

Processo de desenvolvimento de simulações virtuais de experimentos históricos para o Ensino de Física

Development process of virtual simulations of historical experiments for the Teaching of Physics

Marcia Costa^{*1}, Murilo Camargo², Yago Pereira², Etiane Ortiz²,
Irinéa Batista², Jacques Brancher²

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química e Física, Alegre, ES, Brasil.

²Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

Recebido em 13 de janeiro de 2021. Revisado em 15 de março de 2021. Aceito em 31 de março de 2021.

Na busca de alternativas para o Ensino de Física, muitos recursos didáticos são propostos e nem sempre se leva em consideração aspectos teórico-metodológicos para a elaboração e utilização destes recursos. Uma simulação virtual pode ser tão tradicional quanto uma lousa de giz quando não é bem planejada ou quando é mal utilizada. Nesse sentido, este artigo se propõe a apresentar uma abordagem de desenvolvimento de simulações virtuais de experimentos históricos voltadas para o Ensino de Física, considerando aspectos de áreas como a Física, Didática das Ciências, História e Filosofia da Ciência, *Design* e Ciência da Computação para obter um recurso didático que reflete competências das áreas envolvidas. Além disso, são sugeridos elementos para que o trabalho colaborativo em equipe seja otimizado e produtivo.

Palavras-chave: Simulação virtual, experimentos históricos, equipe multidisciplinar, metodologia, desenvolvimento de software.

In the search for alternatives to the Teaching of Physics, many didactic resources are proposed and theoretical-methodological aspects are not always taken into account for the elaboration and use of these resources. A computer simulation can be as traditional as a chalkboard when it is not well planned or poorly used. In this sense, this paper proposes to present an approach for the development of computational simulations of historical experiments focused on Physics Teaching, considering aspects of Physics, Science Education, History and Philosophy of Science, *Design* and Computer Science to achieve a didactic resource that reflects the competences of the areas involved and with greater possibilities of reaching an efficient didactical material.

Keywords: Virtual simulation, historical experiments, multidisciplinary team, methodology, development.

1. Introdução

Ao escolher ou projetar um recurso didático com objetivos educacionais, alguns cuidados devem ser tomados, sejam relacionados à maneira como se espera que a aprendizagem ocorra ou à maneira com a qual os alunos irão interagir com o objeto de estudo. Desse modo, esses recursos devem ser devidamente escolhidos e planejados ou escolhidos, pautados em fundamentos científicos educacionais e técnicos para oportunizar aos alunos uma experiência positiva em termos de aprendizagem e interação.

Ao tratar de simulações virtuais, espera-se que as mesmas sejam elaboradas levando em consideração fundamentos educacionais, computacionais e de usabilidade, que sejam resultado de procedimentos que se preocupam com a aprendizagem dos alunos, a fidedignidade do conteúdo científico, a interação dos alunos com a interface gráfica, enfim, que representem um recurso com finalidade de promover situações de aprendizagem

efetivas. Desse modo, o processo de elaboração ou de escolha de simulações virtuais para o ensino deve refletir esses aspectos.

Defende-se, assim, a necessidade de que *softwares* educacionais sejam planejados de acordo com uma teoria (ou teorização bem consolidada) de aprendizagem, não apresentem erros conceituais das áreas envolvidas e considerem aspectos teóricos e metodológicos da área de Ciência da Computação e *Design* para que o software elaborado consiga atender com maior precisão seus objetivos de ensino e de aprendizagem.

Dessa maneira, este artigo apresenta resultados de uma pesquisa que investigou o processo de elaboração de simulações virtuais de experimentos históricos por uma equipe multidisciplinar, com componentes da área de Ensino, Física, História da Ciência, Ciência da Computação e *Design*. Percebeu-se a ausência de estudos que detalhassem o processo de desenvolvimento de simulações de experimentos históricos e julgou-se necessário identificar etapas desse processo de desenvolvimento, bem como do trabalho em equipe, para facilitar futuras pesquisas. Como resultados, são apresentadas as

* Endereço de correspondência: marciarscosta@hotmail.com

etapas do processo metodológico de desenvolvimento que podem ser seguidas em investigações futuras e detalhes que podem otimizar o trabalho em equipe.

2. Fundamentação Teórica

No que se refere às metodologias para elaboração de um *software* educacional, não há um método ou técnica específica para ser adotada. Na literatura existem variados modelos de elaboração que se adaptam aos objetivos de diferentes tipos de *softwares*, usuários e equipes desenvolvedoras [1–6].

De acordo com Squires e Preece [7] e Tchounikine [8], o termo “*Software* educacional” é usado para se referir a um *software* projetado especificamente para desenvolver atividades favoráveis a alcançar os objetivos pedagógicos, e apoiar a aprendizagem e o ensino. Assim, alunos e professores podem ser beneficiados por essa alternativa que possibilita experiências novas e mais atrativas do que as oferecidas pelas abordagens tradicionais, aqui entendidas por abordagens tecnicistas, de passividade de aprendizes, de raciocínios linearizantes, fragmentadoras, enfim, arcaicas.

O processo de desenvolvimento de um *software* educacional se diferencia de outros pelo fato de que, durante sua elaboração, a maneira como os alunos aprendem aliada aos fatores de usabilidade devem ser levados em consideração [7]. Segundo Galvis [9], o ciclo de desenvolvimento de um *software* educacional pode ser dado pela representação da Figura 1.

Convém ressaltar que esse é um dos ciclos propostos e que existem outros publicados na literatura, de acordo com as especificidades do *software* desenvolvido. Na sequência, são descritas essas etapas segundo o propONENTE deste ciclo [9].

A parte de análise consiste em estudar quais os problemas ou situações problemáticas que existem, suas causas

e possíveis soluções e, a partir disso, determinar qual das soluções é aplicável e pode gerar os melhores resultados. Em outras palavras, significa identificar um problema ou desafio educacional e analisar possíveis soluções que podem ser obtidas por meio da utilização de um *software* educacional para, em seguida, desenvolvê-lo.

A etapa final da análise é a formação da equipe multidisciplinar que desenvolverá o *software* educacional.

Na etapa do projeto são definidas algumas características, relacionadas à análise efetuada. Nesse passo, são definidos os conteúdos que serão abordados, o público-alvo, a adequação do conteúdo ao público-alvo, os conhecimentos prévios necessários ao usuário, os aspectos da teoria de aprendizagem que nortearão a elaboração do *software*, os objetivos que se espera que os usuários alcancem por meio dele, quais as condições em que o usuário poderá utilizá-lo, quais as especificações técnicas que ele vai possuir, como avaliar o aprendizado do usuário, como ocorrerá a comunicação do usuário com o *software*, que estrutura de dados é necessária para que ele funcione, recursos humanos e financeiros, equipamentos e *softwares* que serão utilizados, características da equipe desenvolvedora etc. Esta etapa corresponde ao que, em desenvolvimento de software, se convenciona chamar de *levantamento e análise de requisitos*.

A fase final do projeto consiste em elaborar um protótipo com base no que foi estabelecido e analisar se o que foi planejado é coerente com os objetivos a serem alcançados. Segundo Galvis [9], a maneira mais elementar de fazer um protótipo é fazer esboços no papel de cada um dos ambientes que serão usados, definindo as capturas de tela que operacionalizam a estrutura lógica e as ações associadas aos eventos que podem ocorrer nelas. A elaboração do protótipo inicial é, normalmente, atribuição do *designer* de interface, que se encarregará de especificar os fluxos de navegação e o layout geral da interface.

A partir do protótipo, já é possível começar o desenvolvimento do projeto. Independentemente da estratégia seguida para produzir o material, é essencial que o desenvolvedor tenha que programar, de maneira estruturada e legível, bem como documentar seu trabalho. Isso permitirá, quando necessário, fazer o uso adequado do *software* educacional e adaptá-lo às novas necessidades.

Para facilitar eventuais manutenções, é fundamental definir desde o início do desenvolvimento os critérios ou padrões a respeito de como nomear os procedimentos, arquivos, constantes e variáveis. Além disso, objetivando racionalizar e otimizar o esforço de programação, é conveniente que antes de iniciar a codificação, o desenvolvedor identifique quais procedimentos são de uso comum e se já existem nas bibliotecas como utilitários aplicáveis. Assim, pode-se reaproveitar códigos e estruturas, além de promover uma interface padronizada para os usuários.

Após essa padronização, o desenvolvedor (ou desenvolvedores) poderá fazer a programação de cada módulo de forma estruturada, utilizando o ambiente

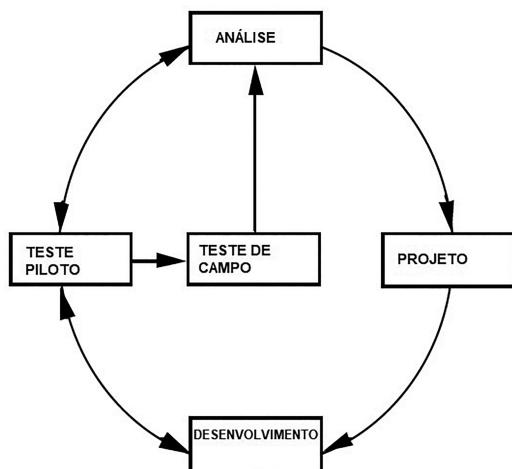


Figura 1: Representação do ciclo de desenvolvimento de um *software* educacional.

Fonte: Adaptada de Galvis [9].

de desenvolvimento escolhido, com base nos critérios estabelecidos na análise.

A fase de desenvolvimento não termina com a elaboração do *software* educacional: é preciso revisar e analisar, se o que foi previsto inicialmente no projeto foi implementado e se há necessidade de eventuais alterações.

Essa revisão pode ser feita, inicialmente, pela própria equipe. Mas, é necessário que ao final, ela passe pela avaliação de especialistas externos à elaboração do projeto, de preferência provenientes das diferentes áreas que compõem a elaboração do projeto. Esse processo de avaliação externa é necessário, pois de acordo com Galvis [9], um pai não acha o filho defeituoso. Dessa forma, a equipe pode não perceber erros ou alternativas mais eficientes.

Também se recomenda que esse teste seja feito com possíveis usuários desse *software*, pois eles são as pessoas mais indicadas que podem decidir se esse recurso atingiu, ou não, os objetivos pretendidos. Tais tipos de testes são feitos em ambientes controlados de utilização, ou seja, ocorrem com a supervisão da equipe de desenvolvimento. São os chamados *testes alpha*.

Ao término do desenvolvimento, o processo passa pela fase do teste-piloto, no qual o *software* educacional é utilizado por uma amostra de possíveis usuários desse material. Para realizá-lo adequadamente, é necessário preparar e administrar uma implementação didática, bem como analisar os resultados, a fim de obter evidências de que o *software* educacional está, ou não, cumprindo a missão para a qual foi desenvolvido.

Para simular um ambiente próximo das condições normais de utilização do *software*, o teste-piloto deve ser realizado em circunstâncias mais próximas possível do uso esperado do material: no momento em que o assunto deve ser estudado e com os recursos e limitações possíveis. É comum que, neste momento, o *software* seja disponibilizado em versão preliminar para ser testado por usuários reais, sem a supervisão da equipe de desenvolvimento e, portanto, de maneira mais verídica. Estes são os *testes beta*.

Normalmente, uma avaliação formativa procura estabelecer o quanto eficaz e eficiente o *software* educacional é na perspectiva da aprendizagem, bem como quais deficiências são detectadas e interferem na aprendizagem. A eficácia está relacionada com o quanto os usuários aprendem usando o *software*, ou o quanto isso contribui para a aprendizagem, no contexto em que é utilizado. A eficiência pode ser entendida como quais recursos humanos, temporais, computacionais e organizacionais devem ser dedicados para atingir o nível esperado de eficácia. Já as deficiências são os problemas ou elementos perfectíveis que, na opinião dos usuários, interferem na realização da aprendizagem.

Segundo Galvis [9], depois dessa etapa, a partir dos resultados obtidos, pode-se abandonar o material devido aos resultados negativos, refazer o projeto, ou ajustar

pequenos detalhes e disponibilizá-lo para o público-alvo seguindo para a próxima etapa que é denominada *teste de campo*, na qual é observado se o que foi notado no teste-piloto ainda prevalece. Essa fase vai além da disponibilização atualizada do *software*, ela requer que se propicie as condições necessárias para seu uso adequado. Assim, encerra-se o ciclo inicial de desenvolvimento do *software* educacional. Após o lançamento oficial do *software*, a equipe de desenvolvimento pode trabalhar em sua melhoria contínua, corrigindo erros e liberando atualizações da versão anterior.

Cabe mencionar que os processos mais atuais de desenvolvimento, chamados de metodologias ágeis, não ocorrem de maneira linear. De fato, é muito comum que as etapas de desenvolvimento se sobreponham ou ocorram de forma concomitante. Além disso, os requisitos do *software* podem mudar ao longo do tempo, ou então que componentes do *software* tenham que ser alterados em função dos resultados das avaliações e testes, que também devem ser constantes.

Outro fator pouco discutido na literatura, e que é fundamental para o desenvolvimento dos *softwares* educacionais, é o processo de interação entre os membros da equipe multidisciplinar. Como a elaboração de um *software* educacional, dependendo do nível de complexidade, depende de diferentes competências (por exemplo, de conteúdo, ensino, programação e *design*) faz-se necessária, na maioria dos casos, uma equipe multidisciplinar para a elaboração desses materiais.

Meurer [10] defende que os professores deveriam ser responsáveis, também, pela elaboração de *softwares* educacionais, pois ninguém melhor que ele para saber a respeito da estrutura cognitiva de seus alunos. Dessa forma, há na literatura algumas plataformas de desenvolvimento de *softwares* educacionais que não exigem um conhecimento aprofundado de programação e *design* [11]. No entanto, nem sempre a qualidade técnica e os fenômenos que se deseja explorar são fáceis de serem simulados sem os conhecimentos técnicos de programadores e *designers*.

Além disso, de acordo com Cataldi et al. [3], existem poucas informações publicadas em linguagem de fácil acesso para docentes não especializados em capacidades técnicas de programação. Assim, uma das soluções é a colaboração de uma equipe multidisciplinar. Cataldi et al. [3] sugerem que essa equipe seja dividida em quatro grupos, um de professores e especialistas em ensino para determinar os conteúdos e as teorias de aprendizagem (profissionais da área que se deseja elaborar o *software*), um de analistas e programadores (profissionais que desenvolverão o *software*), coordenadores do projeto e uma equipe de *design* gráfico [2].

Essa diversidade de membros na equipe, em algumas ocasiões, pode significar que nem todos podem se reunir presencialmente para as reuniões de trabalho, por motivos que podem ser geográficos, de agenda, entre outros. Dessa maneira, as tarefas de desenvolvimento do

software também podem ocorrer à distância. Isso leva à necessidade de ferramentas que permitam a interação entre os membros da equipe multidisciplinar, que podem ser chamados de *softwares* colaborativos. Um espaço *online* que disponibiliza um conjunto de ferramentas e materiais que pode ser utilizado como um sistema de comunicação, espaços de compartilhamento de informação ou coordenação de processos, são exemplos de *softwares* colaborativos [2].

Em uma equipe multidisciplinar recentemente criada, a primeira preocupação é em relação às atribuições de cada elemento. De acordo com Torrezzan e Behar [1], é difícil encontrar uma metodologia de construção de materiais educacionais digitais que envolva orientações técnicas, gráficas e pedagógicas. Isso pode sugerir a necessidade de integração de distintas metodologias, o que implica em complexidade para a prática da equipe desenvolvedora, de forma que um dos maiores desafios está na articulação entre as funções dos membros da equipe multidisciplinar. Torrezzan e Behar [1] sugerem que essas dificuldades possam ser amenizadas com a identificação e setorização das atividades relacionadas a cada integrante da equipe.

Ainda em relação ao relacionamento entre os membros da equipe, Perry [4] sugere algumas recomendações para os profissionais que compõem a equipe: (1) Especialistas em Educação precisam entender que muitas das perguntas feitas pelo programador são para modelar da melhor maneira possível o *software*. (2) Especialistas em Educação e *Designer* devem compreender que uma alteração que parece pequena pode comprometer a estrutura do código e que, por isso, deve-se deixar claro quando o objetivo é só um teste para não jogar código fora. (3) *Designer* e Programador precisam conhecer o tema do *software*.

Além dessas sugestões, acredita-se que outras possam ser acrescentadas e que profissionais de outras diferentes áreas possam integrar as equipes desenvolvedoras. Desse modo, ao final deste trabalho, espera-se poder contribuir com essas sugestões para tornar o trabalho colaborativo mais eficiente e menos desgastante em se tratando do desenvolvimento de simulações virtuais de experimentos históricos. A seguir, são descritos os procedimentos metodológicos adotados na elaboração das simulações, os quais foram mapeados e identificados posteriormente como etapas do processo de desenvolvimento, que podem guiar ou inspirar futuras pesquisas.

3. Procedimentos Metodológicos para o Desenvolvimento de Simulações Virtuais de Experimentos Históricos

Não existe uma metodologia específica para a elaboração de simulações virtuais de experimentos históricos para o Ensino de Física. No entanto, esse trabalho pode ser guiado por teorias específicas das áreas que compõem esse desafio. Por exemplo, ao tratar de experimentos

históricos, leva-se em consideração sua definição e tipologia, bem como a metodologia de Historiografia da Ciência para elaborar uma reconstrução ou síntese histórica dos experimentos. O desenvolvimento das simulações aqui apresentadas segue o ciclo de desenvolvimento sugerido por Galvis [9], descrito acima, com as devidas adaptações. Na sequência serão descritas as etapas percorridas nesse processo de elaboração.

Análise: Nesse trabalho, foram levadas em consideração características das tipologias definidas por Heering [12], Chang [13] e Metz e Stinner [14], segundo os quais os experimentos históricos reproduzidos podem representar, da forma mais fiel possível que se conseguir, os experimentos originais e/ou os fenômenos físicos por eles abordados. Adicionalmente, há o auxílio de uma reconstrução ou síntese histórica que permita a interação do estudante por meio da experimentação que, nesse caso, se desenvolve por meio da simulação computacional.

Essa reconstrução ou síntese histórica é constituída, neste caso, por uma **Composição Histórica**. Trata-se de uma construção textual (ou de outra natureza comunicativa) que reúne elementos históricos e historiográficos, epistemológicos, axiológicos e científicos para a inteligibilidade de um conteúdo científico com objetivo pedagógico e de disseminação de conhecimentos histórico-epistemológicos e sociais [15].

Para a elaboração da composição histórica, seguindo orientações para elaboração de materiais que envolvam a História da Ciência [16], foram consideradas fontes primárias, secundárias e terciárias, a respeito do processo de elaboração do conhecimento científico abordado, neste caso a Teoria Eletrofraca. Os primeiros materiais consultados foram as fontes terciárias (trabalhos de autores que citam obras de historiadores ou especialistas na história de determinado assunto), que conduziram às fontes secundárias (trabalhos de especialistas e historiadores no assunto) e primárias (de acordo com Martins [16], consiste em materiais da época estudada, escritos pelos pesquisadores estudados, ou seja, os artigos que foram publicados pelos pesquisadores envolvidos na construção do conhecimento científico em foco). Essa etapa compreende o estudo bibliográfico do assunto investigado.

Ao tratar de uma reconstrução ou síntese histórica, existem diferentes abordagens para descrever o processo de construção de um conhecimento científico. No caso da composição histórica são considerados os episódios históricos presentes no processo, de acordo com os objetivos comunicativos, que permitem uma compreensão contextualizada historicamente do assunto que está sendo abordado em termos científicos e pedagógicos. Para tal, deve-se levar em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes, a realidade escolar, o conteúdo científico a ser ensinado, o contexto histórico, a linguagem que será utilizada e que essa elaboração seja inspirada por referenciais científicos didáticos e de aprendizagem [15].

Esse processo de elaboração da composição histórica permitiu que se identificasse fidedignamente processos e experimentos relevantes na elucidação não linearizante da teoria científica abordada, com a adoção da perspectiva historiográfica de história-problema de Fernand Braudel [15]. A partir disso, deu-se início a um estudo problematizador a respeito desses experimentos para que pudessem ser descritos historicamente com detalhes técnico-científicos de elaboração, execução e resultados.

Para realizar uma descrição histórica detalhada de cada um dos experimentos considerados relevantes, foi necessário consultar o maior número de fontes primárias possíveis. Além de artigos, foram consultados outros materiais como fotografias, cadernos de laboratório, vídeos, entre outras fontes, que poderiam fornecer o maior número possível de detalhes a respeito do experimento, dos instrumentos utilizados e dos procedimentos experimentais.

Também foram consultadas fontes secundárias, compostas por estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados, e fontes terciárias, sempre que possível se aproximando dos “originais” dos autores, pois isso torna o trabalho de descrição dos experimentos mais fiel possível ao experimento original [16].

As leituras iniciais a respeito da unificação das interações eletromagnéticas e fracas, feitas no livro *Em busca da Unificação*, de Salam, Dirac e Heisenberg [17] e no site *Seara da Ciência*, da série Curiosidades da Física, do professor José M. Bassalo, forneceram as informações iniciais para as buscas. No livro, foram citados quatro experimentos que, de acordo com Abdus Salam, um dos responsáveis pela proposta teórica dessa unificação compõem a história experimental desse desenvolvimento científico.

Com os quatro experimentos indicados pela literatura: teste de conservação da paridade em interações fracas, observação de interações de neutrinos na Câmara Gargamelle, teste de conservação da Paridade em átomos e detecção indireta dos bósons W e Z⁰, o próximo passo foi buscar informações a respeito deles. Nessa etapa, o site supracitado foi útil na indicação dos artigos originais de cada experimento, bem como de fontes secundárias. A partir disso, esses estudos foram consultados e, por meio deles, outros artigos e documentos históricos foram indicados. Além disso, nas ferramentas de busca da internet, apareciam outras sugestões de documentos, que se encaixavam como fontes primárias, secundárias ou terciárias e que contribuíram de alguma maneira no detalhamento desses experimentos.

Com o material que foi obtido, uma primeira decisão metodológica precisou ser tomada, pois a respeito de um dos quatro experimentos, o teste de conservação da paridade em átomos, pouca informação havia sido obtida e não seria possível garantir uma descrição detalhada dos instrumentos e procedimentos experimentais utilizados. Assim, decidiu-se que esse experimento não seria simulado computacionalmente, uma vez que uma pesquisa

histórica deve ter como ponto de partida um levantamento bibliográfico o mais completo possível [16]. Além do que, segundo Höttecke [18], essas informações seriam necessárias para reconstruir a situação experimental da forma mais fiel possível. Dessa maneira, foram descritos detalhadamente somente os outros três experimentos.

Essa fase de **escolha dos experimentos** pode contemplar todos os experimentos indicados pela literatura ou, no caso aqui exemplificado, contemplar apenas uma parte deles devido a falta de informações históricas e técnicas, no período do desenvolvimento da abordagem simulada de experimentação.

Depois que a escolha foi realizada, o próximo passo foi elaborar uma **descrição dos experimentos**, a mais detalhada possível. Essa descrição foi feita em forma de um texto que continha todas as informações obtidas a respeito de cada experimento, desde os componentes até o procedimento experimental, sempre que possível com fotografias ou *links* de vídeos que representassem etapas ou instrumentos utilizados. Isso foi feito para que as simulações computacionais pudessem representar os experimentos originais da maneira mais fiel possível.

Convém registrar a dificuldade de encontrar registros detalhados de cada um dos experimentos, uma vez que os artigos originais não apresentavam todos os detalhes a respeito deles e as técnicas, instrumentos e fases da experimentação nem sempre são registradas de forma escrita ou em fotografias e vídeos. O que está de acordo com o que já havia sido especificado na literatura, pois segundo Chang [13], as descrições sobreviventes do passado, geralmente, possuem lacunas que não especificam claramente vários aspectos de instrumentos e operações.

A fase final dessa etapa seria a montagem da equipe multidisciplinar, porém, no caso dessa investigação, parte dessa equipe (especialistas em Física, Ensino e História da Ciência (FEHC) e Ciência da Computação (C)) já estava reunida. A composição inicial da equipe foi por duas especialistas em FEHC e dois especialistas em programação. Posteriormente, a configuração da equipe de Ciência da Computação (C) se alterou, e também foi incluído um especialista da área de *design*, compondo a última equipe, de *Design* (D).

Projeto: Com a descrição dos experimentos já elaborada pela equipe FEHC, o próximo desafio foi conseguir explicar de maneira clara e detalhada o suficiente para os integrantes da equipe C e D o que a equipe FEHC pretendia que fosse realizado.

Foi necessário que se explicasse cada experimento nos mínimos detalhes e com o maior número de informações possíveis, a fim de que fossem detalhadas todas as fases e que isso facilitasse o trabalho da equipe de programação e *design*.

Nessa etapa do projeto, a equipe FEHC definiu, tendo como público-alvo alunos do Ensino Superior, os conteúdos que seriam abordados em cada simulação, quais conhecimentos prévios seriam necessários ao

usuário, os aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa que norteariam a elaboração das simulações, quais aspectos históricos seriam considerados, os objetivos que se esperava que os usuários alcançassem com sua utilização, quais as especificações técnicas que elas deveriam possuir, como seria avaliado o aprendizado do usuário e como ocorreria a comunicação do usuário com o *software*.

Nessa fase do processo também foi definido que as simulações deveriam ser elaboradas de tal forma que a exploração das mesmas não se desse de forma verificacionalista, mas sim de forma investigativa e interativa. Desse modo, foram priorizados momentos em que os alunos pudessem tomar decisões, testar suas hipóteses, aprender com os erros, analisar resultados e consultar informações históricas, com o objetivo de tornar o processo de manipulação das simulações uma atividade que se aproxime do contexto investigativo, rompendo com a ideia de realizar procedimentos que apenas seguem um roteiro indutivista pronto para a simples verificação e/ou reprodução de leis e teorias científicas.

Com essa definição, também se recomenda que as simulações sejam exploradas em atividades investigativas, nas quais os professores apresentem situações-problema, ou materiais que apresentem essas situações, para que a exploração das simulações se dê em um contexto de investigação, no qual elas assumam o papel de recursos que possibilitarão aos alunos resolverem a/as situações-problema propostas na atividade.

Nesse contexto, o processo de elaboração da composição histórica também precisa levar esses aspectos em consideração, de maneira que apresente o processo de construção do conhecimento científico de forma a superar visões empírico-indutivistas e verificacionistas do trabalho científico. Deste modo, na elaboração da composição histórica sugere-se que os experimentos não sejam apresentados como meio de “provar/comprovar” leis, teorias, hipóteses e ideias, mas como formas de “testar” hipóteses e consequências de teorias. Ademais, que um experimento não seja apresentado como “o experimento” que refutou ou corroborou com alguma teoria, mas como uma parte do processo que levou a isso. E para tal, se faz importante ressaltar a relevância do formalismo matemático (matematização) na elaboração de teorias, bem como o papel da comunidade científica na corroboração ou refutação de resultados experimentais.

No que diz respeito a Aprendizagem Significativa, foi possível atender aos seguintes aspectos da teoria: diversificação dos recursos didáticos e diversificação na representação de conceitos, predisposição à aprendizagem, organizadores prévios, conhecimentos prévios, linguagem relacionada ao conteúdo e ao público alvo, recursividade, aprendizagem pelo erro e consolidação, conforme exemplificados a seguir.

Por princípio, simulação computacional já se configura como uma estratégia facilitadora da aprendizagem, uma vez que atende ao princípio de diversificação dos recursos

didáticos. Essa diversificação pode promover uma predisposição para a aprendizagem, dado que os estudantes se sentem motivados pela variedade de representações. Nesse sentido, quando os alunos possuem conceitos e conhecimentos prévios em sua estrutura cognitiva, que podem não ser condizentes com os conceitos científicos, essa diversificação pode possibilitar uma aproximação ao conhecimento científico, uma vez que o aluno terá, à sua disposição, diferentes formas de representação de um conteúdo e poderá aproveitar aquele que mais lhe interesse.

Desse modo, nas simulações, buscou-se diferentes formas para apresentar conceitos ou objetos. Além de descrições textuais, há imagens e vídeos para auxiliar nas explicações de processos e instrumentos relacionados a cada um dos experimentos. Ainda, procurou-se expressar essas diferentes formas em uma linguagem condizente com o conteúdo, já que aprender um conteúdo (ou uma disciplina) de maneira significativa, é aprender sua linguagem, seus instrumentos e procedimentos. De acordo com Ausubel [19], a aquisição de ideias e de conhecimentos de assuntos depende da aprendizagem verbal e de outras formas de aprendizagem simbólica. Além disso, preocupou-se com uma linguagem acessível ao público-alvo, a fim de que o material instrutivo fosse compreensível e estabelecesse significado para o mesmo.

Ainda, de acordo com Ausubel [19], aquilo que o estudante já sabe é o fator isolado mais relevante e influente no processo da Aprendizagem Significativa. Desse modo, uma das primeiras preocupações é em relação aos conhecimentos prévios dos estudantes. A primeira parte das simulações é composta pela montagem ou apresentação do aparato experimental e neste caso, os itens dispostos nas simulações, por exemplo: recursos disponíveis para a montagem experimental devem apresentar informações que permitam que os alunos associem esses recursos aos seus conhecimentos prévios, a fim de poderem tomar decisões de escolha.

Para exemplificar esse processo, em uma das simulações um aparelho denominado criostato era necessário para a montagem do experimento. Desse modo, a exposição prévia e o material complementar que os estudantes receberam para explorar as simulações continham informações de que um instrumento com essas características seria necessário. Assim, quando o estudante se depara com esse instrumento e sua descrição, na simulação computacional, pode fazer a ligação entre as informações prévias e as que são apresentadas na simulação para tomar suas decisões.

Outro aspecto é que as simulações foram elaboradas de maneira que possibilitassem vários momentos de interação dos usuários, uma vez que irão reproduzir um experimento histórico. Dessa forma, os experimentos foram separados em etapas, as quais os usuários vão executando à medida que interagem com a simulação. Essa interação é mediada por mensagens de orientação, que têm o papel de guiar os procedimentos.

Com relação às mensagens, sempre que possível, foi utilizada a recursividade de conceitos, pois é relevante que os conceitos sejam trabalhados em contextos diferentes para que possibilitem a consolidação da aprendizagem em diferentes níveis. A recursividade também é garantida ao usuário na possibilidade de transitar entre as mensagens, refazer procedimentos, revisitar suas elaborações em contextos diferentes e permanecer o tempo que for necessário em cada uma das etapas.

Ainda em relação às etapas, como em um processo de experimentação, elas apresentam uma sequência lógico-metodológica, com hipóteses, montagem, execução e análise dos dados. Buscou-se seguir, assim, coerência, consistência e coesão na simulação virtual, na qual o usuário pode voltar para etapas anteriores, mas não pode pular etapas, o que faz sentido pela teoria da Aprendizagem Significativa, que valoriza os conhecimentos prévios e a recursividade para assimilação dos novos conhecimentos. Portanto, não faria sentido que o usuário avançasse para a etapa de execução do experimento sem antes montar o mesmo.

Outro princípio facilitador da Aprendizagem Significativa, que foi utilizado nas simulações, é a aprendizagem pelo erro, no qual o erro não é punido, mas é uma oportunidade de aprendizado. A Ciência é uma construção humana, logo, o processo de elaboração de um conhecimento científico é passível de erros. Assim, é compreensível que os alunos também erram no processo de aprendizagem. No entanto, esses erros podem ser mais bem aproveitados quando são transformados em uma nova oportunidade de aprendizado. Sendo assim, nas diversas tarefas que a simulação propõe, quando o usuário “erra” alguma ação ele tem um *feedback* a respeito, que explica o motivo de sua ação estar “errada”. Desse modo, nesses momentos de testes de hipóteses, os usuários podem usufruir de novas informações, além de conferir se sua ação está correta ou não, orientando-o no processo de investigação por meio da simulação.

Ao terminar as simulações é exibida uma mensagem final, uma tela que informa o término da simulação do experimento e ao mesmo tempo promove uma consolidação em relação ao objetivo do experimento. Essa tela é relevante do ponto de vista da oportunidade de consolidação, uma vez que confirma resultados do experimento, e também é um item de usabilidade de software, na qual é dada a mensagem ao estudante de que ele cumpriu a atividade proposta.

Em referência aos aspectos históricos, procurou-se manter uma simulação virtual a mais fiel possível aos experimentos originais e em cada uma das simulações foi introduzida uma etapa de informações históricas a respeito do experimento simulado. Nessa etapa são também exibidas fotografias dos experimentos originais para que os usuários tomem conhecimento dos instrumentos e procedimentos originais. Os passos seguidos pelos usuários, que são padronizados nas três simulações desenvolvidas, são apresentados na Figura 2.

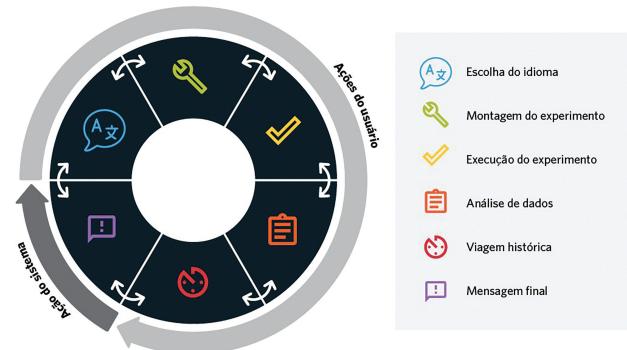


Figura 2: Passos a serem seguidos pelo usuário nas simulações computacionais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como resultado desse processo, a etapa final do projeto foi a elaboração de um protótipo que refletisse os objetivos das especificações relatadas acima.

Dessa maneira, nessa etapa da criação do protótipo foi elaborado um documento detalhado com todas as telas e funcionalidades do que se esperava que as simulações fossem capazes de reproduzir. Esse documento foi elaborado pela equipe FEHC que, com base na composição histórica do conteúdo científico a ensinar e em princípios da Aprendizagem Significativa, elaborou o primeiro esboço do que seriam as simulações.

Foram elaborados três esboços, um para cada experimento, contendo uma introdução do mesmo e a descrição do que teria em cada tela da simulação: quais as ações permitidas ao usuário, quais as reações às ações do usuário, quais as saídas e entradas de cada tela, que orientações o usuário receberia em cada etapa, qual deveria ser a sequência das telas, que recursos multimídias seriam inseridos e quais as equações matemáticas que descreveriam possíveis movimentos de elementos na interface gráfica.

Para exemplificação dessa fase, é representado na Figura 3, o primeiro esboço do que seria a primeira tela de um dos experimentos. Nessa figura, estão representadas as quatro etapas que teriam a simulação, com quatro abas na parte superior. Nessa tela específica, está representada o que seria a tela inicial da primeira etapa da simulação do experimento, na qual seria exibida uma mensagem de orientação para que o usuário escolhesse itens do painel de controle para a montagem do experimento e testasse suas escolhas.

Os itens do painel de controle, os títulos das etapas, as mensagens, imagens e as devidas reações às ações do usuário foram descritas em forma de texto no documento que detalhava cada experimento.

Em seguida, esse documento foi entregue para os demais membros da equipe para que fizessem uma leitura e logo após foi marcada uma reunião presencial para que as primeiras dúvidas pudesse ser resolvidas.

Todo esse material, com a descrição detalhada dos experimentos, bem como uma primeira ideia de como

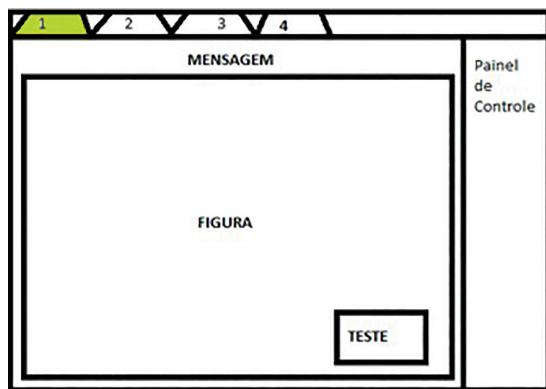


Figura 3: Exemplificação da representação do primeiro esboço das telas das simulações.

Fonte: Costa [20].

esses experimentos deveriam ser representados nas simulações e um fluxograma de cada uma das simulações, foi enviado para a equipe C por *e-mail* e um encontro presencial foi marcado para que os experimentos fossem devidamente apresentados e as possíveis dúvidas, até então, pudessem ser sanadas.

Nesse protótipo das simulações, a equipe FEHC não especificou cores nem tamanhos, pois esperava-se que essas decisões fossem tomadas em consulta com o restante da equipe, que era capacitada para opinar a respeito da interface gráfica. A equipe HEFC se responsabilizava pela gestão do processo, da representação dos conteúdos científicos e de aspectos pedagógicos que deveriam ser apresentados nas simulações.

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de uma das telas do protótipo elaborado pela equipe FEHC.

Em um encontro presencial com os membros da equipe multidisciplinar foram apresentados os experimentos e o protótipo inicial. Em seguida, as dúvidas foram esclarecidas e deu-se início à etapa de desenvolvimento do projeto.

Desenvolvimento: Antes de iniciar a codificação, os especialistas em Computação procuraram identificar procedimentos de uso comum nos experimentos ou nas etapas e se eles já existiam em bibliotecas como utilitários aplicáveis. Assim, poupar-se esforço de programação de um experimento para o outro, uma vez que foi seguido um padrão de programação nas simulações.

A medida que a equipe C ia desenvolvendo as simulações, ela consultava a equipe FEHC para que as dúvidas que iam surgindo fossem resolvidas e para que essa equipe observasse se o que estava sendo feito estava condizente com as expectativas. Essa foi uma estratégia condizente com o que Galvis [9] indica como táticas para desenvolvimento do projeto.

Optou-se por utilizar o Unity 3D como ferramenta de desenvolvimento, pois esta além de possuir um ambiente completo para criação e simulações com recursos 2D e 3D, também gera arquivos executáveis para diferentes

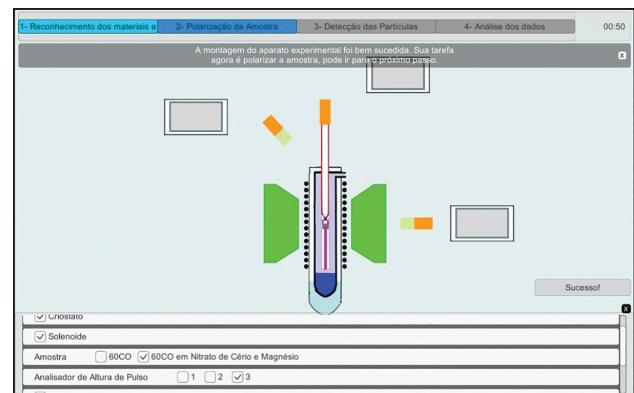


Figura 4: Representação de uma das telas da primeira versão das simulações.

Fonte: Costa [20].

plataformas como Android, Windows, MacOS, entre outros.

A Figura 4 apresenta uma tela da simulação do primeiro experimento simulado, que representa a primeira versão da simulação.

Após essa primeira versão foram sugeridas mudanças, tanto de conteúdo como de interface, por terem apresentado erros ou não terem sido atendido todos os requisitos prévios.

Nesta fase do desenvolvimento, um novo membro juntou-se à equipe, um profissional de *Design (D)*. Foi ele quem desenhou todos os itens das animações, com base na documentação histórica de cada equipamento utilizado nos experimentos. A equipe FEHC foi responsável pela obtenção do maior número possível de informações a respeito de cada um dos itens do experimento como, esquemas, fotografias, vídeos ou qualquer outra forma de representação dos equipamentos utilizados nos experimentos originais. Assim como os especialistas de Computação repassavam todos os avanços para análise da equipe FEHC, o especialista em *Design* também consultava essa equipe a respeito das representações elaboradas por ele, antes de enviar para o responsável pela programação implementar nos códigos. Além dessa contribuição, todo o *layout* das telas foi modificado com sugestões de diferentes cores, formatos e disposições espaciais, a fim de aumentar os níveis de usabilidade do software.

No início, as comunicações eram feitas por *e-mail*, presencialmente e por celular (WhatsApp). Depois, a equipe começou a utilizar uma plataforma chamada Trello,¹ que é conhecida por ser uma ferramenta de gerenciamento de projetos em listas e que pode ser ajustada de acordo com as necessidades do usuário, muito útil no trabalho em equipe, pois nele são expostos quadros nos quais são exibidas listas de tarefas a serem feitas, que estão sendo feitas e que já foram feitas. Assim, pode-se acompanhar o desenvolvimento das atividades

¹ <https://trello.com>.

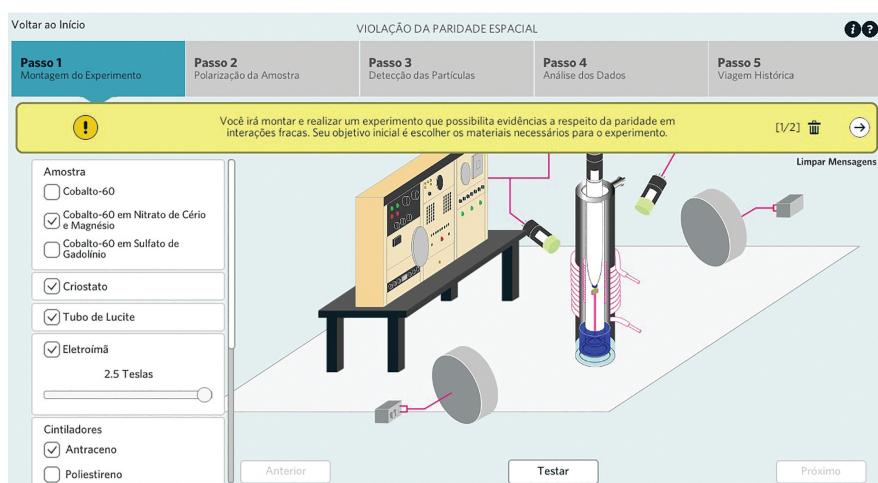


Figura 5: Imagem de uma tela da simulação em sua versão para abordagem didática e para avaliação por pares.

Fonte: Costa [20].

do grupo. Essa ferramenta foi útil ao passo que todas as informações ficavam em um único espaço, não havia a necessidade de se procurar em *e-mails* as informações desejadas. Além do Trello, foram usados também o Dropbox e o Google Drive para compartilhamento de arquivos entre a equipe e para edição compartilhada de documentos.

À medida que o programador ia entregando as versões das simulações, a equipe FEHC e o *designer* iam realizando os primeiros testes e anotando os eventuais erros encontrados e possíveis alterações a serem efetuadas. Na Figura 5 é apresentada uma tela da versão criada para aplicação em uma abordagem didática e para a avaliação por pares, exemplificando algumas das mudanças que foram implementadas no decorrer do processo.

Comparando as Figuras 4 e 5 fica nítido o aprimoramento das simulações nesse processo. Tudo isso só foi possível dado o engajamento dos membros do projeto, das pesquisas de busca de materiais históricos, de constante revisão das versões criadas e na disposição em realizar todas as correções e alterações, conforme os objetivos estabelecidos.

Foi necessário um tempo maior para programar a simulação do primeiro experimento, uma vez que a estrutura dessa simulação serviria de padrão para as demais. Ou seja, o painel de controle, os *tooltips*² e *pop-ups*,³ mensagens, abas e animação gráfica seguiram um padrão de estrutura em todas as simulações. Isso facilita o trabalho da equipe CD e, ao mesmo tempo, é um dos fatores de usabilidade de *softwares*, no qual as simulações seguem um padrão para que o usuário se familiarize com a estrutura.

² *Tooltips* são explicações de componentes (ou partes de componentes) da interface dadas ao usuário, normalmente quando este posiciona o cursor sobre aquele determinado componente.

³ *Pop-ups* são telas adicionais que, quando acionadas, surgem sobre a interface principal. Este recurso é comumente aplicado para ações breves ou tomadas de decisão do usuário dentro do sistema da interface.

Para facilitar o trabalho de implementação dos textos nas simulações, inclusive as traduções para o inglês e espanhol, o programador criou um software auxiliar que faz a leitura de arquivos do formato Json gravados em uma pasta, onde cada experimento possui um arquivo para cada idioma contendo todos os textos. Assim a equipe FEHC pôde fazer as alterações nos textos por meio desses arquivos.

Depois de todas as correções e alterações nas versões das simulações, quando a equipe tomou como satisfatório os resultados obtidos, as mesmas foram enviadas para avaliação por pares e para aplicação em abordagem didática, que serviu como abordagem piloto. Devido à questão de tempo, a avaliação por pares, que encerra a fase de desenvolvimento do projeto, e a abordagem piloto foram realizadas ao mesmo tempo. Caso haja tempo disponível, essas avaliações podem ser feitas de forma separada, assim as sugestões dos pares podem ser implementadas a tempo para a abordagem piloto.

A **avaliação por pares** se deu por meio de dois questionários com as alternativas: Concorde Plenamente (CP), Concorde (C), Não Opina (NO), Discordo (D) e Discordo Plenamente (DP). Foi elaborado um questionário relacionado à aspectos de ensino, de conteúdo e históricos, que foi respondido por especialistas dessas áreas. Outro questionário, a respeito de aspectos de *design*, foi respondido por especialistas da área de *Design Gráfico*. Todos os questionários foram decodificados intersubjetivamente e os respondentes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Paralela a essa fase de avaliação das simulações, o processo passou pela fase da **abordagem piloto**, na qual as simulações foram exploradas por uma amostra do público-alvo, com o objetivo de observar se elas estavam cumprindo a missão para a qual foram projetadas. Essa fase foi realizada por meio da implementação de uma Abordagem Didática elaborada com base na temática da unificação eletrofraca, História e Filosofia da Ciência,

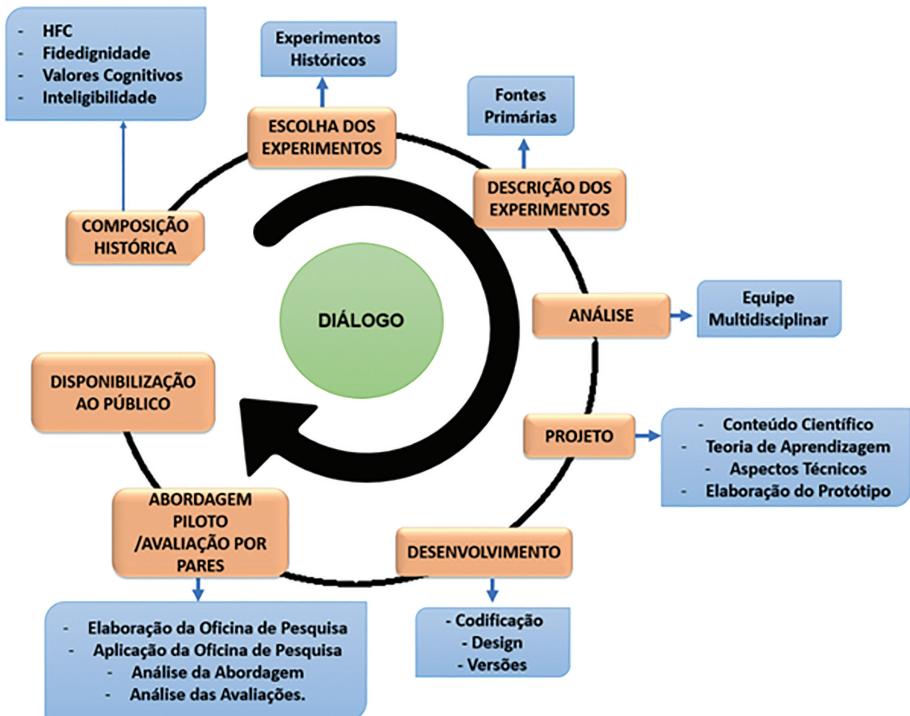


Figura 6: Representação de um ciclo de desenvolvimento das simulações computacionais de experimentos históricos.
Fonte: Costa [20].

Aprendizagem Significativa e Simulações Computacionais. Para a obtenção de dados referentes à eficiência e eficácia das simulações, foram utilizados questionários prévios e posteriores, questionários de opinião, Diagramas de Gowin e as anotações da pesquisadora.

Com os resultados das avaliações das simulações feita por pares e da abordagem piloto, a equipe se reuniu e discutiu as eventuais mudanças que seriam realizadas.

Disponibilização para o público: Após a realização dos aprimoramentos sugeridas nos processos de avaliação das simulações, o próximo passo é a disponibilização ao público. No caso desta investigação, as simulações serão disponibilizadas para o público-alvo por meio de uma página *web*, que propicia as condições para o uso adequado das mesmas.

Todo esse processo de desenvolvimento de simulações de experimentos históricos, voltados para o ensino, pode ser representado pela Figura 6.

Como resultado desse processo, obtém-se um recurso didático que reflete critérios relevantes para atender as necessidades de um *software* educacional, pois o ambiente virtual projetado atende critérios de ensino (planejado com base na Teoria de Aprendizagem Significativa), conteúdo (explora conteúdos científicos de Física de Partículas), contextualização (aborda conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, HFC e multimeios de representação) e técnicos (assimila princípios de usabilidade, padrões de programação e interface gráfica).

4. Erros e Acertos do Trabalho Colaborativo da Equipe Multidisciplinar

Dado um trabalho dessa magnitude, que levou aproximadamente 4 anos para se consolidar, é conveniente considerar os ganhos e dificuldades identificados durante esse percurso, tomando como base o trabalho em equipe.

O intercâmbio de conhecimentos permitiu que os diferentes membros da equipe adquirissem conhecimentos multidisciplinares, no qual especialistas da equipe FEHC passaram a entender aspectos técnicos referentes à área de programação e *Design* e os especialistas das equipes CD tiveram a oportunidade de conhecer um pouco a respeito dos experimentos que estavam sendo simulados e de princípios de Aprendizagem Significativa que nortearam as atividades. Sem comentar da experiência do trabalho em equipe, que exige um esforço mútuo e proporciona o intercâmbio de conhecimentos.

Em termos financeiros, foi feita uma estimativa dos gastos que seriam necessários para programação e *design*. Trata-se de uma estimativa, pois um orçamento detalhado para este projeto só seria possível com o planejamento e cronograma detalhados, a definição clara das atribuições e um cálculo de horas. Dessa forma, para as atribuições de *design* seria necessário um investimento aproximado de R\$ 5.000 a R\$ 8.000. Enquanto a parte de programação exigiria um investimento em torno de R\$ 20.000 a R\$ 45.000. Isso mostra o ganho financeiro que

é alcançado por meio das parcerias entre as diferentes áreas.

No entanto, essa colaboração também apresenta dificuldades, a primeira delas é a comunicação. Dado que a equipe é composta por integrantes de diferentes áreas científicas, é comum a dificuldade de comunicação. Nessa investigação, percebeu-se que esse processo ainda é mais complicado quando é feito entre a equipe FEHC e o programador, pois há uma lacuna entre o que a equipe FEHC deseja e o que o programador entende que a equipe deseja. Esse impasse foi amenizado com a ajuda do profissional de *design*, que procurava entender, graficamente, o que a equipe FEHC pretendia e com os conhecimentos técnicos, conseguia estabelecer um diálogo mediador e eficiente.

Outra dificuldade relatada pelos integrantes foi a constante mudança de requisitos ao longo do processo, como por exemplo, a inserção de novas funcionalidades, a criação de um tutorial, créditos da equipe, adaptação do *software* em três idiomas, entre outros. Devido esse processo ter ocorrido em meio ao desenvolvimento, isso acarretava mudanças em etapas que já haviam sido cumpridas. Assim, recomenda-se uma gestão de requisitos bem estruturada, para que não sejam cometidos erros ou equívocos nos processos de mudança e, ao mesmo tempo, flexibilidade para as eventuais adaptações que sempre ocorrem em um processo criativo e inovador. Outro registro relevante é o nível de detalhes nas descrições do experimento, quanto mais detalhados os processos, mais fácil fica a comunicação entre os membros da equipe, pois se trata de uma comunicação entre membros de distintas formações e repertórios de vocabulário.

Com inspiração em Perry [4], e com base na experiência da equipe, sugerem-se dicas que podem favorecer o trabalho em equipe nos moldes colaborativos. Os quadros a seguir exemplificam dicas para aprimorar o relacionamento entre membros. Os termos em itálico correspondem às contribuições de Perry [4].

No Quadro 1 estão especificados alguns elementos da relação entre a equipe FEHC e CD. Assim, a equipe FEHC deve estar ciente que nem todas as alternativas didáticas são viáveis em termos de usabilidade de *software* e que quando são necessárias muitas alterações durante o projeto, sejam relacionadas a conteúdo ou recursos pedagógicos, essas mudanças irão acarretar alterações no prazo de finalização do projeto e, em casos de excesso de alterações, podem causar um desgaste com a equipe CD, pois há muito tempo de trabalho e esforços investidos. No entanto, a equipe CD deve entender que novas informações relevantes ao processo podem surgir no decorrer do desenvolvimento criativo e em alguns casos somente depois de colocar em prática as ideias do protótipo é que se percebem falhas ou imprecisões que antes não eram visíveis. Desse modo, é nítido que as alterações no decorrer do projeto são inevitáveis, porém deve-se tomar cuidado para não tornar esse processo constante e comprometer demasiadamente os

Quadro 1: Relação entre a equipe FEHC e CD.

	Deve entender que...	
FEHC	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Muitas das perguntas que o programador e/ou o designer fazem são para modelar da melhor forma possível a simulação;</i> • Mudanças nos requisitos aumentam os prazos para finalizar o projeto; • Nem sempre as alternativas didáticas são viáveis em termos de usabilidade; • O software só fica pronto após o aval do usuário; 	CD
CD	<ul style="list-style-type: none"> • Algumas alterações e requisitos são para atender objetivos didáticos; • <i>Designer e programador precisam entender o que está acontecendo no experimento a ser simulado;</i> • Mudanças são necessárias ao passo que novas informações passam a ser relevantes ou quando se percebe erros ou imprecisões a medida que o projeto é desenvolvido; • Os integrantes da equipe FEHC nem sempre dominam o vocabulário técnico de programação e <i>design</i>. 	FEHC

Fonte: Costa [20].

prazos para finalização do projeto e o trabalho da equipe CD. Além disso, ambas as equipes podem apresentar dificuldades em entender as linguagens técnicas de cada área.

No Quadro 2 estão especificados alguns elementos da relação entre a equipe FEHC, C e D. Desse modo, deve-se estar atento ao que se pede para as equipes de *design* e programação. Recomenda-se que, em termos de programação, não sejam feitas mudanças significativas constantes, a não ser aquelas que sejam necessárias para atender requisitos didáticos e de conteúdo. Já em relação ao *designer*, aconselha-se que seja fornecido o maior número de informações a respeito do que se deseja ser produzido. Por exemplo, no desenvolvimento das simulações, todas as fotografias, vídeos e descrições que se obteve a respeito dos experimentos e de componentes dos mesmos eram enviadas ao *designer* para que ele pudesse elaborar a interface gráfica da melhor maneira possível. Assim, esse profissional otimiza o tempo e evita reformulações desnecessárias. Além disso, deve ficar claro que as decisões formais e estéticas vão além do gosto pessoal, ou seja, os elementos e cores das interfaces são pensados levando em consideração a usabilidade e a estética.

Quadro 2: Relação entre a equipe FEHC, C e D.

Devem entender que...		
FEHC e D	<ul style="list-style-type: none"> <i>Uma alteração pequena pode comprometer a estrutura do código;</i> <i>Jogar código fora é frustrante;</i> <i>Devem deixar claro quando o objetivo é o teste de uma alternativa.</i> 	C
FEHC e C	<ul style="list-style-type: none"> <i>Design de interface é uma atividade complexa, atividades demandam tempo;</i> <i>As equipes precisam compreender que o designer precisa do maior número possível de informações e insumos para começar a desenvolver a interface do usuário;</i> <i>O designer de posse das informações pertinentes vai otimizar tempo e evitar reformulações desnecessárias;</i> <i>As decisões formais e estéticas vão além de gosto pessoal;</i> 	D

Fonte: Costa [20].

Com relação ao relacionamento entre o(s) gerente(s) do projeto, descrito no Quadro 3, deve ficar claro que as decisões gerenciais são tomadas em função de cronogramas, orçamentos e planejamento. A gerência tem uma visão macro do projeto e com isso consegue propor as atividades para as equipes visando o desenvolvimento das etapas necessárias. No entanto, deve-se entender o ritmo de trabalho da equipe, que por ser um trabalho colaborativo vai demandar mais tempo para execução. Além disso, prazos demasiadamente curtos podem comprometer a qualidade do *software*, uma vez que as atividades de *design* de interface e de programação podem ser complexas e demandar mais tempo para uma execução apropriada.

Outro item relevante são as reuniões, para acompanhar e gerenciar o desenvolvimento do projeto. Nesses momentos, é necessário que as equipes recebam um *feedback* das atividades e do processo de desenvolvimento, pois o progresso das atividades depende disso. As tomadas de decisão devem ser realizadas em conjunto para que se reflita a respeito da aplicabilidade dos requisitos em todas as áreas, pois nem sempre o que é viável em termos de *design* e didática é viável em termos de programação, e essa negociação precisa ser feita para que se alcance uma solução. Além disso, esse contato entre as equipes é mais satisfatório e produtivo quando ocorre sem a intermediação de gerentes, pois otimiza-se o tempo de comunicação e de respostas. Uma vez que as equipes estão em contato direto, podem tirar suas dúvidas e fazer sugestões a qualquer momento.

Quadro 3: Relação entre as equipes e os gerentes do projeto.

Devem entender que...		
Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> São necessárias reuniões constantes para acompanhar o desenvolvimento do projeto; O contato direto entre as equipes pode ser mais eficiente; O diálogo é sempre necessário para as tomadas de decisão; A organização do sistema de comunicação entre as equipes é essencial; Como é um projeto colaborativo, o tempo de execução será maior e o gerente precisa entender o ritmo da equipe; Prazos curtos podem comprometer a qualidade do software; É necessário fornecer um feedback para a equipe; É necessário facilitar a comunicação entre clientes e equipes; 	Equipe
Equipe	<ul style="list-style-type: none"> As decisões gerenciais são tomadas com base em aspectos de cronograma, orçamento e planejamento, ou seja, os gerentes possuem uma visão macro do projeto; 	Gerentes

Fonte: Costa [20].

Ainda em relação às dicas, dentre as ferramentas computacionais necessárias para o desenvolvimento do projeto, existem aquelas relacionadas ao desenvolvimento das atribuições de cada equipe e aquelas relacionadas à comunicação entre a equipe.

Ferramentas computacionais da Equipe FEHC: internet para as pesquisas de material e metodologias; *Office* (*Word*; *Excel* e *PowerPoint*) para elaboração dos arquivos de texto para a equipe CD; *Notepad++* para elaboração dos arquivos de texto para as simulações; acessórios do Windows (*Paint* e Ferramenta de Captura) para edição de imagens; *Movie Maker* para edição de vídeos e legendas.

Ferramentas computacionais da Equipe CD: *Unity 3d* para programação, *Notepad++* para elaboração dos arquivos de texto para as simulações; *Adobe Illustrator* para realizar o desenho dos componentes dos experimentos e da interface gráfica.

Ferramentas de comunicação: houve a necessidade de comunicação remota entre os membros da equipe. Esse tipo de comunicação flexibilizou os horários das reuniões

e eliminou as limitações geográficas. Porém, de acordo com os integrantes, faz-se necessário que sejam realizadas reuniões presenciais ao longo do processo, pois isso facilita as explicações e a própria comunicação. Assim, a melhor saída é trabalhar com as duas possibilidades.

Outro item que deve ser bem estruturado é o espaço *online* que disponibiliza o conjunto de ferramentas e materiais a serem utilizados como um sistema de comunicação, espaços de compartilhamento de informação ou coordenação de processos. No caso dessa investigação, foram utilizadas as mais diversas ferramentas, entre elas: Hangouts, e-mail, Dropbox, Trello, WhatsApp, Messenger, Google Drive etc. Essas diversas ferramentas tiveram diferentes propósitos e auxiliaram o processo de comunicação e desenvolvimento. Inclusive, no Trello, havia a possibilidade de compartilhar materiais, estabelecer prazos e acompanhar o desenvolvimento das atividades dos integrantes da equipe. Contudo, arquivos grandes não podiam ser compartilhados, o que fez com que outras alternativas como Dropbox e Google Drive fossem utilizadas. Porém, deve-se tomar cuidado em relação à padronização de uso desses repositórios, para que a documentação do projeto não fique descentralizada e desorganizada.

No que diz respeito à elaboração das descrições dos experimentos, houve dificuldades para encontrar informações detalhadas a respeito dos experimentos em fontes primárias. Assim, foi necessário um cruzamento de informações entre as mais variadas fontes de pesquisa, para que fosse possível obter uma descrição detalhada e mais fidedigna possível aos aspectos científicos e históricos.

Assim, espera-se que o detalhamento do processo metodológico de elaboração das simulações e o compartilhamento da experiência do trabalho em uma equipe multidisciplinar colaborem com futuras investigações a respeito da elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos, ou afins, na área de Ensino de Ciências.

5. Considerações

A elaboração das simulações computacionais se fez possível devido ao trabalho colaborativo da equipe multidisciplinar, de maneira que seria impossível obter o resultado alcançado sem essa colaboração. Esse processo envolveu o comprometimento entre os membros da equipe com o projeto e se desenvolveu durante todo o período de um doutoramento, indicando não ser uma tarefa trivial e que depende do compromisso, colaboração e paciência de todos os membros da equipe.

O acompanhamento desse processo permitiu que se detalhasse um encaminhamento metodológico, do trabalho colaborativo, para a elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos voltados para o Ensino de Física. Espera-se que esse detalhamento e as possíveis dicas para um rendimento eficiente do trabalho

em equipe contribuam com futuras pesquisas da área de Ensino de Ciências, uma vez que essas abordagens ainda são pouco investigadas.

Desse modo, dentre as aprendizagens desse processo, que podem auxiliar futuras pesquisas, podem ser destacadas as etapas identificadas e o que foi necessário para que elas fossem cumpridas, a exemplo: a necessidade de diversificadas fontes de informação para a elaboração da composição histórica e a descrição dos experimentos, uma descrição bem detalhada dos experimentos para facilitar o trabalho de *design* e programação, a sugestão de que haja a participação do *designer* desde o início do projeto e que os requisitos das simulações sejam bem planejados para otimizar tempo e trabalho de programação e *design*.

Evidencia-se que o resultado alcançado na elaboração das simulações, em termos de qualidade, foi obtido devido à contribuição das áreas envolvidas e que essa colaboração resultou em ganhos intelectuais para as equipes, economia de recursos financeiros e em um recurso didático para o ensino de Física de Partículas,⁴ que agrupa conhecimentos físicos, históricos, didáticos, de *design* e programação, que pode ser utilizado na formação inicial ou em serviço de professores e, com as devidas adaptações, também em nível de Ensino Médio. Além disso os desafios enfrentados pelas equipes forneceram oportunidades de aperfeiçoamento profissional.

Com relação às simulações computacionais, percebe-se a predisposição dos alunos em utilizar esses recursos e os resultados obtidos das avaliações, por pares e pelos alunos, permitiram que elas fossem aprimoradas e, ao mesmo tempo, sugerem que elas cumprem com o papel para o qual foram planejadas, colaborando no aprendizado dos conteúdos, auxiliando na representação de fenômenos de difícil acesso real e permitindo que o estudante entenda o contexto histórico no qual o experimento original foi realizado.

Referências

- [1] W.C.A. Torrezan e P.A. Behar, ETD – Educação Temática Digital 1, 136 (2016).
- [2] A.P.D. Costa, *Metodologia híbrida de desenvolvimento centrado no utilizador*. Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, Aveiro (2012).
- [3] Z. Cataldi, F. Lage e R. García, *Revista Latinoamericana de Tecnologia Educativa* 1, 1 (2003).
- [4] G.T. Perry, *Proposta de uma metodologia participativa para o desenvolvimento de software educacional*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2005).

⁴ Essas simulações estarão disponíveis em uma página web, integrada à página do grupo de pesquisa (<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/index.html>). Além disso já se encontram disponíveis duas publicações a respeito desse material didático, uma delas apresentando as simulações [21] e a outra com uma sugestão de abordagem didática [22] que engloba a exploração desses recursos didáticos.

- [5] E.S.E. Trebien, *Proposta de metodologia de desenvolvimento de software voltadas à educação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2002).
- [6] M. Papastergiou e I. Mastrogianis, *Educ. Inf. Technol.* <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10390-2> (2020).
- [7] D. Squires, J. Preece, *Computers Education* **1**, 15 (1996).
- [8] P. Tchounikine, *Computer Science and Educational Software Design – A Resource for Multidisciplinary Work in Technology Enhanced Learning* (Springer, Berlin, 2011).
- [9] A.H. Galvis, *Ingeniería de Software Educativo* (Ediciones Uniandes, Santafé de Bogotá, 1992).
- [10] Z.H. Meurer, *Ensino de Ciências na 5^a série através de software educacional: o despertar para a Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2008).
- [11] J.S. Figueira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **4**, 613 (2005).
- [12] P. Heering, *Éndoxa* **19**, 315 (2005).
- [13] H. Chang, *Science & Education* **20**, 317 (2011).
- [14] D. Metz e A. Stinner, *Science & Education* **6**, 613 (2007).
- [15] I.L. Batista, *Conhecimentos e saberes na educação em ciências e matemática*, editado por I.L. Batista (Editora Eduel, Londrina, 2016).
- [16] L.A.P. Martins, *Ciência & Educação* **2**, 305 (2005).
- [17] A. Salam, P. Dirac e W. Heisenberg, *Em busca da unificação* (Editora Gradativa, Lisboa, 1991).
- [18] D. Höttecke, *Science & Education* **4**, 343 (2000).
- [19] D.P. Ausubel, *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva* (Editora Plátano, Lisboa, 2003).
- [20] M. Costa, *Experimentos históricos em ambiente virtual: uma abordagem histórico-didática a respeito da teoria eletrofraca para o estudo de física de partículas no ensino superior*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina (2019).
- [21] M. Costa, M.C. Camargo, Y. Pereira, I. Batista e J.D. Brancher, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **38**, 376 (2021).
- [22] M. Costa e I. Batista, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **37**, 242 (2020).