



APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGO: ENSINO DE NÚMEROS QUÂNTICOS

GAME BASEAD LEARNING: TEACHING QUANTUM NUMBERS

Amanda Chelly da Rocha [amanda.rocha@seducam.pro.br]
Secretaria de Estado de Educação e Qualidade de Ensino do Amazonas

João dos Santos Cabral Neto [jneto@ifam.edu.br]
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

RESUMO

Neste trabalho, propõe-se o uso de um jogo intitulado Aventuras de Atomildo, um jogo digital pensado como recurso tecnológico para auxiliar aluno e professor no ensino e aprendizagem da relação entre os números quânticos e a estrutura/organização dos elétrons no átomo, em que se usa princípios da gamificação, para alunos do 1º ano do Ensino Médio. A gamificação é planejada para atender os elementos, a mecânica e o pensamento de um jogo. Os resultados apresentam evidências do jogo ser promissor, pois foi possível observar indícios de aprendizagem do conteúdo sob o olhar do processo de conhecer e reconhecer os números quânticos e sua relação com o átomo. Ao final do processo de ensino e aprendizagem, os alunos avaliaram o jogo sob vários aspectos, a saber, usabilidade, jogabilidade, desafio, satisfação, diversão, entres outros.

PALAVRAS-CHAVE: Gamificação; Ensino; Números Quânticos.

ABSTRACT

In this paper we propose the use of a game called Aventuras de Atomildo, a digital game designed as a technological resource to assist student and teacher in teaching and learning of the relation between quantum numbers and the structure/organization of electrons in the atom, in which it uses principles of gamification, for students of the 1st year of high school. Gamification is developed to attend the elements, mechanics and thinking of a game. The results give evidence that the game is promising, as it was possible to observe learning of the content under the eyes of the process of knowing and recognizing quantum numbers and their relation with the atom. At the end of the teaching and learning process, the students evaluated the game in many aspects, namely, usability, gameplay, challenge, satisfaction, fun and others.

KEYWORDS: Gamification; Teaching; Quantum Numbers.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho, apresentamos os resultados de uma pesquisa com vistas ao uso de um recurso tecnológico no processo de ensino e aprendizagem de Química Geral no Ensino Médio. A Química Geral oportuniza ao aluno aprender, dentre os vários conteúdos, sobre a estrutura e a organização dos elétrons no átomo. A pesquisa buscou responder a seguinte questão: em que aspectos um jogo digital pode promover a aprendizagem da relação entre os números quânticos e a estrutura e organização dos elétrons em um átomo?

Os números quânticos (NQ's) têm como função definir o estado de um elétron em um átomo, bem como caracterizá-lo. Para isso, temos o número quântico principal que indica o nível de energia e tamanho do orbital. O número quântico secundário indica a forma do orbital. O número quântico magnético indica a orientação do orbital. E o número quântico *spin* é uma propriedade intrínseca do elétron (WELLER et al., 2017), uma forma de momento angular quântico intrínseco.

A Base Nacional Comum Curricular (doravante BNCC), ao discorrer sobre o aprendizado na área de Ciências da Natureza, área em que a Química está inserida, preconiza que o uso de leis, teorias e modelos, sua elaboração, interpretação e aplicação "são aspectos fundamentais do fazer científico" (BRASIL, 2018, p. 548). A temática Matéria e Energia envolve competências específicas e habilidades com vistas ao estudo de modelos com nível mais elevado de abstração para analisar e explicar fenômenos alusivos a interação matéria e energia. E é nesse contexto que o ensino da relação entre os números quânticos e a estrutura de um átomo surge como conteúdo do componente curricular Química Geral.

De acordo com Castro e Cavalcante (2016), o ensino que envolve os números quânticos, normalmente, é apresentado de forma descontextualizada e meramente operacional e ilustrativa, cuja finalidade é apenas caracterizar o átomo na tabela periódica. Entretanto, os autores consideram que utilizar uma abordagem a qual favoreça uma construção histórica de forma que seja possível estabelecer relação com outros conteúdos pode possibilitar um ensino mais significativo para o aluno.

Em consonância a essa ideia, a BNCC vê a contextualização histórica como forma indispensável e necessária porque apresenta os conhecimentos científicos como um processo de construção humana, sociocultural, as dificuldades enfrentadas, incertezas e os recomeços necessários para se chegar a algo aceitável.

Krijtenburg-Lewerissa et al. (2017) analisaram 74 artigos que abordam o ensino de conceitos da mecânica quântica para identificar as dificuldades enfrentadas por alunos do Ensino Médio, estratégias de ensino e uso de recursos. Os resultados mostram que os alunos têm dificuldades de estabelecer relação entre a física quântica e a realidade. As dificuldades residem na compreensão dos modelos atômicos e seu limite de validade, a confusão entre orbital e órbita planetária, a ideia do *spin* ser o movimento de rotação do elétron em torno do seu próprio eixo, entre outros. Os autores consideram que, apesar de haver várias iniciativas para o ensino de conceitos relacionados à mecânica quântica, há pouca pesquisa que avalie se uma determinada estratégia é mais eficaz do que outra.

Lautesse et al. (2015), observando a construção histórica da física quântica e o modo como é abordado em sala de aula em escolas do Ensino Médio Francês e os livros didáticos adotados, veem que o modo como se aborda as raízes históricas e epistemológicas da mecânica quântica influenciam nas propostas de ensino em sala de aula.

Vários autores já implementaram o uso de recurso para o ensino dos números quânticos. GAROFALO (1997) associa os números a ideia de uma casa, cada casa, representa um nível de energia, o número quântico principal (n), cada andar da casa representa o número quântico secundário (l) e cada quarto representa o número quântico magnético (m). Quando os níveis são organizados adequadamente, os cômodos das casas, que correspondem ao (m), devem alinhar-se com as caixas que representam o diagrama de distribuição eletrônica. Em seguida, os alunos iniciam o alojamento dos elétrons e a discussão sobre o Princípio de Aufbau, Regra de Hund e o princípio da Exclusão de Pauli.

Choda e Chenprakhon (2015) construíram uma representação do átomo utilizando isopor no formato arquibancada semicircular. O número quântico principal é associado a fileira da arquibancada. Os subníveis são representados por degraus entre as fileiras. São usados pequenos pedaços de madeira (palitos) que são introduzidos nos degraus e representam os orbitais. O spin é representado por contas de cores diferentes em cada orbital.

Nesta pesquisa, estudamos o uso de um jogo digital no processo de ensino e aprendizagem da relação dos números quânticos com a estrutura de um átomo para alunos do 1º ano do Ensino Médio, componente curricular Química Geral. O jogo intitulado Aventuras de Atomildo, com jogabilidade em 2D, para computador, está dividido em oito fases, em que o jogador irá explorar um laboratório de Química na busca por pistas (conteúdo), enfrentar inimigos, definir estratégia para manter-se vivo, conquistar pontos, medalhas e ao final verificar seu desempenho no jogo.

Para isso, utiliza-se princípios da gamificação que corresponde ao uso de mecanismo de jogos com o objetivo de resolver problemas ou engajar um público específico, segundo Vianna et al. (2013). Borges (2020) complementa ao citar que a gamificação usa da diversão do jogo e se apodera de uma realidade paralela, dentro de um ambiente seguro, para treinar ou ensinar.

Os resultados evidenciam que o jogo é promissor como recurso para o ensino e para a aprendizagem. A avaliação dos alunos sobre aprender por meio da gamificação apresenta-se favorável para novas experiências.

GAMIFICAÇÃO: CONCEITO

O termo gamificação (ou *gamification* do inglês) foi citado pela primeira vez em 2002 pelo pesquisador britânico Nick Pelling para descrever a aplicação de *interfaces*, nas quais a aparência era semelhante a jogos para tornar transações eletrônicas mais rápidas e confortáveis para o cliente (BURKE, 2015).

Deterding et al. (2011), após analisar os vários contextos em que a experiência com o uso de jogos poderia produzir um conceito para a gamificação, propõem que a gamificação trata-se de uma nova ideia que envolve aspectos como jogabilidade (experiência vivida pelo jogador ao jogar), interação e *design* de jogo, que são conceitos diferentes daqueles associados à diversão, entretenimento e ludicidade. Desse modo, definem gamificação como "o uso de elementos de *design* de jogo num contexto de não-jogo" (p. 10), ou seja, gamificar é jogar um jogo em que há uma intencionalidade definida que para alcançá-la usa-se de estratégias vistas em jogos.

Corroborando com esse conceito, Alves (2015) afirma que a gamificação é caracterizada como o uso de elementos de jogos e técnicas de *design* de jogos em contextos não relacionados a jogos com a finalidade de auxiliar na resolução de algum problema ou para engajar determinado público em uma atividade.

Zichermann e Cunningham (2011) entendem que a gamificação reúne elementos de jogos para o uso num contexto de não-jogo, que também corrobora com Deterding et al. (2011). Contudo, definem gamificação como "o processo de *game-thinking* e da mecânica do jogo para engajar os usuários e resolver problemas" (p. xiv).

Nessa compreensão, surge o componente *game-thinking*, que segundo Marczewski (2015), refere-se a estratégias baseadas em jogos e comportamento que de uma variedade de ferramentas possíveis usa-se aquelas que realmente são necessárias para atingir o objetivo.

O principal objetivo da gamificação é incentivar o usuário de sistemas não relacionados a jogos a assumir o comportamento de jogador. Para esse fim, seu envolvimento ocorre a nível emocional, com o intuito de motivá-lo e não somente o entreter ou compensá-lo como ocorre com os *videogames* e programas de recompensa (BURKE, 2015).

Com isso, compreendemos gamificação como o processo em que se usa elementos de jogos em experiências, não necessariamente, de não-jogo (um contexto de não entretenimento) na busca da solução de um problema e para isso é de fundamental importância o engajamento dos participantes. Na área do ensino, o problema é uma situação

de aprendizagem com solução gamificada e os participantes são alunos em um contexto de aprendizagem.

DINÂMICA, MECÂNICA E ELEMENTOS

A gamificação no processo de ensino e aprendizagem necessariamente não se restringe ao uso de um jogo. Assim, o professor envolve os alunos na aprendizagem utilizando-se de elementos e da mecânica de jogos. Segundo Rigóczy, Damsa e Györgyi-Ambró (2017), há situações que um elemento do jogo é considerado como componente mecânico, mas faz a seguinte distinção: “a mecânica do jogo é definida por teorias de processo (regras e princípios) e os elementos são ferramentas usadas no processo” (p. 82).

É importante destacar que este trabalho foi desenvolvido num contexto de ensino e aprendizagem e a gamificação é usada para engajar os participantes na aprendizagem. Desse modo, antes de apresentamos a mecânica e os elementos de um jogo, apresentamos uma componente fundamental na gamificação que é a motivação.

Rigby (2014), estudando a relação entre gamificação e motivação, apresenta dois tipos de motivação, extrínseca e intrínseca. A motivação extrínseca ocorre quando o indivíduo realiza uma tarefa/atividade para obter uma pontuação ou recompensas, o objetivo é apenas conquistar um determinado prêmio, medalhas. Já na motivação intrínseca, o indivíduo envolve-se no processo e a pontuação ou premiação é consequência do empenho na tarefa/atividade. O autor destaca que a motivação extrínseca não deve ser vista como uma ação do indivíduo de estágio inferior à intrínseca, mas “[...] pode-se dizer que a qualidade da motivação extrínseca é uma função de como as razões internalizadas são em relação à uma atividade [...]” (p. 126).

A dinâmica do jogo, segundo Werbach e Hunter (2015), está relacionada ao modo como o jogo está estruturado, e apresentam cinco fatores que caracterizam a dinâmica: (1) restrições, (2) emoções, (3) narrativa, (4) progressão, e (5) relacionamento. Cohen (2017, p. 93) discute questões sobre a dinâmica e apresenta as definições desses fatores:

- Restrições: o que limita as ações do jogador;
- Emoções: quais sentimentos trabalha ou desperta no jogador (curiosidade, competitividade, frustração, alegria etc.);
- Narrativa: o que leva o jogador a permanecer no jogo, a continuar passando de fase;
- Progressão: como o jogador percebe que avança; e
- Relacionamento: associação possível de se fazer com outros jogadores para juntos vencerem obstáculos.

A mecânica do jogo usada neste trabalho é a chamada teoria do fluxo. Csikszentmihalyi (1990 apud SHERNOFF et al., 2014) define o estado fluxo como uma condição em que o indivíduo se encontra profundamente envolvido na realização de uma tarefa/atividade, focado naquilo que se dispôs a fazer. Esta teoria baseia-se na ideia de que há uma relação estreita entre desafios e habilidades e estas são necessárias para alcançar um objetivo. Deve haver um equilíbrio entre o desafio proposto e a habilidade do indivíduo para uma experiência engajadora: (1) tarefa/atividade difícil para um indivíduo menos habilidoso pode gerar ansiedade, (2) tarefa/atividade fácil para um indivíduo habilidoso pode desmotivar, (3) tarefa/atividade fácil e que requer pouca habilidade pode gerar apatia. Desafios proporcionais às habilidades podem gerar no indivíduo a busca por novos desafios, com grau de complexidade maior ou não.

Outro aspecto importante apresentado por Shernoff et al. (2014) é a fusão da ação com consciência, que na teoria do fluxo é identificada por meio da experiência simultânea entre concentração, interesse e diversão durante uma tarefa/atividade.

A implementação da mecânica do jogo depende dos elementos do jogo, que auxiliam para o atingimento do objetivo e no desenrolar do jogo (RIGÓCZKI; DAMSA; GYÖRGYI-AMBRÓ, 2017; COHEN, 2017). Os elementos de jogos no contexto da gamificação são elementos característicos encontrados na maioria dos jogos, tais como, competição com regras claras, *feedback*, quadro de classificação (*ranking*), nível ou fase, bônus adicionais, avatar, entre outros.

GAMIFICANDO

Os procedimentos adotados para implementarmos a pesquisa com vistas ao uso de um jogo digital, no contexto da gamificação, que aborda os números quânticos e sua relação com a estrutura de um átomo, no processo de ensino e aprendizagem de alunos do Ensino Médio, são apresentados nesta seção.

Iniciamos a gamificação investigando os conhecimentos prévios dos alunos. Estes que, recém-chegados ao 1º ano do Ensino Médio, na área de Ciências da Natureza, unidade temática Matéria e Energia, objeto de conhecimento estrutura da matéria, deveriam demonstrar conhecimentos prévios sobre o que é o átomo, modelos idealizados para o átomo, número atômico e a relação com a tabela periódica. O levantamento dos conhecimentos prévios foi conduzido por meio de um questionário. Além do questionário, foram ouvidas duas professoras da escola cujo interesse era, a partir do olhar das professoras, identificar as dificuldades demonstradas pelos alunos na aprendizagem da temática de trabalho.

A próxima etapa consistiu em identificar o perfil dos alunos quanto à experiência com jogos digitais ou *videogame*. Para isso, recorreremos aos arquétipos de Bartle (ALVES, 2015, p. 82): comunicador, conquistador, explorador e predador. Também se explora o questionário como instrumento, com o qual se busca saber sobre hábito de jogar, preferência do tipo de jogo, perfil como jogador e experiência com jogo na aprendizagem.

Para a criação do jogo, optamos pela gamificação de conteúdo que busca tornar o conteúdo a ser aprendido mais próximo de um jogo por meio uma narrativa ou uma personagem relacionado a um desafio ou problema, conforme Filatro et al. (2019).

A dinâmica do jogo foi pensada usando de uma narrativa da evolução e compreensão da ciência sobre a estrutura de um átomo, as idealizações de modelos para o átomo e o surgimento dos números quânticos. A história criada para o jogo se passa em um laboratório secreto cercado por cientistas do mal. Certo dia, Atomildo, um jovem cientista, consegue ter acesso a um laboratório secreto e descobre pistas valiosas que o ajudarão a desvendar mistérios, para isso deverá superar obstáculos e vencer os perigos. No Quadro 1, apresentamos os componentes da dinâmica usados no jogo intitulado Aventuras do Atomildo.

Quadro 1: Componentes da dinâmica do Jogo digital Aventuras do Atomildo.

Dinâmica	
Restrições	Para ultrapassar a porta de saída e responder a pergunta da fase, o jogador precisa coletar todas as pistas.
Narrativa	O jogo acontece em um laboratório secreto cercado de cientistas do mal, no qual, certo dia, Atomildo consegue ter acesso e descobre pistas que o ajudará a desvendar mistérios.
Progressão	A cada fase é mostrado ao jogador o quão próximo está da última fase, os pontos conquistados, medalhas e quantidade de vidas.

Fonte: Autoria própria.

Cada fase apresenta o número de vidas (todas iniciam com três vidas), pontos alcançados, medalhas, o nível e a barra de progresso. Nas fases, o jogador deverá coletar todas as pistas para ultrapassar a porta de saída e responder uma pergunta referente à fase. Se o jogador

acertar a pergunta, o mesmo poderá prosseguir no jogo. Caso contrário, voltará a fase e perderá um ponto a cada tentativa.

A mecânica desenhada para o jogo considerou o perfil de jogador identificado e a preferência do tipo de jogo apontada, em média, pelos alunos. O jogo foi desenvolvido para computador, com jogabilidade em 2D, em HTML, projetado na plataforma *Construct 3* (que possibilita a exportação do jogo criado para diversas opções de portabilidade). No Quadro 2 são apresentados os componentes da mecânica do jogo.

Quadro 2: Componentes da mecânica do jogo digital Aventuras de Atomildo.

Mecânica	
Desafios	Desviar-se dos inimigos e responder corretamente cada pergunta.
Feedback	Retorno imediato das respostas fornecidas e pontos/medalhas alcançadas.
Recompensa	A cada resposta correta uma medalha é atribuída, mas apenas na primeira tentativa.
Chance	A cada fase o jogador inicia com três vidas.

Fonte: Autoria própria.

Nas fases abordamos os seguintes tópicos: o surgimento do átomo, modelo atômico de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, o surgimento dos números quânticos, o estudo de cada número quântico e como encontrá-los, utilizando distribuição eletrônica, princípio da exclusão de Pauli e Regra de Hund.

Os elementos do jogo foram pensados observando a dinâmica e a mecânica definidas e são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Elementos do Jogo digital Aventuras de Atomildo.

Elementos	
Avatares	Atomildo (personagem principal) e cientistas do mal (inimigos).
<i>Boss Fights</i>	No nível 8, o jogador precisa exterminar o chefe para seguir no jogo.
Desbloqueio de conteúdo	O jogador só passa para a próxima fase mediante a assertiva da questão referente a fase anterior.
Placar	Após a última fase, o jogador confere seu desempenho no jogo.
Níveis	O jogo apresenta oito níveis ou fases.
Pontos	A cada resposta correta na primeira tentativa, 10 pontos são acrescentados. Caso contrário, 1 ponto é subtraído a cada tentativa.
Exploração	O jogador coleta pistas espalhadas pelo laboratório para responder a pergunta condizente à fase.

Fonte: Autoria própria.

Ao fim da última fase, o jogador confere sua colocação no *ranking*, bem como seus pontos e medalhas. Na Figura 1 apresentamos o *design* desenvolvido para o Aventuras de Atomildo.

Aventuras de Atomildo está estruturado para abordar conceitos que envolvem os números quânticos sob uma narrativa da evolução atômica, e ao final para que o jogador seja capaz de conhecer e reconhecer os números quânticos, aplicar os conceitos para compreender a estrutura/organização dos elétrons no átomo. Atomildo encontra pistas no ambiente do laboratório para responder à pergunta-chave de cada fase. O jogador, para formular a resposta correta, precisa relacionar os conceitos. Quando Atomildo colide com uma curiosidade (balão

com interrogação), é apresentada na tela com uma possível aplicação Física ou Química, cujo o conhecimento advém do átomo e dos números quânticos.

Figura 1: Design do jogo Aventuras de Atomildo: tela de abertura, fachada do laboratório, ambiente interno de uma das fases e personagens (Atomildo, cientista do mal e o chefeã bigodão).



Fonte: Sousa e Amaral (2021).

A implementação do jogo como recurso para o ensino e aprendizagem ocorreu durante as aulas planejadas para o ensino da relação entre os números quânticos e a estrutura dos elétrons num átomo. A organização da sequência é baseada em Zabala (1998). Foram construídos planos de ensino para cada aula, quatro aulas de 45 minutos cada. Os alunos participaram do jogo usando computadores do laboratório de informática da escola (Figura 2) e o tempo destinado a atividade foi de dois tempos de aula.

ASPECTOS DA AVALIAÇÃO DE UM JOGO

Como forma de avaliar a qualidade do jogo, utilizamos o método MEEGA+¹ descrito por Petri, Gresse von Wangenheim_e Borgatto (2019). Nesse método, o aluno avalia o jogo por meio de um questionário contendo as seguintes dimensões: usabilidade, jogabilidade, desafio, satisfação, interação social, diversão, atenção focada, relevância e aprendizagem percebida. Cada dimensão é composta por afirmações nas quais o aluno pode responder se discorda totalmente (DT), discorda (D), nem discorda nem concorda (NCND), concorda (C) ou concorda totalmente (CT).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Participaram do experimento 37 alunos do 1º ano do Ensino Médio de uma Escola Pública de Manaus. O resultado do levantamento dos conhecimentos prévios mostrou que 67% não estudaram conceitos ou a Física que envolve o conhecimento sobre o átomo e estrutura da matéria.

Dos 29% que declaram ter estudado esse conteúdo, 13% disseram sentir dificuldades quanto a sua compreensão, principalmente por ser tratar de um conteúdo com muitas teorias. Já em relação ao ensino de números quânticos, 83% dos alunos declararam não ter estudado

¹ MEEGA+: versão atualizada do modelo MEEGA (Model for the Evaluation of Educational Games) de Savi, Gresse von Wangenheim e Borgatto (2011).

e nem saber sua relação com o conteúdo de modelos atômicos, ratificando as ideias de Siqueira, Silva e Júnior (2011) que os conteúdos trabalhados na disciplina de Química são fragmentados e descontextualizados

Para a disciplina de Química Geral, o átomo é o elemento base para a formação de moléculas e matéria. O conceito de elemento químico (modo como é representado o átomo e suas propriedades), ente comumente usado no estudo da Química, é fundamental para a compreensão da tabela periódica.

O levantamento quanto à experiência com jogo ou *videogame* mostrou que 83% declararam ter hábito de jogar e 80% preferem jogos digitais (aplicativos para *smartphone* e *videogame*).

Como forma de garantir o engajamento dos alunos, buscamos identificar o perfil destes enquanto jogadores. O perfil está distribuído em: 42% comunicador, 21% conquistador, 15% explorador, 19% predador, 2% não responderam e 1% escolheu mais de um perfil. Como o jogo não possibilitou uma comunicação entre os jogadores dentro do jogo, optamos em mesclar o perfil conquistador (inserção de pontos, recompensas e níveis), predador (inserção do chefe no último nível para ser exterminado) e explorador (inserção de pistas e objetivos a serem cumpridos). Este último perfil foi privilegiado, pois de acordo com Alves (2015) uma forma de garantir a diversão em solução gamificada é inserindo atividades para explorar o espaço de cada nível, coletar itens e solucionar problemas.

Com relação à entrevista, as professoras relataram que a natureza abstrata do conteúdo é um agravante. Para isso, como forma de auxiliar os alunos no ensino buscavam utilizar recursos nas aulas. Uma professora mencionou que para o ensino de modelo atômicos usava livro didático, confecção dos modelos e tecnologias como uma forma de materializar o conteúdo. Já a outra, recorria à parte visual (desenhos) para trabalhar o mesmo conteúdo. Com relação ao ensino de números quânticos, apenas uma mencionou que já havia trabalhado com os alunos e nos deu indícios de que não associou com outros conteúdos, pois o objetivo era apenas caracterizar o átomo na tabela periódica.

Após a coleta desses dados, idealizamos o jogo. Foram investidas 100 horas na construção. O processo de construção contou com apoio de profissionais que fizeram o *design* do jogo, personagens e os ambientes do laboratório (Figura 1).

O jogo Aventuras de Atomildo foi instalado em computadores do laboratório de informática da escola e os alunos investiram dois tempos de aula, total de 90 minutos, jogando (Figura 2).

Após o jogo, avaliamos a aprendizagem dos alunos usando um teste contendo quatro questões: (1) do que a matéria é constituída, (2) que relacionassem o princípio fundamental da idealização do átomo ao seu idealizador, (3) em que contexto surgiram os números quânticos e quais são, e (4) que fizessem a distribuição dos elétrons do elemento químico Argônio (Ar).

Na primeira questão dos 37 alunos, 31 responderam que a matéria é constituída por átomos.

Para a segunda questão, a média de acertos em que a idealização do átomo é vista como uma esfera maciça foi próximo de 62%. As idealizações mais clássicas (Thomson, Rutherford e Bohr) teve média de acerto de próximo a 43%. As idealizações mais complexas relacionadas ao conceito de orbital, dualidade onda-partícula e princípio da incerteza com aproximadamente 34% de acertos, que são assuntos que se distanciam do cotidiano e exigem um alto nível de abstração e uso de conceitos matemáticos complexos, como explica Bianco e Meloni (2019). Apesar disso, nessa questão seguiu-se os princípios da diferenciação progressiva a qual estabelece que o desenvolvimento dos conteúdos é facilitado quando as ideias, conceitos,

proposições mais gerais e inclusivos devem ser apresentados no início e, progressivamente, diferenciados em detalhes e especificidades, segundo Moreira (1999).

Figura 2: Imagens dos alunos jogando Aventuras de Atomildo.



Fonte: Autoria própria.

No diagnóstico, identificamos que a maioria dos alunos declararam não saber qual a relação entre átomo e números quânticos, o que são números quânticos e quais são eles. No jogo, estes tinham que coletar as pistas a cada fase para acompanhar as mudanças que a estrutura do átomo havia passado e a partir da fase 6, apresentamos algumas teorias quânticas como a do físico Erwin Schrödinger para mostrar o surgimento destes números a partir de sua aquação matemática. Desse modo, 64% dos alunos identificaram os números quânticos, indicando que estes conseguiram conhecer estes números. Posteriormente, perguntamos qual a função dos números quânticos, obtendo as seguintes respostas: "localização do elétron", "endereço do elétron", "caracterizar e identificar o átomo", "endereço do átomo" e "saber a localização deles". Tais respostas apesar de não expressarem a ideia no seu sentido completo fizeram alusão ao conceito solicitado, indicando uma substatividade nas respostas que significa que, nem a aprendizagem, nem os significados em desenvolvimento, dependem do uso exclusivo de palavras específicas, conforme explica Ausubel (2003).

Em seguida, perguntamos a função de cada número quântico, como forma de averiguar o reconhecimento destes números pelos alunos. Nessa pergunta, verificamos que, para o número quântico principal as respostas foram voltadas para o nível de energia. Para o número quântico secundário as respostas foram direcionadas a forma do orbital ou subnível. Para o número quântico magnético algumas foram relacionadas a orientação do orbital, outras foram incompletas fazendo o uso somente do termo "orbital". Com relação ao *spin*, todas as respostas foram direcionadas ao sentido de rotação do elétron.

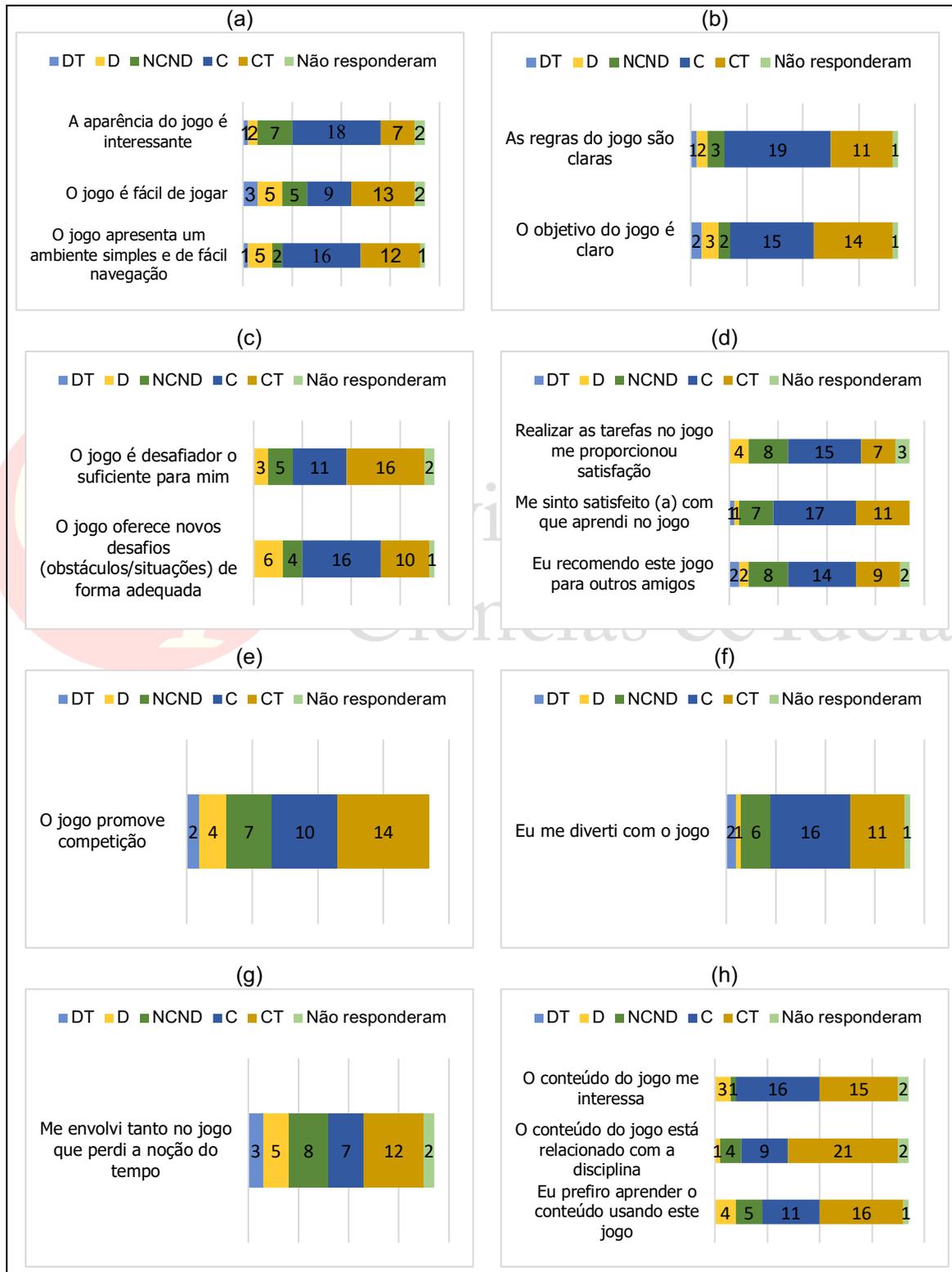
Como no diagnóstico os alunos declararam não saber o que são números quânticos e quais são, a identificação do estado do elétron por meio destes números não seria possível. Pensando nisso, dada a condição do estado do elétron no átomo de Argônio (Ar) e considerando o subnível mais energético, solicitamos que os alunos identificassem esse estado por meio dos números quânticos. Como resposta, temos: $n = 3$, $l = 1$, $m = +1$ e $s = +1/2$, fornecida por grande parte dos alunos, porém com dificuldades em relação ao número quântico magnético e o *spin*, que demandam a distribuição eletrônica correta dos elétrons nos orbitais, segundo o princípio da exclusão de Pauli e regra de Hund. Para o número quântico magnético, houve dificuldade no preenchimento dos seis elétrons no orbital e na identificação da orientação do último elétron inserido. Já para o *spin*, alguns confundiram a orientação do mesmo elétron, visto que foi estabelecido no jogo (seta para cima, usariamos $-1/2$ e seta para baixo $+1/2$).

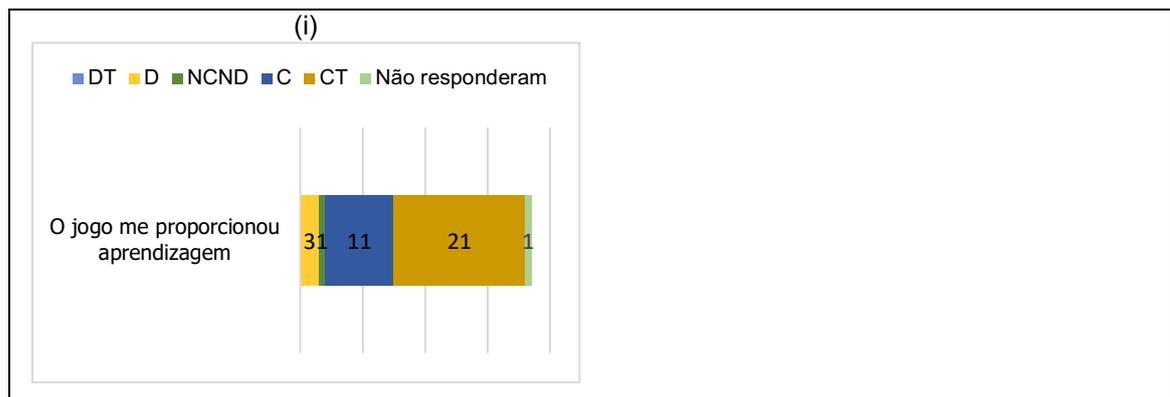
Com base nessas respostas, os alunos aplicaram os conceitos de números quânticos compreendidos anteriormente para identificar o estado do elétron no átomo de Ar. Quando isso acontece, estamos diante de uma reconciliação integrativa segundo Moreira (1999), uma

vez que a instrução também deve explorar relações entre ideias, indicar similaridades e diferenças.

Com relação ao jogo, avalia-se a usabilidade, a jogabilidade, desafio, satisfação, interação social, diversão, atenção focada, relevância e aprendizagem percebida.

Gráfico 1: Opinião dos alunos sobre o jogo Aventuras de Atomildo: (a) usabilidade, (b) jogabilidade, (c) desafio, (d) satisfação, (e) interação social, (f) diversão, (g) atenção focada, (h) relevância e (i) aprendizagem percebida.





Fonte: Autoria própria.

Com base nessas dimensões, obtivemos resultados positivos quanto ao uso do jogo. Contudo, identificamos que as dimensões de usabilidade, desafio e atenção focada necessitam de ajustes. No item usabilidade, pode-se melhorar a aparência do jogo e torná-lo mais fácil para o jogador. No quesito desafio e atenção focada, podem-se reorganizar os obstáculos e inseri-los no jogo de forma a proporcionar o estado de *Flow*, pois alguns alunos levaram um tempo maior para compreender a função dos mecanismos (alavanca, bloco, placa de pressão) disponíveis no jogo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os recursos que estão sendo trabalhados em sala de aula, a gamificação surge como uma metodologia atrativa capaz de incentivar e estimular os alunos a realizarem uma atividade ou solucionar um problema no contexto da aprendizagem. Para isso, na gamificação faz-se uso da dinâmica, da mecânica e de elementos comumente usados nos jogos na intenção de proporcionar a mesma sensação que o ato de jogar oferece e assim auxiliar os alunos a alcançarem seus objetivos de aprendizagem.

Como forma de subsidiar a pesquisa, realizamos um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos e uma entrevista com duas professoras de Química com a finalidade de identificar as dificuldades demonstradas pelos alunos na aprendizagem da temática trabalhada. Em seguida, buscou-se saber sobre hábito de jogar, preferência do tipo de jogo, perfil como jogador e experiência com jogo na aprendizagem. Com as informações obtidas, desenvolvemos o jogo Aventuras de Atomildo produzido no Construct 3, no contexto da gamificação, como recurso capaz de favorecer a compreensão do processo de evolução dos modelos atômicos, visando à aprendizagem dos números quânticos.

Diante dos resultados, consideramos que o jogo favoreceu a aprendizagem de conceitos ligados ao processo de evolução dos modelos atômicos e a relação desses com os números quânticos. Quando observamos os resultados apresentados, é nítida a manifestação do conhecimento a respeito dos modelos atômicos principalmente com relação as teorias mais clássicas. No estudo de números quânticos, constatamos que os alunos conheceram estes números após sua identificação e reconheceram a partir da descrição de cada um, conforme apresentado na seção resultados e discussões. De posse disso, aplicaram os conceitos assimilados para compreender a estrutura/organização dos elétrons no átomo de argônio, fazendo uso de conhecimentos que envolvem configuração eletrônica, princípio da exclusão de Pauli e Regra de Hund.

Com relação ao jogo, o mesmo foi bem avaliado pelos alunos como um recurso com requisitos necessários para auxiliar na aprendizagem dos números quânticos no ensino de Química. Pretende-se ainda aperfeiçoar o jogo no que tange à usabilidade, ao desafio e à

atenção focada, pois são requisitos fundamentais considerando a natureza do recurso (jogo) e seu objetivo que é auxiliar na aprendizagem.

Por fim, ressaltamos que, com a pandemia provocada pela COVID-19, levamos um tempo maior para a conclusão desta pesquisa, devido à suspensão das aulas presenciais no mês de março, tendo seu retorno no mês de agosto, com um número menor de alunos (divididos em grupos para manter o distanciamento mínimo). Com isso, optamos em fazer uma nova análise dos dados, pois priorizamos trabalhar com os alunos que participaram de todas as etapas da pesquisa (diagnóstico, aula expositiva, aula tendo o jogo como recurso e avaliação da aprendizagem).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPEAM pelo apoio dado por meio do Programa Institucional de Apoio à Pós-Graduação *Stricto Sensu*.

REFERÊNCIAS

ALVES, Flora. **Gamification**: como criar experiências de aprendizagem engajadoras: um guia completo: do conceito à prática. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: DVS Editora, 2015.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BIANCO, André Amaral; MELONI, Reginaldo Alberto. O conhecimento escolar: Um estudo do tema Diagrama de Linus Pauling em Livros Didáticos de Química – 1960/1970. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 2, 2019.

BRASIL. Resolução no. 4 – MEC/CNE/SE, de 17 de dezembro de 2018. Institui Base Nacional Comum Curricular Etapa do Ensino Médio. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, Edição 242, p. 120, 18 dez. 2018.

BORGES, R. **Afinal, o que é e como aplicar a gamificação?**. In: LOIOLA, V. (Org.). A era exponencial exige. São Paulo: Literare Books International, 2020.

BURKE, Brian. **Gamificar**: como a gamificação motiva as pessoas a fazerem coisas extraordinárias. São Paulo: DVS, 2015.

CASTRO, Thiago S.; CAVALCANTE, Eduardo Luiz Dias. **Números Quânticos: evolução ou involução do conteúdo nos livros didáticos**. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ). Florianópolis, SC, 2016.

CHODA, Jampel; CHENPRAKHON, Pirom. A Hands-On Physical Model For Teaching Quantum Numbers And Rules For Writing Electron Configuration. **Proceeding of the 3rd Global Summit on Education 2015, Kuala Lumpur, Malaysia**, 2015.

COHEN, Roberto. **Gamification em Help e Service Desk**: Promovendo Engajamento e Motivação no Século 21 em Centros de Suporte, Help Desk e Service Desk. 1. ed., v.1. São Paulo: Novatec, 2017.

DETERDING, Sebastian; DIXON, Dan; KHALED, Rilla; NACKE, Lennart. From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: **Proceedings of the 15th**

international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments, p. 9-15, 2011.

FILATRO, Andrea; CAVALCANTI, Caroline Costa; AZEVEDO JR., Delmir Peixoto de; NOGUEIRA, Osvaldo. **DI 4.0 - Inovação em educação corporativa.** São Paulo: Saraiva Educação, 2019.

GAROFALO, Anthony. Housing electrons: relating quantum numbers, energy levels, and electron configuration. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 6, p. 709, 1997.

KRIJTENBURG-LEWERISSA, Kim; POL, Henk; BRINKMAN, Alexander; VAN JOOLINGEN, Wolter. Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. **Physical review physics education research**, v. 13, n. 1, p. 010109, 2017.

LAUTESSE, Philippe; VILA VALLS, Adrien; FERLIN, Fabrice; HERAUD, Jean-Loup; CHABOT, Hugues. Teaching quantum physics in upper secondary school in France. **Science & Education**, v. 24, n. 7, p. 937-955, 2015.

MARCZEWSKI, Andrzej. Even Ninja Monkeys like to play. **London: Blurb Inc**, 2015. Disponível em: <https://www.gamified.uk/wp-content/uploads/2018/10/Narrative-Chapter.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teoria de Aprendizagem.** São Paulo: EPU, 1999.

PETRI, Giani; GRESSE VON WANGENHEIM, Christiane; BORGATTO, Adriano Ferreti. MEEGA+: Um Modelo para a Avaliação de Jogos Educacionais para o ensino de Computação. **Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)**, v. 27, 2019.

RIGBY, C. Scott. Gamification and motivation. **The gameful world:** Approaches, issues, applications, p. 113-138, 2014.

RIGÓCZKI, Csaba; DAMSA, Andrei; GYÖRGYI-AMBRÓ, Kristóf. Gamification on the edge of educational sciences and pedagogical methodologies. **Journal of Applied Technical and Educational Sciences**, v. 7, n. 4, p. 79-88, 2017.

SAVI, Rafael; GRESSE VON WANGENHEIM, Christiane; BORGATTO, Adriano Ferreti. A model for the evaluation of educational games for teaching software engineering. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011.

SHERNOFF, David J.; CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly; SCHNEIDER, Barbara; SHERNOFF, Elisa Steele. Student engagement in high school classrooms from the perspective of flow theory. In: **Applications of flow in human development and education.** Springer, Dordrecht, p. 475-494, 2014.

SIQUEIRA, Rafael Moreira.; SILVA, Nilma Soares da; JÚNIOR, Luís Carlos Felizardo. A recursividade no Ensino de Química: Promoção de Aprendizagem e Desenvolvimento Cognitivo. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, 2011.

SOUSA, Tiago Maia de; AMARAL, Anderson Lima do. **Design do jogo Aventuras de Atomildo.** 2021.

VIANNA, Ysmar; VIANNA, Maurício; MEDINA, Bruno; TANAKA, Samara. **Gamification, Inc: como reinventar empresas a partir de jogos.** 1 ed. Rio de Janeiro: MJV Press, 2013.

WELLER, M.; OVERTON, T.; ROURKE, J.; ARMSTRONG, F. **Química Inorgânica**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

WERBACH, Kevin; HUNTER, Dan. **The gamification toolkit: dynamics, mechanics, and components for the win**. Wharton School Press, 2015.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: Como ensinar**. Tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

Zichermann, Gabe; Cunningham, Christopher. **Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps**. [S. I]: "O'Reilly Media, Inc.", 2011.



Revista
Ciências & Ideias