





## 2. Modelo Atômico de Bohr

A física moderna teve avanços significativos com Niels Bohr em sua publicação considerada um dos trabalhos mais importantes do século XX, no qual ele apresentou pela primeira vez um modelo do átomo construído a partir de fatos experimentais e da hipótese de quantização de energia de Max Planck (Parente et al., 2013). Bohr postulou que (Peruzzo & Canto, 2015):

1. Os elétrons, nos átomos, movimentam-se ao redor do núcleo em trajetórias circulares, chamadas de camadas ou níveis;
2. Cada um desses níveis tem um valor determinado de energia;
3. Não é permitido a um elétron permanecer entre dois desses níveis;
4. Um elétron pode passar de um nível para outro de maior energia, desde que absorva energia externa (ultravioleta, luz visível etc.). Quando isso acontece, diz-se que o elétron foi excitado e que ocorreu uma transição eletrônica (Figura 1a);
5. O retorno do elétron ao nível inicial é acompanhado pela liberação de energia na forma de ondas eletromagnéticas, por exemplo, como luz visível ou ultravioleta (Figura 1b).



Figura 1 – Transição eletrônica do elétron.  
Fonte: Peruzzo e Canto (2015).

O elétron do átomo de hidrogênio no estado fundamental pode absorver várias quantidades discretas de energia e, assim se elevar a um nível de energia mais alto (Feltre, 2005). Quando a luz visível é absorvida em compostos químicos, seus elétrons são excitados do estado fundamental para o estado excitado. A energia absorvida geralmente é emitida na forma de radiação eletromagnética na região do visível, que varia do vermelho ao violeta (Silva, 2013). A Figura 2 apresenta o teste de chama, que demonstra o princípio da transição eletrônica de Bohr. O calor excita os elétrons fazendo com que passem para níveis de maior energia. Ao voltarem aos níveis iniciais, liberam energia na forma de luz, cuja cor é característica dos átomos de cada elemento (Peruzzo & Canto, 2015).

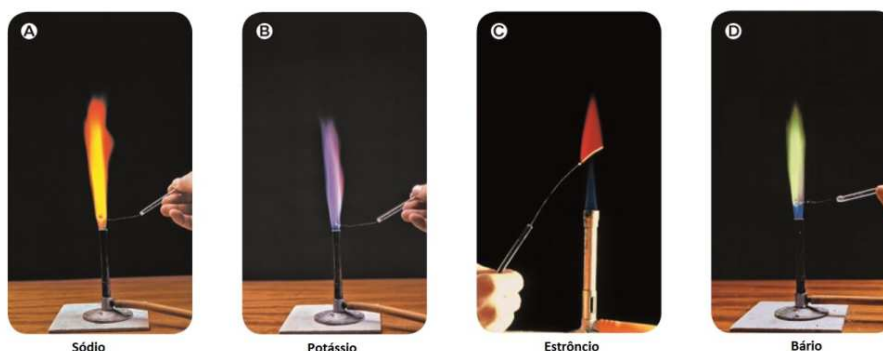


Figura 2 – Interpretação da cor no teste de chama.  
Fonte: Adaptado de Peruzzo e Canto (2015).

### 3. Metodologia da Pesquisa

Para o desenvolvimento dessa pesquisa contou-se com o apoio de um professor de química do Ensino Médio, que recomendou a lacuna a ser preenchida usando o jogo. O professor forneceu e indicou material bibliográfico sobre o modelo atômico de Bohr a ser abordado. Também já estabeleceu a turma, o período e o protocolo de validação do jogo.

Em seguida, foram coletadas informações sobre o desenvolvimento de jogos sérios de química em relação às suas particularidades pedagógicas e estudados alguns jogos similares. Depois, houve um estudo técnico sobre o desenvolvimento de jogos quanto às ferramentas e métodos. Com base nessas informações, foi decidido desenvolver um jogo de ação e definidos o enredo, os personagens, os desafios do jogo e a estética.

O jogo foi desenvolvido com Unreal Engine<sup>1</sup> usando *scripts* em Blueprints<sup>2</sup>. O jogo desenvolvido passou por testes de usabilidade e garantia da qualidade pela equipe do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Jogos Sérios e para Entretenimento (GameLab).

O protocolo de validação do jogo foi determinado da seguinte forma (Figura 3): o professor lecionou uma aula sobre o Modelo Atômico de Bohr para uma turma de 28 alunos do primeiro ano do Ensino Médio. Em outro dia na mesma semana aconteceu a validação do jogo. Em momentos distintos foram aplicados testes (pré e pós) com 8 questões de múltipla escolha, que variavam sua ordem, tanto nas questões quanto nas respostas. O pré-teste teve o objetivo de medir o prévio grau de conhecimento dos alunos em relação aos objetivos educacionais já relacionados. Os alunos experimentaram o jogo durante uma hora sentados em duplas em cada computador, podendo assim alternarem-se com achavam melhor. Após o jogo, responderam o pós-teste que tinha a intenção de verificar o quanto o jogo contribuiu no conhecimento adquirido pelos alunos. Após os testes, responderam um inquérito com 26 itens baseado no MEEGA+ Kids (Wangenheim et al., 2018) visando avaliar a experiência do jogo. Esse inquérito também tinha três questões abertas: “O que você aprendeu jogando esse jogo?”, “O que você gostou no jogo?” e “O que você achou ruim?”.

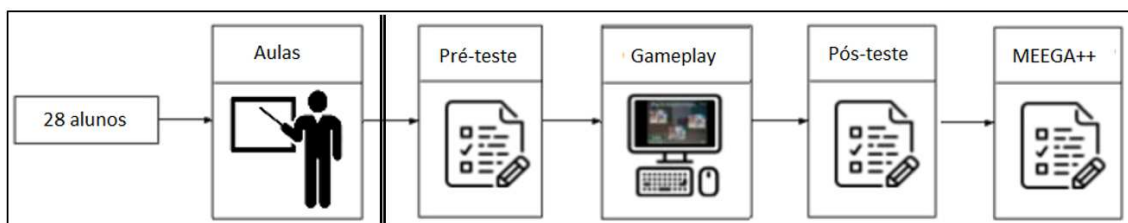


Figura 3 – Protocolo de Validação

### 3. Jogo Desenvolvido: O Mundo Quântico de Bohr

O jogo está disponível em Windows 64 bits para download em <https://www.udesc.br/ceavi/gamelab/tccs/willesonthomasdasilva>. O gênero do jogo é ação em terceira pessoa. As mecânicas são pilotar a nave nos três eixos e disparar projéteis em três cores diferentes. Para destruir um inimigo, o projétil deve ser da mesma cor do inimigo.

Como objetivos pedagógicos foram determinados: (a) entender as mudanças de camadas pelos elétrons; (b) conhecer que elementos diferentes emitem cores distintas

<sup>1</sup> <http://www.unrealengine.com>

<sup>2</sup> <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Blueprints/index.html>

quando ocorrem o salto quântico; (c) compreender que os elétrons não podem ocupar qualquer nível de energia; e (d) correlacionar as características dos elementos quanto aos seus níveis de energia e como estes podem ser identificados na tabela periódica.

O jogo possui seis fases. Antes de cada fase, o aluno é levado ao laboratório do Dr. Niels Bohr. O formato do laboratório está exemplificado na Figura 4. Observa-se na parte inferior uma caixa com o rosto do cientista com seu diálogo, onde ele explica, às vezes com ilustrações, sobre o funcionamento do modelo atômico. Ao final, ele sempre lança um desafio. A área da Tabela Periódica tem alguns elementos ressaltados que representam as opções que ele pode clicar para responder à pergunta. O aluno somente avança para o jogo quando acertar a questão. Então ele pode realizar várias tentativas. Porém, cada tentativa desconta uma quantidade de pontos.

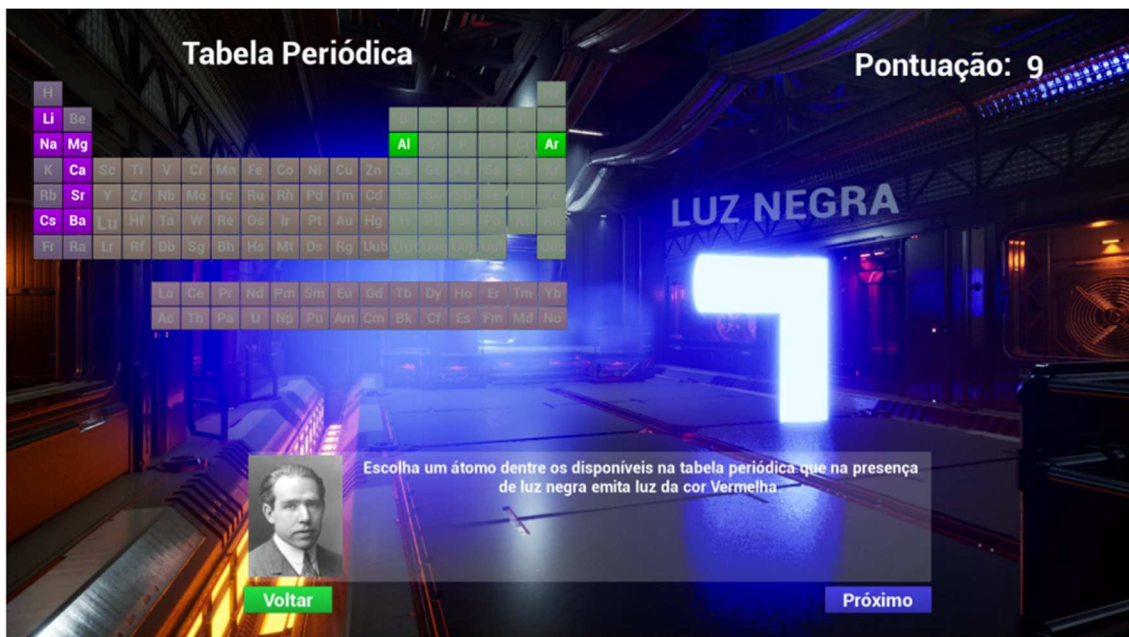


Figura 4 – Laboratório de Niels Bohr

Pilotar a nave e destruir os inimigos é de característica lúdica no jogo, servindo de motivação para que eles vençam os desafios do Dr. Bohr. As Figuras 5 e 6 ilustram duas fases do jogo. A Figura 5 corresponde à primeira fase que tem como objetivo treinar o aluno no jogo. As peças vão aleatoriamente mudando de posição, e ele tem que disparar o projétil da mesma cor da peça. A Figura 6 corresponde à terceira fase onde acontece uma perseguição de naves. As inimigas também disparam no jogador. Pode-se observar no canto superior esquerdo uma barra de energia representando quantos disparos a nave do jogador ainda suporta ser atacada.

Com esses dois exemplos, pode-se observar que a equipe primou para que cada fase oferecesse de fato um desafio diferente, reforçando o estímulo da curiosidade. Por exemplo, uma das fases tem contagem regressiva para a explosão de uma bomba que precisa ser desarmada, e outra fase, o jogador precisa destruir uma nave de grande porte atingindo seus pontos fracos.

## 5. Resultados da Validação

O estudo teve como objetivo a avaliação do conhecimento adquirido entre os dois momentos da validação, conforme a hipótese estatística abaixo.

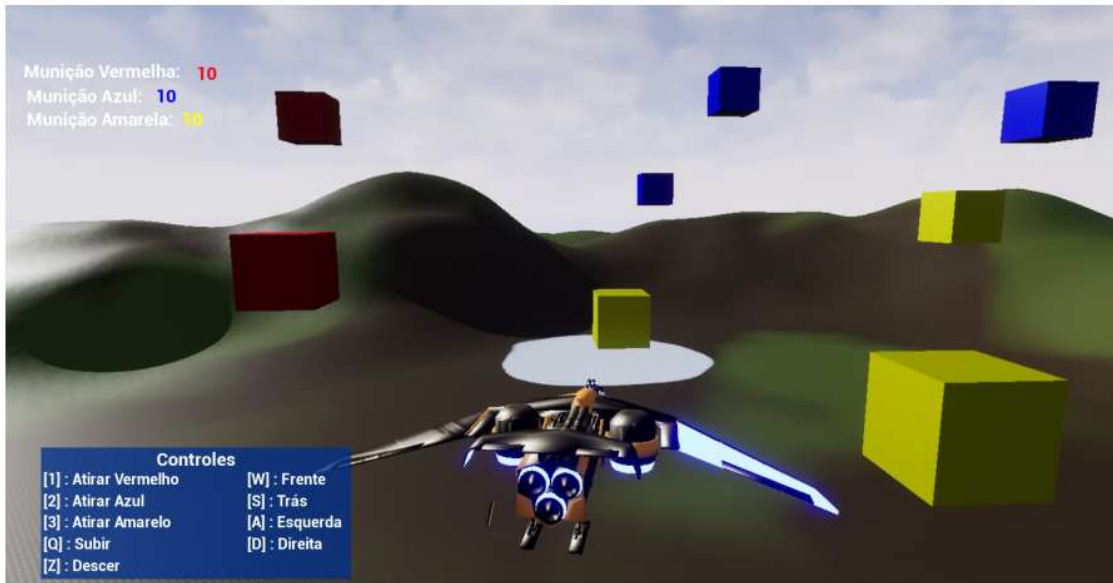


Figura 5 – Primeira fase do jogo

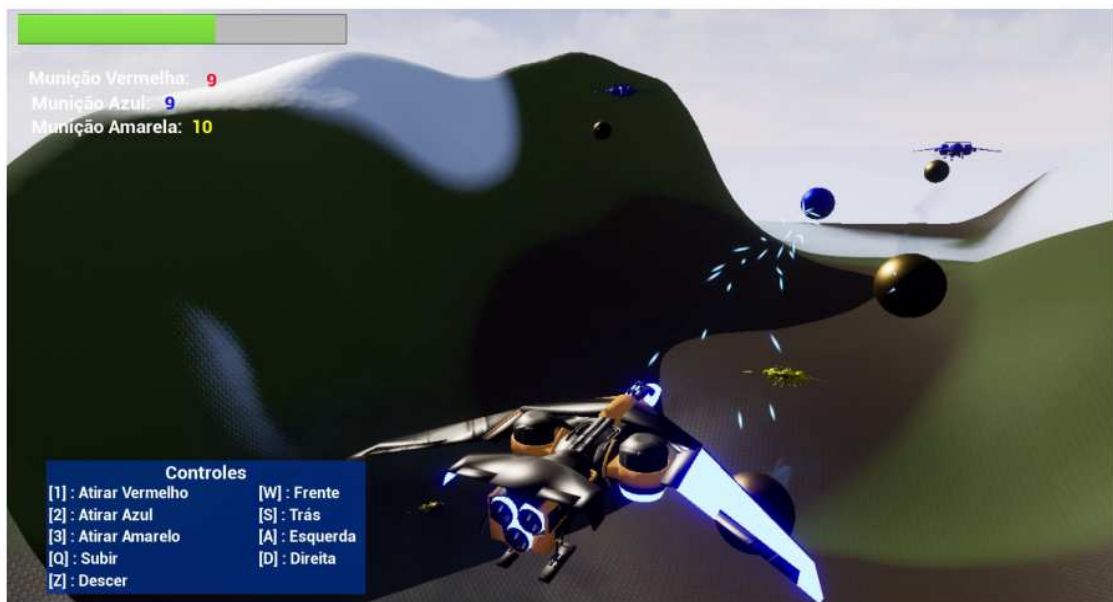


Figura 6 – Terceira fase do jogo

$H_0: \mu_{pré} = \mu_{pós-final}$  – Não existe diferença significativa nas médias entre os testes antes e depois do jogo.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos testes. É importante lembrar que os testes tinham oito questões. Os valores da tabela foram todos normalizados considerando uma nota 10 quando todas as questões estavam corretas. Participaram da validação 28 alunos do primeiro ano do ensino médio. É possível notar que as médias de todos os testes foram abaixo de 5,0. Adicionalmente a Figura 7 apresenta as notas obtidas de cada um dos 28 alunos em cada teste. Aproximadamente 71% dos alunos tiveram desempenho melhor entre o Pré-Teste e o Pós-Teste.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos testes de conhecimento

	Total de Pontos Possíveis	Total de Pontos Conquistados	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância
Pré-Teste	280	90	3,21	3,75	1,78	3,17
Pós-Teste	280	117,5	4,19	4,38	1,99	3,96

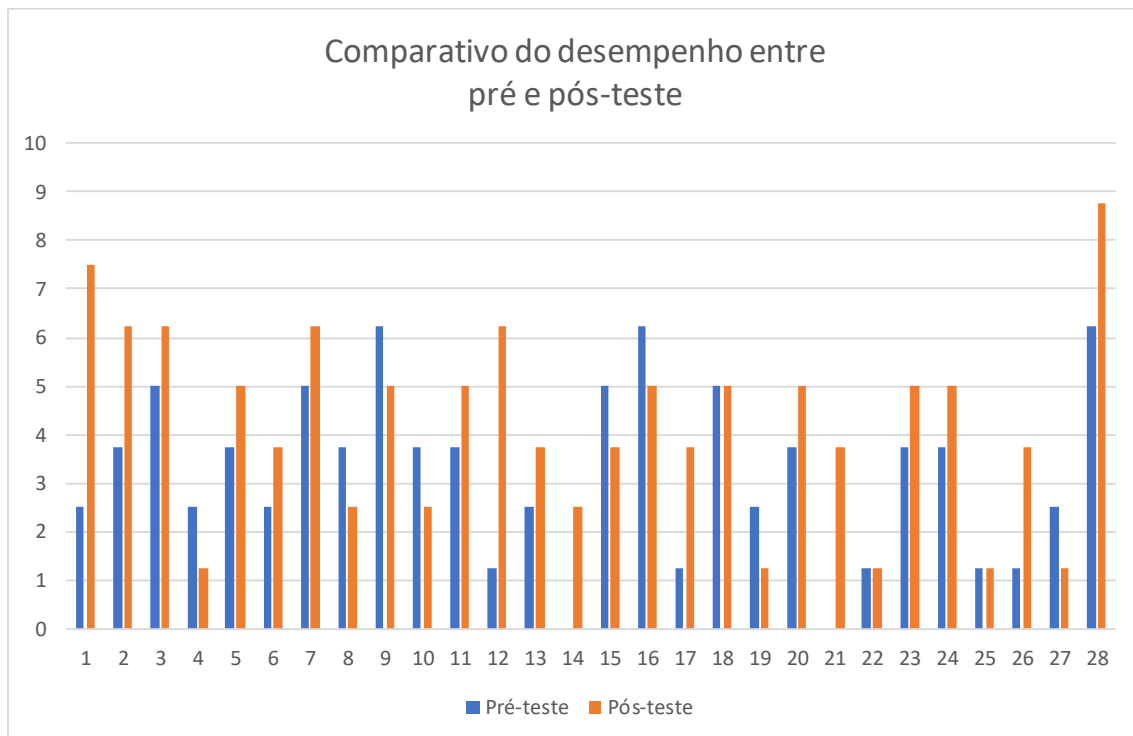


Figura 7 – Desempenho individual nos testes

Porém, para conferir se a diferença é estatisticamente significativa, deve-se avaliar a hipótese estatística, e para isso foi executado o teste *t* pareado. O resultado de  $p\text{-valor} = 0,009956$ , rejeita a hipótese nula com 99% de confiança de que o desempenho foi o mesmo entre os dois testes. Como a média do pós-teste foi maior do que o pré-teste, pode-se concluir que o desempenho foi melhor após o jogo.

Para finalizar os testes, foi aplicado o instrumento MEEGA+ Kids para avaliar a experiência de jogo. A escala desse instrumento objetiva classificar jogos educativos em relação ao seu nível de qualidade, baseado nas percepções dos estudantes, permitindo identificar quais requisitos correspondem ao mais baixo ou alto nível de qualidade (Wangenheim et al., 2018). Ele é composto de 26 questões agrupados em onze dimensões (1-estética, 2-aprendibilidade, 3-operabilidade, 4-acessibilidade, 5-desafio, 6-satisfação, 7-interação social, 8-diversão, 9-atenção concentrada, 10-relevância e 11-aprendizagem percebida) na escala *likert* com cinco níveis de concordância de discordo totalmente a concordo totalmente.

A escala *likert* é de natureza qualitativa ordinal, pois existe uma ordem natural entre os itens da escala (p.e., entre discordo totalmente e concordo totalmente). Para realizarem-se operações algébricas normalmente acaba-se transformando a escala em

quantitativa discreta (neste caso, pontuando-a de 1 a 5). Quando isso é feito, admite-se incorretamente que existe uma relação linear entre os níveis de concordância. Neste contexto, Tastle, Russell e Wiermann (2008) propõem um novo índice para complementar a interpretação dos resultados obtidos a partir dos questionários. O nome deste índice é *Consenso* ( $Cns(x)$ ), e é calculado pela equação abaixo, onde  $E(x)$  é a esperança matemática, ou seja, “o que se espera com mais e mais replicações dos questionários”.

$$Cns(x) = 1 + \sum_{i=1}^k P(x_i) \log_2 \left( 1 - \frac{|x_i - E(x)|}{X_{max} - X_{min}} \right)$$

O  $Cns(x)$  deve ser interpretado como um percentual de concordância interna da distribuição no que diz respeito a  $E(x)$ . Como  $0 \leq Cns(x) \leq 1$ , entende-se que, quanto mais próximo de 1, mais os respondentes “concordam” com o valor esperado para a questão. Um conceito complementar ao *Consenso* é o de *Divergência* ( $Dvg(x)$ ) e esta é dada simplesmente por  $1 - Cns(x)$ . A Tabela 2 apresenta computadas a esperança matemática, índice de consenso e divergência das respostas dos 28 alunos, dentro dos cinco níveis de concordância, onde 1-discordo totalmente e 5-concordo totalmente.

Tabela 2 – Resultados da avaliação com o MEEGA+ Kids

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E(x)	3,84	4,46	4,05	3,95	3,62	4,03	4,12	4,27	3,80	4,09	3,95
<b>Consenso</b>	<b>0,66</b>	<b>0,81</b>	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>	<b>0,60</b>	<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	<b>0,70</b>	<b>0,60</b>	<b>0,65</b>	<b>0,62</b>
Divergência	0,34	0,19	0,31	0,33	0,40	0,29	0,35	0,30	0,40	0,35	0,38

Analisando os valores de cada uma das dimensões, pode-se afirmar que houve convergência (a maioria qualificada (3/5) dos alunos, ou seja, acima de 60%) nas esperanças tendendo a concordo (estavam todas acima de 3,5), em todas as dimensões. A dimensão mais baixa foi desafio (5) com 3,62, que ao mesmo tempo foi com o menor consenso (0,60). Avaliando individualmente as três questões que compõe essa dimensão, encontramos com  $E(x) = 3,14$ , com  $Cns(x) = 0,58$  a questão “Este jogo é desafiador suficiente para mim”, juntamente com as questões abertas (Figura 8), encontra-se que os alunos acharam o jogo difícil. Porém, as dimensões de satisfação (6) e diversão (8) alcançaram esperanças acima de 4,0 com concordância da grande maioria, indicando que apesar da dificuldade, os alunos se divertiram com o jogo. A dimensão 11 representa a aprendizagem percebida pelo aluno, ou seja, sua crença e sentimentos em relação a aprendizagem ocorrida (Caspi & Blau, 2008) e reflete o senso do estudante que algum novo conhecimento foi adquirido e alguma nova compreensão foi alcançada, mesmo que esse conhecimento e compreensão subjetivos estiverem em contraste com o desempenho acadêmico (Caspi & Blau, 2011). Como essa aprendizagem representa o grau de confiança que o aluno tem em relação ao seu domínio de um dado conhecimento, os alunos, mesmo não conhecendo os resultados finais dos seus testes, encerraram o experimento com a sensação de que adquiriram o conhecimento esperado.

Em relação às questões abertas, 20 alunos responderam a primeira “O que você aprendeu jogando esse jogo?” com “Modelo atômico de Bohr e os seus níveis de energia”. Outros seis responderam de terem trabalhado em equipe. A Figura 8 apresenta categorizada as respostas das duas outras questões abertas “O que você gostou no jogo?” e “O que você achou ruim?”.



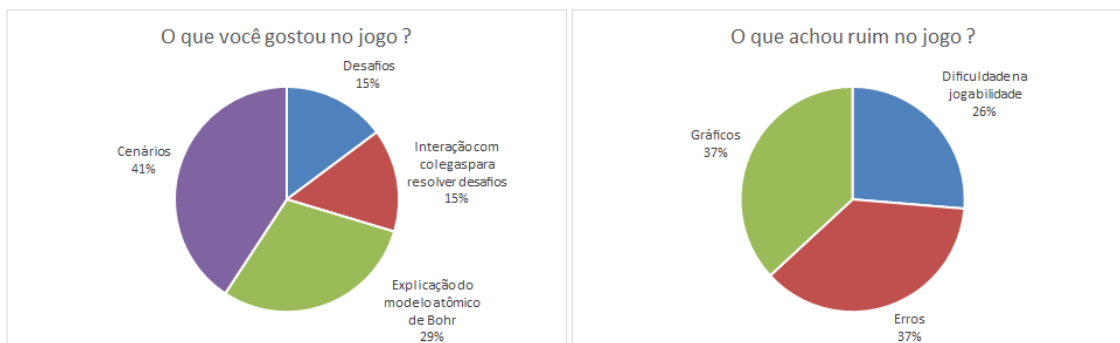


Figura 8 – Respostas categorizadas (a) O que você gostou no jogo ? (b) O que achou ruim no jogo?

É interessante observar que tanto na questão do que aprendeu com o jogo, quanto o que gostaram no jogo, houveram respostas sobre a satisfação em ter jogado em duplas. Apesar de estar fora do escopo desse trabalho, isso demonstra como os alunos acham importante e motivador trabalhar ou estudar com outro colega. Apesar da dimensão de desafios ser a pior avaliada, alguns alunos gostaram dos desafios oferecidos no jogo. Além disso, apesar de que 37% deles não gostaram dos gráficos, 41% gostaram dos cenários, ou seja, gostaram da narrativa em que estavam inseridos. Por último, 29% dos alunos gostaram do jogo por ele ser educativo.

## 6. Conclusões

O ensino de físico-química moderna destaca-se como um desafio para os alunos, devido à sua modelagem matemática como também ao nível de abstração necessário para sua completa compreensão. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma alternativa educativa significativa propondo um jogo sério como uma atividade para o aprendizado do Modelo Atômico de Bohr.

Ambos os testes apresentaram médias muito baixas, no pré-teste com 3,21 e no pós-teste com 4,19. Porém, ao comparar ambas as médias, pôde-se concluir com significância estatística que os alunos evoluíram no desempenho. Mesmo assim, o baixo rendimento dos alunos foi preocupante. É fora do escopo desse trabalho, mas precisa-se verificar se o problema é de interpretação de textos e/ou domínios básicos de abstração.

Conforme a opinião dos alunos, o jogo demonstrou sua eficiência no aprendizado e na diversão. A dimensão pior avaliada foi a de desafio com os alunos achando que o jogo não estava tão fácil de ganhar. Como trabalho futuro deve-se avaliar melhor onde e como os alunos estão sentindo a dificuldade no jogo. Além disso, inserir novas tarefas e atividades fornecidas pelo Dr. Bohr.

## Referências

- Binsfeld, S. C., & Auth, M. A. (2011). A Experimentação no Ensino de Ciências da Educação Básica : constatações e desafios. In *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VIII ENPEC) e I Congresso Iberoamericano de Investigación de las Ciencias (I CIEC). Resumos. Campinas/SP* (pp. 1–10).
- Caspi, A., & Blau, I. (2008). Social presence in online discussion groups: Testing three conceptions and their relations to perceived learning. *Social Psychology of Education, 11*(3), 323–346.
- Caspi, A., & Blau, I. (2011). Collaboration and psychological ownership: How does the tension between the two influence perceived learning? *Social Psychology of*

- Education*, 14(2), 283–298.
- Duarte, D. W. A., Silva, I. W. P. da, & Duarte, A. K. F. (2017). Q-Memória: Um jogo da memória digital para o estudo de Química no ensino médio. In *II Congresso sobre Tecnologias na Educação* (Vol. 1877, pp. 655–661).
- Faria, P. A. R., Silva, L. H. F. P., & Sousa, P. M. de. (2018). Química Elevator : Um Jogo Digital para o Ensino da Tabela Periódica. In *Simpósio Brasileiro de Jogos* (pp. 1–4).
- Feltre, R. (2005). *Fundamentos da Química* (4th ed.). São Paulo, SP: Editora Moderna.
- Herpich, F., Jardim, R., Silva, R. F. da, Nunes, F., Voss, G., & Medina, R. (2013). Jogos Sérios na Educação: Uma Abordagem para Ensino-Aprendizagem de Redes de Computadores (Fase I). In *Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE 2013* (pp. 617–620). Porto Alegre, RS.
- Medeiros, I. G. de, Rego, J. de A. R. do, Costa, R. A. da, & Júnior, J. M. dos S. L. (2020). Jogo Didático Como Ferramenta Pedagógica no Ensino de Tabela Periódica. In *Estudos teórico-metodológicos nas ciências exatas, tecnológicas e da terra*. Ponta Grossa, PR: Atena.
- Parente, F. A. G., Santos, A. C. F. dos, & Tort, A. C. (2013). Os 100 anos do átomo de Bohr. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(5).
- Pedrisa, C. M. (2008). Características históricas do ensino de ciências. *Ciências Em Foco*, 1(1).
- Peduzzi, L. O. Q., & Basso, A. C. (2005). Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 545–557.
- Peruzzo, F. M., & Canto, E. L. do. (2015). *Química na abordagem do cotidiano*. São Paulo, SP: Saraiva Didático.
- Romanelli, L. I. (1996). O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito átomo. *Química Nova Na Escola*, 3, 27–31.
- Sarmiento, A. M. F., & Oliveira, E. N. A. de. (2018). Como Elaborar um Jogo Didático para o Ensino-Aprendizagem dos Hidrocarbonetos. In *Coleção Produtos Educativos e Metodologias de Ensino - Volume 2* (p. 143). Natal, RN: Offset Editora.
- Silva, G. S. (2013). *A abordagem do modelo atômico de Bohr através de atividades experimentais e de modelagem*. Tese de doutoramento em Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- Tarouco, L. M. R., Roland, L. C., Fabre, M.-C. J. M., & Konrath, M. L. P. (2004). Jogos educacionais. In *III Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação*. Porto Alegre, RS.
- Tastle, W. J., Russell, J., & Wiermann, M. J. (2008). A new measure to analyze student performance using the Likert scale. *Information Systems Education Journal*, 6(35), 1–7.
- Wangenheim, C. G. von, Petri, G., & Borgatto, A. F. (2018). *MEEGA+ KIDS : A Model for the Evaluation of Educational Games for Computing Education in Secondary School*. Florianópolis: INE, UFSC.