

Simulador de Volumetria - Uma Ferramenta para Auxiliar o Ensino Remoto de Conceitos de Titulação

Isabel Cristina Siqueira da Silva¹, Rubia Mara Siqueira da Silva²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense (IFSul) -
Campus Pelotas
Caixa Postal 96.015-360 – Pelotas – RS – Brazil

{isabel.siqueira,rubia.ifsul}@gmail.com

Resumo. *Em época de pandemia e quarentena, em que aulas presenciais não podem ser realizadas, as escolas voltam suas atenções para aulas remotas e tecnologias de informação e comunicação. Neste contexto, a Química é uma Ciência caracterizada pela prática em laboratório, na qual a experimentação deve ser trabalhada em paralelo à teoria. O simulador computacional proposto objetiva auxiliar o ensino de conceitos de volumetria (neutralização, precipitação, óxido-redução e complexação) fora do laboratório de Química. Para tanto, o simulador permite trabalhar conceitos relacionados à técnica de titulação, podendo ser utilizado por professores e estudantes em disciplinas do ensino fundamental médio e/ou superior.*

1. Cenário de uso

O nCovid-19 é um vírus altamente contagioso, fato que leva à necessidade do uso de máscaras e da adoção de medidas de quarentena e de distanciamento social têm sido tomadas a fim de reduzir a disseminação da doença Covid-19 causada pelo vírus nCovid-19 (Liu, et al., 2020). Este cenário de pandemia traz desafios para todos os setores da vida cotidiana das pessoas e, em especial, para a Educação, onde ocorreu a interrupção das aulas presenciais (Todos Pela Educação, 2020). Estima-se que 91% do total de alunos do mundo e mais de 95% da América Latina estão, temporariamente, fora da escola devido à Covid-19 (Unesco, 2020) (Unicef, 2020).

Vivencia-se, assim, a intrínseca necessidade da utilização do ensino remoto, o qual se caracteriza pela adaptação das aulas presenciais e pelo emprego, quando possível, de tecnologias de informação e comunicação (TICs) como recursos didáticos ao processo pedagógico (Hodges, et al., 2020) (Todos Pela Educação, 2020). As TICs dizem respeito a formas tecnológicas distintas de comunicar e informar por meio de *hardware*, *software* e telecomunicações. Propostas de TICs que oportunizem a construção de conhecimento, além das metodologias tradicionais de ensino, podem otimizar o processo de aprendizagem por parte do estudante, principalmente quando faz-se uso de abordagens diferenciadas de conteúdos teóricos.

A Química, em especial, se caracteriza com uma Ciência experimental (Baccan, 2001) (Kotz et al., 2011) (Peruzzo e Canto, 2011), apresentando conteúdos abstratos que podem ser de difícil compreensão por parte dos estudantes (Locatelli et al., 2015). O uso de TICs (softwares educacionais, jogos educativos, recursos audiovisuais,

laboratórios virtuais para execução de atividades experimentais entre outros) além de ser um aliado a livros didáticos em aulas presenciais, também tem um papel fundamental quando as aulas presenciais e práticas, em laboratórios, não podem ser realizadas (Bertolini et al., 2013) (Silva et al., 2016). Simuladores computacionais como o *software* PhET (2020) e o *Chemistry Simulation Software* (LJ Create, 2020) são exemplos de TICs que auxiliam o ensino do conteúdo teórico.

Destaca-se, dentro da Química, a técnica de análise volumétrica (ou volumetria), considerada um importante procedimento laboratorial, porém com escassez de ferramentas computacionais que apresentem um cenário simulado de titulação (pipeta, erlenmeyer, titulações, controle de adição, alterações de aparência de soluções, etc.). Diante deste fato, este trabalho apresenta um simulador de titulação que retrata um cenário virtual e animado relacionado ao conteúdo de volumetria. Tal simulador objetiva permitir que professores e estudantes possam interagir, alterar parâmetros e, conseqüentemente, propiciar mais significado ao processo de ensino-aprendizagem em relação ao conteúdo teórico, estimulando a participação ativa dos estudantes e possibilitando a aquisição de novos conhecimentos. Além disso, é possível fazer adaptação para diferentes disciplinas (ensino de graduação, técnico e/ou médio) que trabalham a técnica de titulação junto aos alunos.

As próximas seções trazem questões relacionadas ao desenvolvimento do simulador de volumetria, sua apresentação e as considerações finais.

2. Desenvolvimento

O simulador de volumetria foi projetado pelas autoras de maneira independente, unindo suas experiências no desenvolvimento de TICs para a Educação bem como no ensino de Química para o ensino médio e superior. Enquanto uma autora foi responsável pela ideação do simulador de volumetria, definindo as técnicas de volumetria empregadas e os valores de simulações, a outra autora foi responsável por desenvolvê-lo, unindo sua experiência de *design* de interação e desenvolvimento de jogos digitais e simuladores virtuais lúdicos. O projeto do simulador foi motivado pela não existência de ferramentas similares que abordem conceitos virtuais e animados de cenários de simulação de volumetria e de titulação de forma interativa e simplificada, permitindo seu emprego em aulas presenciais e remotas, sendo estas últimas decorrentes, principalmente, do cenário atual resultante da pandemia da Covid-19.

O projeto foi desenvolvido com base em requisitos ágeis e *design thinking* de modo a se obter um protótipo rápido, funcional e com a usabilidade necessária para atingir seu objetivo. A elicitação de requisitos ágeis baseou-se no emprego de conjuntos de práticas que procuram dar ênfase ao comportamento esperado do software (Martin, 2008) (Pressman, 2016) (Sommerville, 2016) (Matera, 2020) e, para tanto, contou com a colaboração de uma *stakeholder* (a autora responsável pela ideação) e de especialistas no ensino de análise de volumetria. Já o emprego de conceitos de *design thinking* agrega qualidade ao software desenvolvido, uma vez que é uma metodologia ativa e centrada no usuário além de pregar a cultura da inovação (Brown, 2010) (Vianna et al., 2012).

As etapas de desenvolvimento do simulador de volumetria foram as seguintes: ideação, imersão, análise e síntese, prototipação e validação, sendo esta última com doze especialistas (professores da área de Química que já lecionaram ou lecionam

conteúdos relacionados à volumetria) que atuam principalmente nos Estados da região sul do país. Durante estas fases, procurou-se elencar requisitos de forma ágil, através da construção de um *backlog* que era constantemente revisado e atualizado à medida que o protótipo estava sendo projetado e desenvolvido. O *backlog*, construído juntamente com a *stakeholder* e os especialistas, continha itens como casos de uso, histórias de usuário, requisitos funcionais e não-funcionais.

O simulador de volumetria foi desenvolvido a partir da *game engine* Construct 3¹, escolhida em função de ser dedicada a criação de jogos e animações que empregam cenários bidimensionais (2D). Antes de optar-se pela Construct, estudou-se a alternativa de representar o cenário do simulador de forma tridimensional (3D), de forma a aproximar este de um laboratório real. No entanto, cenários 3D requerem imersão do usuário e percepção de profundidade, fatos que poderiam agregar dificuldade ao simulador, trazendo barreiras para a interação com os controles do simulador.

A Construct permite o desenvolvimento de aplicações gráficas e interativas a partir de uma interface gráfica e intuitiva orientada a eventos. Uma vez desenvolvido o protótipo, que pode ser utilizado em computadores ou dispositivos *mobile*, este foi publicado no site da empresa responsável pela Construct, a Sirra², e está disponível para uso de forma gratuita através da URL <https://www.construct.net/en/free-online-games/simulacao-volumetria-15797/play>. Os *sprites* utilizados no simulador foram adaptados de imagens com extensão *portable network graphics* (.png), disponíveis de forma pública na *web*, ou totalmente desenvolvidos pela autora responsável pelo desenvolvimento deste protótipo.

Já a validação do simulador de volumetria foi realizada através de duas metodologias: percurso cognitivo (Nielsen, 1994) (Preece et al., 2005), realizado pelas autoras; e avaliação de usabilidade junto a usuários (doze especialistas), a partir da realização de tarefas específicas sobre o simulador seguida pela aplicação do questionário *system usability scale* (SUS) (Brooke, 1986). Na realização do percurso cognitivo, as autoras fizeram o papel de avaliadoras, analisando cada ação disponível no simulador de modo a verificar se esta permitia o cumprimento da tarefa a que se destinava com sucesso. Para tanto, foi realizada uma tarefa específica para cada simulação disponibilizada bem como testada cada uma das técnicas de volumetria implementada. Durante o processo, sempre que alguma inconsistência era detectada, esta era corrigida.

Na sequência, o *link* para o simulador de volumetria e o questionário SUS foram disponibilizados para os especialistas testarem, sendo um total de doze divididos entre sete mulheres e cinco homens, que lecionam para o ensino médio e educação profissional (técnico) e o ensino superior nos seguintes Cursos: Química, Engenharia Química, Licenciatura em Química, Alimentos, Agroindústria, Medicina Veterinária, Agronomia. A disciplinas em que estes lecionam, e para as quais apontaram potencial para aplicação do simulador de volumetria, são: Química Analítica Quantitativa, Físico-Química, Tecnologia de Alimentos, Tecnologia do Leite e Derivados, Química Geral Experimental e Tópicos em Catálise Heterogênea da Graduação. Os sujeitos

¹ <https://www.construct.net/en/make-games/games-editor>

² <https://www.scirra.com/>

atuam em Instituições de Ensino situadas, em sua maioria, na região sul do país, todos possuem mestrado e 75% possuem doutorado.

Os testes foram realizados de forma remota, devido à pandemia da Covid-19. Os sujeitos que participaram do experimento de validação foram instruídos pelas autoras a testar livremente o simulador de volumetria após uma breve introdução das funcionalidades do mesmo. Na sequência, foi solicitado que estes fizessem as cinco tarefas apresentadas como exemplo no simulador e, após a conclusão destas, os sujeitos poderiam realizar outras tarefas propostas por eles mesmos. Ao final dos testes, os sujeitos preencheram o questionário SUS a fim de indicar sua percepção sobre a efetividade e usabilidade do *software*.

Os resultados dos escores do SUS, como pode ser observado na Figura 1, indicam que os especialistas que participaram do experimento aprovaram, em sua totalidade, o simulador de volumetria proposto, uma vez que a pontuação final foi 93.8 (em uma escala de 0 a 100). O menor escore obtido foi de 72.5 (um único) enquanto o maior foi de 100 (três sujeitos apontaram este escore). Considerando o coeficiente de Spearman e o teste de Kruskal-Wallis, a associação dos escores SUS com as variáveis idade, formação e nível de conhecimento em informática mostrou baixa correlação, não sendo estatisticamente significantes.

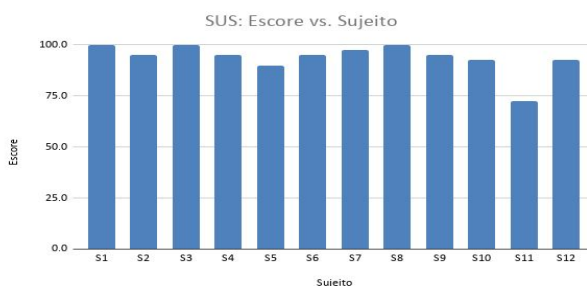


Figura 1: Escores SUS para cada sujeito/especialista.

Por fim, todos os sujeitos concordam que o simulador de volumetria auxiliará a apresentação de conceitos de práticas em laboratório quando estas não puderem ser realizadas de forma presencial. Alguns sugeriram que, futuramente, pode-se ter uma versão mais elaborada deste simulador, com a inclusão de banco de dados com diferentes substâncias de modo a possibilitar outras misturas.

3. Apresentação do Software

A ideia do projeto e desenvolvimento de um simulador de volumetria surgiu após o início da pandemia da Covid-19, quando aulas presenciais precisaram ser canceladas, impedindo que práticas em laboratórios de Química pudessem ser realizadas. O advento das aulas remotas aumentou a demanda por metodologias ativas e emprego de TICs lúdicas de modo a auxiliar o ensino de conceitos teóricos.

A proposta do simulador de volumetria foca na simplicidade de interação aliada à apresentação de conceitos de volumetria comumente trabalhados em práticas realizadas em laboratórios de Química. A volumetria é um processo de análise quantitativa que consiste em verter um volume mensurável de solução titulada em volume conhecido da solução a dosar, até o momento em que um indicador permita reconhecer o término da reação. Pela técnica de titulação, o volume da solução de

concentração conhecida será determinado através de uma reação essencialmente completa com a solução de concentração desconhecida. De acordo com o tipo de reagente utilizado, a volumetria pode se dar por neutralização/acidimetria, neutralização/alcalimetria, precipitação, óxido-redução ou complexação, empregando-se as respectivas técnicas: indicador fenolftaleína, indicador alaranjado de metila, método de Mohr, permanganometria e EDTA com indicador Ério T.

O simulador de volumetria apresenta um cenário 2D simplificado, composto por uma bureta (dispositivo de medição volumétrica preenchida com uma solução aquosa de um reagente de concentração conhecida) e seu suporte, e por um erlenmeyer (contendo a solução a ser analisada e um indicador) (Figura 2). Neste cenário, a solução da bureta é lentamente adicionada à solução do erlenmeyer (cada gota equivale a 0,05 mL), até que uma mudança de cor do indicador sinalize o ponto-final e término da titulação.

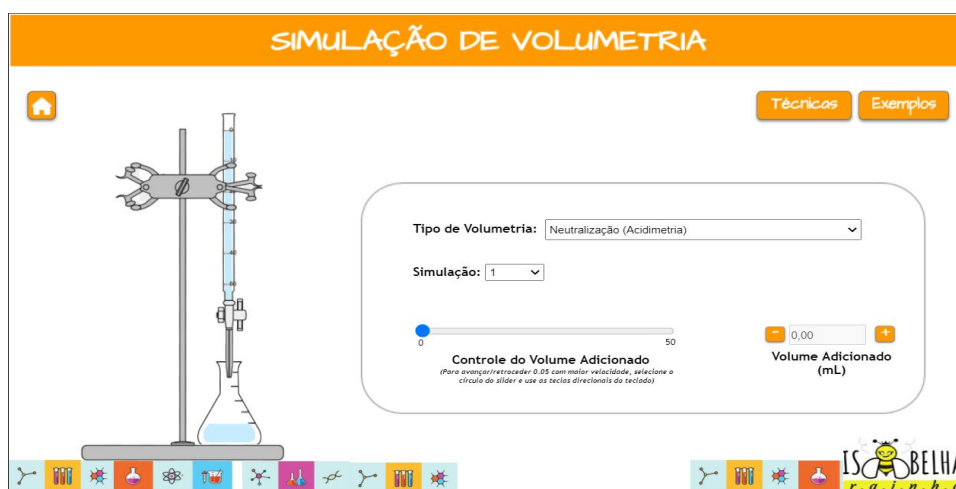


Figura 2: Tela inicial do simulador de volumetria.

O professor tem as opções de escolher o tipo de volumetria (Figura 3) e de selecionar uma opção de simulação (em um total de vinte) de titulações com valores pré-definidos de ponto-final, as quais podem ser inseridas em atividades propostas que simulem práticas e em exercícios.

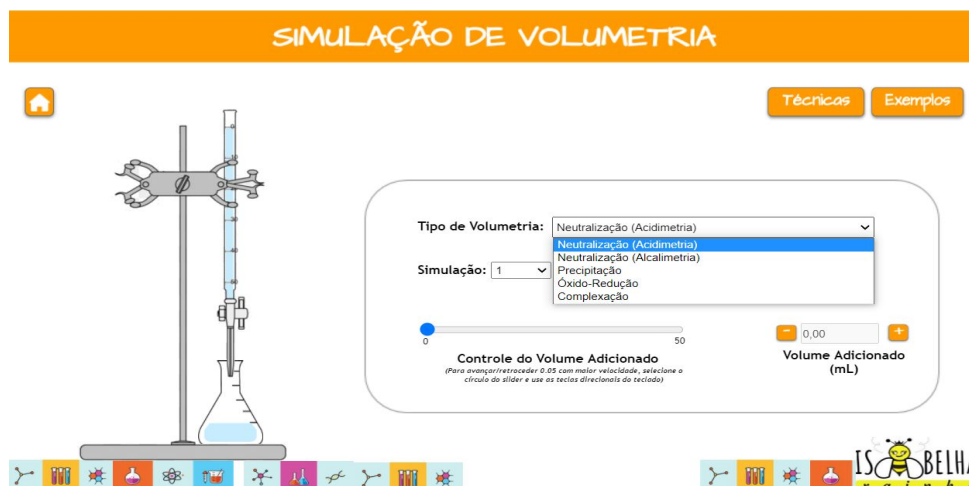


Figura 3: Opções de volumetria.

Como exemplo de exercício a ser realizado com o simulador, pode-se citar: *“Para a determinação de ácido cítrico presente em um suco de limão industrializado, retirou-se, com auxílio de uma pipeta volumétrica, uma alíquota de 25 mL do suco para um erlenmeyer e adicionou-se três gotas do indicador fenolftaleína. Uma bureta de 50 mL foi devidamente ambientada e preenchida com uma solução padrão de NaOH de concentração 0,09766 mol.L⁻¹. A partir do volume gasto na titulação (simulação 5), determine a %m/v de ácido cítrico presente no suco de limão. O ácido cítrico apresenta três hidrogênios ionizáveis e massa molar 192 g/mol⁻¹”.*

Considerando-se uma aula sem a utilização do simulador de volumetria, seria necessário que este exercício fornecesse o volume gasto na titulação (neste exemplo, 20,00 mL). Com a utilização do simulador, o aluno passa a ter o desafio de determinar tal volume gasto após fazer a titulação (utilizando a simulação 5), facilitando o entendimento de conceitos teóricos e práticos e minimizando a distância da realidade de um laboratório.

Uma vez proposto um exercício pelo professor, o estudante deverá interagir com o *slider* e/ou com os botões de “+” e “-” a fim de determinar o ponto-final do volume adicionado (exibido na respectiva caixa de texto) para chegar à resposta correta. A cada interação, tem-se a animação da gota da solução de concentração conhecida da bureta pingando na solução de concentração desconhecida do erlenmeyer, com o volume diminuindo na bureta. Ao se aproximar do ponto-final, aparece um efeito de partículas (possuem a cor que a solução assumirá no ponto-final), dentro do erlenmeyer, para alertar o estudante. Quando o volume atingir o ponto-final, a solução de concentração desconhecida muda de cor (de acordo com o tipo de volumetria), simulando a situação real vivida em um laboratório de Química. Da mesma forma, ao ultrapassar o valor do ponto-final, a solução de concentração desconhecida muda novamente de cor. A Figura 4 apresenta uma simulação para a volumetria de neutralização/acidimetria, considerando-se a simulação 5 com ponto-final 20,00 mL. Já a Figura 5 traz as cores referentes às soluções das demais volumetrias.

Procura-se, através da animação das trocas de cores da solução desconhecida, prover *feedback* visual ao usuário próximo aquele que ocorre na situação real em uma prática em laboratório. Como mencionado na seção 2, o simulador de volumetria está disponível para uso de forma gratuita na URL <https://www.construct.net/en/free-online-games/simulacao-volumetria-15797/play>.

4. Considerações Finais

O simulador de volumetria foi idealizado e desenvolvido a partir da necessidade de trabalhar conteúdos experimentais em laboratórios de Química quando estes não estão disponíveis para uso. Esta situação se agravou com a pandemia da Covid-19, uma vez que está levando as escolas a ofertar ensino remoto emergencial para os estudantes dos diferentes níveis de ensino. No entanto, nota-se, pelos comentários dos especialistas que participaram da validação inicial do simulador, que este tem potencial para ser empregado como um recurso de TIC de modo que estudantes possam realizar seus estudos de análise volumétrica fora do laboratório de Química, mesmo em uma situação em que não exista restrição de acesso a espaços físicos.

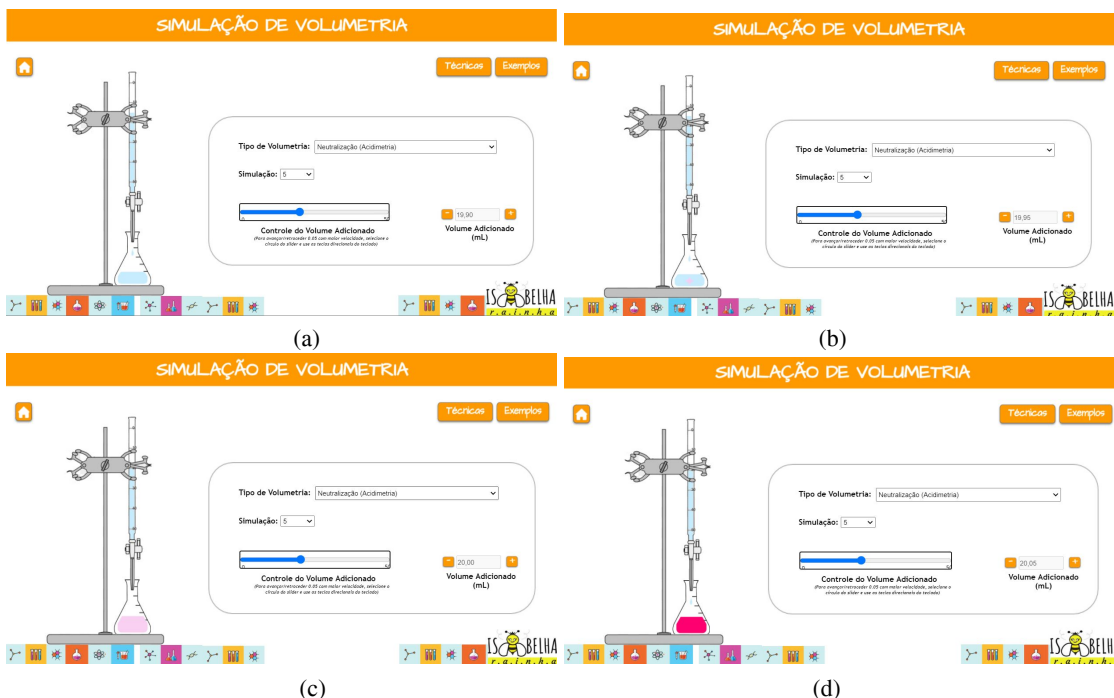


Figura 4: Sequência da animação da simulação 5, com volumetria de neutralização/acidimetria e ponto-final em 20,00 mL. (a) Volume entre 0,00 e 19,90 mL: a solução na bureta está com a cor inicial. (b) Volume 19,95 mL: aparecem partículas indicando que o ponto-final está próximo. c) Volume 20,00 mL: solução na bureta assume a cor relativa ao ponto-final do volume adicionado. (d) Volume entre 20,05 e 50,00 mL: solução na bureta assume a cor que indica que o ponto-final foi ultrapassado.



Figura 5: Cores que a solução desconhecida assume dentro do erlenmeyer à medida que o volume adicionado varia. (a) Neutralização/Alcalimetria. (b) Óxido-Redução. (c) Complexação. (d) Precipitação.

Neste contexto, nota-se que o simulador de volumetria é um recurso inovador, uma vez que não são encontrados *softwares* similares disponíveis para professores e alunos que representem, virtualmente, os principais elementos envolvidos na prática da volumetria (pipeta, erlenmeyer, titulações, controle de adição, alterações de aparência de soluções, etc.). Sua principal contribuição é o auxílio processo de ensino-aprendizagem na exploração de conceitos relacionados à análise química, elucidando o funcionamento de uma titulação, procedimento comum de prática em laboratório. Ressalta-se que a incorporação deste recurso didático nas aulas visa a participação ativa do estudante, de modo a contribuir para o processo de construção de conhecimento, podendo, inclusive, ser visto como uma forma de gamificação.

Como trabalhos futuros, pretende-se expandir o experimento de validação para outros especialistas (professores que trabalham com volumetria em suas disciplinas) e estudantes a fim de avaliar a contribuição para o processo de ensino-aprendizagem. Além deste, tem-se a intenção de desenvolver novos simuladores e jogos digitais lúdicos bem como uma plataforma web para disponibilizá-los a professores e estudantes.

Referências

- Baccan, N., Andrade, J. (2001) “Química Analítica Quantitativa Elementar”, 3 ed. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, p. 46.
- Bertolini, C., Braga, J., Pimentel, E., Ramos, S. (2013) “Laboratório Virtual Interativo para reprodução de Experimentos de Química através de Dispositivos Móveis”. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Informática Na Educação (SBIE 2013), p. 285–295.
- Brooke, J. (1986) “SUS - A Quick and Dirty Usability Scale” Usability Evaluation in Industry, p. 189-194.
- Brown, T. (2010) “Design Thinking: Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias.” Rio de Janeiro: Elsevier.
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., Bond, M. (2020) “The difference between emergency remote teaching and online learning”, *EDUCAUSE Review*, <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>, Agosto.
- Kotz, J., Treichel, P., Weaver, G. (2011) “Química geral e reações químicas”, Vol 2. 6. Edição, ed. CENGAGE Learning, São Paulo, p. 757, 2011.
- LJ Create (2020), “Chemistry Simulation Software”, <http://www.ljcreate.com/us/programs/middle-and-high-school/science/hardware/212/chemistry-simulation-software-detail>, Agosto.
- Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y. et al. (2020) “Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals”, *Nature* 582, p. 557–560.
- Locatelli, A., Zoch, A., Trentin, M. (2015) “TICs no Ensino de Química: Um Recorte do “Estado da Arte”, *Revista Tecnologias na Educação*, Ano 7, n. 12.
- Martin, R. (2008) “Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship”, Prentice Hall.
- Matera (2020) “Requisitos Ágeis – o que de fato agrega valor?”, <http://www.matera.com/blog/post/requisitos-ageis-o-que-de-fato-agrega-valor>, Agosto.
- Nielsen, J. (1994) “Heuristic evaluation”, In Nielsen, J., and Mack, R. L. (Eds.), *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons, New York, 25-64.
- Peruzzo, F., Canto, E. (2010) “Química na abordagem do cotidiano”, Vol 2, 4ª Edição, Ed. Moderna, São Paulo, p. 34.
- PhET (2020) “PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder”, https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/browse, Agosto.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H. (2005) “Design de Interação: Além da Interação Humano-Computador”, Porto Alegre: Bookman.
- Pressman, R. (2016) “Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional”, Ed. Bookman McGrawHill.
- Silva, G., Magalhães Netto, J., Souza, R. (2016) “A Abordagem Didática da Simulação Virtual no Ensino da Química: Um Olhar para os Novos Paradigmas da Educação”, In: V Congresso Brasileiro de Informática na Educação. Anais... XXII Workshop de Informática na Escola.
- Sommerville, I. (2016) “Engenharia de Software”, São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Todos Pela Educação (2020) “Ensino a distância Educação Básica frente à pandemia da Covid-19”, https://www.todospelaeducacao.org.br/uploads/_posts/425.pdf, Agosto.
- Unesco (2020) “Global Monitoring of school closures caused by COVID-19”, <https://en.unesco.org/themes/education-emergencies/coronavirus-school-closures>, Agosto.
- Unicef (2020) “Covid-19: Mais de 95% das crianças estão fora da escola na América Latina e no Caribe”, <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/covid-19-mais-de-95-por-cento-das-criancas-fora-da-escola-na-america-latina-e-caribe>, Agosto.
- Vianna, M., Vianna, Y., Adler, I., Lucena, B., Russo, B. (2012) “Design Thinking: inovação em negócios”, Rio de Janeiro: MJV Press.