

**UNIVERSIDADE MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL**

Patrícia Jaqueline Arakaki

**UTILIZAÇÃO DE JOGO NO ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA QUÍMICA
PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

São Caetano do Sul

2022

PATRÍCIA JAQUELINE ARAKAKI

**UTILIZAÇÃO DE JOGO NO ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA QUÍMICA
PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho final de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Educação – Mestrado Profissional – da Universidade Municipal de São Caetano do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação.

Área de concentração: Formação de Professores e Gestores

Orientador: Prof. Dr. Alan Cesar Belo Angeluci

São Caetano do Sul

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAKAKI, Patrícia Jaqueline

Utilização de jogo no ensino de estequiometria química para alunos do ensino médio / Patrícia Jaqueline Arakaki – São Caetano do Sul – USCS, 2022.
111f.: 18il.

Orientador: Prof. Dr. Alan César Belo Angeluci
Dissertação (mestrado) – USCS, Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Programa de Mestrado Profissional em Educação, 2022.

1. Formação Docente 2. Jogo 3. Profissionalidade 4. Estequiometria 5. Design Science Research

I. ANGELUCI, Alan Cesar Belo. II. Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Programa de Mestrado Profissional em Educação. III. Título.

Reitor Da Universidade Municipal de São Caetano Do Sul

Prof. Dr. Leandro Campi Prearo

Pró-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Romeiro

Gestor do programa de Pós-Graduação Educação

Prof. Dr. Nonato Assis de Miranda

Profa. Dra. Ana Silva Moço Aparício

Trabalho Final de Curso defendido e aprovado em 18/02/2022 pela Banca Examinadora constituída pelos(as) professores(as):

Prof. Dr. Alan Cesar Belo Angeluci (USCS)

Prof (a). Dr.(a.) Maria de Fátima Ramos de Andrade (USCS)

Prof (a). Dr.(a.) Leandro Key Higuchi Yanaze (Unifesp)

AGRADECIMENTOS

Obrigada a todos que sempre me apoiaram: meus pais, minha irmã e meu companheiro. À minha sobrinha que teve de entender os fins de semana em que não pude vê-la.

Meu companheiro que sempre me apoia e auxilia, tentando me acalmar SEMPRE e entendendo os momentos que tivemos de nos privar de alguns momentos e viagens para que pudesse me dedicar a esse processo; e pela Nebulosa e Gamora, que, nessa reta final, me ajudaram demais.

Gabi e Vidinha, que tiveram de ouvir, por diversas vezes, o meu desabafo, nossas conversas, risadas... Família sensacional!

Ao meu orientador, que, com muita paciência, e que, por muitas vezes também foi uma voz para me tranquilizar quanto ao processo. Por ter sido o melhor orientador dos diversos que já tive e que, de fato, me orientou durante todo o processo e me respeitou demais,

À USCS pelo estímulo e pela bolsa de estudos. E a todos os professores e colegas que acrescentaram muito na minha formação pedagógica.

E aos meus alunos que sempre me apoiam, me estimulam a evoluir e embarcam comigo nos meus devaneios químicos!!!

Obrigada!

*"Nada na vida deve ser temido,
somente compreendido.
Agora é hora de compreender
mais para temer menos."*

Marie Curie

RESUMO

O ensino de estequiometria química para os alunos de ensino médio é um desafio. A literatura recente indica que há diversos fatores para que esse assunto seja de difícil assimilação pelos estudantes. Um deles é o fato de esse conteúdo envolver muitos cálculos, além da necessidade de uma visão macroscópica, simbólica e submicroscópica. O uso de jogos digitais tem se tornado um importante aliado no desenvolvimento dessas habilidades pelos alunos, preconizadas na Base Nacional Comum Curricular. O presente estudo teve como objetivo desenvolver um jogo digital com base nos paradigmas da *Design Science Research*. Para tal, delineou-se bem o problema a ser resolvido e levantaram-se os dados em literatura e os produtos que já estão no mercado. Dessa forma, a proposta foi a criação de um produto: um jogo no estilo RPG de investigação criminal, denominado “Investigação Estequiométrica”. Realizaram-se o projeto e desenvolvimento do jogo e, para seu aperfeiçoamento, contou-se com três ciclos avaliativos, nos quais se avaliaram, respectivamente, a intuitividade, a jogabilidade e a aprendizagem, por meio da aplicação de questionários e da realização de grupos focais. Como resultado, desenvolveu-se o jogo de forma a ter uma boa aceitação pelos usuários. Ademais, o produto encontra-se pronto para ser aplicado diretamente com grupos maiores de alunos. Os grupos focais apresentaram as melhorias necessárias quanto aos textos e imagens contidas no jogo. As respostas dos comandos, a intuitividade e a qualidade do material explicativo do conteúdo também foram discutidas nos grupos focais. Quanto à aprendizagem, os objetivos foram atingidos parcialmente. Um dos quatro tópicos abordados no jogo não foi bem assimilado pelos alunos participantes, fator a ser explorado e investigado em maior profundidade em estudos futuros.

Palavras-chave: formação docente, jogo, profissionalidade, estequiometria, *Design Science Research*

ABSTRACT

Chemical stoichiometry is a challenge to teach to high school students. Recent literature indicates that there are several factors that make this subject difficult for students to assimilate. Among them is a fact that this topic involves many calculations and because the students need a macroscopic, symbolic and submicroscopic view. The use of digital games has become an important ally in the development of these skills by the students, recommended in the National Curricular Common Base. The present study aimed to develop a digital game based on Design Science Research paradigms. To this end, the problem to be solved was well outlined, data in the literature and products that are already on the market were collected, so the proposal was to create an RPG-style criminal investigation game called Stoichiometric Investigation. The design and development of the game was carried out and, for its improvement, three evaluation cycles were carried out, and the intuitiveness, playability and learning were evaluated respectively. To this end, questionnaires were applied and focus groups were held. As a result, the game can be developed so that it has a good acceptance by users and that this product is ready to be applied directly with larger groups of students. The focus groups presented the necessary improvements regarding the texts and images contained in the game. The responses to commands, the intuitiveness and the quality of the explanatory material of the content were also discussed in the focus groups. As for learning, the objectives were partially achieved. One of the four topics covered in the game was not well assimilated by the participating students, a factor that can be explored and investigated in greater depth in future studies.

Keywords: gamification, game, chemistry, stoichiometry, *Design Science Research*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da DSR.....	37
Figura 2 : Imagem do grupo focal realizado no terceiro ciclo avaliativo	63
Figura 3: Resposta da afirmação: “Não consegui entender quais eram as ações que precisava realizar”	66
Figura 4 : As informações NÃO eram compreendidas rapidamente”	66
Figura 5: “Eu me senti confiante em usar os jogos após compreender os comandos”	67
Figura 6: “As dicas do parceiro me ajudaram a resolver os desafios”	68
Figura 7: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol.....	72
Figura 8: Falta de respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol.....	73
Figura 9: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol pós-jogo	74
Figura 10: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pré-jogo	75
Figura 11: Tentativas de resolução na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pós-jogo.....	76
Figura 12 : Respostas corretas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pós-jogo.....	77
Figura 13: Tela inicial de “Investigação Estequiométrica”	78
Figura 14: Imagem do mapa principal	79
Figura 15 - Mapas secundários	79
Figura 16: João apresentado a opção de ajuda ao jogador	80
Figura 17: João apresentando a questão sobre a relação mol-mol ao jogador.....	80
Figura 18: Resumo dos dados coletados durante o jogo	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de artigos obtidos após a busca de cada um dos critérios de seleção em cada uma das bases de dados.....	46
Tabela 2: Número de artigos obtidos após a busca de cada um dos critérios de seleção em cada uma das bases de dados.....	47
Tabela 3: Números de respondentes para cada opção da escala Likert no ciclo avaliativo sobre jogabilidade.....	69
Tabela 4: Números de respondentes para cada opção da escala Likert no ciclo avaliativo sobre aprendizagem.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diferenças entre imigrantes digitais e nativos digitais	31
Quadro 2 : Relação entre as funcionalidades do jogo e a qual núcleo do framework Octalysis de Chou (2016) ele corresponde.....	34
Quadro 3: Distribuição dos 24 trabalhos pela proposta	48
Quadro 4: Relação dos autores, a proposta, o conteúdo abordado, características das atividades gamificadas e a tecnologia utilizada para acessar a atividade	51
Quadro 5: Metodologia de pesquisa e tipo de pesquisa conduzida	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	36
4 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	43
4.1 Revisão sistemática de literatura	45
4.2. Pesquisa de mercado	54
4.2.1 Ferramentas	55
4.2.2 Conteúdos	55
4.2.3 Finalidade.....	56
4.2.4 Pontos fortes	56
4.2.5 Pontos fracos	56
5 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO JOGO INVESTIGAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA	58
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1 Primeiro ciclo avaliativo: Intuitividade.....	65
6.2 Segundo ciclo avaliativo: Jogabilidade.....	68
6.3. Terceiro ciclo avaliativo: Aprendizagem	69
7 PRODUTO	78
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE A: OBJETOS DIGITAIS GAMIFICADOS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ENCONTRADOS COM ACESSO VIA COMPUTADOR	89

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de química é uma das áreas de ciências da natureza, e seu conteúdo foca a explicação de fenômenos cujas evidências, muitas vezes, não são visíveis. Todas as explicações advêm dos átomos, bem como de suas ligações e interações. Vale ressaltar que o átomo é apenas um modelo, pois nunca foi visto, e suas características foram propostas com base na experimentação.

A experiência em sala de aula nos fez notar que, em virtude da abstração da disciplina, os alunos têm dificuldade de compreender alguns conceitos, fato aludido por Nakamatsu (2012). Aliada a esse fator, há uma resistência desses estudantes, em virtude de ser uma ciência mais complexa, que exige muita atenção a detalhes e informações interligadas. Ademais, existe a ideia de que aquilo que é ligado à química é ruim ou difícil. Santos *et al.* (2013) desenvolveram uma pesquisa sobre as dificuldades e motivações de estudantes para estudar química, evidenciando de que maneira as bases matemáticas interferem na compreensão dos conteúdos químicos. Essa constatação é reforçada por Silva (2013).

Diante disso, surgiu em nós uma inquietação sobre como poderíamos aumentar o interesse dos alunos pela disciplina. Desse modo, passamos a observá-los mais atentamente e a procurar maneiras de trazer para a disciplina atividades que pudessem transformar o olhar frente às questões relacionadas à química. Após tentativas e muitos estudos, lidos chegamos a dois pontos relevantes: a contextualização dos conteúdos, no sentido de apresentar situações do cotidiano, nas quais a explicação química auxiliava a instigar a curiosidade; e a utilização de atividades competitivas que aumentavam a atenção dos estudantes e a sua participação na aula.

No entanto, a maneira de realizar essa junção de ideias surgiu aos poucos, levando em consideração que o uso de recursos tecnológicos tem se estendido às tarefas cotidianas, de modo que não conseguimos dimensionar sua importância e extensão. A expansão da necessidade desse tipo de auxílio nas atividades diárias tem crescido, ao mesmo tempo que observamos estar cada vez mais atrelada às nossas necessidades.

A relevância dos recursos tecnológicos relaciona-se a alguns fatores que contribuíram para a sua divulgação, a saber: custo, funcionalidade e mobilidade.

Esses três fatores caminharam de mãos dadas e, mesmo com uma evolução inicial lenta, nos últimos anos, verificamos que esse processo se intensificou. Inicialmente, o computador era apenas utilizado por empresas e tinham tamanho descomunal; um único computador necessitava de uma sala inteira para ser acomodado, a velocidade de processamento de dados era muito lenta e não havia nenhuma mobilidade.

Depois de anos, a diminuição do tamanho e do custo permitiram que os computadores pudessem ser comprados para uso doméstico, os chamados *desktops* (computadores de mesa). No decorrer do tempo, surgiram os *notebooks* (computadores portáteis), com a mesma capacidade e funcionalidade dos anteriores, atreladas à mobilidade, antes inexistente.

Nos últimos anos, ocorreu um salto, devido ao surgimento de *tablets* e *smartphones*, nos quais é possível, por meio de aplicativos, acessar diversas funcionalidades, estar *on-line* em grande parte do tempo. Tudo isso com uma mobilidade sem igual, pois podem estar sempre à mão. Em razão disso, esses aparelhos são extremamente difundidos e, por conseguinte, os alunos do ensino médio, objeto de nosso estudo, dispõem dessas tecnologias e acabam utilizando-as em sala de aula.

A maioria deles tem acesso a computadores e à rede mundial de computadores, em casa, na escola e em seus *smartphones*; logo essa tecnologia é relativamente de fácil acesso. Por terem familiaridade com ela, é possível, mediante o seu uso, alavancar o interesse pela disciplina, além de favorecer o estudo de maneira dinâmica. Além disso, o desenvolvimento de novos métodos e estratégias dinâmicas de aprendizagem é um fator importante na educação. Segundo dados fornecidos pela pesquisa da TIC Kids Online Brasil (2019), 89% das crianças e adolescentes entre 9 e 17 anos acessam a internet por meio de celular e, na faixa etária entre 15 e 17 anos, essa porcentagem é de 99%.

A informática também auxilia a realização de experimentos, uma vez que inúmeras escolas ou não dispõem de um laboratório de química, ou ele se encontra completamente desestruturado. Nesse sentido, uma vantagem do uso de tecnologia é o fato de evitar acidentes a que os alunos estão sujeitos quando a realização do experimento não é realizada de forma virtual. Ademais, vale citar a quantidade de experimentos que não são realizados por periculosidade, por falta de equipamento, por custo ou falta dos reagentes.

Os *tablets* e *smartphones* são classificados como Tecnologia Móvel Sem Fio (TMSF), caracterizando-se como aparelhos utilizados para o *mobile learning*, ou *m-learning*. Essa modalidade de tecnologia é de fácil acesso, e os equipamentos podem ser utilizados pelos estudantes durante as aulas. Isso posto, é válido mencionar que, na pesquisa da TIC Kids Online Brasil (2019), apenas 47% dos alunos na faixa etária de 15 a 17 anos acessam a internet na escola.

Castells (2005) aborda a evolução de rede de forma eletrônica e econômica, além de citar a política educacional envolvida no processo de evolução tecnológica. Para tanto, é necessário aprender a aprender, estimulando tanto a criatividade quanto a inovação

O conteúdo de estequiometria química é um conceito-chave, revisitado em diversos momentos nos conteúdos posteriores. Ademais, é recorrente em provas de vestibulares e ENEM, o que é muito relevante, pois o foco desta pesquisa recai sobre alunos do ensino médio, próximos a realizar tais avaliações. Apesar da mencionada relevância, observo que meus alunos, bem como os de meus pares demonstram dificuldade de entender os conceitos e os cálculos que precisam ser desenvolvidos nos passos para resolução dos exercícios. Como já mencionamos, de acordo com Santos (2013) e Silva (2013), a utilização de cálculos é um impasse na aprendizagem de química, o que se verifica no conteúdo em questão.

Isso posto, o presente trabalho orientou-se pela seguinte pergunta-problema: Como a utilização de jogos pode auxiliar o aluno do ensino médio a compreender melhor os conceitos e cálculos de estequiometria química?

Não há como negar o fato de que os recursos tecnológicos fazem parte do cotidiano e, embora as Tecnologias Móveis Sem Fio (TMSF) estejam presentes em sala de aula, são mal utilizadas pelos alunos. Mais especificamente, eles se valem delas como distração, e não como ferramenta para auxiliar a assimilar o conteúdo.

Nesse sentido, o estudo da utilização da tecnologia em sala de aula torna-se importante, pois diferentes formas de tecnologias já estão disponíveis e presentes nesse ambiente. Logo, saber como utilizá-las é de grande valia para que as aulas decorram de forma ritmada, coerente e com mais um estímulo áudio/visual completamente interativo, que ajude os alunos a visualizar fenômenos químicos e físicos, bem como a compreender os conceitos dos conteúdos programáticos.

Salientamos que a pesquisa se desenvolveu durante a pandemia de covid-19. Com isso, evidenciou-se ainda mais a necessidade de incluir a tecnologia na sala de aula e de refletir sobre as mudanças que ocorrerão com o retorno das aulas presenciais.

A fim de dar prosseguimento ao estudo e construir o jogo, utilizamos, como elemento norteador, a *Design Science Research* (DSR), pois ela une o rigor da ciência tradicional à relevância da construção de um artefato que solucione o problema diagnosticado em sala de aula. (DRESCH *et al.*, 2015; HEVNER, 2007; SIMON, 1996)

Como objetivo geral, o trabalho visa a avaliar se os conceitos de estequiometria química poderiam ser mais bem compreendidos pelos alunos com o uso de um jogo. No que concerne aos objetivos específicos, destacamos: criar um jogo; identificar conceitos de estequiometria química para aplicação em um jogo; investigar a usabilidade do artefato gamificado projetado; e avaliar se o artefato auxilia na aprendizagem dos alunos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente, devemos considerar que os alunos são nativos digitais, termo cunhado por Marc Prensky (2010) para designar as pessoas que nasceram na era digital e que têm maior facilidade para lidar com determinados equipamentos, utilizando-os com desenvoltura. Como já dissemos, o intuito do presente estudo é desenvolver um trabalho que, com o auxílio de um jogo, auxilie os alunos a visualizar conceitos de química que, por serem muitas vezes abstratos, geram muitas dificuldades de compreensão. Desse modo, Prensky (2001) evidencia a importância de utilizar as tecnologias para auxiliar os alunos a aprender por si mesmos, e, nesse contexto, o professor é um guia para a construção do conhecimento.

As diferenças entre os imigrantes digitais e os nativos digitais são muitas e podem ser observadas no Quadro 1. No contexto escolar, consideram-se os alunos como nativos digitais, e os professores e gestores como imigrantes digitais, por terem idade mais avançada (TEZANI, 2017).

Quadro 1: Diferenças entre imigrantes digitais e nativos digitais

Imigrantes Digitais	Nativos digitais
Livros	Internet e jogos
Textual	Visual
Raciocínio lento	Raciocínio rápido
Método	Tentativa e erro
Ordem	Acesso randômico
Uma coisa por vez	Multitarefas
Teoria	Prática
Aprendizado individual	Aprendizado colaborativo

Fonte: Adaptado de Tezani (2017).

Assim, para que a aprendizagem possa ocorrer, é necessário diálogo entre esses dois extremos. Essa ideia foi reformulada por Prensky (2012), da qual emergiu o termo sabedoria digital referindo-se à sabedoria e aos conhecimentos adquiridos a partir das tecnologias digitais e à sua utilização para melhorar habilidades cognitivas. Há, portanto, a interação do indivíduo com a tecnologia.

Segundo a teoria interacionista, tanto o meio quanto a interação entre as pessoas interferem no seu desenvolvimento. Logo é extremamente importante usar a tecnologia, tão presente no cotidiano dos alunos, para fins acadêmicos. Neste trabalho, como já dissemos, o foco recai sobre o ensino de química, pois nela se mobiliza grande quantidade de modelos teóricos e comprovações práticas de difícil obtenção em laboratórios escolares (VYGOTSKY, 1997).

Para a análise da gamificação é necessário retornarmos as abordagens teóricas do construtivismo e do construcionismo difundidas respectivamente por Piaget e Papert.

Segundo Piaget (1976), a criança é um ser pensante, que constrói suas estruturas cognitivas. Tal construção se dá pela maturação biológica dos seres humanos em contato com o meio. Dessa forma, ocorre um desenvolvimento de estágios de acordo com a faixa etária dos alunos e, em cada estágio, eles assimilam e acomodam conhecimento.

Embora Papert (1986) concorde com o pensamento de construção cognitiva apresentado por Piaget, no construcionismo, tenta-se atingir o máximo de aprendizagem autônoma do aluno por meio da interação com um computador. Nele, o estudante pode testar suas hipóteses e analisar a resposta daquela ação. Assim, entra-se em contato com as questões abstratas e concretas do processo ensino-aprendizagem. Na década de 1980, esse teórico desenvolveu a primeira linguagem computacional para crianças, denominada LOGO. sendo isso desenvolvido na década de 80. Nas palavras de Maltempo (2005, p.3), “ao conceito de que se aprende melhor fazendo, o Construcionismo acrescenta: aprende-se melhor ainda quando se gosta, pensa e conversa sobre o que se faz”.

O computador passa a ser uma ferramenta muito útil, pois permite a interação entre aluno-objeto, aluno-aluno e aluno-professor. Por conseguinte, o aprendizado torna-se dinâmico, e o professor figura como tutor da troca de informação entre pares, e deles com o objeto de estudo. Com isso, cada aluno tem a possibilidade de interagir de forma única com o objeto de aprendizagem.

Ligada à ideia do construcionismo está a aprendizagem criativa. Trata-se de um conceito de grande relevância uma vez que, com o aumento da facilidade de acesso a informações, o ato de decorar informações torna-se cada dia mais obsoleto. Diante disso, é preciso estimular os estudantes a pensar em soluções inovadoras para a resolução de problemas. Esse conceito norteia-se pelos

chamados 4 P (pares, projetos, paixão e pensar e compartilhar) e pela espiral, segundo a qual, há momentos de imaginar, criar, brincar, compartilhar e refletir. O processo se repete e, a cada ciclo completo, aumenta-se a complexidade das informações trabalhadas sobre determinado objeto de aprendizagem. Resnick (2017) reitera os 4 P da aprendizagem criativa.

Uma aplicação e importância do uso da aprendizagem criativa foi apresentada no trabalho de Burd (2007), idealizador da Rede Brasileira de Aprendizagem Criativa. Neste trabalho ele apresenta um caso, no qual, um aluno de 13 anos, de baixa renda, passa a ter acesso a equipamentos com os quais realiza testes de qualidade da água fornecida nas casas da comunidade na qual mora, e realiza ao final a conscientização da comunidade sobre a importância de ferver a água antes de beber.

Ademais, a aprendizagem precisa ter significado para o aluno. Esse conceito foi apresentado Ausubel (1968) e muito bem explicado por Moreira (2011, p. 26), que assim a define:

Aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito. Para Ausubel (1968, p. 58), a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de idéias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento. (Moreira, 2011, p.26)

Esse tipo de aprendizagem exige comprometimento de todos os envolvidos, cabendo a cada um a realização de sua parte no processo como um todo. Para o seu êxito, pressupõem-se dois requisitos essenciais: a elaboração e o uso de material de aprendizagem potencialmente significativo; e a disposição proativa do aprendiz a relacionar o novo conteúdo à sua estrutura cognitiva, de maneira substantiva, não arbitrária e não literal.

A partir das evidências práticas e dos indícios apontados na literatura, observei que o engajamento do aluno poderia ter um ganho significativo por meio da gamificação, beneficiando sua aprendizagem. Segundo Deterding *et al.*, (2011, p.1) gamificação “é o uso de elementos de design de jogos para um contexto de não-jogo”, no caso como ferramenta para facilitar a aprendizagem.

Trata-se, portanto, de uma ferramenta que pode ser utilizada em concomitância com os conceitos citados anteriormente nesta seção, para que possamos auxiliar os alunos a inovar a resolução de problemas. Os jogos tem sido alvo de estudos com vistas a verificar o quanto essa ferramenta pode ser utilizada para fins educacionais, engajando e motivando os estudantes. Essa pode ser uma forma de permitir a autonomia do aluno ao interagir com o objeto de aprendizagem, desenvolvendo sua própria assimilação e acomodação dos conhecimentos. Para tanto, a narrativa é de grande valia, pois mantém o aluno engajado e motivado, estimulando-o a continuar a interação com o objeto.

Levamos em conta algumas características para desenvolvimento de um jogo que fosse interessante ao usuário. Chou (2019) estudou por mais de uma década, até conseguir desenvolver um *framework* com o qual é possível analisar e construir estratégias de engajamento. Para o desenvolvimento do “Gincana” e do “Geração água”, Arnold, Santos e Barbosa (2020) consideraram o *framework* Octalysis de Chou (2019), visando a determinar os elementos necessários ao jogo. No quadro 2, é possível visualizar as funcionalidades do jogo e a qual núcleo do *framework* ele corresponde. Seguindo esses núcleos, podemos auxiliar o engajamento e a motivação dos alunos no sentido de continuar avançando e, conseqüentemente, estudando e compreendendo alguns conceitos químicos.

Quadro 2 : Relação entre as funcionalidades do jogo e a qual núcleo do *framework* Octalysis de Chou (2016) ele corresponde.

Funcionalidade	Núcleo
<i>Dashboard</i>	Imprevisibilidade, Perda e Escassez
Perfil do usuário	Fortalecimento, propriedade e posse e realização
Pontos, medalhas, selos e placar	Fortalecimento, perda e realização
Espaços, grupos e seguidores	Social e relacionamento
Atividades, desafios e missões	Significado, fortalecimento, imprevisibilidade e escassez

Fonte: Elaboração própria.

A motivação e o engajamento dos alunos podem ser desenvolvida de forma intrínseca e/ou extrínseca. Na primeira, estão os núcleos de: relações sociais, mantido pelos amigos e pelos seguidores; significado, presente pelo elemento de

heroísmo; perda, observado por meio do progresso do usuário e do seu número de seguidores; fortalecimento, obtido pelos níveis e pelo *feedback*; e imprevisibilidade, relacionado aos desafios, missões e recompensas aleatórias. Já na segunda, encontra-se o núcleo de recompensa, ao qual se submetem os núcleos de: realização, observado pelo elemento de ponto, progressão, medalhas e *ranking*; propriedade e posse, mantido pelos elementos do perfil e dos bens virtuais; e escassez, ligado, tal como o núcleo de imprevisibilidade, aos elementos de desafios, missões e recompensas aleatórias. (ARNOLD, SANTOS; BARBOSA, 2020).

Segundo Busarello (2016), as narrativas são muito importantes para o desenvolvimento e engajamento do jogo, pois, nesse contexto, diferentemente da literatura e dos filmes, os alunos podem mover e dominar o personagem, aumentando o engajamento. Além da narrativa, o autor considera que os alunos precisam ser desafiados, porém cabe ao desenvolvedor dosar esses desafios, a fim de que o aluno se mantenha interessado em continuar a história. Assim, dividir uma tarefa mais complicada, para que o aluno, mesmo com dificuldade, consiga executá-la, tem se mostrado mais eficaz do que uma tarefa complicada e de difícil execução, que pode desestimular o estudante.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa foi conduzida conforme o paradigma da *Design Science Research*, doravante DSR. Trata-se de uma metodologia aplicada que considera tanto o rigor da pesquisa científica quanto a relevância dos seus resultados para o ambiente ao qual ela foi idealizada, com vistas à instanciação de um artefato a ser utilizado na resolução de algum problema (DRESCH, 2015). Segundo Hevner (2004), o paradigma da DSR estende os limites humanos e as capacidades organizacionais a fim de criar artefatos inovadores que resolverão algum problema detectado na organização. Ademais, o autor afirma que o conhecimento e o entendimento do problema são muito importantes para que a solução seja obtida mediante a construção e aplicação desse artefato.

Segundo Dresh (2016), a DSR origina-se da necessidade de orientar a pesquisa à condução de estudos de projetos, construção de artefatos e de resolução de problemas, diferentemente da ciência tradicional, que visa a explicar e a descrever fenômenos.

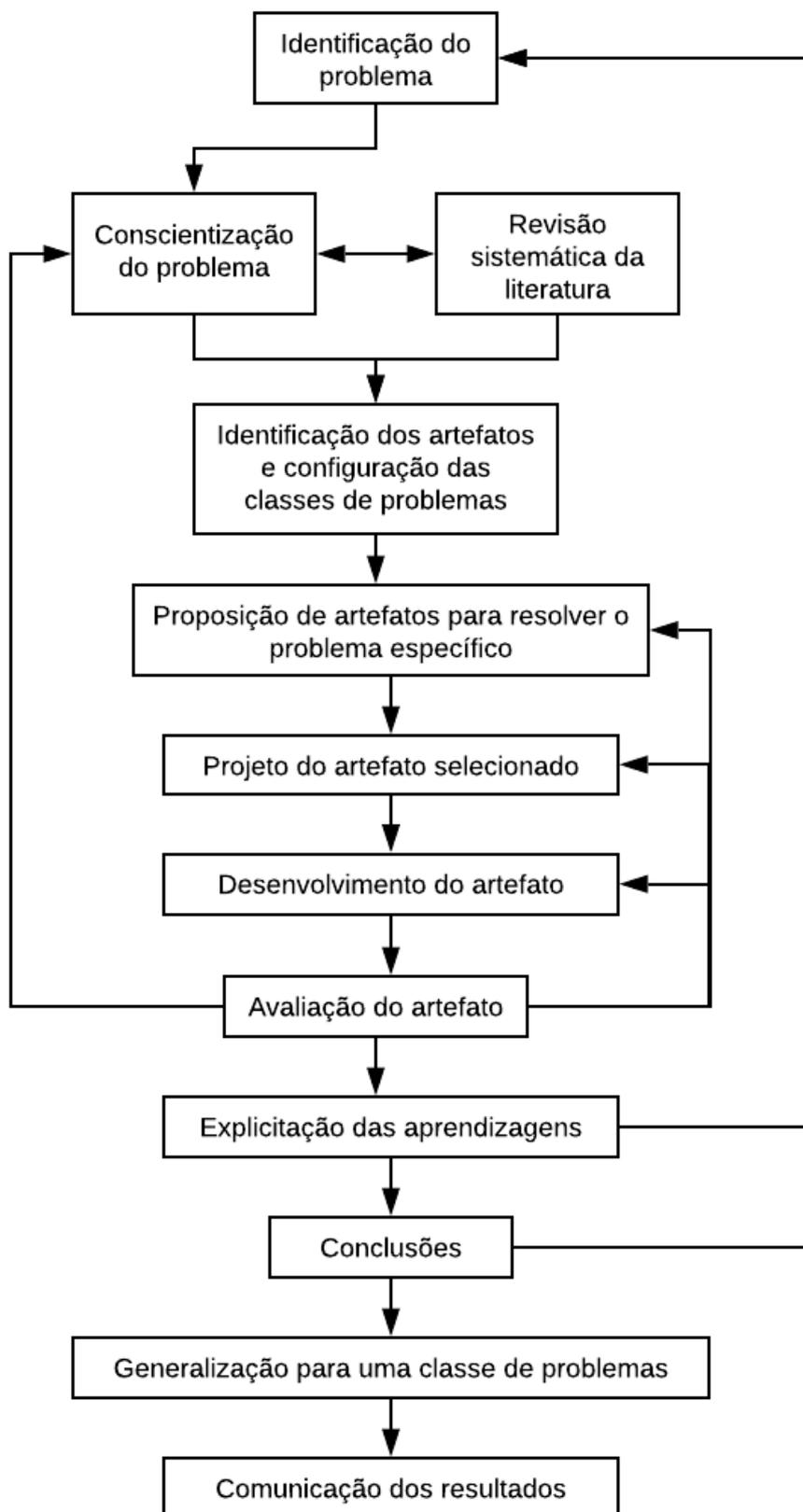
Para a construção do jogo “Investigação Estequiométrica”, seguiram-se as etapas preconizadas por esse paradigma. Os descritivos dessas etapas encontram-se no decorrer desta e das próximas seções.

Inicialmente, identificamos o problema e nos conscientizamos dele. Nesta pesquisa, a detecção ocorreu durante a prática profissional, ao verificar alguns temas, de difícil compreensão para os estudantes, que são pré-requisitos para outros conteúdos e muito cobrados nos vestibulares.

Por essa razão, escolhemos o conteúdo de estequiometria para a construção do artefato, considerando que a sua resolução se dá por meio de cálculos matemáticos, o que também faz com que os alunos tenham mais dificuldade de compreender. De acordo com Mendonça (2019), 85% dos alunos que participaram de sua pesquisa sentiram algum tipo de dificuldade nesse conteúdo. Ademais, o estudo revelou que a sua complexidade está associada ao fato de ele abranger três níveis de representação da química (macroscópico, simbólico e submicroscópico).

Na Figura 1, observamos as etapas da DSR e os possíveis ciclos que ocorrem no desenvolvimento da pesquisa sob esse paradigma.

Figura 1: Etapas da DSR



Fonte: Adaptado de Dresch *et al.* (2016).

Silva (2013) enfatiza o quanto esse modelo torna o aluno passivo no processo de ensino-aprendizagem e vai de encontro à Base Nacional Comum Curricular (BNCC). No documento, a competência e as habilidades relacionadas a esse conteúdo são:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis (BNCC, 2017,p.557)

Nas habilidades EM13CNT101 e EM13CNT102, observamos que a BNCC já menciona a inclusão de aplicativos digitais, com vistas a auxiliar os estudantes nos cálculos e na produção de signos para assimilação do conteúdo. Na habilidade EM13CNT104, mencionam-se as questões referentes à avaliação da composição, toxicidade e reatividade dos produtos, bem como dos riscos que essas substâncias podem ter sobre a saúde. Essas habilidades nos serviram de base para a ideia inicial de elaborar um jogo a ser utilizado como ferramenta de auxílio na aprendizagem de estequiometria química e também a própria narrativa do jogo.

Segundo Pereira e Ferreira (2017), um dos problemas das ciências é ensinar os alunos de hoje utilizando ferramentas antigas. Como ferramenta de engajamento e motivação, os autores apresentam a gamificação. Santos, Janke e Stracke (2020) estudaram a motivação e engajamento por meio do uso de *quiz*. Desse modo, a proposta de utilizar um jogo como ferramenta do processo de ensino-aprendizagem foi pensada por engajar e motivar os educandos a estudar o conteúdo em questão,

que causa muita dificuldade. então a proposta torna-se de avaliar a aprendizagem dos alunos com a utilização do artefato que será produzido.

No que concerne aos tópicos de estequiometria química, abordamos os seguintes: massa molar de elementos químicos e de substâncias químicas; cálculo estequiométrico mol-mol e cálculo estequiométrico massa-massa. A opção se deu em virtude de serem os primeiros aplicados aos alunos. Além disso, a introdução de mol é um conceito complexo para os alunos.

A massa molar é relacionada com a massa atômica visualizada na tabela periódica – por exemplo, o hidrogênio que tem massa atômica de 1u – e ao transformarmos essa massa para a quantidade de 1 mol de hidrogênio passamos a ter 1g/mol. Transformando a unidade de u (unidade de massa atômica) – algo extremamente pequeno – para a unidade de g (gramas) – uma unidade que conseguimos manipular no nosso cotidiano e, dessa forma, trabalhar as reações químicas – ao realizar uma reação, poderemos quantificar os reagentes e impedir perdas nas reações. Com isso, evitam-se perdas financeiras e/ou ambientais.

A massa molar das substâncias químicas envolve a quantidade de átomos de cada elemento químico presente em uma substância. Por exemplo, a massa molar da água, cuja fórmula química é H_2O , apresenta dois átomos de hidrogênio para cada átomo de oxigênio. Sabendo-se que a massa atômica do hidrogênio é 1u e tem dois átomos de hidrogênio, totalizamos 2u de hidrogênio. A essa massa é somada a massa relacionada ao oxigênio. Uma vez que a massa atômica do oxigênio é 16u, somada aos 2u do hidrogênio, chegamos as 18u da massa da molécula da água. Ao relacionarmos que, em vez de termos uma molécula de água, tivermos um mol de água, trocamos a unidade de medida e temos 18g de água.

O cálculo estequiométrico mol-mol relaciona a quantidade de mols necessários de cada reagente em uma reação química com a quantidade em mols que será gerada de cada um dos produtos da reação química, sendo que essa relação é sempre proporcional. Por exemplo, na reação: $Fe + 3 O_2 \rightarrow 2 Fe_2O_3$, temos que os valores presentes na frente de cada uma das substâncias correspondem ao número de mols necessários para que a reação química ocorra. Esse número é conhecido com coeficiente estequiométrico. Nesse exemplo, temos que é necessário 1 mol de Fe para reagir com 3 mols de O_2 para produção de 2 mols de Fe_2O_3 . Caso a quantidade de Fe dobre, ou seja, de 1 mol passe para 2

mols, essa proporção será mantida com todas as substâncias existentes na reação, ou seja, ao termos 2 mols de Fe, serão necessários 6 mols de O₂ para a produção de 4 mols de Fe₂O₃.

O cálculo estequiométrico massa-massa tem a mesma interação anterior, mas essa proporção passa a considerar a massa de cada uma das substâncias, em vez do número de mols. Por exemplo, na reação: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, associamos cada relação às massas envolvidas, isto é, 2g de H₂ reagem com 16g de O₂ produzindo 18g de água; caso seja utilizado apenas 1g de H₂ na reação, as massas de todas as substâncias envolvidas também cairão pela metade, pois a proporção deve ser mantida, logo 1g de H₂ reage com 8g de O₂ produzindo 9g de água.

Essas relações proporcionais, por mais que sejam trabalhadas desde o ensino fundamental com os alunos, ao serem inseridas no contexto químico, geram dificuldade, no sentido de associar a proporção já trabalhada ao contexto da reação química. Geralmente, esse conteúdo lhes é apresentado do modo como explanamos anteriormente, no qual é preciso realizar cálculos. No entanto, não se faz uma contextualização e, com isso, os estudantes passam a efetuar mecanicamente os cálculos, muitas vezes, sem compreender os conceitos. Essa mecanização, utilizando regras, fórmulas e nomenclaturas, sem contextualizá-las, acaba desmotivando consideravelmente os alunos (DA COSTA; DA TRINDADE SOUZA, 2013).

A próxima etapa foi a revisão sistemática da literatura. Trata-se de um momento de extrema importância para avaliar quais pesquisas têm sido produzidas na área de interesse. Assim, é possível tomar conhecimento da relevância do tema e obter subsídios para conduzir um trabalho inédito ou que colabore com estudos em andamento. Esse tópico está detalhado na seção 4, pois o levantamento auxiliou diretamente os encaminhamentos das próximas etapas do trabalho. Nele, definimos que o jogo seria disponibilizado de forma *on-line* com acesso via computador ou navegador de *smartphone* ou *tablets*, devido às dificuldades de acesso a aplicativos, ocasionadas pelo sistema operacional dos celulares. Diante disso, a opção pela modalidade *on-line* não seria um problema, uma vez que aumentaria as possibilidades de uso.

A etapa de identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas é detalhada na subseção 4.2, na qual relatamos o levantamento de produtos de mercado. Na ocasião, observamos diversos simuladores, entretanto

poucos jogos destinavam-se ao ensino de química. Além disso, muitos precisavam do auxílio e da explicação prévia do professor para que o aluno conseguisse utilizar as aplicações, pois não havia explicação inicial. Esse levantamento permitiu a identificação das classes de problemas a serem focadas. Acerca delas, reiteramos que a aprendizagem de estequiometria química é o foco. Para que isso ocorra, é essencial que a narrativa seja envolvente e que a mecânica de jogo favoreça a aprendizagem dos conceitos.

A etapa de proposição, projeto e desenvolvimento de artefatos delineou-se a partir da identificação do problema, bem como do levantamento dos trabalhos desenvolvidos até o momento e dos produtos disponíveis no mercado. Dessa maneira, foi possível propor alternativas para que haja um produto a ser desenvolvido ou aperfeiçoado, com vistas a resolver o problema apresentado inicialmente.

Com base nas propostas, analisamos qual seria mais viável, qual o contexto de atuação, como seria a aceitabilidade dos usuários, entre outras possíveis variáveis, sempre considerando a realidade. E assim se iniciou a produção do artefato propriamente dita. Vale ressaltar que o projeto incluiu a descrição de todos os procedimentos para a construção e avaliação, garantindo o rigor da pesquisa. Ainda com relação ao desenvolvimento do artefato, o projeto bem realizado o torna menos difícil, visto que prevê quais seriam os melhores caminhos para sua conclusão.

Salientamos que as etapas de projeto e desenvolvimento do artefato sofreram constantes alterações no decorrer dos ciclos avaliativos, visando a promover a melhoria constante do artefato até obter-se a versão final. A seção 5 deste trabalho focaliza o processo utilizado para o desenvolvimento do “Investigação Estequiométrica”.

No que tange à avaliação, sua função é possibilitar que o desenvolvedor detecte as melhorias necessárias para o aperfeiçoamento, além de observar e medir o comportamento do artefato na solução do problema. Também na seção 5, mostramos como foi realizada a avaliação deste trabalho, para a qual utilizamos um questionário com a escala Likert, apresentada por Joshi *et al.* (2015). Trata-se de uma forma de quantificar preferências cognitivas, afetivas e psicomotoras de maneira validada e confiável, seguida por um grupo focal.

O grupo focal é uma técnica de grande valia para apoiar o desenvolvimento, refinamento e evolução do produto final. Ele pode ocorrer em grupos de 6 a 12 pessoas, nos quais se discute determinado assunto, sob a direção de um moderador. Existem algumas razões para se escolher esse método: o seu formato aberto e flexível possibilita a obtenção de muitos dados relevantes; o moderador pode direcionar a interação dos participantes, permitindo o esclarecimento de questões relacionadas ao desenvolvimento do artefato; o grupo focal gera muitos *feedbacks* sobre o artefato; o método oportuniza o surgimento de ideias e opiniões que normalmente não surgiriam em entrevistas individuais (STEWART *et al.*, 2007).

Tremblay *et al.* (2010) adaptam o grupo focal para a DSR, delimitando etapas importantes utilizadas neste trabalho: o problema a ser pesquisado foi designado e especificado em cada ciclo de avaliação, mas os participantes podiam relatar qualquer erro encontrado na programação; o número de grupos focais, o número de participantes e a escolha deles são três importantes passos para identificar a amostra; o roteiro de grupo focal foi pré-estabelecido, mas flexível de acordo com as respostas obtidas em um pré-teste; a condução do grupo focal; a análise e interpretação dos dados; a explicitação dos resultados.

As etapas de explicitação das aprendizagens e de conclusão são apresentadas na seção 6. Nela, explicitamos os resultados obtidos, as decisões tomadas durante a execução, suas análises e os pontos de sucesso e insucesso.

Por fim, a etapa de generalização para uma classe de problemas e comunicação dos resultados permite que as aprendizagens e o conhecimento da DSR sejam dissipados, comunicando ao público interessado os resultados da pesquisa. Ademais, espera-se que eles possam gerar avanço das técnicas e das resoluções dessa classe de problemas, contribuindo para o avanço científico.

4 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta seção, abordamos as questões relativas aos levantamentos de dados de literatura e de produtos disponíveis de forma *on-line* que utilizam a gamificação como ferramenta de aprendizagem. Com isso, buscamos compor o estado da arte do objeto de estudo. Esse procedimento é essencial para certificar a relevância da pesquisa proposta, bem como verificar o que já existe no mercado, a fim de construir a melhor abordagem e aplicação do jogo em ambiente escolar.

Os *smartphones* podem ser utilizados para a melhoria do aprendizado, por meio do uso de aplicativos. Estes últimos, por sua vez, podem facilitar a compreensão de conceitos químicos e incentivar o estudo dos alunos, uma vez que envolvem um método diferente, mediante uma tecnologia com a qual já estão familiarizados.

Nichele e Schelemmer (2013) relatam que, entre maio de 2012 e maio de 2013, houve um aumento significativo da quantidade de aplicativos relacionados à química na *AppStore* – loja virtual de aplicativos para o sistema *iOS*. Contudo, a quantidade de aplicativos em língua portuguesa e com *download* gratuito era muito escassa. Em 2014, as mesmas autoras publicaram a continuação do trabalho, no qual relatam a quantidade verificada entre maio de 2012 e maio de 2014. Na ocasião, constatou-se um aumento de 122% na quantidade de aplicativos entre as datas mencionadas, para os dispositivos com sistema *iOS*. Além disso, o aumento de aplicativos de *download* gratuitos foi de 158%. Esses números permitem verificar o potencial desse tipo de dispositivo. Entretanto, nem sempre os aplicativos disponibilizados em um sistema operacional têm a sua versão em outros sistemas operacionais, o que limita um pouco o seu uso.

Esses equipamentos podem ser utilizados de forma muito benéfica, visto que possibilitam a compreensão dos alunos acerca de alguns conceitos químicos. Eles também incentivam o estudo.

No ambiente escolar, o uso de computadores pode facilitar as aulas mediante apresentações de imagens e vídeos, além de simuladores. Ademais, esses recursos podem ser acessados pelo *browser* nos *smartphones*.

Muitos trabalhos, como os de Nichele e Schlemmer (2014), Ramos (2012), Fahl *et al.* (2013) e Jacon *et al.* (2014), questionam o uso desses equipamentos e a forma

como os professores vêm sendo formados. Os pesquisadores indicam que deve haver mudança na prática de ensino e na formação docente, a fim de que as novas tecnologias possam ser utilizadas de forma benéfica à aprendizagem, sem promover a diminuição no foco da aula.

Para tanto, é de extrema importância que o professor esteja envolvido e familiarizado com essas tecnologias, possibilitando o aproveitamento desses recursos. Um dos desafios evidenciados pelos educadores refere-se à integração entre os recursos tecnológicos e a prática de ensino. O ideal seria que os professores e os alunos não fossem apenas consumidores de tecnologia, mas que se tornassem produtores de conhecimento e cultura ao utilizar a tecnologia como ferramenta.

Jacon *et al.* (2014) evidenciam essa questão em trabalho publicado. Nele, os autores abordam como os cursos devem incluir, em sua grade curricular, disciplinas que habilitem os futuros docentes a trabalhar com essas tecnologias. Nichele e Schlemmer (2014) sugerem a necessidade de os educadores atribuírem sentido e significado ao uso de tecnologia no processo de aprendizagem do aluno, a fim de que a inovação realmente melhore o aprendizado.

Segundo Real *et al.* (2013, p.664),

A tarefa de formar professores para utilizar as TIC, muitas vezes, não consegue preparar esses profissionais para o desafio que seu uso, em sala de aula, representa. A formação continuada dos professores para o uso das tecnologias está comprometida em evidenciar a necessidade de mudar o foco do processo do ensino para a aprendizagem, mostrando que professores e alunos não são agentes antagônicos no processo, mas parceiros na busca de soluções e construção de conhecimentos.

Torna-se necessário, portanto, que os profissionais sejam devidamente apresentados a essas tecnologias e treinados de modo que possam interagir de maneira natural com essas TICs, mostrando aos educandos formas de utilizá-las para fins pedagógicos. Partindo dessa premissa, temos a proposta de uso da gamificação para atrair os alunos. Mais especificamente, a atividade visa a auxiliá-los a visualizar os fenômenos estequiométricos e a mantê-los interessados, contribuindo, dessa forma, para a aprendizagem dos conceitos.

4.1 Revisão sistemática de literatura

Nesse momento, buscamos trabalhos que nos ajudassem a responder à seguinte pergunta-problema: “quais são as características dos estudos já publicados sobre trabalhos que utilizaram alguma forma de gamificação para a aprendizagem de química”. Para selecioná-los, valemo-nos de alguns parâmetros, explicados por cada etapa. Vale ressaltar que esse mecanismo foi replicado nas buscas, a fim de não haver conflito nos resultados obtidos.

Na primeira etapa, definimos as bases de dados. Elas foram selecionadas em virtude de apresentar dados relevantes para educação, tecnologia e química, bem como de possibilitar o acesso domiciliar, uma vez que este trabalho foi conduzido durante a pandemia do novo coronavírus. Por essa razão, não foi possível acessar as bases disponibilizadas pela universidade. Considerando esses aspectos, optamos pelas seguintes: Google acadêmico, Web of Science (WOS), Science Direct, Scielo, Periódicos Capes, Education Resources Information Center (ERIC).

Definidas as bases de dados, passamos para a segunda etapa, na qual delimitamos os termos de busca e a seleção dos critérios para inclusão dos artigos na revisão sistemática. A inclusão desses termos deu-se a partir de buscas preliminares e, uma vez determinados, foram utilizados nas demais. Vale ressaltar que, inicialmente, inserimos os termos em português, porém algumas bases de dados não mostraram resultados. Diante disso, optamos por utilizá-los em inglês. Ademais, nas buscas preliminares, tentamos adicionar o termo Design Science Research (DSR), entretanto não encontramos nenhum arquivo e, por essa razão, decidimos retirá-lo.

Em português, utilizamos: (GAMIFICAÇÃO OU JOGO) AND (QUÍMICA) AND (APRENDIZAGEM) AND (“ENSINO MÉDIO”). Já em inglês, utilizamos: (GAMIFICATION OU GAME) AND (CHEMISTRY) AND (LEARNING) AND (“HIGH SCHOOL”)

A busca retornou muitos textos, o que nos fez limitar os trabalhos aos últimos 5 anos, ou seja, entre 2016 e 2020, considerando as aplicações e os recursos mais recentes. Além disso, optamos por manter artigos publicados em jornais, revistas e anais de congressos, retirando dissertações, livros ou capítulos de livros. Com relação aos artigos, desconsideramos aqueles que apenas faziam um levantamento

de *games* já presentes no mercado, exceto se os jogos foram aplicados em um contexto educacional para avaliação de eficiência como objeto digital de aprendizagem (ODA) ou como objeto motivador e engajador.

Após a utilização das expressões booleanas em português, encontramos 522 arquivos. Já em inglês, localizamos 1.251 arquivos. Desse total, dispensamos as dissertações e capítulos de livros, como já dissemos, e, depois de verificar título, resumo e palavras-chave, chegamos a 99 artigos. Entretanto, ao realizar uma leitura mais minuciosa, constatamos que muitos não se enquadravam nas categorizações pré-determinadas e que alguns textos estavam repetidos. Dessa forma, obtivemos um número final de 24 artigos que se enquadravam no cenário de aprendizagem de algum fenômeno ou conceito químico por meio de uma atividade gamificada. Na Tabela 1, encontram-se as expressões utilizadas nas buscas e o número de artigos obtidos em cada um dos bancos de dados em português. Vale destacar o número significativo de textos encontrados nas bases de dados do Google acadêmico e nos Periódicos da Capes. Nas outras plataformas, não localizamos nenhum artigo que se relacionasse aos parâmetros e, por essa razão, decidimos realizar a busca pelas booleanas no idioma inglês, obtendo os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 1: Número de artigos obtidos após a busca de cada um dos critérios de seleção em cada uma das bases de dados

Base de dados	identificado em busca "gamificação"	menciona "química"	menciona ensino médio	Menciona aprendizagem	entre 2016 e 2020	Em forma de artigos de periódicos e anais de congresso	selecionando revisão por pares de títulos e resumos	Seleção após leitura dos artigos
Google acadêmico	6280	2220	789	789	520	519	50	15
Periódicos Capes	160	4	4	3	3	3	3	3
SciElo	0	0	0	0	0	0	0	0
WOS	2	0	0	0	0	0	0	0
ERIC	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6442	2224	793	792	523	522	53	18

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2: Número de artigos obtidos após a busca de cada um dos critérios de seleção em cada uma das bases de dados

Base de dados	identificado em busca "gamification"	menciona "chemistry"	Menciona "high school"	Menciona "learning"	entre 2016 e 2020	em forma de artigos de periódicos e anais de congressos	selecionando revisão por pares de títulos e resumos	Seleção após leitura dos artigos
ERIC	124	2	2	2	2	1	0	0
Google acadêmico	61200	4370	1800	1790	1240	1200	37	9
Periódicos	8393	213	63	59	48	47	6	2
Capes	0	0	0	0	0	0	0	0
SciElo	0	0	0	0	0	0	0	0
Science Direct	2	0	0	0	0	0	0	0
WOS	256	3	3	3	3	3	3	3
Total	69975	4588	1866	1854	1293	1251	46	14

Fonte: Elaboração própria.

Após selecionar os artigos que constam desta revisão, além das expressões booleanas e das condições previamente citadas, os estudos foram categorizados com a finalidade de extrair informações sistemáticas sobre a sua condução e evidenciar os cenários de aprendizagem abordados. As categorias, decorrentes da metodologia e da condução da pesquisa, bem como dos assuntos selecionados, são: proposta da pesquisa, conteúdo educacional, país do autor principal, instituição do autor principal, método utilizado, características da amostra, características das atividades de aprendizagem, tecnologia de interação e tipos de resultados obtidos (qualitativo, quantitativo ou qualitativo e quantitativo).

Iniciamos a análise dos artigos selecionados verificando os países dos autores principais. Dos 24 trabalhos selecionados, 14 quatorze foram publicados por autores principais que atuam em países sul-americanos (sendo 13 no Brasil e 1 da Colômbia); 7 em países asiáticos (sendo 3 na Indonésia, 2 em Taiwan, 1 no Egito e 1 em Singapura); 2 nos Estados Unidos da América e 1 em Portugal. Isso evidencia o interesse de brasileiros e asiáticos em publicar trabalhos para o desenvolvimento dos produtos gamificados como ferramentas de aprendizagem no ensino de química. No Quadro 3, é possível visualizar quais são os autores e o respectivo país do autor principal.

Quadro 3: Distribuição dos 24 trabalhos pela proposta

Autor	Instituição	País	Proposta
Costa, C. H. C.; Dantas Filho, F.F.; Moita, F. M. G. S. C.	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte	Brasil	Compreensão do conteúdo
Lutfi, A.; Hidayah, R.; Hidayah, I.A.	Universitas Negeri Surabaya	Indonesia	Compreensão do conteúdo
Mellora, K. E.; <i>et al.</i>	Yale University	USA	Compreensão do conteúdo
Moreno, J.; Murillo, W.J.	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	Compreensão do conteúdo
Mota, F.G., <i>et al</i>	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Brasil	Compreensão do conteúdo
De Melo Santos, C.E.M.; Leite, B.S.	Universidade Federal Rural de Pernambuco	Brasil	Compreensão do conteúdo
Silva, G.M.L; Netto, J.F.M.; Souza, R.H.	Universidade Federal do Amazonas	Brasil	Compreensão do conteúdo
Ortiz, J.O.S.; Dorneles, A.M.	Universidade Federal do Rio Grande	Brasil	Cooperação dos alunos
Santana, T. S.; <i>et al.</i>	Instituto Federal Goiano	Brasil	Entretenimento
Brown, C.L.; <i>et al</i>	Drexel University	USA	Levantamento
Sande, D; Sande, D	Universidade federal de minas gerais	Brasil	Método avaliativo
Chen, m.; Liao, B.	National Taiwan Normal University	Taiwan	Motivação e engajamento
Su, C.; Cheng, T	Shu-Te University	Taiwan;	Motivação e engajamento
Costa, T.C.M; Da Silva Oliveira, I.P.; Dos Santos, L.M.	Secretaria de Educação do Estado da Bahia	Brasil	Motivação e engajamento
De Oliveira, A.F.C; Gomes, A.C.N	Universidade do Estado do Amazonas	Brasil	Motivação e engajamento
Koh, SBK ; Fung, FM	National University of Singapore	Singapura	Motivação e engajamento
Pereira,S.L.P.O.; Ferreira, G.R.A.M	Centro de Referência Ensino Médio com Intermediação Tecnológica	brasil	Motivação e engajamento
Purba, L.S.L.; <i>et al.</i>	Universitas Kristen Indonesia	Indonesia	Motivação e engajamento

Santos, A.V.; Janke, L.C.; Stracke, M.P.	Universidade Regional Integrada do Alto Uguai e das Missões	Brasil	Motivação e engajamento
Silva, D.A., <i>et al.</i>	Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)	Brasil	Motivação e engajamento; Cooperação dos alunos
Ahmed, M.E.; Hasegawa, S.	South Valley University	Egypt	Qualificantes do produto
Tolle, H., <i>et al.</i>	Brawijaya University	Indonésia	Qualificantes do produto
Vieira, E.A.;Silveira, A.C.; Martins, R.X.	Universidade Federal de Lavras	Brasil	Qualificantes do produto
Soares, H.; Aikes, J.; Mourato, F.	Polytechnic Institute of Setúbal,	Portugal	Qualificantes do produto; Motivação e engajamento

Fonte: Elaboração própria.

Nesse quadro, também observamos a principal proposta dos pesquisadores ao aplicar as atividades gamificadas. Assim, constatamos que: 7 trabalhos tencionavam auxiliar o aluno a compreender o conteúdo, embora alguns fossem qualitativos, isto é, apenas relatavam a percepção do estudante, e não o quanto ele conseguiu compreender (COSTA, DANTAS FILHO, MOITA, 2017; LUTFI, HIDAYAH, HIDAYAH, 2019; MELLORA, *et al.*, 2018; MORENO, MURILLO, 2018; MOTA, *et al.*, 2017; SILVA, MAGALHÃES NETTO, SOUZA, 2016; DE MELO SANTOS, LEITE, 2019); 4 artigos apresentaram estudos referentes a qualificantes do jogo (AHMED, HASEGAWA, 2019; TOLLE, 2020; VIEIRA, SILVEIRA, MARTINS, 2018; SOARES, AIKES, MOURATO, 2018) ; 2 trabalhos objetivavam a cooperação e a interação entre os alunos (ORTIZ, DORNELES, 2018; SILVA, *et al.*, 2016); 1 estudo verificou o uso de uma plataforma gamificada para realização de uma avaliação (SANDE, SANDE, 2018); 1 trabalho pretendia utilizar como entretenimento para os alunos (SANTANA, *et al.*, 2018); e 10 artigos tinham como principal objetivo verificar se ou o quanto essas atividades motivam ou engajam os alunos na aprendizagem (SOARES, AIKES, MOURATO, 2018; SILVA, *et al.*, 2017; SANTOS, JANKE, STRACKE, 2020; PURBA, *et al.*, 2019; FERREIRA, PEREIRA, 2017; KOH, FUNG, 2018; DE OLIVEIRA, GOMES, 2017; COSTA, DA SILVA OLIVEIRA, DOS

SANTOS, 2019; SU, CHENG, 2019; CHEN, LIAO, 2015). Logo, observamos a tendência de pesquisas que focalizam a utilização do produto gamificado para motivar e engajar os alunos na aprendizagem. No entanto, elas não evidenciam o mesmo cuidado de verificar se os recursos auxiliam na aprendizagem dos conteúdos.

Na sequência, notamos que os conteúdos abordados variaram bastante, o que se pode constatar no Quadro 4. Contudo, nos trabalhos que se valiam da realidade virtual (VR – do inglês *virtual reality*), percebemos a tendência de abordar assuntos relacionados à química orgânica. Isso é coerente, pois necessidade de compreensão dos processos tridimensionais tem uma importância maior para verificar propriedades dos compostos orgânicos, sendo que estes possuem estruturas mais complexas quando comparadas com estruturas da química inorgânica (SOARES, AIKES, MOURATO, 2018; SU, CHENG, 2019; COSTA, DANTAS FILHO, MOITA, 2017).

As características da atividade de aprendizagem também variaram consideravelmente e podem ser visualizadas no Quadro 4. Todavia, a atividade que apareceu com maior frequência (8 artigos) foi a utilização de *quiz*. Vale destacar que, em 3 trabalhos, esses *quizzes* foram aplicados utilizando plataformas gamificadas *on-line* gratuitas (SANTOS, JANKE, STRACKE, 2020; PURBA, *et al.*, 2019; COSTA, DANTAS FILHO, MOITA, 2017). Nos outros 5, essas perguntas foram adicionadas no decorrer da aplicação (MORENO, MURILLO, 2018; MOTA, *et al.*, 2017; VIEIRA, SILVEIRA, MARTINS, 2018; SILVA, *et al.*, 2017; PEREIRA, 2017; KOH, FUNG, 2018).

Em 75% dos artigos selecionados, era necessária a utilização de um computador para que a atividade transcorresse sem problemas. Os trabalhos que fizeram a aplicação com os alunos, na escola, valeram-se dos computadores das próprias instituições, porém, em alguns casos, os alunos podiam acessar de suas máquinas pessoais, mediante a instalação de aplicações. No Quadro 4, isso se verifica na coluna “Tecnologia de interação”.

Quadro 4: Relação dos autores, a proposta, o conteúdo abordado, características das atividades gamificadas e a tecnologia utilizada para acessar a atividade

Autor	Proposta	Conteúdo	Características das atividades	Tecnologia de interação
Costa, Dantas Filho e Moita	Compreensão do conteúdo	Isomeria	Software de construção de moléculas e aplicativo para quiz	Computador e smartphone
Lutfi, A.; Hidayah, R.; Hidayah, I.A.	Compreensão do conteúdo	Ligações químicas	Jogo adaptado do Super Mario	Computador
Mellora, K. E.; <i>et al.</i>	Compreensão do conteúdo	Química Verde	Para auxiliar o professor a incorporar o simulador na sala de aula com os seus alunos	Computador
Moreno, J.; Murillo, W.J.	Compreensão do conteúdo	Química Orgânica para alunos com diversas deficiências	RPG com quiz, textos e informações no decorrer	Computador
Mota, F.G., <i>et al</i>	Compreensão do conteúdo	Radioatividade	RPG	Presencial e smartphone
Santos, C.E.M.; Leite, B.S.	Compreensão do conteúdo	Radioatividade	Quizmica	Smartphone
Silva, G.M.L.; Magalhães Netto, J.F; Souza, R.H.	Compreensão do conteúdo	Mudanças de estados físicos da matéria	Simulação	Computador
Ortiz, J.O.S.; Dorneles, A.M.	Cooperação dos alunos	Pode ser aplicada em diversos conteúdos, apresentou-se uma proposta com hidrocarbonetos	Software desenvolvido baseado na taxonomia de Bloom	Computador
Santana, T. S.; <i>et al.</i>	Entreterimento	Massa Molar	Jogo da Velha pelo computador, na qual deve-se acertar a MM para poder ocupar a casa	Computador
Brown, C.L.; <i>et al</i>	Levantamento	Ciências	Diversas	Computador ou smartphone
Sande, D; Sande, D	Método avaliativo	Microbiologia industrial	Quiz utilizando plataformas existentes	Smartphone
Chen, m.; Liao, B.	Motivação e engajamento	Eletroquímica	Realidade aumentada	Computador e unidade 3D
Su, C.; Cheng, T	Motivação e engajamento	Sustentabilidade atrelado a experimentos químicas	Atividades laboratoriais, seguindo os procedimentos descritos e realizados virtualmente (VR)	Computador
Costa, T.C.M; Oliveira, I.P.S; Santos, L.M.	Motivação e engajamento	Modelos atômicos	Quiz utilizando plataformas existentes	Computador e Smartphone
De Oliveira, A.F.C; Gomes, A.C.N	Motivação e engajamento	Elementos químico e localização da tabela periódica	software E-Chemical	Computador

Koh, SBK ; Fung, FM	Motivação e engajamento	Nomenclatura de equipamentos e vidrarias e técnicas	Verificar terminologias corretas e no estilo de "Quem sou eu?"	Aplicativo para smartphone
Pereira, S.L.P.O.; Ferreira, G.R.A.M	Motivação e engajamento	gases	Perguntas que desbloqueavam novos blocos por leitura de QR code	Smartfone
Purba, L.S.L.; <i>et al.</i>	Motivação e engajamento	Motivação do aluno	Quiz utilizando plataformas existentes	Smartphone e computador
Santos, A.V.; Janke, L.C.; Stracke, M.P.	Motivação e engajamento	Classificação periódica dos elementos químicos	Quiz Tabela Periódica com o software Hot Potatoes	Smartphone e computador
Silva, D.A.; Dias, R.R.; Flippert, V. F. T.; Boscaroli, C.	Motivação e engajamento; Cooperação dos alunos	Termometria	Por QR Code adquirir as informações e realizar as transformações termométricas necessárias	Presencial e smartphone
Ahmed, M.E.; Hasegawa, S.	Qualificantes do produto	Diversas disciplinas	Laboratórios virtuais	Computador
Tolle, H.; <i>et al.</i>	Qualificantes do produto	Velocidade de reação	Utilizar um laboratório virtual para estudar os fatores que interferem a velocidade de uma reação	Computador
Vieira, E.A.; Silveira, A.C.; Martins, R.X.	Qualificantes do produto	tabela periódica.	Desafios e conforme a resolução completa-se a Tabela periódica	Computador
Soares, H.; Aikes, J.; Mourato, F.	Qualificantes do produto; Motivação e engajamento	Isomeria, ligação química, geometria molecular	Jogo com personagem principal em primeira pessoa, algumas perguntas no decorrer e visualização das moléculas	Computador

Fonte: Elaboração própria.

As metodologias de pesquisa selecionadas pelos autores dos artigos não variaram muito. Mais especificamente, constatamos o predomínio de duas delas: 50% dos artigos apresentaram experimentos realizados (COSTA, DANTAS FILHO, MOITA, 2017; LUTFI, HIDAYAH, HIDAYAH, 2019; MELLORA, *et al.*, 2018; MORENO, MURILLO, 2018; AHMED, HASEGAWA, 2019; TOLLE, 2020; SANDE, SANDE, 2018; SOARES, AIKES, MOURATO, 2018; SILVA, *et al.*, 2017; SANTOS, JANKE, STRACKE, 2020; PURBA, *et al.*, 2019; SU, CHENG, 2019; CHEN, LIAO, 2015); e 41,67% dos trabalhos selecionados apresentaram estudo de caso (MOTA, *et al.*, 2017; SILVA, MAGALHÃES NETTO, SOUZA, 2016; DE MELO SANTOS, LEITE, 2019; VIEIRA, SILVEIRA, MARTINS, 2018; SANTANA, *et al.*, 2018; SILVA, *et al.*, 2017; FERREIRA, PEREIRA, 2017; KOH, FUNG, 2018; DE OLIVEIRA,

GOMES, 2017; COSTA, DA SILVA OLIVEIRA, DOS SANTOS, 2019). Essas relações estão registradas no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5: Metodologia de pesquisa e tipo de pesquisa conduzida

Autor	Metodologia de pesquisa
Koh, SBK ; Fung, FM	Estudo de caso
Mota, F.G., <i>et al</i>	Estudo de caso
Ferreira, G.R.A.M; Pereira,S.L.P.O	Estudo de caso
De Melo Santos, C.E.; Leite, B.S.	Estudo de caso
Silva, D.A., <i>et al.</i>	Estudo de caso
Silva, G.M.L; Magalhães Netto, J.F; Souza, R.H.	Estudo de caso
Santana, T. S.; <i>et al.</i>	Estudo de caso
Vieira, E.A.;Silveira, A.C.; Martins, R.X.	Estudo de caso
Costa, T.C.M; Da Silva Oliveira, I.P.S; Santos, L.M.	Estudo de caso
De Oliveira, A.F.C; Gomes, A.C.N	Estudo de caso
Ahmed, M.E.; Hasegawa, S.	Experimental
Chen, m.; Liao, B.	Experimental
Su, C.; Cheng, T	Experimental
Costa, C. H. C.; Dantas Filho, F.F.; Moita, F. M. G. S. C.	Experimental
Lutfi, A.; Hidayah, R.; Hidayah, I.A.	Experimental
Mellora, K. E.; <i>et al.</i>	Experimental
Moreno, J.; Murillo, W.J.	Experimental
Purba, L.S.L.; <i>et al.</i>	Experimental
Sande, D; Sande, D	Experimental
Santos, A.V.; Janke, L.C.; Stracke, M.P.	Experimental
SOARES, H.; AIKES, J.; MOURATO, F.	Experimental
Tolle, H.; <i>et al.</i>	Experimental
Brown, C.L.; <i>et al</i>	Teórico
Ortiz, J.O.S.; Dorneles, A.M.	Teórico

Fonte: Elaboração própria.

Os artigos selecionados têm amostras muito variadas, de 27 até 152 indivíduos. No trabalho de Mellora *et al.* (2018), a amostra era composta por professores, pois a proposta era a de eles realizarem a demonstração para os alunos no simulador. Logo, por se tratar de uma pesquisada focada no professor, ele deveria compor a amostra em estudo. Já no trabalho de Soares, Aikes e Mourato (2018), os testes foram realizados com professores e estudantes durante a apresentação no estande de um *workshop*. Por essa razão, as idades variaram muito, tornando a análise dispersa, sem um público-alvo.

A maioria dos trabalhos selecionados apresentou, como resultado, apenas dados qualitativos, ao passo que 2 estudos, desenvolvidos por Ortiz e Dorneles (2018) e Brown *et al.* (2018), por serem teóricos, não faziam menção a resultados, mas, sim, a relatos de dispositivos de mercado. Os outros 37,5% apresentaram dados tanto quantitativos quanto qualitativos.

Por meio dos dados obtidos pela revisão sistemática, constatamos que há vários relatos de experiência do uso de ODAs (Objetos Digitais de Aprendizagem) e que muitos focalizam a motivação e o engajamento dos alunos com relação ao ensino de química. Entretanto, poucos trabalhos apresentam valores (resultados quantitativos) referentes ao quanto podem auxiliar o aluno, seja na motivação, seja na aprendizagem. Ademais, os que se valem da pesquisa quantitativa, levando em conta a caracterização da amostra, foram poucos e mínimos. Isso limita ao leitor compreender o perfil e as respostas do público para o qual o produto foi delineado. As amostras muito pequenas também são um fator que limita a compreensão de que elas poderão ser expandidas para o todo.

4.2. Pesquisa de mercado

A pesquisa de mercado foi conduzida a fim de observar quais objetos gamificados estão disponíveis gratuitamente para o ensino de química. Os critérios utilizados para avaliação dos objetos seguiram pressupostos gerais da análise SWOT. Esse conceito foi introduzido por empresas na década de 1960, e a sigla é composta por 4 palavras em inglês, traduzidas como: forças (*strengths*), fraquezas (*weaknesses*), oportunidades (*opportunities*) e ameaças (*threats*). Dessa forma, analisamos os objetos digitais pensando nos ambientes internos – as condições que podem ter maior controle – e nos ambientes externos – dos quais não podemos ter controle. Com a análise SWOT, levantamos, portanto, os pontos positivos e negativos dos objetos, considerando cenários específicos (LEARNED *et al.*, 1969).

Os critérios utilizados se relacionavam à possibilidade de esses produtos serem acessados por computador, uma vez que os artigos da revisão sistemática mencionavam algumas questões referentes às incompatibilidades de alguns aplicativos com o sistema operacional do celular. Nesse sentido, os aplicativos disponíveis de forma *on-line* facilitam o acesso, pois podem ser acessados por computador e/ou *smartphones*, independentemente dos sistemas operacionais.

Nas plataformas de buscas dos objetos digitais, utilizamos os termos “JOGO OR GAME” AND “QUIMICA OR CHEMISTRY”. Todas as aplicações foram acessadas e testadas, a fim de verificarmos o seu desenvolvimento e a possibilidade de usá-las no ensino médio. Após os testes iniciais, selecionamos 31 objetos gamificados, avaliados quanto às ferramentas utilizadas para gamificar a atividade, aos conteúdos abordados, à finalidade do uso e aos pontos fracos e fortes. No Apêndice A, encontra-se uma lista com os objetos digitais de aprendizagem levantados na pesquisa de mercado. A identificação utilizada no decorrer do texto está associada a cada um dos descritivos e imagens da interface do ODA. Esses tópicos são abordados nas próximas subseções.

4.2.1 Ferramentas

Dos 31 objetos gamificados selecionados, 14 utilizaram simuladores. Isso é muito importante para o ensino de química, pois permite que os alunos visualizem melhor os fenômenos trabalhados (Objetos 12, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 – conforme Apêndice A). Desse total, 5 apresentavam um modo de jogo além do simulador, com o intuito de fazer com que o aluno se valesse de conhecimentos para resolver desafios (Objetos 12, 13, 14, 15 e 16). Além desses 5, outros 6 ODAs utilizaram jogos como maneira de gamificação (Objetos 8, 9, 10, 11, 17 e 18), totalizando 11 analisados.

4.2.2 Conteúdos

Os conteúdos abordados foram muito distintos, e apenas 3 temas se repetiram: simbologia química, balanceamento de equações químicas e unidades formadoras da matéria – átomos e moléculas. Isso mostra o quão versátil pode ser a abordagem dos conteúdos de química, uma vez que os assuntos são abstratos e os fenômenos não são visuais. Por conseguinte, os profissionais da área precisam procurar soluções e atividades que os auxiliem na criação da ideia que se quer transmitir, para que o aluno compreenda melhor os conceitos. Sobre estequiometria, o conteúdo abordado no jogo aqui proposto, detectamos apenas o Objeto 16, disponível na plataforma Phet. Trata-se de um simulador e de um jogo para

completar, em determinado tempo, aquilo que é solicitado. Entretanto, não se contemplam todas as nuances da estequiometria química e, além disso, é necessária a tutoria de um professor, pois não há instruções a serem seguidas.

4.2.3 Finalidade

Nos aplicativos selecionados, verificamos as finalidades principais de fixar o conteúdo (Objetos 3, 4, 5, 6, 7, 14, 15) e auxiliar a visualização de modelos que representem fenômenos não visuais (4, 5, 6, 7, 12, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31). Todos esses objetos culminam com a finalidade de auxiliar o aluno a compreender fenômenos químicos. Entretanto, os conteúdos trabalhados variaram muito e eles apresentam especificidades necessidade muito específicas quanto ao uso.

4.2.4 Pontos fortes

Os pontos fortes são muito importantes para que, ao iniciarmos a prototipagem, eles sejam inseridos, quando possível, no objeto gamificado. A interface e jogabilidade dos produtos selecionados eram, na sua maioria, muito boas, claras de visualizar e com boa resposta aos comandos dados, facilitando consideravelmente o engajamento do usuário.

Ademais, 17 aplicações tinham como ponto forte a representação visual dos fenômenos, sendo que duas delas traziam associações visuais para auxiliar o usuário a compreender o motivo do seu erro, fornecendo nova oportunidade de tentar realizar a tarefa. Isso estimula a autonomia na aprendizagem do aluno.

4.2.5 Pontos fracos

Os simuladores facilitam muito a visualização dos fenômenos. Entretanto, como pontos fracos, observamos a falta de intuitividade para que o usuário pudesse utilizar a aplicação e compreendê-la sem a tutoria de um professor para explicar o que estava acontecendo, ou sem uma explicação inicial para relatar quais comandos deveriam ser utilizados no decorrer da aplicação.

O ponto fraco que mais se repetiu foi a ausência de sinalização de eventuais erros cometidos ou de auxílio para compreender de fato o conceito. Isso foi observado em 12 aplicações (1, 4, 7, 12,13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22).

Outros pontos fracos são aqui levantados, pois é de grande valia evitá-los ao prototipar o jogo desenvolvido. São eles: a dificuldade de visualização de algumas funções prejudica a experiência do jogo, quando a interface tem muitas imagens sobrepostas (1, 2, 3, 18); a falta de dinâmica pode diminuir o engajamento do aluno e, dessa forma, ele não adquire conhecimento com a experiência (10, 17, 18, 22); muitas etapas para concluir uma tarefa ou tarefas demasiadamente complexas podem desestimular o usuário (10 e 18).

5 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO JOGO INVESTIGAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA

A partir do levantamento sistemático da revisão bibliográfica dos trabalhos publicados na área de química que envolviam gamificação, bem como da análise de mercado para jogos nessa mesma área, definimos quais seriam as características necessárias para atender à necessidade de mercado, no que tange à resolução dos problemas identificados na aprendizagem de estequiometria em sala de aula. Para tanto, o artefato e o trabalho, como um todo, devem seguir o rigor de uma pesquisa científica e a relevância para resolução do problema que motiva a pesquisa.

A proposta foi, portanto, trabalhar com um jogo no estilo “Investigação Criminal”, no qual o aluno busque as pistas para definir a resolução de um caso e, ao encontrá-las, analise-as utilizando conhecimentos de estequiometria química. Com isso, o estudante se engaja e participa mais da resolução dos problemas, adquirindo, conseqüentemente, o conhecimento. Essa ideia surgiu em virtude da grande quantidade de vezes que os alunos nos procuraram para perguntar algo sobre a série “CSI: Investigação Criminal”.

Uma vez realizado o levantamento dos produtos de mercado, não foram encontrados jogos com a finalidade proposta, como já dissemos. No entanto, a busca nos conduziu às classes de problemas nas quais nos baseamos para tornar o jogo interessante para o aluno.

O objetivo foi criar um jogo investigativo que incluísse os conceitos iniciais de estequiometria. Dessa forma, não seria necessário que o aluno tivesse conhecimento prévio, pois o *game* auxiliaria o usuário. Ademais, desenvolvemos uma aplicação que abordasse os conceitos mais avançados relacionados à estequiometria (Objeto 16).

O jogo envolve uma morte, cuja causa os alunos devem investigar. Nesse propósito, está inclusa a contextualização dos conceitos de estequiometria, no que se refere às análises qualitativas e quantitativas de amostras colhidas na cena, envolvendo a química forense. Trata-se de uma área que desperta a curiosidade dos estudantes, que costumam questionar como ela funciona. Assim, pretende-se envolver o aluno na narrativa do jogo.

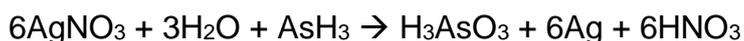
O jogo inicia-se com uma pequena introdução. Nela se comenta que foi encontrado um corpo de uma pessoa do sexo feminino, com cerca de 60 anos, de

classe média alta, em sua própria residência. A casa não tinha sinais de arrombamento e não havia sangue, embora a vítima apresentasse algumas escoriações no corpo. A polícia foi acionada por vizinhos que estranharam a ausência da mulher nos encontros habituais, bem como o fato de não responder às mensagens e ligações.

As autoridades descobriram se tratar de uma viúva, cujo único filho morava na mesma cidade, mas não tinha bom relacionamento com a mãe. Os vizinhos relataram que a vítima apresentava perda de memória e início de depressão. Ela foi encaminhada ao IML, onde se iniciam as análises.

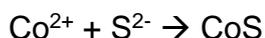
Inicialmente, realiza-se uma análise visual, na qual se verificam alguns hematomas nas pernas e costas, bem como algumas marcas de pontos cirúrgicos na altura do quadril e na barriga. Há também necrose nos rins e fígado e, por essa razão, é necessário fazer o exame toxicológico. Encaminha-se, então, uma amostra do fígado, e a personagem deve analisar o sangue.

A primeira análise relaciona-se à presença de arsênio, a fim de determinar a possibilidade de envenenamento (70 a 180 mg). A reação para determinação é a seguinte (Teste de Gutzeit):



Nesse caso, foi introduzida a questão relacionada ao número de mols dos coeficientes estequiométricos. No teste, a detecção de arsênio é obtida pela presença de um sólido escuro, a prata metálica (Ag). Por meio da reação, verificamos que, para cada 1 mol de AsH_3 , há a formação de 6 mols de Ag. Assim, mediante a condução de cálculos baseada em número de mols, conclui-se que a pessoa não sofreu envenenamento por arsênio. Essa condução será auxiliada por uma personagem secundária, parceira da principal. O auxílio pode ser por meio de texto ou de vídeo.

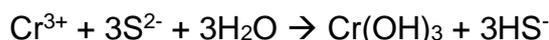
Na sequência, parte-se para a tentativa de identificação por cobalto. A reação para identificação do cobalto é a seguinte:



O CoS (sulfeto de cobalto) forma um sólido preto e, dessa forma, determina-se o quanto de cobalto há no corpo. Vale ressaltar a necessidade de encontrar uma tabela periódica para obter as informações de massas molares, e o aluno deve procurar, no espaço do jogo, onde ela se encontra. Ao encontrá-la, verifica-se que

foram encontrados 91g de sulfeto de cobalto e pede-se quanto de cobalto havia na pessoa. Algumas dicas são fornecidas para que o aluno compreenda o que deve ser feito. Elas o auxiliam no entendimento de questões de estequiometria que envolvem massa e transformação de número de mols em massa. Ao finalizar o cálculo, conclui-se que a quantidade de cobalto está elevada no corpo do indivíduo e, provavelmente, essa é a causa da morte. Dessa constatação, emerge o questionamento: como a vítima teve acesso a essa quantidade de cobalto? E a investigação continua.

Na terceira etapa, solicita-se a realização do exame para identificação de cromo, cuja reação é:



O composto hidróxido de cromo (III) tem coloração verde-musgo, o que possibilita a sua identificação. Segue-se novamente o cálculo de massa molar, bem como a transformação entre massa molar e número de mols para condução dos cálculos. Verifica-se também elevada quantidade de cromo na vítima.

Pede-se, então, que o aluno procure na internet as possíveis causas de morte e, entre elas, está a verdadeira: envenenamento por cobalto e cromo, em razão das próteses no quadril, realizadas até 2006. Assim, elas começaram a se deteriorar e a liberar esses metais no corpo humano.

As questões são apresentadas na forma de alternativas e, ao selecionar uma alternativa errada, há um auxílio, a fim de que o usuário possa refazer a questão de forma correta.

Para desenvolver o artefato, focalizaram-se três itens interligados às classes de problemas: viabilidade (implementação de jogos que possam ser disponibilizados aos alunos, provavelmente de forma *on-line* via computador, a fim de que os testes se realizem e seja possível analisar o quanto a narrativa é envolvente e se auxilia a aprendizagem de estequiometria); utilidade (auxílio na aprendizagem de estequiometria, com a ideia da proporcionalidade nela existente e do cálculo de massa molar); e representação (produzida por meio de representação didática dos fenômenos, bem como de algumas mais básicas sobre os conceitos; além disso, contextualiza-se a utilização desse conteúdo, que influencia os conceitos que podem ser abordados no jogo). Esses três itens são envolvidos para que a mecânica do jogo transcorra de forma interessante ao usuário.

Decidimos que a construção do artefato ocorreria via *RPG maker*¹, por ser uma ferramenta de uso bem intuitivo, que disponibiliza as funções necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem desejados. Ademais, ela permite a publicação do projeto final de maneira online. O *RPG maker*¹ é uma ferramenta para a criação de videogames muito utilizada para que os usuários do produto possam interpretar uma personagem. Ela dispõe de uma série de motores de jogo, que são uma biblioteca com diversos personagens, cenários e funções que facilitam o desenvolvimento do jogo por pessoas que não têm conhecimento aprofundado sobre programação.

Desse modo, utilizamos as funcionalidades pré-programadas da plataforma, a fim de realizar as composições de cenários e personagens. Para elaborar as questões, valemo-nos dos eventos da plataforma, assim como os diálogos entre os personagens foram utilizadas as opções dos eventos pré-programados para poder colocar as questões e auxílios.

Já a avaliação do artefato tem a finalidade de verificar se as classes de problemas foram abordadas, comprovando-se sua a funcionalidade. Para isso, utilizamos o ciclo de avaliação proposto por Hevner (2007), de forma a possibilitar a melhoria desse artefato. Assim, esperamos que, ao final, o produto esteja pronto para instanciação no ambiente e condições para as quais foi idealizado para que a pergunta problema motivadora da pesquisa possa ser resolvida e de forma satisfatória.

Ainda sobre a avaliação, ela ocorreu por meio de ciclos. Após a obtenção da primeira versão do artefato, realizamos um teste para avaliar uma classe de problemas. Com base na análise das respostas obtidas nesse item, retomamos as etapas de proposição, projeto e/ou desenvolvimento, com vistas a melhorar o artefato. Essa versão melhorada seguiu para um segundo ciclo de teste, no qual outra classe foi avaliada. Esses ciclos ocorreram sucessivamente até que o artefato atingisse as configurações satisfatórias para ser utilizado na resolução do problema real, dando viabilidade à relevância desta pesquisa.

¹ A ferramenta de desenvolvimento *RPG maker*, está disponível em: <https://www.rpgmakerweb.com/products/rpg-maker-mz>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

Decidimos aplicar um questionário utilizando a escala Likert² e, em seguida, utilizar o método grupo focal, pois, dessa forma, foi possível obter informações tanto informação quantitativas quanto qualitativas.

Os grupos focais³ ocorreram com 12 alunos do primeiro ano do ensino médio (entre 15 e 16 anos) de uma escola pública da região da grande São Paulo, Brasil. A maior parte deles é de classe média e média alta, tem muito interesse por atividades que envolvam tecnologia e muita dificuldade na disciplina de química. Esses alunos tiveram seus dados pessoais anonimizados para respeitar a ética da pesquisa científica e assinaram um termo de livre consentimento.

Optamos por dois grupos focais com seis participantes cada, visando a deixá-los confortáveis durante a dinâmica. Com esse mesmo intuito, escolhemos participantes que já conheciam a mediadora e, desse modo, eles puderam elencar os pontos fortes e fracos do artefato. Devido à pandemia de covid-19, valemo-nos uma plataforma para reuniões *on-line*, o Google Meet, oficialmente utilizada pela escola.

Solicitamos aos alunos que se mantivessem logados na chamada e com a câmera aberta, para captar suas expressões durante a utilização do jogo, bem como durante as falas, a fim de visualizar e analisar se havia concordância ou não com aquele posicionamento. Também pedimos que o teste fosse realizado por meio de um computador. Apenas um dos grupos se prontificou a ligar câmera e participar oralmente da avaliação, enquanto o outro grupo interagiu por mensagens no *chat*, sem interação via câmera ou áudio. Na Figura 2, podemos visualizar um momento do grupo focal, no qual os alunos estão respondendo a um questionário; suas imagens e nomes foram desfocados para mantê-los anônimos.

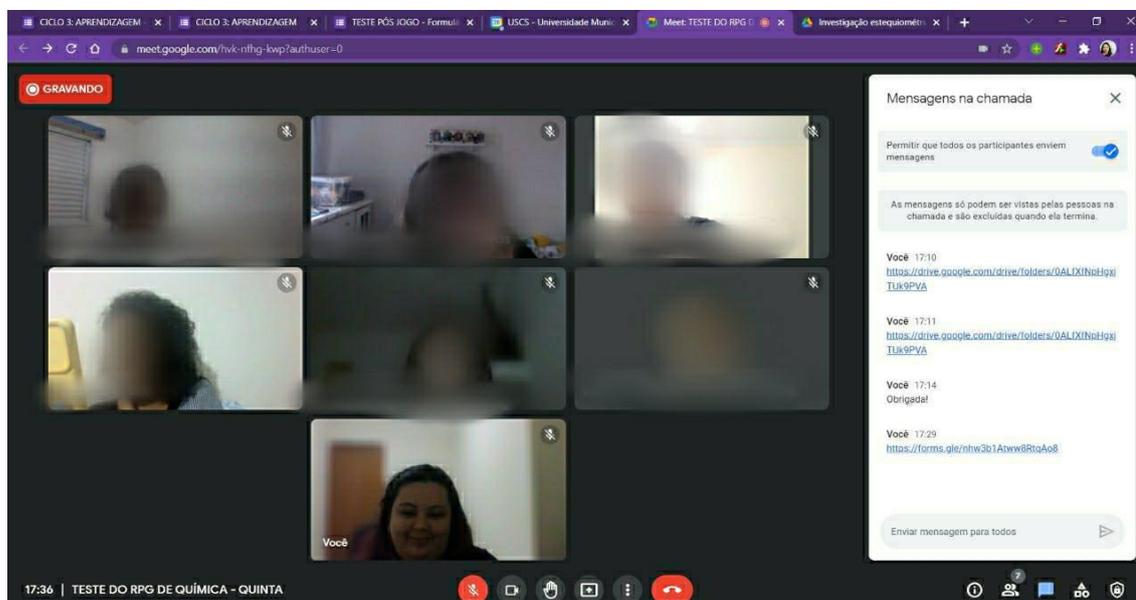
Vale ressaltar que os participantes foram voluntários e escolhidos de forma a representar as seguintes categorias: ter afinidade com a disciplina / não ter afinidade com a disciplina (ter o ponto de vista desses participantes antagônicos para saber se jogo atinge ambos os grupos); gostar de jogos *on-line* (esses

² A escala Likert foi desenvolvida por Likert e publicada por ele em 1932, como uma forma de medir traços do caráter e personalidade. Utilizando-a, podemos quantificar a concordância dos respondentes com uma afirmação (BOONE, 2012). Dessa forma, levantaram-se algumas questões antes de os usuários do jogo terem contato com a opinião dos demais outros usuários. Os dados obtidos nesse questionário auxiliaram na condução do grupo focal.

³ Segundo Krueger e Casey (2000), o grupo focal é a técnica apropriada para se obterem dados, cujo objetivo é saber como as pessoas consideraram uma experiência. Assim, foi possível identificar as percepções do usuário a respeito do produto em desenvolvimento

participantes auxiliam muito na programação trazendo novas ideias e melhorias); não ter afinidade com jogos *on-line* (para saber se o jogo é adequado a alunos que não têm prática com os comandos).

Figura 2 : Imagem do grupo focal realizado no terceiro ciclo avaliativo



Fonte: Autoria própria

Realizamos três ciclos de avaliação. No primeiro, que ocorreu na segunda semana de outubro de 2020, houve momento de avaliação qualitativo e quantitativo, por meio de reunião *on-line*. Na ocasião, os alunos foram recepcionados e, em seguida, explicamos no que consistiria o teste, salientando que o foco era a intuitividade e a narrativa do jogo.

Inicialmente, os participantes responderam a um teste de conhecimentos sobre o conteúdo de estequiometria. Na sequência, tiveram acesso à primeira versão do produto. Após esse momento, eles responderam a um questionário na escala Likert, com afirmações que continham alternativas relacionadas ao grau de concordância ou discordância, a saber: concordo plenamente, concordo parcialmente, neutro, discordo parcialmente e discordo totalmente. Depois, conduzimos o grupo focal, cujo roteiro foi seguido de acordo com as informações obtidas pelo questionário. Dessa forma, obtiveram-se respostas mais específicas sobre a experiência, isto é, se as informações dadas foram suficientes para que os alunos compreendessem o que devia ser realizado; se a narrativa os manteve interessados em continuar jogando; e se as etapas existentes os auxiliavam a

compreender os conceitos e aplicá-los. Após a análise dos resultados do grupo focal, realizamos as devidas correções e obtivemos uma segunda versão do artefato, que foi submetido ao segundo ciclo de avaliação.

Nesse segundo ciclo, que ocorreu na última semana de outubro de 2020, avaliamos a jogabilidade. Foi um momento de avaliação qualitativo e quantitativo, por meio da aplicação de questionário na escala Likert e grupo focal. Tal como no primeiro ciclo, os participantes foram recepcionados e explicamos a intenção do novo encontro. Disponibilizamos a segunda versão do produto (com as correções e a segunda fase) e, após esse momento, os participantes responderam individualmente ao questionário na escala Likert, seguido do grupo focal. Nele, conduzimos uma conversa para avaliar se os comandos do jogo estavam atendendo satisfatoriamente às necessidades, assim como as imagens utilizadas. Ademais, verificamos se os textos estavam claros.

O terceiro ciclo, ocorrido na primeira semana de novembro de 2020, constituiu-se da avaliação da aprendizagem dos alunos. No primeiro momento, explicamos a intencionalidade do encontro. Na sequência, os participantes tiveram acesso à terceira versão do produto, ou seja, após realizar as correções salientadas pelo segundo ciclo e adicionar a terceira fase do jogo. Os alunos responderam a um teste sobre o conteúdo de estequiometria, e o resultado foi comparado às respostas obtidas no teste anterior ao primeiro contato com o jogo. O intuito foi analisar o quanto as respostas se refinaram, já que elas foram formuladas forma dissertativa, e o grau de dificuldade dos dois testes se assemelhava. Após a resolução do teste, os alunos responderam ao questionário na escala Likert, e as respostas foram utilizadas para o roteiro do grupo focal.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentamos as informações obtidas durante os ciclos de avaliação do jogo “Investigação Estequiométrica”.

6.1 Primeiro ciclo avaliativo: Intuitividade

Neste ciclo, os grupos tiveram o primeiro contato com o jogo, e os resultados são apresentados de forma geral. Vale lembrar que organizamos dois grupos focais distintos, com 6 componentes cada. Aqui registramos as principais informações, obtidas por meio dos dois primeiros grupos, sendo que os dados brutos podem ser acessados pelo link: É possível acessar um vídeo demonstrativo do jogo por meio do *link* <https://drive.google.com/drive/folders/1INTe0FG4gXBucrTvZ2KziL8oglyFo6o6?usp=sharing>.⁴

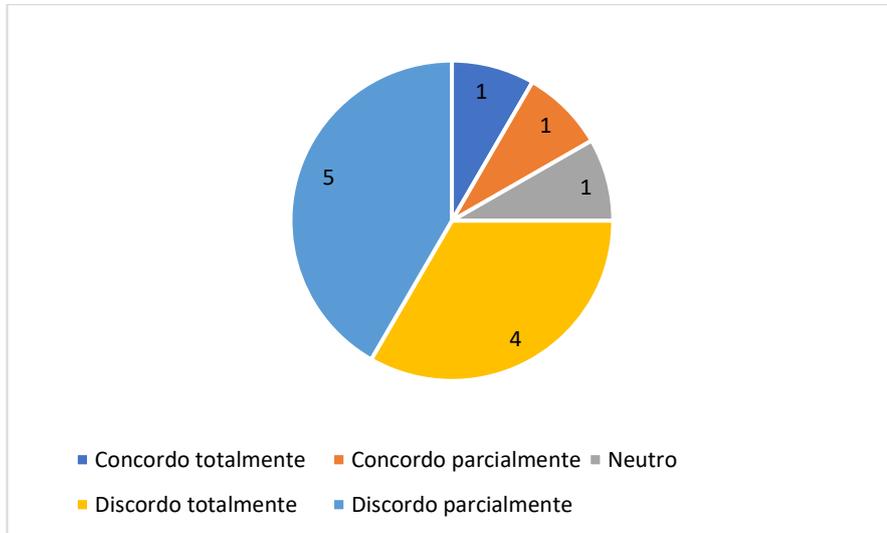
Inicialmente, lançamos algumas questões para nortear a intuitividade do jogo. Mais especificamente, tencionávamos saber se os alunos conseguiam entender o que precisavam executar nele. Esse questionamento foi levantado a partir da seguinte afirmação: “Não consegui entender quais eram as ações que precisava realizar”. Os alunos responderam de diversas formas, selecionando todas as opções disponíveis. Ao observar as respostas, que constam da Figura 3, concluímos que existia a necessidade de tornar mais claras as ações. No grupo focal, o mais citado foi que os usuários não entendiam como sair dos ambientes; um participante informou: “eu demorei para entender onde era para clicar para sair dos lugares”; outro aluno sugeriu: “só sinaliza a portinha”. As demais sugestões apontadas se relacionavam ao fato de haver muitas imagens no cenário, dificultando o encontro dos locais que precisavam acessar. Sobre isso, um dos usuários disse: “Foi difícil achar o laboratório”, sugerindo que se destacassem mais os prédios principais, aspecto salientado por outro aluno: “Talvez o prédio destacado resolva”.

Outras informações importantes foram obtidas por meio da afirmação: “As informações NÃO eram compreendidas rapidamente”. Nesse momento, um aluno informou: “Quando eu entrei de primeira não sabia o que fazer... aonde ir”. Isso

⁴ Acesso em: 24 de janeiro de 2022.

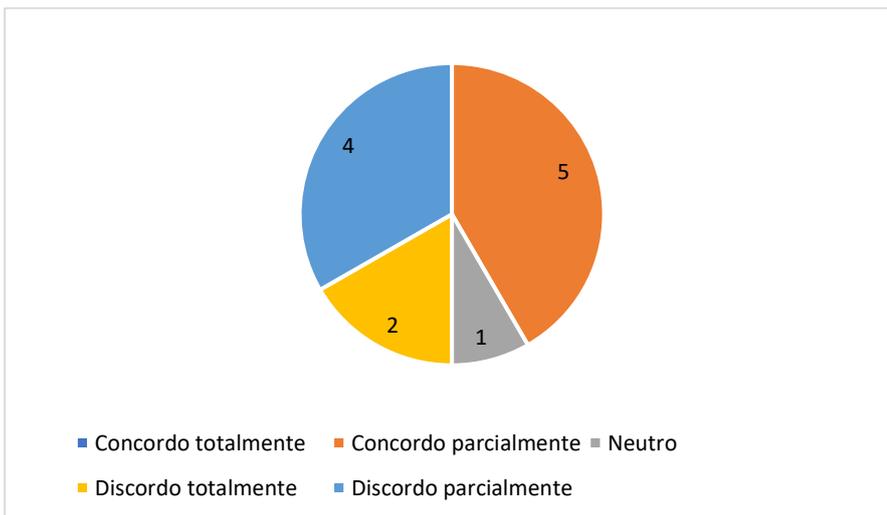
mostra que algumas informações não foram claras para que o usuário conseguisse realizar as ações do jogo. As respostas obtidas podem ser observadas na Figura 4.

Figura 3: Resposta da afirmação: “Não consegui entender quais eram as ações que precisava realizar”



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 : As informações NÃO eram compreendidas rapidamente”

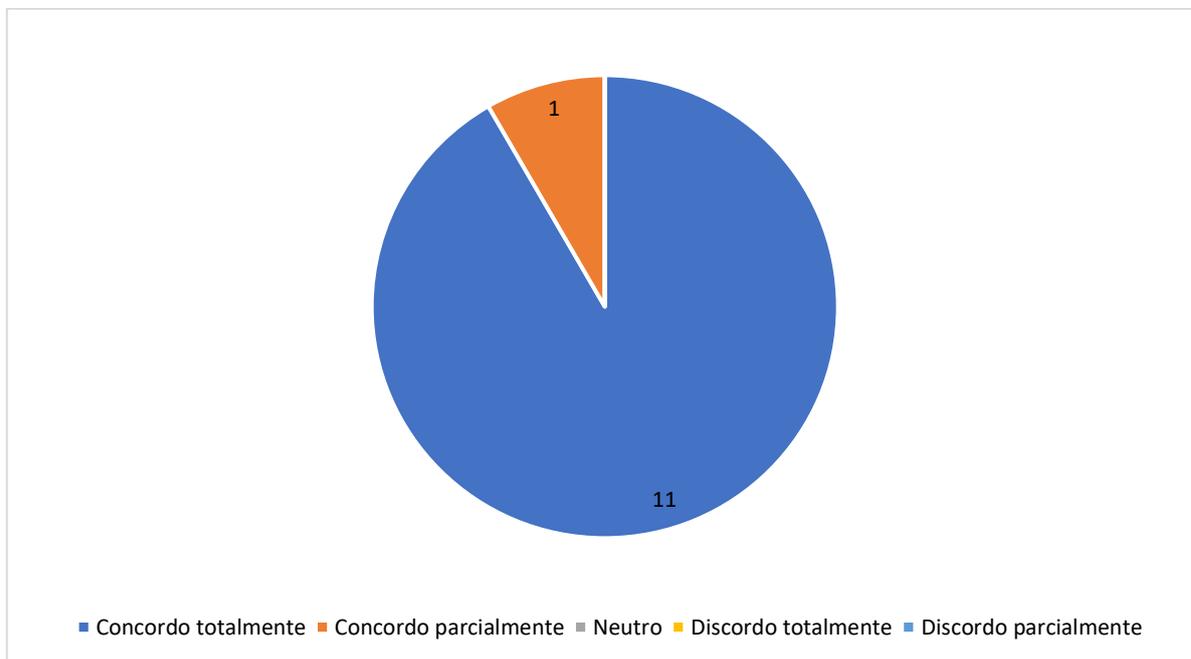


Fonte: Elaboração própria.

Com a afirmação “Eu me senti confiante em usar os jogos após compreender os comandos”, 11 participantes concordaram totalmente, e o outro aluno concordou parcialmente. Isso mostra que era necessário adicionar, no início do jogo, uma etapa para poder auxiliar o usuário a entender os comandos. Desse modo, eles

conseguiriam seguir de forma confiante com a experiência. Vale ressaltar que esse aspecto foi realizado como melhoria para a segunda versão. As respostas podem ser verificadas na Figura 5.

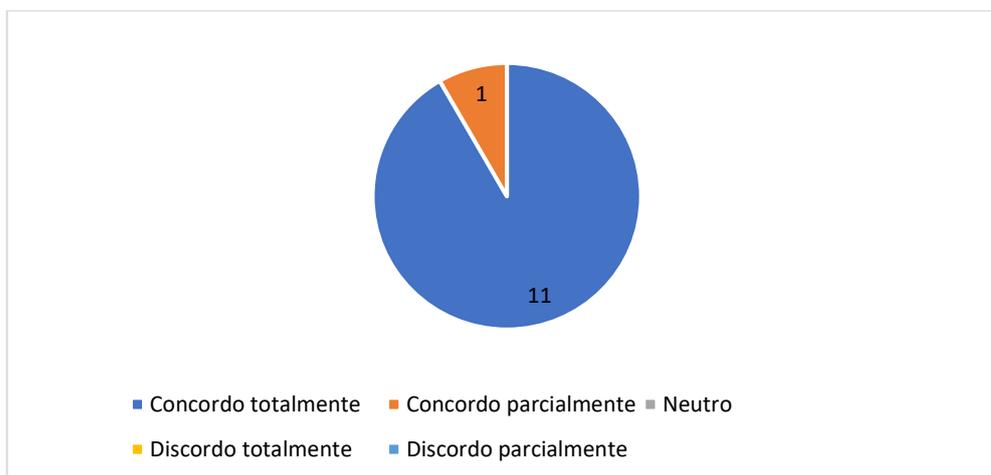
Figura 5: “Eu me senti confiante em usar os jogos após compreender os comandos”



Fonte: Elaboração própria.

Sobre os auxílios adicionados para que os usuários conseguissem compreender melhor o conteúdo a fim de responder à questão sobre estequiometria química, apresentamos a afirmação: “As dicas do parceiro me ajudaram a resolver os desafios”. Todos os alunos concordaram que as dicas os auxiliariam na resolução das questões levantadas anteriormente. Nesse momento, comentou-se que seria melhor que os textos fornecidos passassem de forma mais lenta na tela. Isso se resolveu por meio da mudança dos textos que passavam deslizando de baixo para cima na tela para um formato de diálogo entre os personagens, no qual o jogador pode controlar a troca de tela. Na Figura 6, mostramos as respostas obtidas.

Figura 6: “As dicas do parceiro me ajudaram a resolver os desafios”



Fonte: Elaboração própria.

6.2 Segundo ciclo avaliativo: Jogabilidade

Com as informações obtidas no primeiro ciclo, efetuamos as correções, e a segunda fase do jogo foi liberada. Neste ciclo, focalizamos a obtenção de informações quanto à jogabilidade.

Inicialmente, perguntamos se os problemas levantados no primeiro ciclo foram resolvidos. Dentre as respostas, destacamos as seguintes: “eu gostei que você deixou uma sugestão para ajudar no início do jogo”; “os prédios ficaram mais fáceis de achar”; “É bem claro o que tem que fazer”; “as portas abriam”; “EU VI A PORTINHAAAAA”; “Mapa mais limpo, achei que ficou melhor e com as florzinhas”. Isso evidencia a satisfação quanto às correções.

A seguir, houve uma discussão especificamente acerca da jogabilidade. Nesse quesito, todas as 10 afirmações apresentadas aos alunos obtiveram respostas muito satisfatórias, como se pode visualizar na Tabela 3.

Nas afirmativas 4, 5 e 6, os participantes explicitaram que as imagens, textos e vídeos apresentavam boa qualidade. Todos discordaram plenamente com a afirmação de que as regras e objetivos do jogo são muito complicados de entender ou executar, o que foi muito satisfatório para essa etapa avaliativa.

A solicitação de adicionar os comandos no início do jogo, realizada no primeiro ciclo, foi atendida, uma vez que os 12 participantes concordaram totalmente com a afirmação 1, ou seja, entenderam quais eram os comandos necessários para que o personagem executasse as ações no jogo.

A afirmação 2 foi a única com divergência, pois a programação do jogo estava com uma falha, que logo foi levantada durante o grupo focal. Vale ressaltar que o erro foi corrigido para o terceiro ciclo de avaliação.

Tabela 3: Números de respondentes para cada opção da escala Likert no ciclo avaliativo sobre jogabilidade

	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Neutro	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
1. Eu entendi quais eram os comandos necessários para que o personagem executasse as ações no jogo.	12	0	0	0	0
2. Ao executar uma ação a resposta do comando NÃO ocorria como eu esperava ou demorava muito.	0	2	0	0	10
3. Os textos foram apresentados de forma que eu conseguisse ler e compreender o que está escrito.	7	5	0	0	0
4. Os textos ficaram muito confusos para mim.	0	0	0	0	12
5. As imagens possuem boa resolução para mim.	11	1	0	0	0
6. Os vídeos explicativos colaboraram para que eu entendesse o conteúdo.	9	3	0	0	0
7. Eu achei as regras e objetivos do jogo muito complicadas para entender ou executar.	0	0	0	0	12
8. Ao realizar as tarefas, o jogo me informou sobre os meus acertos e erros e pude corrigir os erros.	11	1	0	0	0
9. Quando eu tive dúvidas o jogo me proporcionou um recurso de ajuda.	10	1	1	0	0
10. As telas do jogo e as cores utilizadas NÃO facilitaram o entendimento, NÃO permitindo a imersão no jogo	0	0	0	0	12

Fonte: Elaboração própria.

6.3. Terceiro ciclo avaliativo: Aprendizagem

No último ciclo, o foco recaiu sobre a avaliação da aprendizagem dos alunos. Ela se deu em dois momentos: no primeiro, os alunos responderam às afirmações relacionadas ao modo como consideravam a aprendizagem adquirida com a utilização do jogo; já no segundo, comparamos a resolução dos testes realizados antes e depois do primeiro contato com o jogo.

Com relação à percepção dos participantes a respeito do aprendizado adquirido com o jogo, obtiveram-se os dados contidos na Tabela 4.

Tabela 4: Números de respondentes para cada opção da escala Likert no ciclo avaliativo sobre aprendizagem

	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Neutro	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
1. Eu compreendi os aspectos iniciais de estequiometria.	11	1	0	0	0
2. Ver uma aplicação do uso de estequiometria, como foi apresentada no jogo, aumentou meu interesse em compreendê-la.	12	0	0	0	0
3. Com o jogo me senti mais focado para compreender os conceitos.	12	0	0	0	0
4. O jogo NÃO alterou meu conhecimento sobre estequiometria química.	0	0	0	0	12
5. O jogo me ajudou a entender algo que antes não conseguia compreender ou que não conhecia.	12	0	0	0	0
6. Aprendi algo sobre química enquanto me divertia.	12	0	0	0	0
7. A curiosidade com a história NÃO alterou a minha vontade de entender e acertar os desafios para poder concluir a investigação.	0	0	1	0	11
8. Eu me sinto mais confiante para responder as questões de estequiometria do teste agora do que quando respondi as questões sobre estequiometria antes de utilizar o jogo.	8	4	0	0	0
9. Acredito que minha pontuação no segundo teste será pior ou igual ao primeiro teste	0	0	0	6	6

Fonte: Elaboração própria.

Por meio da análise das respostas às afirmações, concluímos que os alunos se sentiram mais confiantes em relação ao conteúdo apresentado durante o jogo. Salientamos que essa foi a sua primeira interação com esse conteúdo e, por essa razão, era esperado esse aumento de confiança, afinal tratava-se de um tema com o qual eles não tiveram nenhum contato anterior.

A única modificação na coerência das respostas ocorreu na afirmação 7, em que um participante afirmou estar neutro quanto à afirmação: “A curiosidade com a história NÃO alterou a minha vontade de entender e acertar os desafios para poder concluir a investigação”. Durante o grupo focal, esse aluno deu a seguinte

justificativa para a resposta escolhida: “Eu já estava curioso sem a história, a história aumentou a curiosidade. Ai eu não sabia o que responder e coloquei neutro”. Isso evidenciou que já havia nele um interesse em compreender e avançar na história.

A avaliação da aprendizagem se deu sob a forma de dois questionários, cada um com 4 questões a serem respondidas de forma dissertativa. O primeiro teste ocorreu antes do primeiro contato com o jogo e foi denominado pré-teste; já o segundo aconteceu após o último teste e foi denominado pós-teste.

Com relação às questões, as duas primeiras estavam associadas à primeira fase do jogo e presentes nela. Já o conteúdo abordado na terceira questão do teste estava presente na segunda fase do jogo. Por fim, a última questão estava presente na terceira fase do jogo, disponibilizada aos alunos apenas no terceiro ciclo de avaliação do artefato.

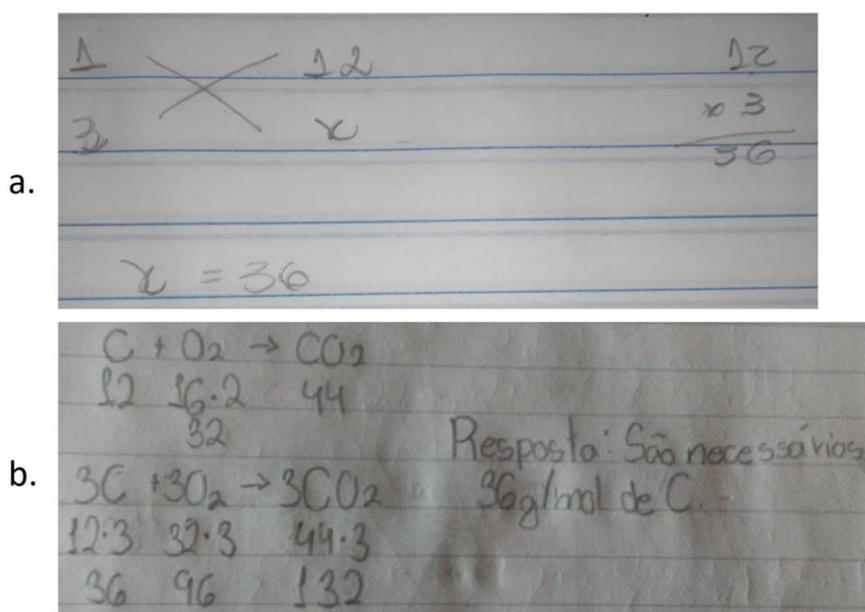
Na primeira questão, em ambos os testes, perguntava-se sobre massa molar de um determinado elemento químico. No teste pré-jogo, 3 alunos associaram o valor de massa molar ao valor da massa atômica, mas não associaram a nenhuma unidade; 2 alunos informaram o número atômico, mas também não associaram a nenhuma unidade; os outros alunos afirmaram não saber do que se tratava. No teste pós-jogo, apenas 1 aluno deixou a questão em branco; 1 aluno informou um valor não correspondente; 1 aluno colocou o valor do número atômico; 2 registraram o valor correto, mas não colocaram a unidade de medida; e os outros 7 informaram o valor e a unidade corretos. Logo, pode-se concluir que o jogo apresentou satisfatoriamente o conceito de massa molar aos alunos.

Na segunda questão, indagava-se sobre a massa molar de uma substância química. No teste pré-jogo, 2 participantes calcularam pelo método correto, mas um deles não utilizou os valores corretos das massas molares dos elementos químicos e nenhum colocou unidade de medida para dar a grandeza do valor; 1 participante realizou uma tentativa, mas não utilizou nem os valores, nem o método correto; os outros 9 participantes não sabiam o que responder. No teste pós-jogo, todos os participantes tentaram resolver a questão. 2 participantes erraram o número da massa molar dos elementos químicos; 3 participantes apenas somaram as massas molares dos elementos químicos, sem considerar a quantidade de cada um dos elementos químicos, porém 2 deles informaram a unidade de medida correta; os outros 7 participantes efetuaram o cálculo da forma correta, entretanto 2 deles não

apresentaram a unidade de medida. A nosso ver, os resultados foram satisfatórios, pois, apesar de alguns alunos não acertarem, as respostas propostas foram coerentes. Isso mostra um caminho correto para a aprendizagem, embora ela ainda não esteja consolidada.

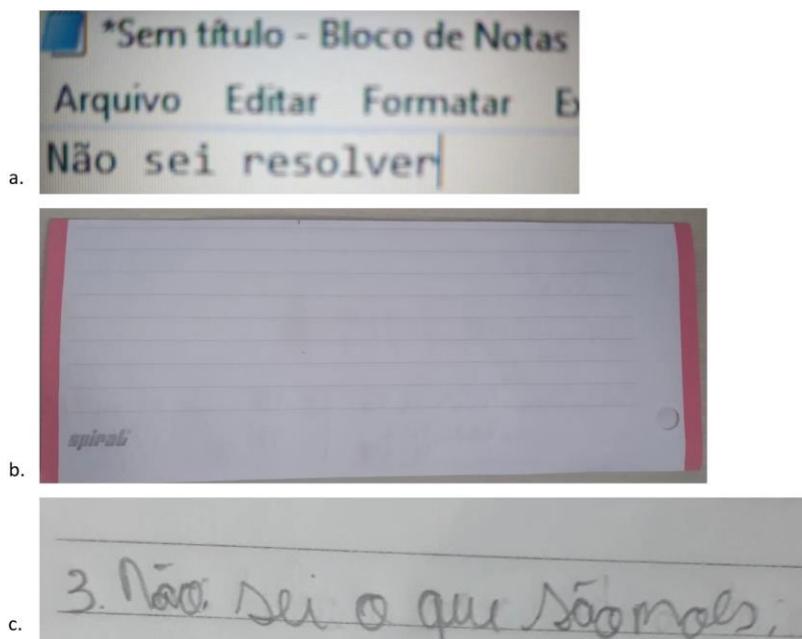
A terceira questão versava sobre estequiometria da reação, utilizando os números de mols da reação química como parâmetro. Dos 12 participantes, 2 informaram o valor correto, contudo apenas uma pessoa colocou a unidade de medida; os outros 10 deixaram a questão em branco. Na Figura 7, podemos ver as respostas dadas pelos 2 alunos que acertaram e, na Figura 8, temos exemplos das respostas dos que não sabiam como realizar o exercício.

Figura 7: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Falta de respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol



Fonte: Elaboração própria.

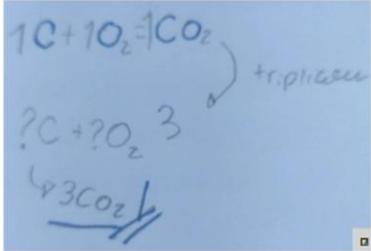
No teste pós-jogo, apenas 1 participante deixou a questão em branco; 4 participantes tentaram resolvê-la e, nessas tentativas, 3 confundiram o conceito de número de mols e massa molar – porém, se a questão envolvesse a massa molar, os valores estariam corretos – e 1 não conseguiu concluir de fato o pensamento, o que mostra a falta de associação com o conteúdo; os outros 7 participantes responderam corretamente à questão. Os 2 participantes que responderam corretamente no teste pré-jogo também o fizeram no pós-jogo. Isso revela que eles acertaram em ambos os casos por similaridade de conteúdo.

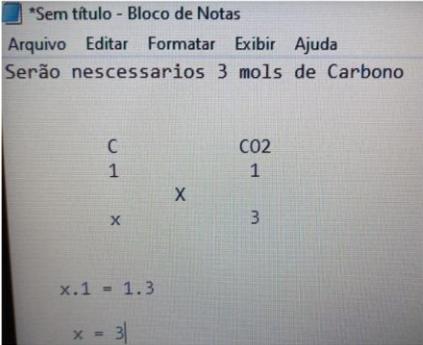
Em síntese, as respostas obtidas podem ser consideradas extremamente satisfatórias, pois o conteúdo foi assimilado por 10 dos 12 participantes. Com relação aos 3 alunos que confundiram um conceito, isso é aceitável, pois só tiveram um breve contato com o conteúdo. A nosso ver, mais um contato seria suficiente para completar e significar a aprendizagem. Desse modo, eles provavelmente conseguiriam diferenciar adequadamente os termos químicos.

Ao realizar o pós-teste, um aluno verbalizou algo importante: “Essa parte de mol já entendi”. Vale ressaltar que esse participante pertencia ao grupo dos que não tinham afinidade com a disciplina, mas sim com jogos, evidenciando que o jogo

atingiu seu objetivo para com esse perfil. Na figura 9, mostramos como os alunos resolveram a questão.

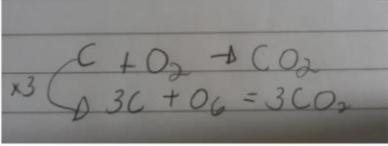
Figura 9: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação mol-mol pós-jogo

a. 

b. 

c.
$$\begin{aligned} &C + O_2 \rightarrow CO_2 \\ &3C + 3O_2 \rightarrow 3CO_2 \\ &3 \text{ mols de C} \end{aligned}$$

d.
$$x3 \left(\begin{array}{cc} 1 & 2 \\ 3 & 6 \end{array} \right) x3 \left(\begin{array}{c} 1 \\ 3 \end{array} \right) x3$$
 Seria necessário 3 mols de C

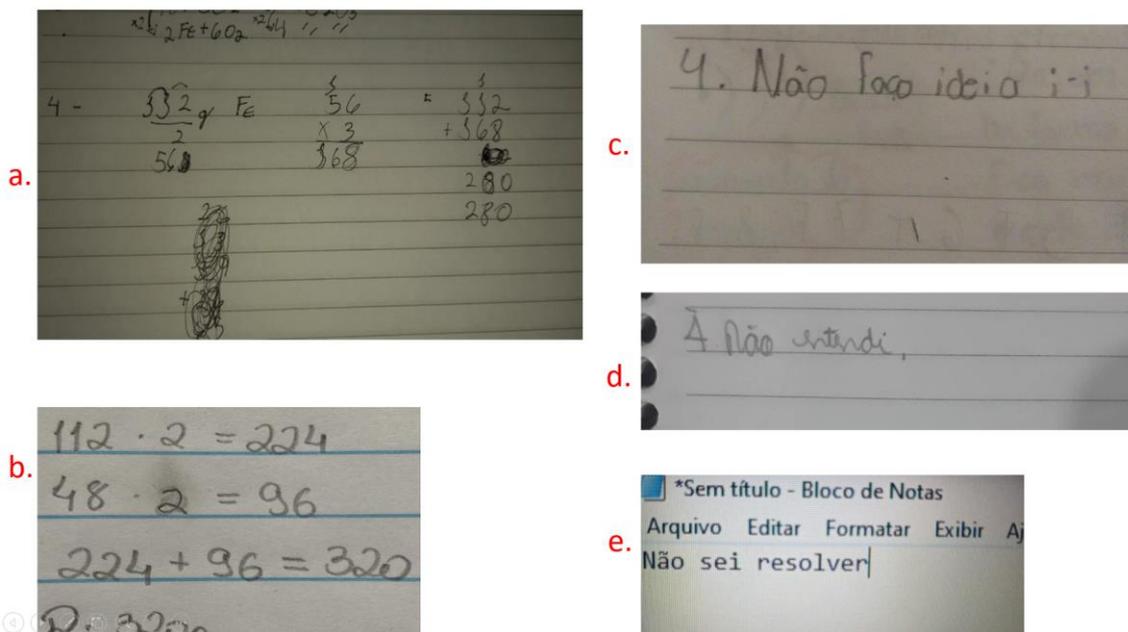
e. 

Fonte: Autoria própria

A quarta questão envolvia o cálculo estequiométrico na relação massa-massa, tal como se observa na Figura 10. 2 participantes tentaram resolvê-la, sendo que apenas uma acertou, e no pré-jogo. A resposta correta pode ser vista na Figura 10b, na qual a aluna realizou o cálculo pela lei de conservação das massas – conteúdo com o qual ela já havia tido contato –, em vez de utilizar a proporção estimulada pelo jogo. Isso porque esta última é a forma de resolução mais geral, podendo ser aplicada a todos os casos. Já a lei de conservação de massas não pode ser usada em todas as questões. Na Figura 10a, verificamos uma tentativa de resolução baseada em cálculo de massa molar, mas que não seria um caminho viável. Nas Figuras 10c, 10d e 10e, vemos que os participantes expressaram não saber como resolver as questões.

No teste pós-jogo, 2 participantes deixaram a questão em branco e 8 tentaram resolvê-la, porém de forma equivocada. Isso mostra uma certa assimilação e, de acordo com a taxonomia de Bloom, embora tenham atingido o nível entre conhecimento e compreensão, eles não chegaram ao nível de aplicação do conteúdo.

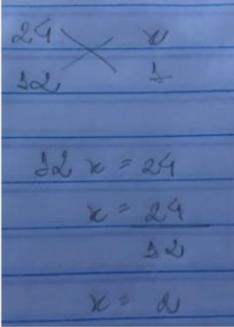
Figura 10: Respostas obtidas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pré-jogo

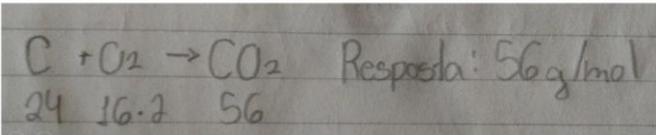


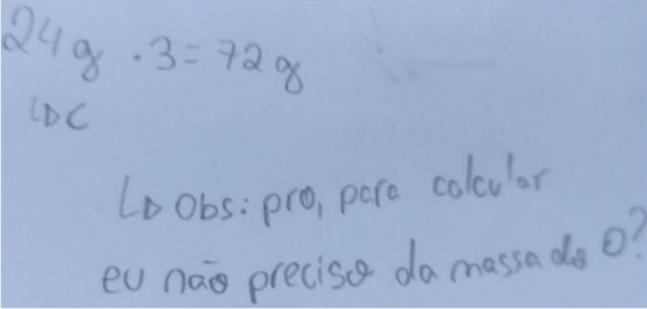
Fonte: Elaboração própria.

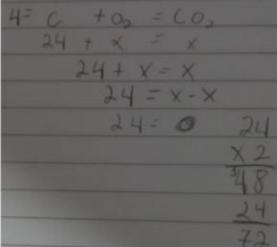
Na Figura 11a, o participante realizou a questão da forma massa-mol, rapidamente citada no cálculo do jogo. Com isso, percebemos que ele assimilou uma parte do conteúdo, mas não completamente. Na Figura 11b, o participante tentou solucionar a questão utilizando a lei de conservação de massas, entretanto, nesse caso, a resolução só é possível quando há a relação com o número de mols, que deveria ter sido considerada. Na Figura 11c, o participante tentou relacionar os dados da questão 3 com os da 4, o que não deveria ser feito. Na Figura 11d, o participante tentou resolver por meio de uma equação de primeiro grau, o que não seria possível. Logo, sobre esse participante, podemos concluir que ele não conseguiu atingir o grau de conhecimento do conteúdo.

Figura 11: Tentativas de resolução na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pós-jogo

a. 

b. 

c. 

d. 

Fonte: Elaboração própria.

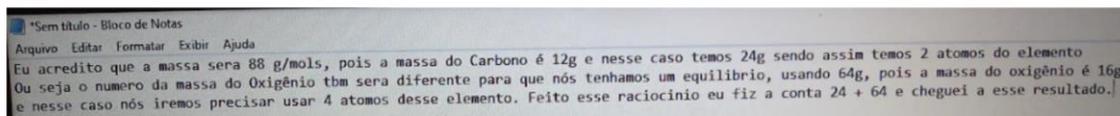
Na Figura 12, verificamos as respostas dos 2 participantes que responderam corretamente à questão. Na Figura 12a, o aluno apresenta o seu raciocínio lógico:

Eu acredito que a massa será 88g/mol, pois a massa do Carbono é 12g e nesse caso temos 24g sendo assim temos 2 átomos do elemento. Ou seja, o número da massa do Oxigênio também será diferente para que nós tenhamos um equilíbrio, usando 64g, pois a massa do oxigênio é 16g e nesse caso nós iremos usar 4 átomos desse elemento. Feito esse raciocínio a conta $24+64$ e cheguei a esse resultado.

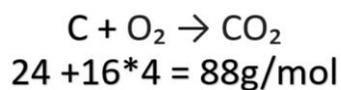
O outro participante valeu-se do mesmo raciocínio, contudo demonstrou-o a partir da simbologia química e matemática, como pode ser visualizado na Figura 12b. Em ambos os casos, os alunos utilizaram o auxílio da lei de conservação das massas associado ao número de mols, o que mostra a retomada de conteúdos prévios e a associação com o novo conteúdo. Dessa forma, atinge-se a aprendizagem significativa.

Figura 12 : Respostas corretas na questão sobre cálculos estequiométricos que envolvem a relação massa-massa pós-jogo

a.



b.



A massa obtida será de 88

Fonte: Elaboração própria.

Salientamos que uma participante relatou ter conseguido realizar o exercício corretamente logo após assistir o vídeo, mas que já não conseguia se lembrar. Por essa razão, acabou deixando a questão em branco. Com isso, podemos supor que a aluna conseguiu replicar, porém não se apropriou do conteúdo. Assim, seria necessário maior contato com ele, a fim de haver aprendizagem efetiva.

7 PRODUTO

O produto foi denominado “Investigação Estequiométrica”, cuja tela inicial pode ser visualizada na Figura 13. Nessa tela, é possível controlar as opções pelo *mouse* e pela seleção via teclado.

Na seção “Opções”, podem-se selecionar o volume e a velocidade de locomoção da personagem.

Figura 13: Tela inicial de “Investigação Estequiométrica”



Fonte: Autoria própria

Na Figura 14, observamos o mapa principal finalizado, em que a quantidade de prédios da versão inicial foi reduzida a fim de auxiliar os usuários a encontrar os prédios para o decorrer do jogo. Ademais, foi adicionada a ajuda em relação aos comandos, por meio da seleção da personagem secundária mais próxima. Com isso, deu-se ao usuário a opção de querer ou não acesso a essa informação.

Na Figura 15, observamos os três mapas secundários, numerados 15a, 15b e 15c. Eles correspondem, respectivamente, à casa da vítima, ao Instituto Médico Legal (IML) – para onde a vítima foi levada após ser encontrada – e ao laboratório, no qual foram realizados os testes toxicológicos. Todos dispõem de portas que levam ao mapa principal, localizadas no canto inferior direito, padronizando, desse modo, a saída dos mapas. Os dois primeiros ambientes destinam-se a produzir a

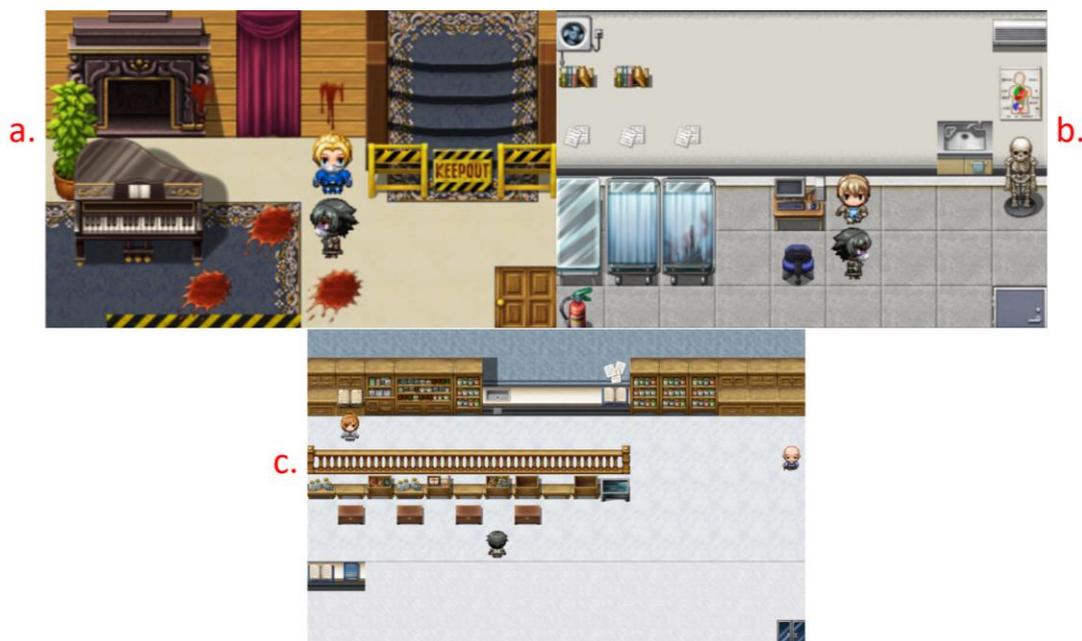
narrativa e a provocar a imersão do usuário; já no terceiro, ocorrem as questões relacionadas à aprendizagem.

Figura 14: Imagem do mapa principal



Fonte: Elaboração própria.

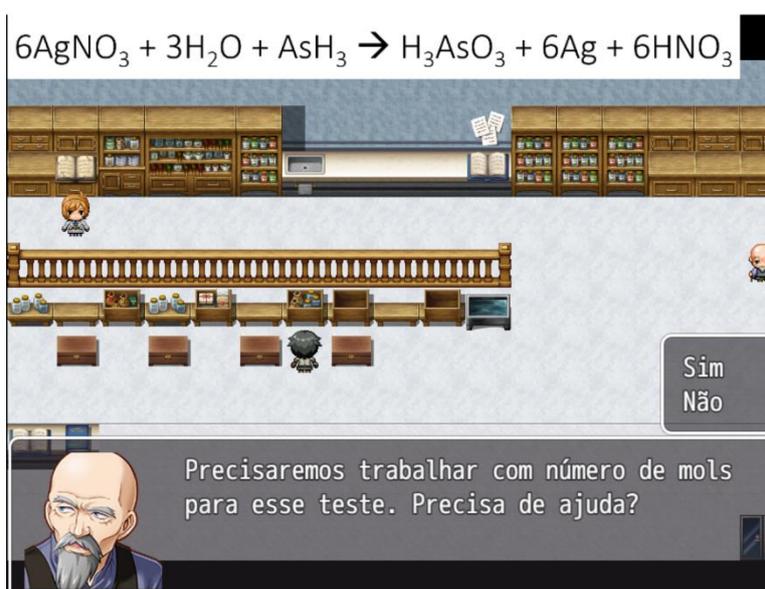
Figura 15 - Mapas secundários



Fonte: Elaboração própria.

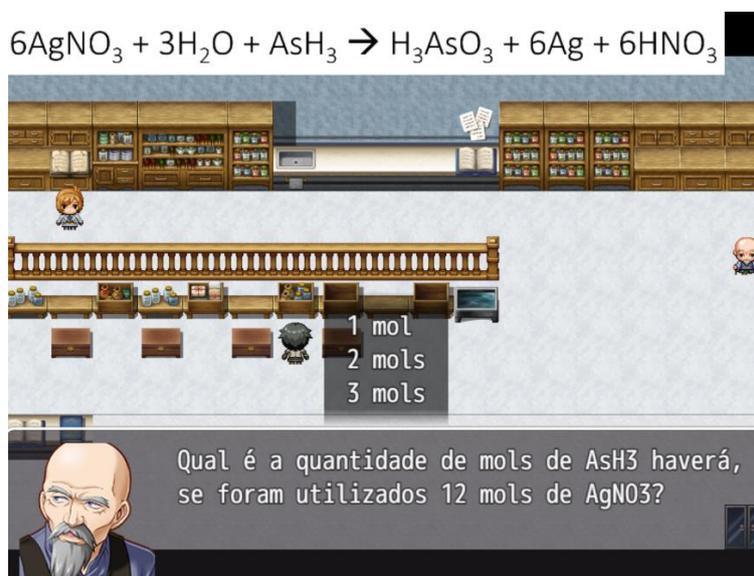
Foi adicionada a personagem João como mentor da personagem principal, que pode ser acionado pelo personagem principal. Ele introduz e contextualiza as razões de se realizar determinada reação química e informa o que é necessário saber. Após a introdução, questiona ao jogador se precisa de auxílio (Figura 16). Em caso afirmativo, João encaminha outra questão, na qual se verifica se o interesse é por um conteúdo na forma de texto ou de vídeo – ambos de autoria própria e breves, a fim de evitar perda de imersão no jogo. Em caso negativo, surge a pergunta para que o jogador selecione a alternativa correta (Figura 17).

Figura 16: João apresentado a opção de ajuda ao jogador



Fonte: Elaboração própria.

Figura 17: João apresentando a questão sobre a relação mol-mol ao jogador

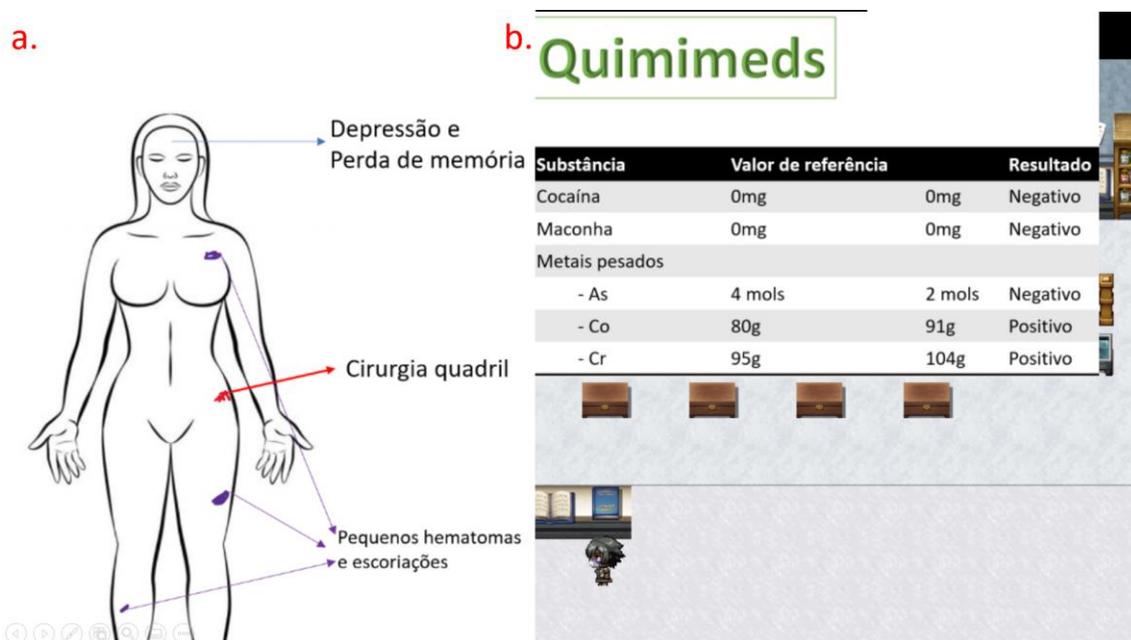


Fonte: Elaboração própria.

Em caso de acerto, o jogador recebe uma informação positiva. Caso contrário, João apresenta um possível motivo de o jogador ter errado e dá uma dica de correção para que ele volte e refaça a questão.

Ao finalizar cada um dos testes, são colocados parâmetros (fictícios) para determinar se o teor de cada metal pesado analisado é ou não excessivo. Ao término do jogo, é possível acessar novamente um resumo com todos os dados. Na Figura 18a, estão as informações obtidas no IML e, na Figura 18b, estão as informações obtidas no laboratório, a partir dos cálculos estequiométricos. João solicita que o jogador busque a informação do que ocorreu na internet e, com base nessas discussões, medeia-se uma discussão sobre a causa da morte.

Figura 18: Resumo dos dados coletados durante o jogo



Fonte: Elaboração própria.

É possível acessar um vídeo demonstrativo do jogo por meio do *link* https://drive.google.com/file/d/18rOoHsxSCUCu2zCqmXrd9nbjP2e_xoXE/view?usp=sharing.⁵

⁵ Acesso em: 30 de dezembro de 2021

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do jogo “Investigação Estequiométrica” ocorreu de forma excelente nos ciclos avaliativos, permitindo avanço e melhoria contínua do produto. Neles, além das informações obtidas como foco de estudo de cada ciclo, os participantes trouxeram os problemas relacionados à programação, por exemplo: as personagens andavam sobre os prédios na primeira versão; algumas funções não podiam ser selecionadas; e alguns diálogos que poderiam ser modificados. Isso contribuiu para que a versão final fosse atingida, de forma que, agora, é possível aplicar o produto como ferramenta educacional com grandes grupos de alunos.

O jogo atendeu satisfatoriamente à questão da aprendizagem dos alunos, no que tange aos conteúdos de massa molar das substâncias químicas e de cálculo estequiométrico na relação mol-mol. Quanto ao cálculo estequiométrico sobre a relação massa-massa, o jogo não foi o suficiente para que os alunos atingissem o nível de aplicação na taxonomia de Bloom, porém eles chegaram ao nível de conhecimento. Ademais, em três participantes, observamos o acesso a conhecimentos prévios para a resolução, o que deu significado a aprendizagem do conteúdo.

Como projeção futura, é importante disponibilizar o jogo para estudantes que já tiveram um contato inicial com o conteúdo. Dessa forma, pode-se avaliar se a sua estrutura auxilia os educandos na relação de cálculo massa-massa ou se essa última etapa precisa ser reformulada. Além disso, deve-se verificar a possibilidade de esse conteúdo, inicialmente desenvolvido para uso no computador, ser acessado em aplicativo de *smartphones*.

REFERÊNCIAS

AHMED, M.E.; HASEGAWA, S. The effects of a new virtual learning platform on improving student skills in designing and producing online virtual laboratories. **Knowledge Management & E-Learning: An International Journal**, v. 11, n. 3, p. 364-377, 2019.

ARNOLD, R.; DOS SANTOS, P.R.; BARBOSA, D.N.F. Um modelo de gamificação para redes sociais educacionais. **EaD em Foco**, v. 10, n. 1, 2020.

AUSUBEL, D.P. *et al.* **Educational psychology: A cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ensino Médio. Brasília: MEC, 2017.

BOONE, H.N.; BOONE, D.A. Analyzing likert data. **Journal of extension**, v. 50, n. 2, p. 1-5, 2012.

BROWN, C.L. *et al.* Current climate for digital game-based learning of science in further and higher education. **FEMS microbiology letters**, v. 365, n. 21, p. fny237, 2018.

BURD, Leo. Technological initiatives for social empowerment: Design experiments in technology-supported youth participation and local civic engagements. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology. 2007.

BUSARELLO, R.I. **Gamification: princípios e estratégias**. Pimenta Cultural, 2016.

CASTELLS, M. *et al.* A sociedade em rede: do conhecimento à política. **A sociedade em rede: do conhecimento à ação política**, p. 17-30, 2005.

CGI.BR. **Pesquisa sobre o uso da internet por crianças e adolescentes no Brasil**. TIC Kids online Brasil 2019. Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2019.

CHEN, M.P.; LIAO, B.C. Augmented reality laboratory for high school electrochemistry course. In: 2015 IEEE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES. IEEE, 2015. p. 132-136.

CHOU, Yu-kai. **Actionable gamification: Beyond points, badges, and leaderboards.** Londres: Packt Publishing Ltd, 2019.

COSTA, C.H.C.; DANTAS FILHO, F.F.; MOITA, F.M.G.S.C. MarvinSketch e Kahoot como ferramentas no ensino de isomeria. **Holos**, v. 1, p. 31-43, 2017.

COSTA, T.C.M.; DA SILVA OLIVEIRA, I.P.; DOS SANTOS, L.M. Uso do aplicativo kahoot: uma ferramenta pedagógica para as aulas de química por intermediação tecnológica/Kahoot application: a pedagogical tool for chemical classes by technological intermediation. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 14321-14326, 2019.

DA COSTA, A.A.F.; DA TRINDADE SOUZA, J.R. Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 10, n. 19, p. 106-116, 2013.

DE MELO SANTOS, C.E.; LEITE, B.S. Construção de um jogo educativo em uma plataforma de desenvolvimento de jogos e aplicativos de baixo grau de complexidade: o caso do Quizmica-Radioatividade. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 17, n. 1, p. 193-202, 2019.

DE OLIVEIRA, A.; GOMES, A. A utilização do software E-Chemical como ferramenta educacional de Química. In: **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. 2017. p. 355.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; JÚNIOR, J.A.V.A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Bookman Editora, 2015.

FAHL, D.; SAKIS, M.A.; MARTINS, R.S.M.; PEREIRA, R.M.; AVI, P.C.; BRIZZI, M.L.S. O uso de tablets educacionais no ensino médio. Relato de experiência. In: **SALÃO DO CONHECIMENTO, XIV JORNADA DE EXTENSÃO**, 2013.

HEVNER, A. R. *et al.* Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

HEVNER, A.R. A three-cycle view of design science research. **Scandinavian journal of information systems**, v. 19, n. 2, p. 4, 2007.

JACON, L.S.C.; OLIVEIRA, A.C.G. MARTINES, E.A.L.M.; MELLO, I.C. Os formadores de professores e o desafio em potencializar o ensino de conhecimentos químicos com a incorporação dos dispositivos móveis. **Investigações em ensino de ciências**, v.19, p. 77-89, 2014.

JOSHI, A. *et al.* Likert scale: Explored and explained. **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 7, n. 4, p. 396, 2015

KOH, S.B.K.; FUNG, F.M. Applying a quiz-show style game to facilitate effective chemistry lexical communication. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 11, p. 1996-1999, 2018.

KRUEGER, R.A.; CASEY, M.A. **Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research**, 3rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.2000.

LEARNED, E.P., CHRISTIANSEN, C.R., ANDREWS, K.; GUTH, W.D. **Business Policy: Text and Cases**, Irwin, Homewood, IL, 1969.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v.22, n.140, p.1–55. 1932.

LUTFI, A.; HIDAYAH, R.; HIDAYAH, I.A. Use of Computerized Games on Chemistry Learning. In: MATHEMATICS, INFORMATICS, SCIENCE, AND EDUCATION INTERNATIONAL CONFERENCE (MISEIC 2019). Atlantis Press, 2019.

MALTEMPI, M.V. Novas tecnologias e construção de conhecimento: reflexões e perspectivas. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA. 2005.

MELLORA, K. E. *et al.* The safer chemical design game. Gamification of green chemistry and safer chemical design concepts for high school and undergraduate students. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 11, n. 2, p. 103-110, 2018.

MENDONÇA, S.C.; DA SILVA, T.P. Dificuldades de aprendizagem no ensino de estequiometria: algumas reflexões. In: IV CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS. Campina Grande 2019.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 25, 2011.

MORENO, J. ; MURILLO, W.J. Jogo de Carbonos: uma Estratégia Didática para o Ensino de Química Orgânica para Propiciar a Inclusão de Estudantes do Ensino Médio Com Deficiências Diversas. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 24, n. 4, p. 567-582, 2018.

MOTA, F.G.; MARTIN, M.G.M.B.; SAUER, E. O RPG COMO ESTRATÉGIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE RADIOATIVIDADE. In: X CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. Sevilha. 2017.

NAKAMATSU, J. Reflexiones sobre la enseñanza de la Química. **En Blanco & Negro**, Lima, 3,38-46. 2012

NICHELE, A.G.; SCHLEMMER, E. Aplicativos para o ensino e aprendizagem de química. **CINTED** – Novas tecnologias na educação, Porto Alegre, v.12, n.2, p.1-9, dez. 2013.

ORTIZ, J.O.S.; DORNELES, A.M. Uso da taxonomia de Bloom digital gamificada em atividades coletivas no ensino de química: reflexões teóricas e possibilidades. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 2, n. 2, 2018.

PAPERT, S. **A Máquina das Crianças**: Repensando a Escola na Era da Informática. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PAPERT, S. **LOGO**: Computadores e Educação. São Paulo: Brasiliense, 1986.

PEREIRA, S.L.P.O.; FERREIRA, G.R.A.M. **Gamificação e qrcode**: ferramentas motivadoras utilizadas nas aulas de ciências da natureza em ead para aprendizagem dos conteúdos. 2017.

PIAGET, J. **The Grasp of Consciousness**: Action and Concept in the Young Child. Cambridge, Mass: Harvard University, 1976

PRENSKY, M. Nativos digitais, imigrantes digitais. **On the horizon**, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001.

PRENSKY, M. **Teaching digital natives**: Partnering for real learning. Califórnia: Corwin press, 2010.

PRENSKY, M. **Brain gain**: Technology and the quest for digital wisdom. Nova Iorque: St. Martin's Press, 2012.

PURBA, L.S.L., *et al.* Effectiveness of use of online games kahoot! chemical to improve student learning motivation. **Journal Pendidikan Kimia**, v. 11, n. 2, p. 57-66, 2019.

RAMOS, M.R.V. O uso de tecnologias em sala de aula. **LENPES** – PIBID de ciências sociais, v. 1, jul-dez. 2012

REAL, L.M.C.; TAVARES, M.N.R.; PICETTI, J.S. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2, 2013, Campinas. **Anais...** Campinas: 2013, p. 657-666.

RESNICK, M. *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play.* The MIT Press: Cambridge, MA, 2017.

SANDE, D.; SANDE, D. Uso do kahoot como ferramenta de avaliação e ensino-aprendizagem no ensino de microbiologia industrial. **Holos**, v. 1, p. 170-179, 2018.

SANTANA, T.S., *et al.* Velha Molar, um software livre como instrumento didático no ensino de química. In: XV FÓRUM GOIANO DE SOFTWARE LIVRE. Goiás. 2018.

SANTOS, A.O. *et al.* Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **Scientia plena**, v. 9, n. 7 (b), 2013.

SANTOS, A.V.; JANKE, L.C.; STRACKE, M.P. A utilização combinada do aplicativo Quiz Tabela Periódica com o software Hot Potatoes no estudo da classificação periódica dos elementos químicos. **TE & ET**, 2020.

SILVA, D., *et al.* Usando Smartphones, QR Code e Games of Thrones para gamificar o Ensino e Aprendizagem de Termometria. In: **Anais do Workshop de Informática na Escola.** 2017.

SILVA, G.; NETTO, J. F.; SOUZA, R. A Abordagem Didática da Simulação Virtual no Ensino da Química: Um Olhar para os Novos Paradigmas da Educação. In: **Anais do Workshop de Informática na Escola.** 2016.

SILVA, S.G. As principais dificuldades na aprendizagem de química na visão dos alunos do ensino médio. In: IX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN. 2013.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SOARES, H.; AIKES, J.; MOURATO, F. Development of a Serious Game to Improve the Teaching of Chemistry. In: 10TH CONFERENCE ON VIDEOGAME SCIENCES AND ARTS. Porto. 2018

STEWART, D. W.; SHAMDASANI, P. N.; ROOK, D. W. Analyzing focus group data. **Focus groups: Theory and practice**, v. 20, 2007.

SU, C.; CHENG, T. A sustainability innovation experiential learning model for virtual reality chemistry laboratory: An empirical study with PLS-SEM and IPMA. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1027, 2019.

TEZANI, T.C.R. Nativos digitais: considerações sobre os alunos contemporâneos e a possibilidade de se (re) pensar a prática pedagógica. **DOXA: Revista Brasileira de Psicologia e Educação**, v. 19, n. 2, p. 295-307, 2017.

TOLLE, H., *et al.* Perceived Usability of Educational Chemistry Game Gathered via CSUQ Usability Testing in Indonesian High School Students. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, Vol. 11, No. 3, 2020

TREMBLAY, M.C.; HEVNER, A.R.; BERNDT, D.J. Focus groups for artifact refinement and evaluation in design research. **Communications of the association for information systems**, v. 26, n. 1, p. 27, 2010.

VIERIA, E.A.O.; SILVEIRA, A.C.; MARTINS, R. X. Relato de Experiência. In: **CIET: EnPED**, 2018.

VYGOTSKY, L. S. **The collected works of LS Vygotsky: Problems of the theory and history of psychology**. Nova Iorque: Springer Science & Business Media, 1997.

APÊNDICE A: OBJETOS DIGITAIS GAMIFICADOS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ENCONTRADOS COM ACESSO VIA COMPUTADOR

Objeto 1: Elementos da tabela periódica

Nesse objeto são colocados os símbolos dos elementos químicos e a família da tabela periódica na qual esse elemento químico se encontra. O usuário deve escolher o nome do elemento químico que é representado por aquele símbolo. Ao clicar no correto, aparecerá em verde, ao errar e computado como erro. Há a contagem de tempo regressiva de 3 minutos e ao passar dos 3 minutos ou 3 erros o jogo finaliza com a mensagem “Você perdeu!”, mas não apresenta a correção dos erros que o usuário teve.

Ele auxilia o aluno a fixar o nome e símbolo dos elementos químicos, é um jogo eficiente e rápido, entretanto a visualização no site é um pouco comprometida pela quantidade de anúncios que aparecem. Podemos ter a visualização de uma tela o ODA observando a Figura A-1.

Figura A-1 – Visualização da interface do Objeto 1



Fonte: Site da plataforma Rachacuca

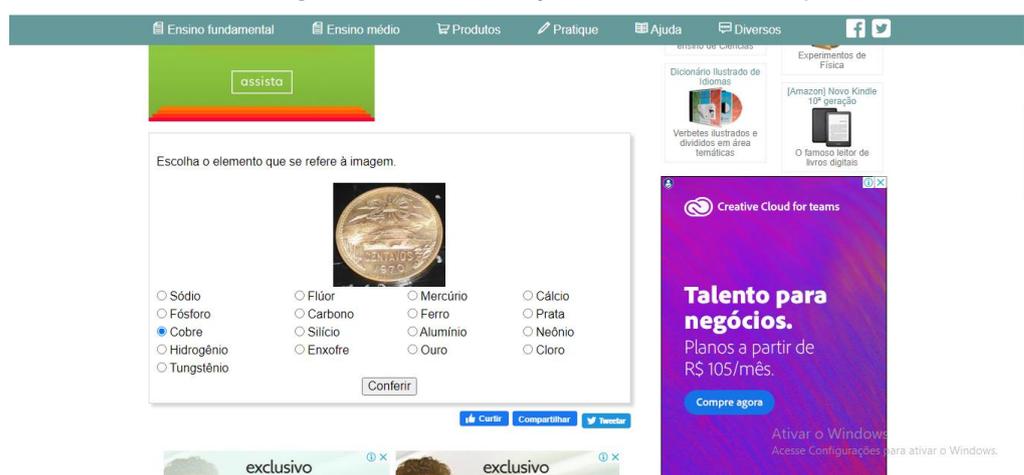
Objeto 2: Imagens e nomes dos elementos químicos

Esse jogo promove uma contextualização de forma que o aluno deva associar a imagem que aparece com qual é o elemento químico que está contido no objeto da imagem, no caso da Figura A-2. Vemos a imagem de uma moeda e o usuário deve associá-la ao elemento químico cobre.

Ao acertar o usuário recebe como resposta “Parabéns! Continue jogando” e ao errar ele recebe como resposta “Você errou. O coreto era xxxxx.” Onde xxxxx representa o elemento químico que deveria ter sido escolhido.

Objeto interessante para ser utilizado para contextualizar onde encontramos alguns elementos químicos no cotidiano, entretanto as imagens se repetem com frequência e algumas possuem baixa resolução, além do site possuir diversos anúncios.

Figura A-2 – Visualização da interface do Objeto 2



Fonte: Site da plataforma SoQ

Objeto 3: Nomes e símbolos dos elementos químicos

Neste ODA aparece o nome do elemento químico e o usuário deve associar ao seu símbolo. Dessa forma auxilia os alunos a fixar os nomes e símbolo dos elementos, entretanto a quantidade de anúncios na página é muito grande o que atrapalha um pouco a experiência do usuário.

Ao acertar a associação o usuário recebe a seguinte mensagem “Parabéns, você acertou! O símbolo do elemento CARBONO é C. Continue jogando!”

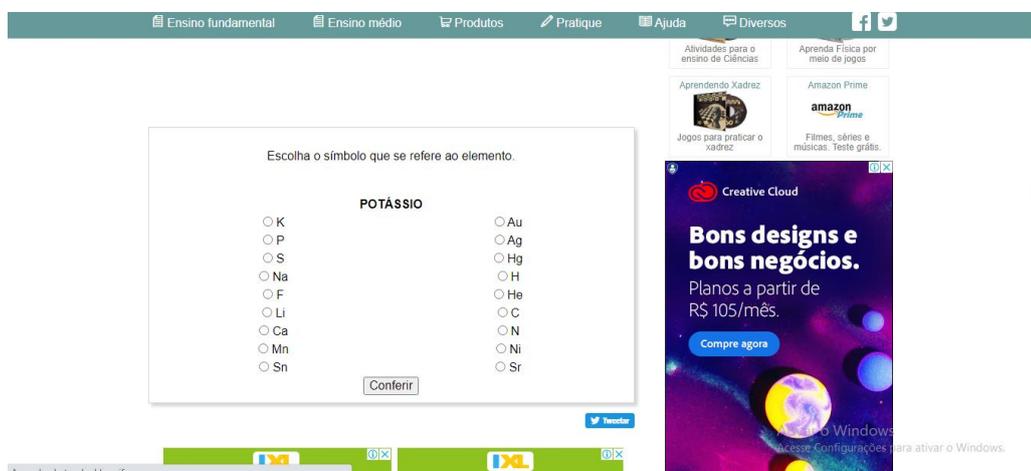
Podemos ter a visualização de uma tela o ODA observando a Figura A-3.

Objeto 4: A calda tem química?

Aplicação simples, que apresenta a contextualização de soluções em uma história como se fossem quadrinhos que auxiliam o aluno na prática do conteúdo de coeficiente de solubilidade e classificação de soluções, por meio de exercícios que surgem no decorrer da história. Seu ponto fraco é que ao cometer um erro o aluno

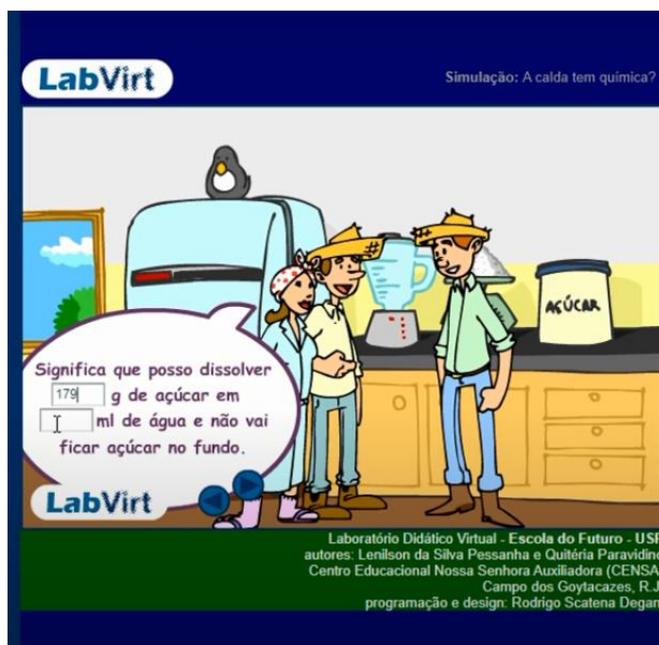
não recebe nenhum feedback desse erro para que possa corrigi-lo. Podemos ter a visualização de uma tela o ODA observando a Figura A-4.

Figura A-3 – Visualização da interface do Objeto 3



Fonte: Site da plataforma SoQ

Figura A-4 – Visualização da interface do Objeto 4



Fonte: Site da plataforma LarVirt

Objeto 5: Acidez do vinagre na salada

Temos a tela inicial dessa aplicação na Figura A-5. Assim como Objeto 4 a interface aparenta com quadrinhos, sendo a função deste é explicar os passos para a realização de uma titulação. A história em quadrinhos vai guiando o usuário no

passo a passo para realização de uma titulação, entretanto os pontos fracos é que não permite que o usuário realize a medição das substâncias e que as medidas não possuem os valores das casas decimais, que em titulação devem ser levadas em consideração.

Figura A-5 – Visualização da interface do Objeto 5



Fonte: Site da plataforma LarVirt

Objeto 6: Química dos remédios

Este ODA apresenta uma história na qual estão inseridas as funções inorgânicas e durante esta história vão surgindo oportunidades para que o usuário dê a nomenclatura dos compostos inorgânicos, entretanto a aplicação é limitada, pois são poucos os compostos que aparecem e nenhum dos compostos é da função inorgânica denominada bases, mas é inegável o auxílio em fixação do conteúdo. Na Figura A-6, temos a visualização de uma tela da aplicação.

Figura A-6 – Visualização da interface do Objeto 6



Fonte: Site da plataforma LarVirt

Objeto 7: Balanceando a equação

Este objeto apresenta uma história como se fosse em quadrinhos na qual aborda o balanceamento de equações químicas. O interessante é que associa esse balanceamento, inicialmente, a uma receita de bolo o que auxilia o aluno a interrelacionar algo que ele já realiza no cotidiano com o que acontecerá na química. Essa aplicação é de fácil utilização e auxilia na aprendizagem de química e na fixação do conteúdo, entretanto a quantidade de reação que são apresentadas são poucas e no caso de erro, o usuário não recebe nenhum feedback que o auxilie a identificar e corrigir este erro. Podemos ter a visualização de uma tela inicial do ODA observando a Figura A-7.

Figura A-7 – Visualização da interface do Objeto 7

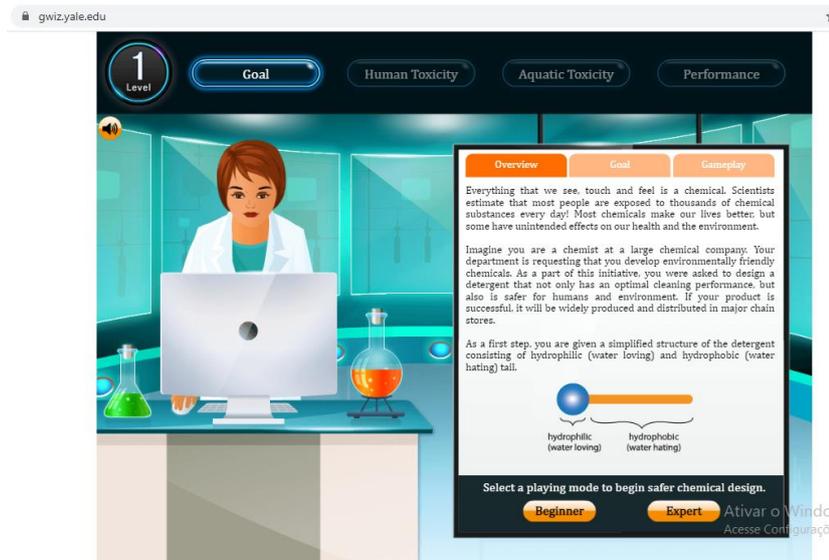


Fonte: Site da plataforma LarVirt

Objeto 8: Safer Chemical Design Game

Neste ODA, há foco na química verde, ou seja, que é ambientalmente melhor, por isso apresenta algumas substâncias que se utiliza no dia-a-dia frisando na verificação dos melhores parâmetros ambientais. Ele aborda diversos conceitos químicos, mas seu ponto forte é que faz o usuário analisar parâmetros para produção mais sustentável, entretanto não motiva o usuário a continuar a executar as ações. Sua tela inicial pode ser visualizada na Figura A-8.

Figura A-8 – Visualização da interface do Objeto 8

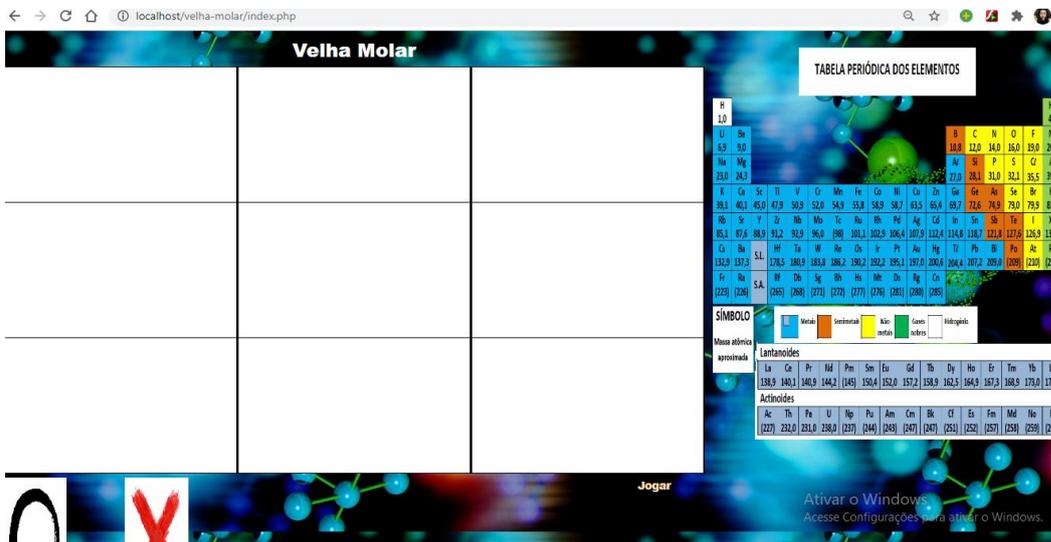


Fonte: Site da plataforma Gwiz Yale

Objeto 9: Velha molar

É o tradicional jogo da velha (que pode ser visualizada na Figura A-9), entretanto para conseguir marcar a casinha o usuário deve acertar o valor da massa molar ao clicar a casinha que gostaria de fixar uma marca. Muito interessante, por ser um jogo que é muito conhecido, a única ressalva cabe ao fato de ser necessário realizar download no computador para rodar a aplicação. Logo, os dois jogadores devem estar presencialmente no mesmo espaço físico para ter a interação no jogo.

Figura A-9 – Visualização da interface do Objeto 9

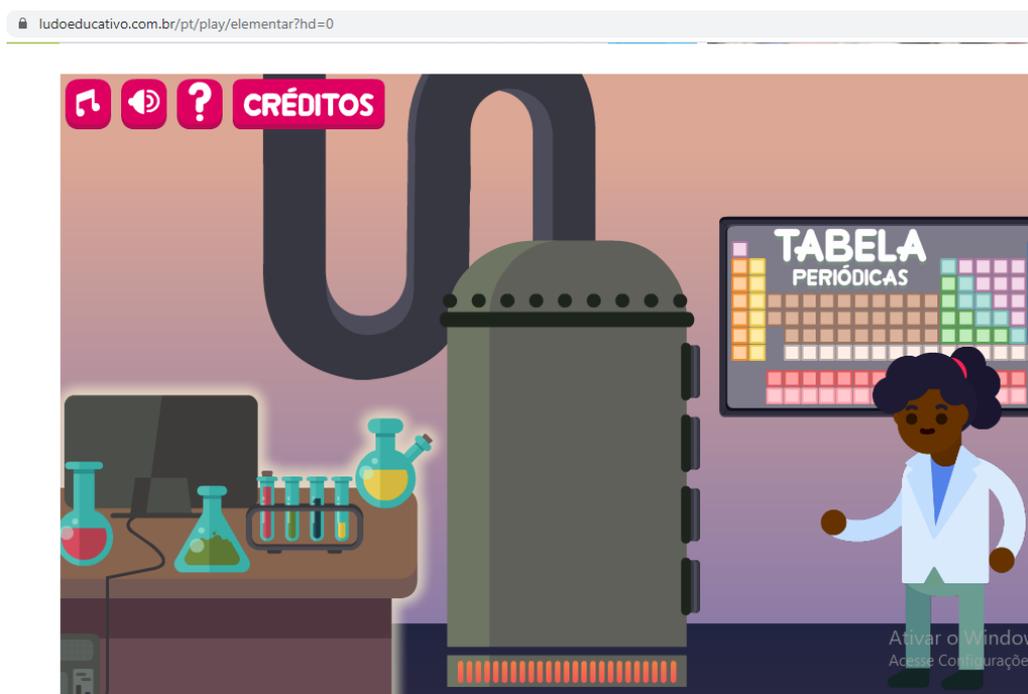


Fonte: Software Velha Molar

Objeto 10: Elementar

Um jogo mais complexo que possui diversas estações, sendo que em cada etapa uma atividade é desenvolvida, entre elas tem Tetris e quiz, essa aplicação apresenta uma excelente construção da tabela periódica. Os assuntos envolvidos são variados, entretanto são necessárias muitas etapas para concluir uma única ação. A tela que direciona para as tarefas pode ser visualizada na Figura A-10.

Figura A-10 – Visualização da interface do Objeto 10



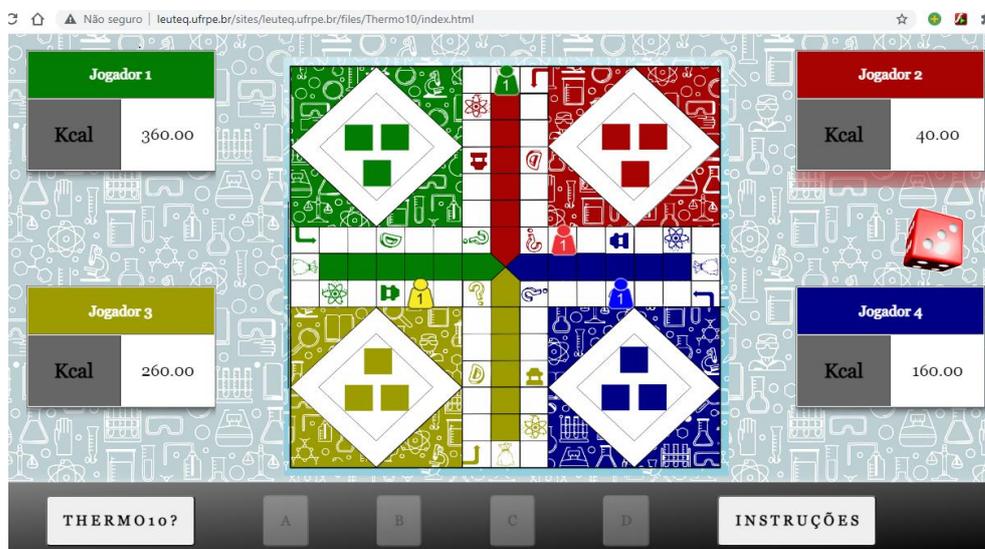
Fonte: Site da plataforma Ludo Educativo

Objeto 11: Thermo10

É um jogo de tabuleiro com quatro jogadores, a ressalva é que uma pessoa consegue acessar o tabuleiro, então há necessidade dos quatro estarem juntos ou ter um elemento que coordene todas as ações no tabuleiro. Esse jogo apresenta um dado para avançar as casas e no tabuleiro possuem casas especiais que podem apresentar dicas, prêmios, castigos ou questões sobre termoquímica contextualizadas para a área de alimentos. Tanto que a pontuação é marcada na unidade de kcal (quilocalorias). Este auxilia a fixar os conceitos de termoquímica, assim como as classes das macromoléculas alimentares e tabelas nutricionais. Mas é muito dinâmico e envolvente. Na Figura A-11, pode-se visualizar tanto o tabuleiro e

a pontuação de cada jogador. Os nomes dos jogadores podem ser personalizados e o dado aparece abaixo e na cor do jogador daquela rodada.

Figura A-11 – Visualização da interface do Objeto 11

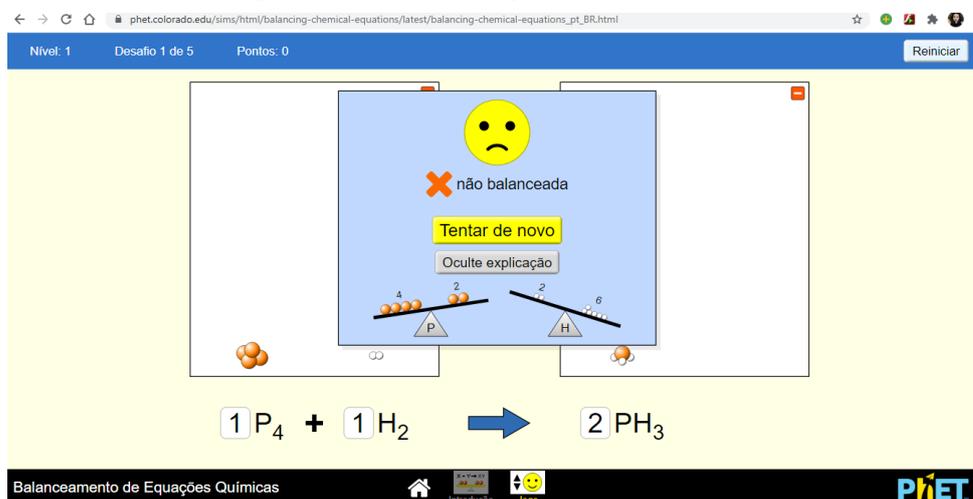


Fonte: Site da plataforma leuteq.ufrpe

Objeto 12: Balanceamento de reação

Utiliza modelos para demonstrar as quantidades das substâncias, o que auxilia muito o aluno a compreender o balanceamento. Na Figura A-12, temos a visualização de quando há um erro no jogo, então mostra o erro, mas não como esse erro pode ser corrigido. As pontuações também não ficam salvas.

Figura A-12 – Visualização da interface do Objeto 12

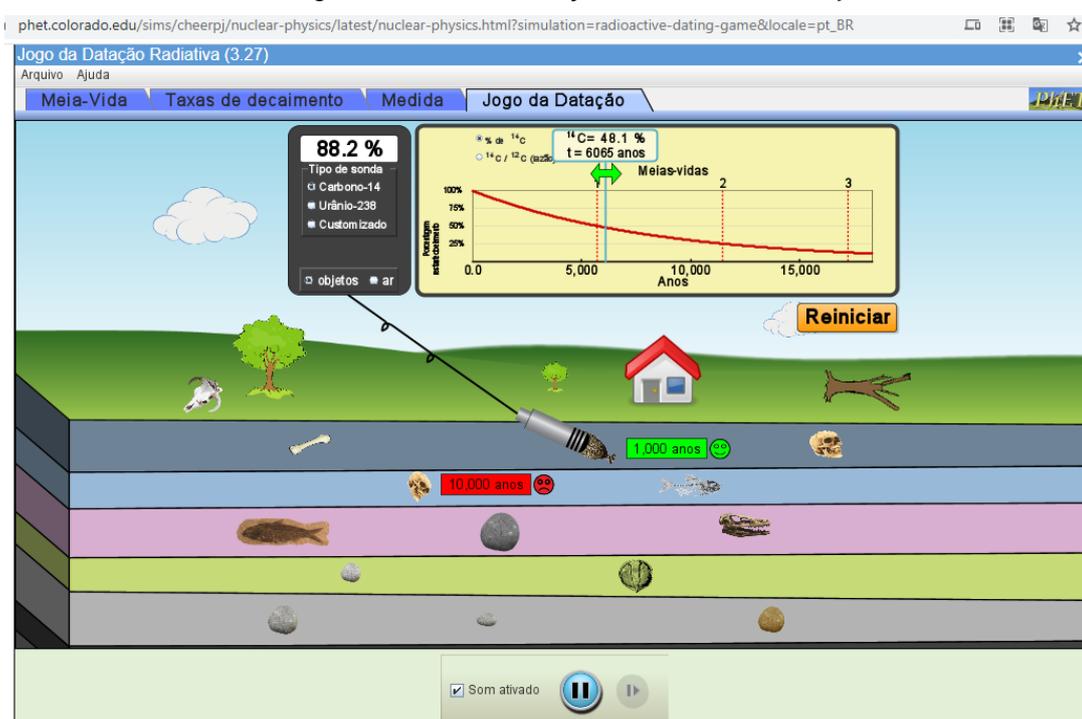


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 13: Jogo da datação radioativa

Nessa aplicação há uma simulação e um jogo, a simulação ajuda a explicar muito bem o tempo de meia vida, pois contextualiza e mostra a metade dos átomos radioativos decaindo para núcleos estáveis em um determinado tempo. O jogo apresentado nesta aplicação faz com que se tenha que determinar a idade de materiais devido a quantidade de carbono-14 contido nele, entretanto ao errar aparece que o usuário errou, mas nenhuma forma de auxiliá-lo a corrigir o erro, observa-se na Figura A-13 um acerto e um erro ao datar alguns materiais.

Figura A-13 – Visualização da interface do Objeto 13

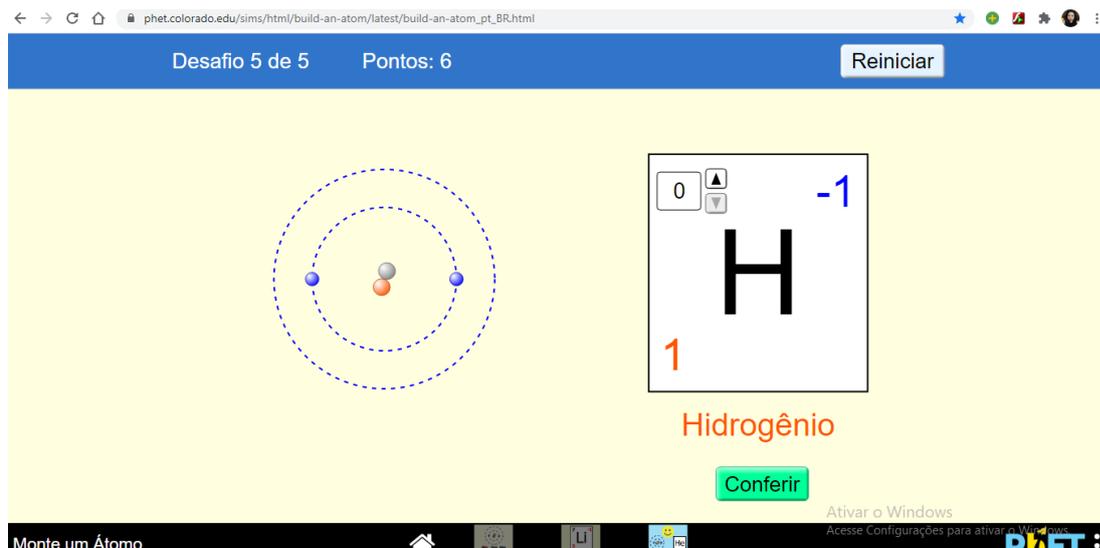


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 14: Monte um átomo

Trata-se de um simulador e jogo que permite que se associe os átomos e íons, a partir do número de massa, prótons, elétrons e nêutrons às suas representações simbólicas com o modelo atômico de Bohr. Quando o usuário acerta aparece um emoji feliz e quando erra um emoji triste, entretanto nenhum *feedback* é apresentado quanto aos erros. Também é necessário que haja intervenção do professor, pois não há nenhuma instrução, como pode-se observar na Figura A-14.

Figura A-14 – Visualização da interface do Objeto 14



Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 15: Monte uma molécula

Essa aplicação é um simulador que permite a montagem de moléculas, ao montá-las podemos ter a visualização dela em três dimensões e com o auxílio do mouse é possível movê-la e girá-la, o que é muito importante para a compreensão da geometria e algumas propriedades da substância. Na Figura A-15, observa-se que há bandejas com átomos e novos grupos de átomos aparecem ao clicar nas setas, ao montar uma molécula comercial aparece o nome dela em inglês.

Figura A-15 – Visualização da interface do Objeto 15

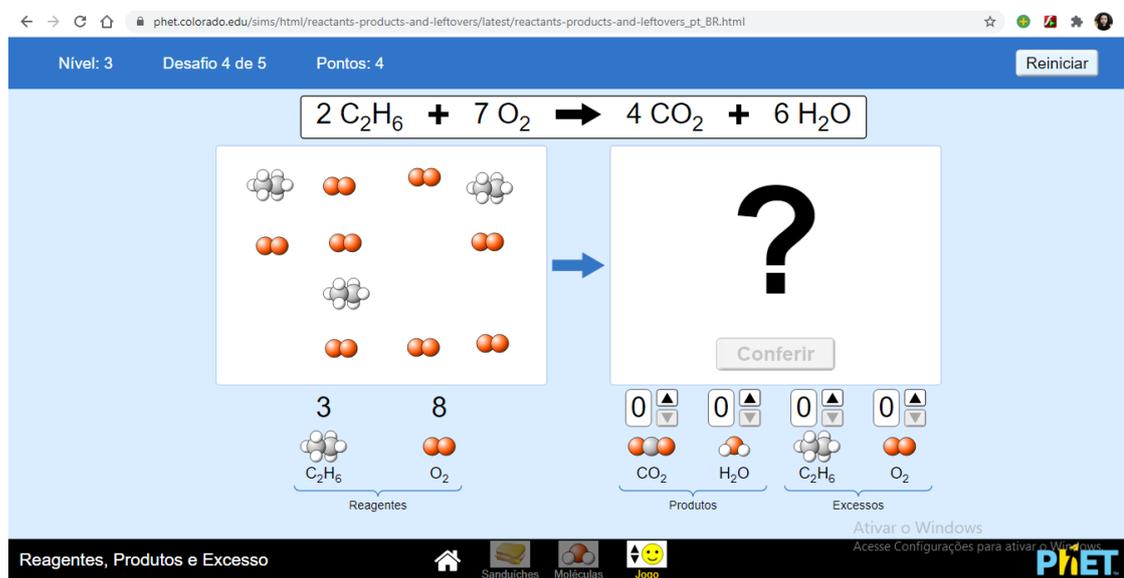


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto16: Reagentes, Produtos e Excesso

Esse ODA aborda o conteúdo de estequiometria, mas apresenta a representação a partir do número de mols e apresenta o conceito de excesso com a analogia de preparação de um sanduíche. Os pontos fracos são que essa aplicação não possui nenhuma instrução, logo o aluno precisa do auxílio do professor para que tenha as informações necessárias para entender a analogia presente e que ao cometer um erro o jogo apresenta como resposta que está errada, mas nenhuma informação que auxilie o usuário a realizar a correção. Na Figura A-16 podemos visualizar que temos as substâncias dos reagentes na forma de modelo atômico e deve-se ter a mesma ideia quanto aos produtos, mas na reação acima aparecem apenas duas substâncias como produto e nos modelos aparecem quatro substância, pois deve-se analisar quanto ao excesso que possa haver na reação, mas não há informações no jogo sobre os excessos de reagentes.

Figura A-16 – Visualização da interface do Objeto 16



Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 17: Moléculas

Trata-se de um jogo no qual há uma substância e deve-se levar o número de bolinhas que representam o número de átomos daquela determinada substância para dentro de um Erlenmeyer, que pode ser visualizada na Figura A-17. Mas o foco é mais para motivação e divertimento do usuário, não considera muito o processo de aprendizagem dos conceitos.

Figura A-17 – Visualização da interface do Objeto 17



Fonte: Site da plataforma Jogos 360

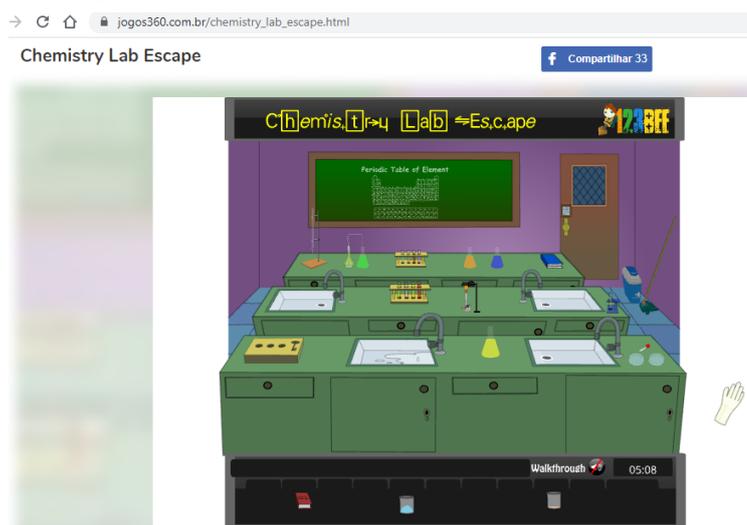
Objeto 18: Chemistry Lab Scape

Neste jogo é necessário realizar diversos experimentos químicos para conseguir obter os itens necessários para conseguir escapar da sala, esse jogo tem algumas reações químicas corretas, entretanto o enfoque é mais a motivação do que aprendizagem. Entretanto, não responde muito bem aos comandos e não há nenhuma instrução inicial, o que dificulta a experiência. Ao tentar realizar algo fora da ordem idealizada, o jogo não permite a ação, pois há um gabarito da ordem das ações e só permite realizar ações nesta determinada ordem. O que prejudica a experiência do usuário, pois ele pode estar realizando uma ação correta, entretanto não no momento idealizado pelo criador do jogo. O laboratório do qual se quer escapar tem sua imagem na Figura A-18.

Objeto 19: Jogos de química ambiental: Química básica

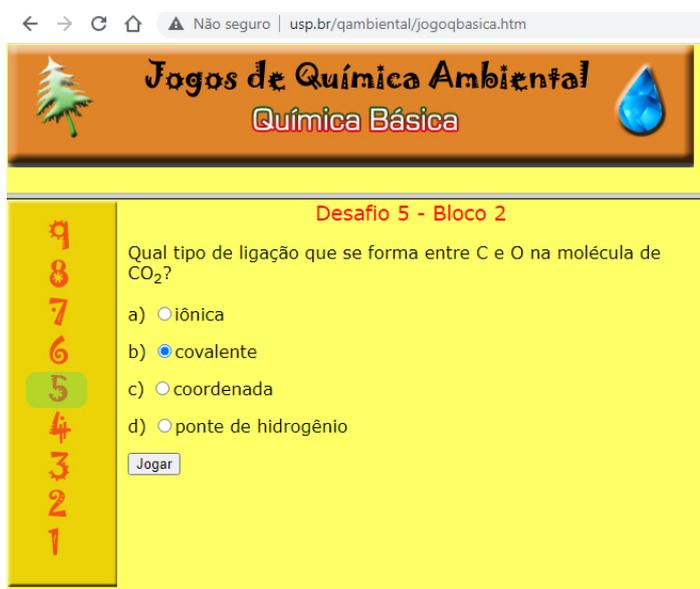
Quiz que envolve diversos conceitos contextualizados em química ambiental e aborda diversos conceitos químicos nas questões. Sua interface pode ser observada na Figura A-19. Um ponto fraco surge quando se erra uma questão e não aparece nenhum auxílio para que possa corrigir o erro e o quiz retorna para a questão inicial, então recomeça-se com as questões que haviam sido já respondidas de forma correta.

Figura A-18 – Visualização da interface do Objeto 18



Fonte: Site da plataforma Jogos 360

Figura A-19 – Visualização da interface do Objeto 19

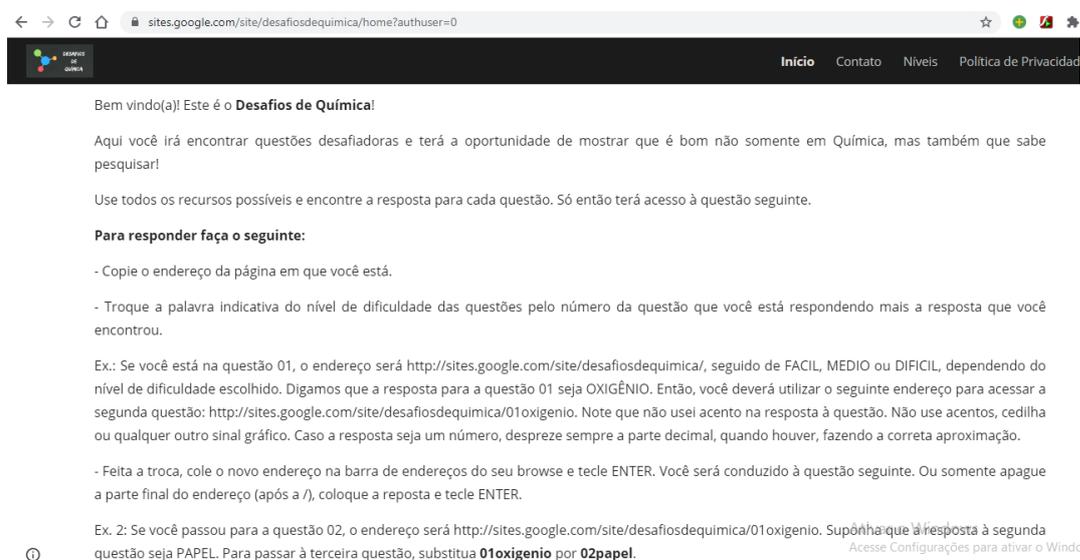


Fonte: Site da plataforma USP

Objeto 20: Desafios de química

Trata-se de um quiz na qual a resposta deve ser colocada diretamente no URL para a indicação da próxima questão, então quando se acerta a questão a próxima questão abre, entretanto, ao errar aparece a mensagem de que a página não existe. Esse mecanismo é complicado, pois não há possibilidade de haver algum feedback ao aluno sobre seus erros e não há possibilidade de corrigi-lo. A página inicial com as regras pode ser visualizada na Figura A-20.

Figura A-20 – Visualização da interface do Objeto 20

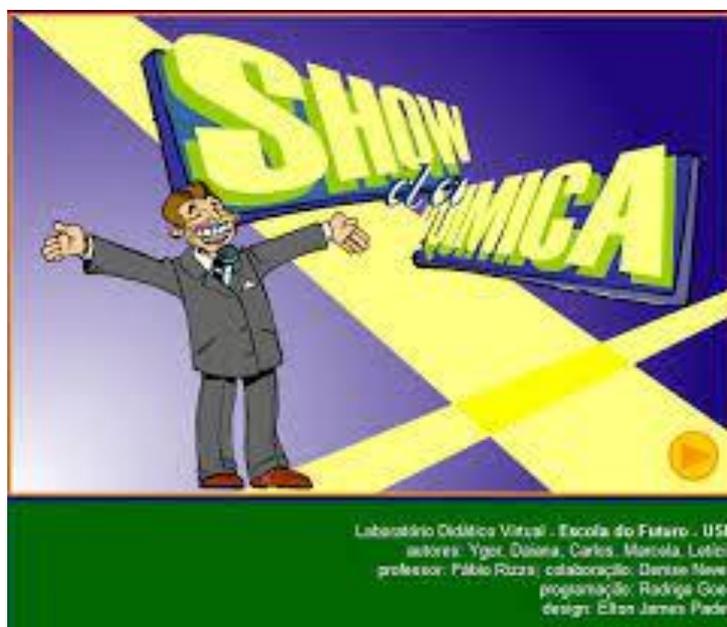


Fonte: Site da plataforma Sites Google

Objeto 21: Show da química

Muito semelhante ao já conhecido jogo do milhão, esse quiz aborda o conteúdo de teoria dos gases tendo como finalidade a fixação do conteúdo e/ou avaliação da aprendizagem do conteúdo. Os pontos fracos são que as perguntas se repetem com muita frequência e ao errar os usuários não recebem nenhum *feedback*. A interface da página inicial pode ser observada na Figura A-21.

Figura A-21: Visualização da interface do Objeto 21



Fonte: Site da plataforma LabVirt

Objeto 22: Seneca

É uma apresentação mais dinâmica dos conteúdos de química, na qual aparecem os conceitos de formas sucinta e contextualizada e em seguida algumas questões são apresentadas para que o aluno responda sobre os conceitos apresentados, dessa forma auxilia o aluno a fixar o conteúdo, entretanto ao errar uma questão o aluno recebe qual seria a resposta correta, mas sem uma explicação sobre o porquê. Ao finalizar o aluno tem uma porcentagem de acertos e tem a oportunidade de realizar novamente a atividade. O interessante é que é necessário realizar login, então o aluno tem o seu desempenho salvo. Essa plataforma também permite que o professor disponibilize o link para que seus alunos resolvam a atividade e o professor pode acompanhar o desempenho de seus alunos e o tempo que o aluno levou para responder a atividade. Na Figura A-22, vemos a página da plataforma Seneca sobre o conteúdo de tipos de substância, então vemos a definição e abaixo um exercício de fixação para completar a lacuna com uma palavra.

Figura A-22 – Visualização da interface do Objeto 22

The screenshot displays the Seneca learning platform interface. On the left, a blue sidebar menu shows the course structure under 'Química: Ensino Médio', with '5.2 Substâncias e Misturas' selected. The main content area features a video player showing hands holding beakers with colored liquids. Below the video, a text box defines 'Substância pura' (Pure substance) with two bullet points: 'Ao contrário das misturas, as substâncias apresentam composição fixa, podendo ser representadas por fórmulas.' and 'Apresentam propriedades químicas e físicas bem definidas.' Below this, another video player shows a man in a shower, with a text box asking: 'A água (H₂O) é um exemplo de uma substância pura _____, pois é formada por mais de um elemento químico.' The interface includes a 'Cadastra' button in the top right, a '0 / 1' progress indicator, and a 'Role para baixo para continuar' button at the bottom.

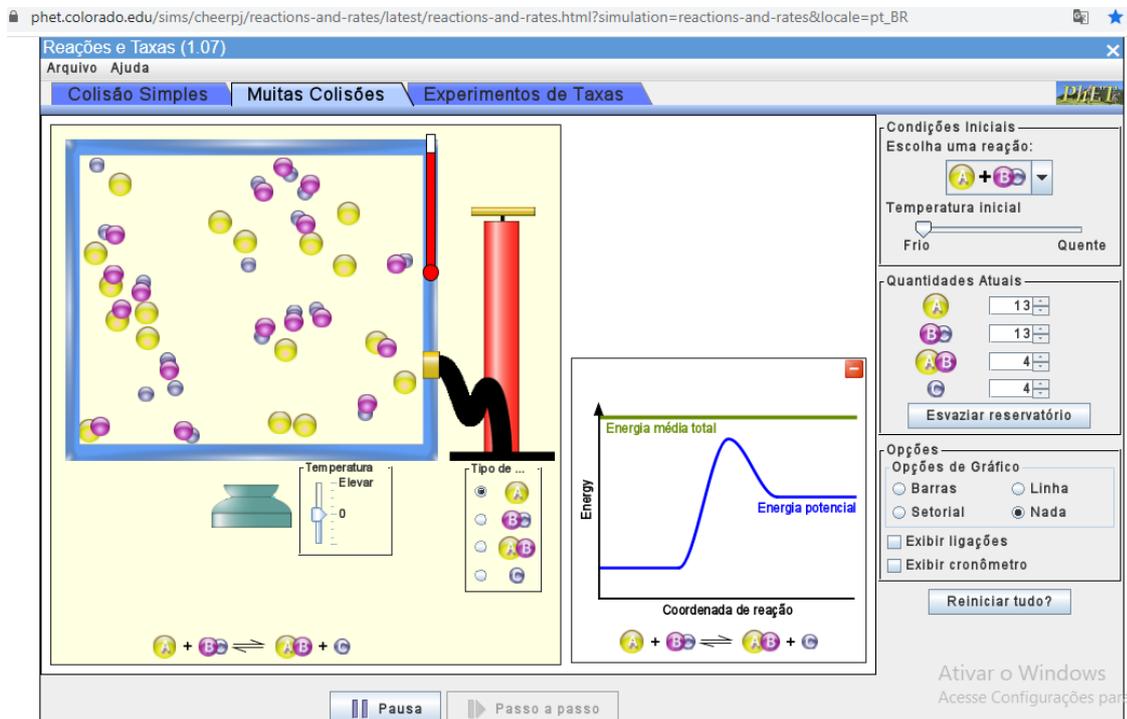
Fonte: Site da plataforma Seneca

Objeto 23: Reações e taxas

Excelente aplicação para auxiliar na visualização de como ocorre uma reação química, sobre a teoria das colisões e de alguns fatores que alteram a velocidade de reações. Na Figura A-23, vemos a interface na qual diversas moléculas dos

reagentes são adicionadas a um recipiente e vemos a dinâmica na teoria das colisões para que se formem os produtos da reação.

Figura A-23 – Visualização da interface do Objeto 23

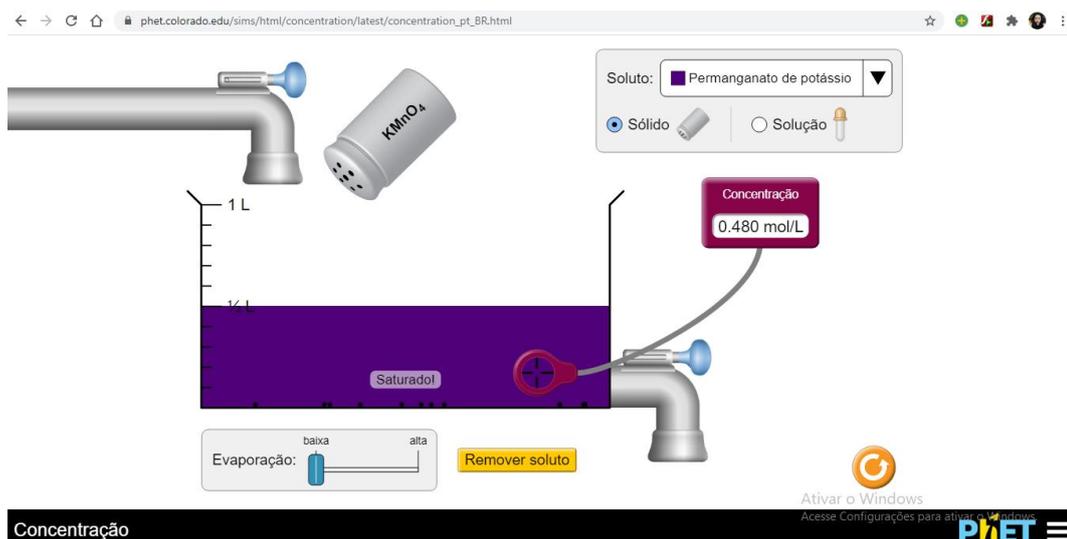


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 24: Concentração de solução

Neste simulador é possível verificar conceitos referente às soluções, tanto sobre a unidade de concentração, quanto à influência da adição de soluto, quanto à adição de solvente (diluição e concentração de solução). Como depende da tutoria de um professor pode-se também abordar os tipos de soluções e coeficiente de solubilidade. Na Figura A-24, temos uma interface na qual podemos observar que é possível obtermos a concentração da solução e pode-se escolher o soluto a partir de uma lista limitada de solutos e este pode apresentar-se na sua forma sólida ou de solução. Ao optar-se pela forma de solução, torna-se interessante trabalhar o conceito de diluição de solução, assim como acionando a torneira para o aumento da quantidade de solvente na solução. O conceito de concentração de solução pode ser abordado tanto pela adição de soluto quanto pela evaporação de solvente.

Figura A-24 – Visualização da interface do Objeto 24

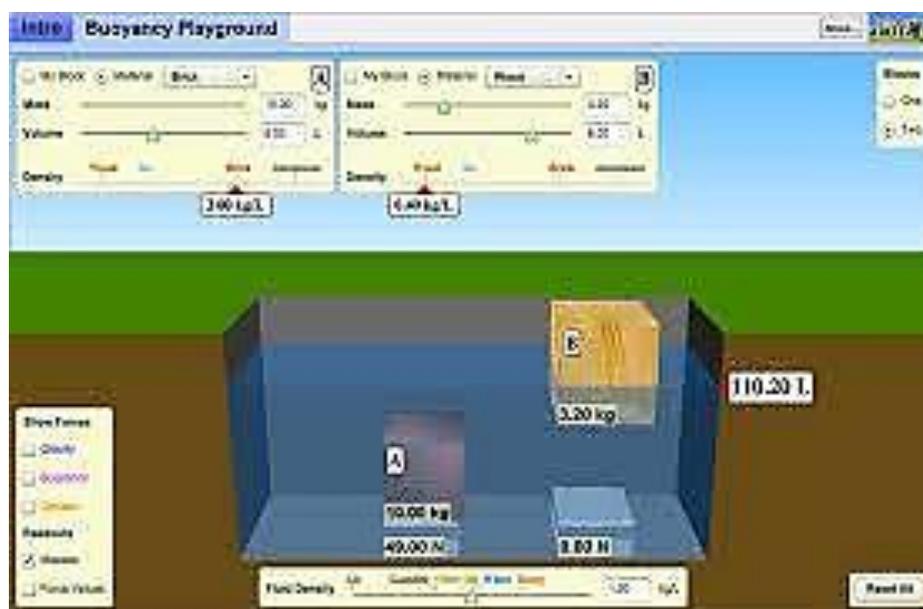


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 25: Densidade

A aplicação aborda a comparação da densidade de materiais com a densidade da água e permite o cálculo da densidade. Interessante para os alunos terem a visualização dos aspectos principais da densidade em relação aos materiais dos cubos e da densidade desses cubos em relação à água. O único ponto fraco é que aborda apenas a densidade de sólidos. Sua interface pode ser visualizada na Figura A-25.

Figura A-25: Visualização da interface do Objeto 25

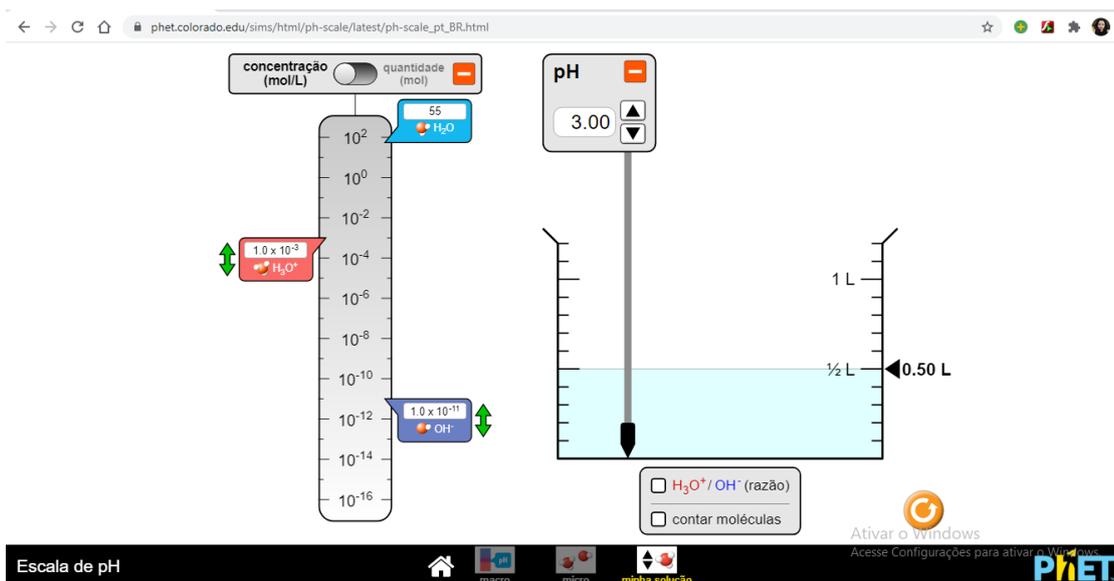


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 26: Escala de pH

Podemos visualizar ao observarmos a Figura A-26, o valor de pH de uma solução e associar este valor às quantidades de íons H_3O^+ e OH^- , logo podemos trabalhar os conceitos de equilíbrio iônico. Muito importante como uma ferramenta que auxilia a visualização de um fenômeno, entretanto também precisa de um professor que indique as funcionalidades e que associe o que estamos visualizando com os conhecimentos químicos.

Figura A-26 – Visualização da interface do Objeto 26

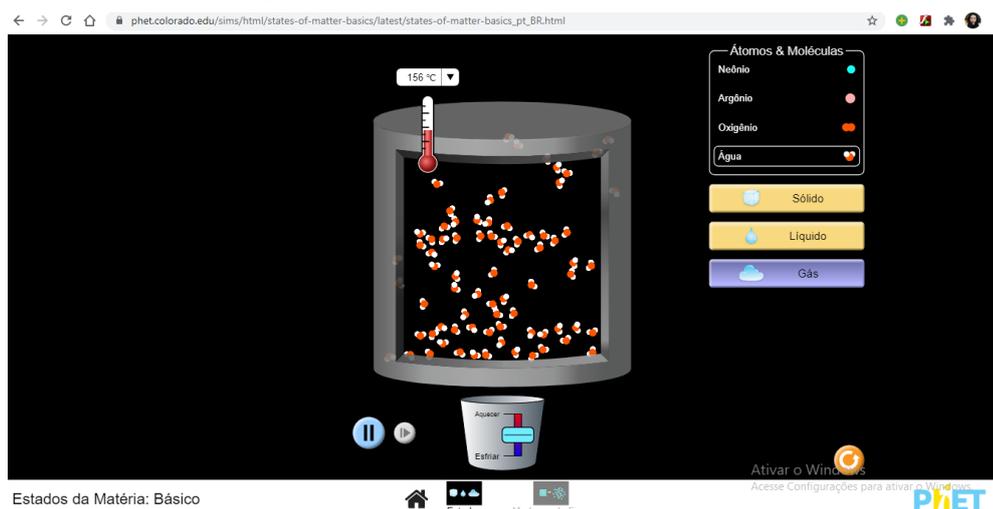


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 27: Estado da matéria

Neste simulador pode-se visualizar a diferença no comportamento das moléculas e átomos nos diferentes estados físicos. Nessa visualização de modelo de Dalton, o aluno passa a ter a ideia de tridimensionalidade da molécula e que esta possui principalmente movimentos vibracionais e rotacionais e que estes se alteram com a energia absorvidas pelas moléculas e átomos. Podendo associar a movimentação das partículas com seu estado físico. Também precisa de um professor para guiar e orientar os alunos. Na Figura A-27 temos a visualização da interface que representa a água no estado gasoso e a temperatura na qual aquelas moléculas terão aquele comportamento. O ponto fraco é a quantidade limitada de átomos e moléculas disponíveis nesta aplicação que pode ser observada na parte superior direita da Figura A-27.

Figura A-27 – Visualização da interface do Objeto 27



Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 28: Formas de energia e transformação

Um simulador que deve ter seu uso guiado pelo professor que demonstra quando há transformações energéticas e como podemos transformá-las. Muito importante o entendimento das conversões entre os tipos de energia e transferência de calor para a aprendizagem de termoquímica. Podemos observar através da Figura A-28 que podemos colocar um termômetro para observar que ao alterar o estado físico a temperatura de substâncias puras é constante e como ocorre a transferência de calor (na forma de energia), representadas pelos quadradinhos vermelhos com a letra E dentro.

Figura A-28 – Visualização da interface do Objeto 28

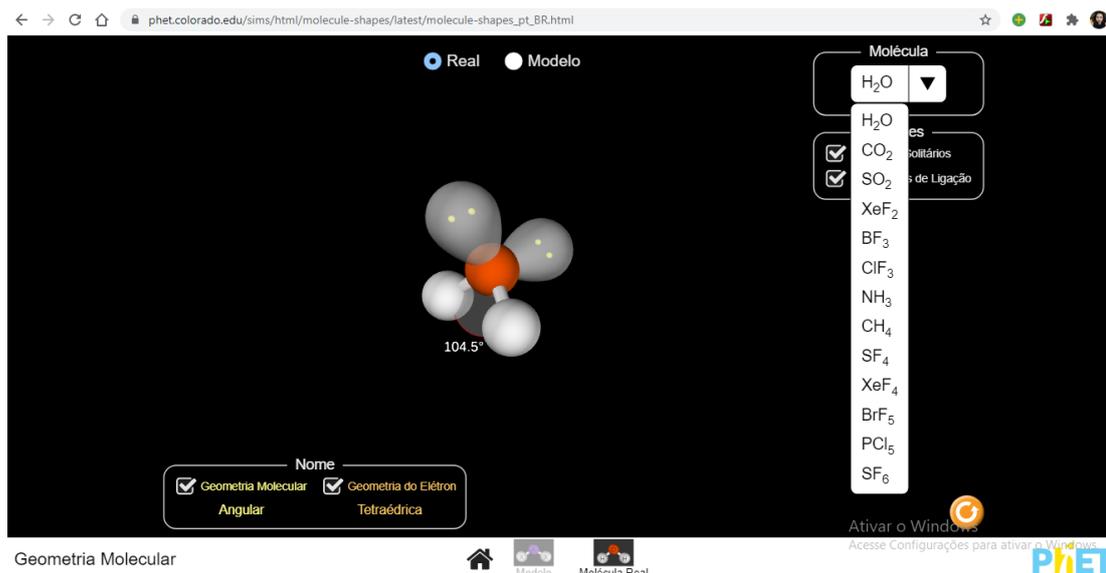


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 29: Geometria molecular

Com este simulador temos algumas moléculas que podemos visualizá-las tridimensionalmente, dessa forma conseguimos ver a geometria com os ângulos de ligação e a nuvem dos pares de elétrons livres que provocam leve distorção na geometria molecular. Ponto fraco é a limitação de moléculas que podem ser visualizadas com o simulador. Na Figura A-29 temos a interface da molécula de água apresentando o ângulo de ligação de $104,5^\circ$ devido à distorção forçada pelos dois pares de elétrons livre representados pela nuvem de repulsão. Também observamos a limitação das moléculas que estão disponíveis nesta aplicação.

Figura A-29 – Visualização da interface do Objeto 29

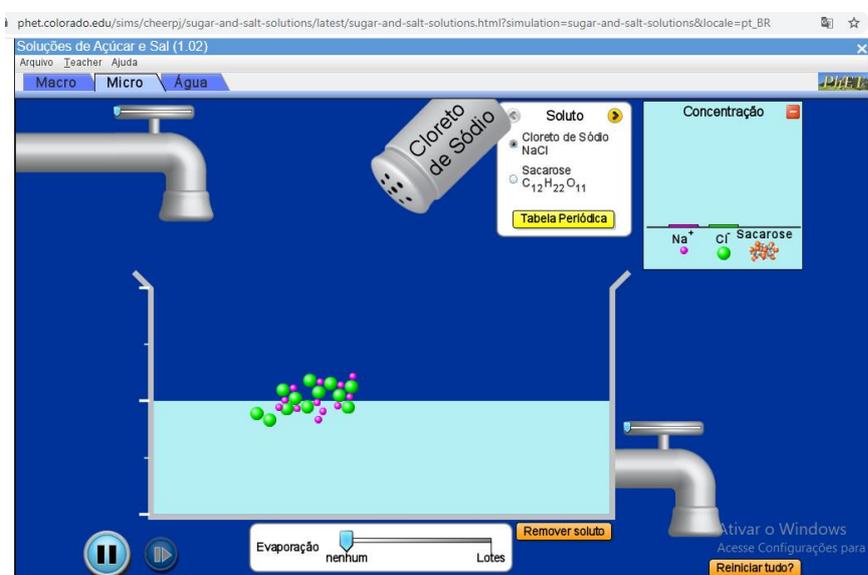


Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 30: Soluções de água e açúcar

Neste simulador, podemos visualizar o comportamento das substâncias iônicas e moleculares ao passarem pelos processos de dissociação iônica ou de ionização ao adicionar, respectivamente, cloreto de sódio ou açúcar em água. Na Figura A-30 temos a interface do momento no qual o cloreto de sódio entra em contato com a água e o processo de dissociação iônica se inicia. Antes do contato com a água temos o retículo cristalino, formado pelos cristais de sal e após o início da dissociação para a formação dos íons Na^+ e Cl^- .

Figura A-30 – Visualização da interface do Objeto 30



Fonte: Site da plataforma Phet

Objeto 31: Soluções ácido-base

Neste simulador o professor pode apresentar aos alunos os processos de ionização e dissociação, respectivamente, para os ácidos e as bases. Ainda podemos associar como esses processos estão associados à força dos ácidos e bases, abordando as questões de equilíbrio químico, como observa-se na Figura A-31.

Figura A-31 – Visualização da interface do Objeto 31

Solução

- Água (H₂O)
- Ácido Forte (HA)
- Ácido Fraco (HA)
- Base Forte (MOH)
- Base Fraca (B)

Ver

- Moléculas
- Solvente
- Gráfico
- Ocultar

Recursos

HA + H₂O ⇌ A⁻ + H₃O⁺

Soluções Ácido-Base

Intro Minha Solução

Ativar o Windows
Acesse Configurações para ativar o Windows

PhET

Fonte: Site da plataforma Phet