementação e testes.

Ainda sobre a etapa de *construção*, gostaríamos de destacar a importância de que, a cada aprimoramento do sistema obtido das iterações, sejam consideradas as contribuições advindas de *testes*, realizados tanto pelos membros da equipe de desenvolvimento quanto por usuários em potencial do jogo matemático digital, valorizando a pluralidade de informações sob uma perspectiva transdisciplinar.

O marco da fase construtiva é a produção de uma versão beta do sistema, a ser experimentada didaticamente na fase seguinte: *experimental*.

A fase experimental (Figura 5) contém as etapas de *experimentação* e de *análise a posteriori e validação*, que são consideradas de maneira similar à proposta de Tiburcio (2020). No entanto, consideramos a *análise a posteriori* e a *validação* como sendo apenas uma etapa, por acreditarmos que há muita dependência entre elas.

Figura 5 - Fase experimental (validativa)



Fonte: elaborada pelo autor.

Além disso, sobre a etapa de *experimentação*, percebemos que seria importante realizar uma distinção entre o que chamamos de *testes* por usuários em potencial do sistema em desenvolvimento, caracterizados na fase construtiva, e o que chamamos de *experimentação* propriamente dita, no sentido de pôr em prática uma versão inicial do jogo em situações reais de utilização didática, de modo a permitir uma avaliação educativa do *software* na *análise a posteriori e validação*.

O marco característico da fase experimental é a documentação do conjunto de elementos advindos da *análise a posteriori e validação* para sistematizar propostas de modificações do jogo e de seu uso. Sobre a etapa de *evolução/manutenção* do jogo, mantivemos a proposta presente no modelo de processo geral da Engenharia Didático-Informática, mas destacamos que, como pode ser percebido nas setas azuis da Figura 2, os elementos de *evolução/manutenção* do jogo podem indicar modificações tanto na fase teórica quanto na fase construtiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta os principais resultados de uma pesquisa mais ampla que foi motivada pela problemática da qualidade da produção de *softwares* educativos, mais especificamente pela busca de contribuir com a Engenharia Didático-Informática, que representa uma metodologia para a produção de *softwares* educativos.

Visando dar continuidade às investigações acerca da Engenharia Didático-Informática, a pesquisa apresentada por este artigo teve como objetivo propor um modelo de processo de *software* da Engenharia Didático-Informática (EDI) destinado à produção de jogos matemáticos de simulação a serem utilizados como instrumentos centrais na vivência de situações didáticas.

Para atender ao objetivo de pesquisa, concebemos uma versão digital do jogo matemático Mankala Colhe Três com o intuito de obter informações sobre particularidades desse processo e, com isso, propor um modelo de processo específico para a produção desse tipo de *software* educativo.

Após a análise das particularidades da utilização dos princípios da EDI na concepção do jogo Mankala Colhe Três Digital, conseguimos atender aos objetivos de pesquisa por meio da proposição de modelo de processo detalhado da EDI destinado aos jogos matemáticos de simulação para situações didáticas, que traz inclusive uma robusta contribuição de elementos da Engenharia de *Software* em sua fase construtiva.

Acreditamos, portanto, que a presente pesquisa trouxe muitas contribuições para a Engenharia Didático-Informática como um todo, seja para futuras investigações sobre a produção efetiva de jogos matemáticos de simulação para situações didáticas, seja pela consideração de elementos do nosso modelo de processo no modelo geral da EDI, principalmente no que se refere aos aportes à etapa de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ALMOULOUD, S. A.; COUTINHO, C. Q. S. Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19/ANPEd. **Revemat: Revista Eletrônica de Educação Matemática**, v. 3, n. 1, 2008.

ANDRADE, J. P. G.; LEAL, Y.; MONTEIRO, A.; ANDRE, R.; MACLYNE, D.; TELES, R.; GITIRANA, V. Mankala Colhe Três. *In*: GITIRANA, V.; TELES, R. A. M.; BELLEMAIN, P. M. B.; CASTRO, A.T.; ALMEIDA, I.A.C.; LIMA, P. F.; BELLEMAIN, F. (Org.). **Jogos com Sucata na Educação Matemática**, 1. ed. Recife: Editora UFPE, 2013. Cap 2, p. 25-38.

ARTIGUE, M. Engenharia Didática. *In*: BRUN, J. **Didáctica das Matemáticas**. 1. ed. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. v. 1. cap. 4, p. 193-217.

BALACHEFF, N. La transposition informatique. Note sur un nouveau problème pour la didactique. *In* : ARTIGUE, M.; GRAS, R.; LABORDE, C.; TAVIGNOT, P. (eds) **Vingtans de didactique des mathématiques en France**. Grenoble : La pensée sauvage éditions, 1994. p. 364-370.

BELLEMAIN, F. A transposição informática na engenharia de *softwares* educativos. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 1., 2015, Serra Negra. **Livro de resumos [...]**. Serra Negra: Sociedade Brasileira de Educação Matemática, 2000.

BITTAR, M. Contribuições da teoria das situações didáticas e da engenharia didática para discutir o ensino de Matemática. *In*: TELES, R. A. M.; BORBA, R. E. S. R, MONTEIRO, C. E. F. (org) **Investigações em Didática da Matemática**. Recife: Editora UFPE, 2017.

BROUSSEAU, G. **La théorie des situations didactiques**. Curso ministrado na atribuição do título de Doutor *Honoris Causa* da Université de Montréal. 1997.

CHEVALLARD, Yves. **La tranposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado**. Tradução: GILMAN, C. Buenos Aires: Editora Aique, 1991.

GITIRANA, V.; TELES, R.; BELLEMAIN, P.; CASTRO, A.; CAMPOS, I.; LIMA, P.; BELLEMAIN, F. (Orgs.). **Jogos com sucata na Educação Matemática**. Recife: Editora UFPE, 2013.

MAGELA, R. **Engenharia de Software Aplicada: Princípios**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books Ltda, 2006.

MELO, M. S. L.; MONTENEGRO, G. M. M.; SANTOS, L. S.; MORAIS, M. D.; BELLEMAIN, P. M. B. Bingo dos Números Racionais. *In*: GITIRANA, V.; TELES, R. A. M.; BELLEMAIN, P. M. B.; CASTRO, A.T.; ALMEIDA, I.A.C.; LIMA, P. F.; BELLEMAIN, F. (Org.). **Jogos com Sucata na Educação Matemática**, 1. ed. Recife: Editora UFPE, 2013. Cap 6, p. 103-147.

RAMOS, C. S. **Princípios da engenharia de *Software* educativo com base na engenharia didática: uma prototipação do Bingo dos Racionais**. 2014. 111 p. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SANTOS, T. R. **Mankala Colhe Três: jogando e explorando conhecimentos matemáticos por meio de situações didáticas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, C. T. J. **A Engenharia Didático-Informática na prototipação de um *software* para abordar o conceito de taxa de variação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVA, A. D. **Prototipação, desenvolvimento e validação de um micromundo com suportes para o ensino de área e perímetro**. 2019. Tese (Doutorado em Educação Matemática e Tecnológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

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

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de *Software***. 9. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

TIBURCIO, R. S. **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, Recife, 2016.

TIBURCIO, R.; BELLEMAIN, F.; RODRIGUES, A. Concepção e evolução da engenharia didático-informática: uma proposta de metodologia para a produção de *software* educativo. **Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana**, v. 12, n. 4, p. 1-24, set. 2021.

TIBURCIO, R. S. **A Engenharia Didático-Informática: uma metodologia para a produção de *software* educativo**. 2020. Tese (Doutorado em Educação Matemática e Tecnológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

Submetido em 04/05/2024.

Aprovado em 10/12/2024.