



## O USO DO SOFTWARE PhET COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE BALANCEAMENTO DE REAÇÃO QUÍMICA

### Using the PhET software as tool for teaching chemical reaction balancing

Abinadabis Parentes Mendes<sup>1</sup>

Genilson Pereira Santana<sup>2</sup>

Erasmus Sérgio Ferreira Pessoa Júnior<sup>3</sup>

(Recebido em 27/02/2015; aceito em 03/06/2015)

**RESUMO:** Ensinar os conceitos fundamentais da lei de conservação de massa usando os métodos de balanceamento de equações químicas para estudantes nascidos dentro de uma era digital é um desafio para os professores de química. Neste trabalho foi utilizado o software PhET - Balancing-chemical-equations como uma ferramenta de ensino no balanceamento de equações químicas. Para avaliar o uso do software, escolhemos dois grupos de estudantes de segundo ano do ensino médio de uma escola pública da cidade de Tefé (AM-Brasil). A aplicação do software foi feita em apenas em uma classe (Turma A). Na segunda classe, o conceito equação de equilíbrio de massa foi aprendido apenas pela metodologia clássica (Turma B). Os resultados mostram que o desempenho dos estudantes da Turma A foram superiores aos da Turma B, no balanceamento de equações químicas. Esta descoberta sugere que os alunos da Turma A foram capazes de entender a lógica para balancear as equações químicas. Além disso, a introdução do software PhET leva o aluno a compreender os significados dos coeficientes e subscritos encontrado nas fórmulas químicas.

**Palavras-Chaves:** PhET. Princípio conservação da massa. Ensino médio.

**ABSTRACT:** Teaching the fundamental concepts of the mass conservation law using the methods of balancing chemical equation to students born within a digital era is a challenge for the chemistry teachers. On this work we used the PhET software - Balancing-Chemical-Equations as a teaching tool for balancing chemical equations. For assessing the software performance, we have chosen two student groups from the sophomore students from a public high school in the city of Tefé (AM-Brazil). We applied the PhET software with a Class only (Class A). The second Class, the balancing equation concept was learned by classical methodology only (Class B). The results presents that the performance of Class A students is the highest percentage value in balancing equation chemistry. This finding suggests that the students form the Class A were able in understanding the logical for balancing the chemical equation. Additionally, the introduction of PhET software leads the students the understanding the coefficients and subscribed of the meaning of chemical formulas.

**Keywords:** PhET. Principle mass conservation. High school.

<sup>1</sup> Licenciado em Química pelo Centro de Estudos superiores de Tefé, Universidade do Estado do Amazonas – UEA – 69470-000 - Tefé – AM, Brasil. E-mail: [abinadabis@hotmail.com.br](mailto:abinadabis@hotmail.com.br)

<sup>2</sup> Doutor em Ciências – Química. Professor Química Analítica do Departamento de Química, Universidade Federal do Amazonas – UFAM - 69077-000 - Manaus, AM, Brasil. E-mail: [gsantana@ufam.edu.br](mailto:gsantana@ufam.edu.br)

<sup>3</sup> Mestre em Química Analítica e Professor de Química do Centro de Estudos superiores de Tefé, Universidade do Estado do Amazonas – UEA – 69470-000 - Tefé – AM, Brasil. E-mail: [esjunior@uea.edu.br](mailto:esjunior@uea.edu.br)

## Introdução

A estequiometria (grego *stoicheion* = elemento e *metria* = medida) é considerada um conceito básico para entender a diferença entre a química quantitativa e qualitativa. Na química a estequiometria é usada para mostrar aos alunos a rigidez das proporções combinadas das substâncias. Entender a estequiometria está diretamente relacionada à necessidade de compreender a linguagem matemática (PADILLA; GARRITZ, 2011), que descrevem os fundamentos da Lei de Lavoisier, sendo considerada como ferramenta essencial no entendimento da linguagem química (TASKIN; BERNHOLT, 2012). Dessa forma, o aprendizado do balanceamento químico é um passo importante para o entendimento da estequiometria (OLIVEIRA, 2012). A experiência dos professores e a literatura mostram que os alunos de ensino médio não tem um modelo mental correto do significado dos coeficientes e subscritos existentes nas fórmulas químicas, bem como das equações químicas, o que dificulta a aprendizagem desse conceito (YITBAREK, 2011; SANGER, 2005; YARROCH, 1985; LAUGIER; DUMON, 2004; NAAH; SANGER, 2012; MICKLOS LEWIS; BODNER, 2013).

Estrategicamente, o balanceamento de equações químicas é ensinado com aulas expositivas e exercícios. Tradicionalmente, aprender a balancear se baseia em práticas que se resumem na utilização de livros didáticos, aulas expositivas no quadro branco ou negro, e resoluções de exercícios (CUNHA, 2012). A dificuldade em absorver conhecimentos abstratos, e que envolvam cálculos matemáticos é constatada em adolescentes passando para fase adulta (PAPALIA; OLDS; FELDMAN, 2013). Por causa disso, na literatura existem diversos relatos enfatizando a dificuldade do aluno em aprender esse conceito. Dentre as tentativas, pode ser destacado o uso de vídeos (MCFADDEN et al., 2013), no entanto o uso de simuladores por meio de programas de computador é o mais utilizado como forma alternativa para ensinar o aluno a balancear (KUMAR, 2001a). A vantagem da simulação é que ela cria uma ambientação realística onde é apresentado ao aluno um problema para que ele tome decisões e execute ações. Como resposta o aluno recebe informações sobre como a situação do ambiente se altera com a sua resposta. Em outras palavras a simulação permite que o aluno verifique o funcionamento de um determinado modelo simplificado da realidade a partir de suas próprias hipóteses (EIVAZIAN, 1995). Na química a simulação permite o aluno estudar e entender diversos fenômenos naturais sem necessariamente estar no laboratórios de aulas práticas (SANTOS et al., 2014).

Um software de simulação, no ensino de química, por exemplo auxilia a compreensão de equações químicas, pois exige que o aluno tenha conhecimentos acerca de fórmulas químicas das substâncias envolvidas nas reações químicas (STANGHERLIN; UHMANN; BREEM, 2014). Comumente, soluções algébricas são propostas nos softwares de computador, como uma solução para o aprendizado do conceito de balanceamento de equações químicas (ZOU et al., 2010; SCHMIDT, 1997) Na maioria das vezes, softwares usados para simular equações químicas utilizam matrizes para a solução do problema. (KUMAR, 2001b) Por outro lado, tornou-se bastante comum encontrar softwares na internet cujo objetivo é possibilitar ao aluno e professor apenas imaginar uma situação e testá-la. Esse é o caso

encontrado no portal PhET (“PhET,” [s.d.]), desenvolvido pela Universidade do Colorado. Nesse portal existe diversos softwares educacionais de química, de domínio público, produzidos em Flash ou HTML5. E no caso do balanceamento de equações o software recomendado é o *Balancing-chemical-equations*. O objetivo desse software é proporcionar aos alunos a possibilidade de balancear uma equação química observando o que acontece com os átomos e seus coeficientes sugeridos. Com isso, espera-se que o aluno possa desenvolver uma lógica intuitiva de balanceamento de equações químicas. Esse software promove ao aluno, de forma lúdica, uma maneira diferente de praticar o balanceamento de equações químicas. Esse simulador de balanceamento de equações desafia o aluno a passar por diferentes níveis de complexidade: baixo, médio e elevado. Se o aluno passar por todos os níveis, poderá recomeçar o jogo para tentar reduzir o tempo.

Um fato interessante desse software é que o mesmo apresenta as reações químicas de forma escrita (nível simbólico) e por um modelo molecular microscópico, representado por esferas de cores diferentes relativas aos átomos que formam as moléculas. Durante o balanceamento observa-se a formação ou decomposição das substâncias envolvidas em uma parte do monitor; ou seja, o aluno acompanha o efeito causado pela sua sugestão de coeficiente. Outro recurso importante, são balanças que simulam a proporção dos reagentes em relação aos produtos (nível macroscópico). Se as balanças estiverem equilibradas, no processo final de balanceamento, o software avisa que balanceamento está correto. Assim, o aluno será conduzido a um novo desafio de balanceamento.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição do software PhET – *Balancing-Chemical-Equations* no aprendizado de balanceamento de equações químicas em relação com o princípio de conservação de massa de Lavoisier. Este trabalho foi idealizado a partir das observações realizadas no período de atividades do projeto PIBID/UEA/Tefé - AM. Dentre os relatos do projeto, encontra-se a grande dificuldade dos alunos da rede pública estadual de ensino, em assimilar os conteúdos de balanceamento de equações químicas. Porém, a grande maioria dos professores da rede pública do Município de Tefé não dominam os recursos didático-pedagógico de ensino baseado em softwares educativos.

### Procedimentos Metodológicos

A pesquisa desenvolveu-se numa Escola Estadual, situada no bairro Jerusalém, no Município de Tefé-AM. Esta instituição formal de Ensino Médio funciona regularmente nos turnos matutino, vespertino e noturno. O professor da disciplina de química que usou o software PhET, como ferramenta de ensino em suas aulas de balanceamento de equações químicas, é Licenciado em Química e possui Especialização no Ensino de Química. Esse professor é do quadro efetivo da escola há três anos com horária de 40 horas semanais.

Os alunos selecionados para a pesquisa foram de duas classes do 2º ano do Ensino Médio, com um total de 61 alunos, na faixa de 15 a 17 anos de idade. Os alunos foram divididos em dois grupos: 35 alunos (Turma A) e 26 (Turma B). O diário de campo foi utilizado para registrar as observações sistemáticas da pesquisa no período de fevereiro e março de 2014.

A proposta da pesquisa foi ajustada ao planejamento de ensino do professor, ou seja, de ministrar o conteúdo de balanceamento de equações químicas em oito aulas de 45 minutos. Deve ser salientado que o assunto, de balanceamento de equações, foi ministrado pelo próprio professor. O mesmo não recebeu qualquer tipo de treinamento nem a respeito do programa e nem como ensinar com o programa.

A estratégia pedagógica para a avaliação do software foi articulada de duas maneiras. A primeira foi a aplicação do conteúdo de balanceamento de equações químicas para a Turma B utilizando o método expositivo tradicional com auxílio de quadro branco e pincel. Os exercícios de fixação foram aplicados após ao término do assunto em cada aula. Os conteúdos ministrados tanto na Turma B quanto na Turma A foram ministrados de maneira semelhante, na quantidade de conteúdo e tempo de exposição das aulas. No caso da Turma A, o professor ministrou a aula com auxílio de um Datashow e demonstrou o balanceamento de equações químicas utilizando o software PhET, como material de apoio, para relacionar os coeficientes das equações químicas da representação simbólica com o nível microscópico. Somente após o término do conteúdo de balanceamento de equações químicas, foi aplicado um teste, de dez minutos, para avaliar o rendimento das duas turmas:

Faça os balanceamentos das Equações Químicas

- a)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- b)  $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{S}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- c)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

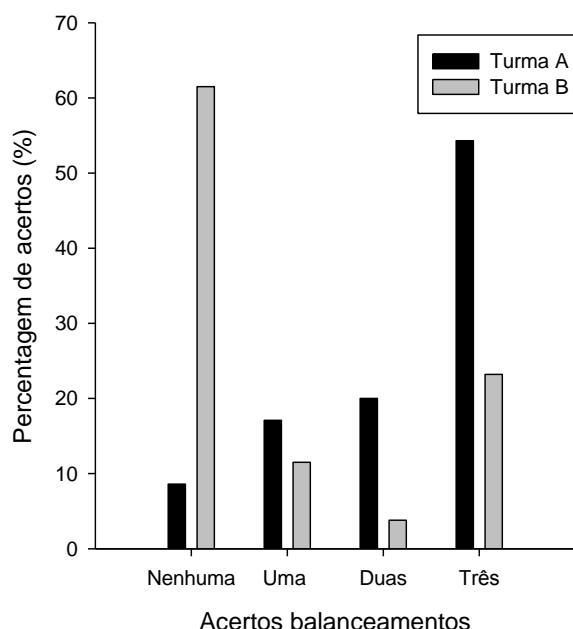
### Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra os percentuais de acerto das três equações químicas aplicadas no teste, cujos resultados indicam caracteristicamente um nível de acertos maior para os alunos da Turma A, ou seja, é marcante a influência positiva no aprendizado de balanceamento com a utilização do PhET. Cerca de 80% dos alunos da Turma A acertaram a maioria dos três balanceamentos propostos. Por outro lado, alguns alunos da Turma B não conseguiu balancear adequadamente as três reações propostas no teste, e obtiveram um índice de acertos de apenas 20%.

Os resultados obtidos sugerem que os alunos da Turma A entenderam os significados dos coeficientes e dos subscritos das fórmulas químicas. A evolução apresentada nos resultados obtidos neste trabalho contribui para o avanço da aprendizagem de um conceito comumente citado como deficiente e difícil pelos pesquisadores do ensino de química (YITBAREK, 2011; SANGER, 2005; YARROCH, 1985; LAUGIER; DUMON, 2004; NAAH; SANGER, 2012; MICKLOS LEWIS; BODNER, 2013).

Em relação a Turma A, pode ser afirmado que o PhET possibilitou uma nova concepção de ciência ao aluno. Isso é possível pela validação da resposta em forma de uma balança. Essa apresentação dos resultados permite o aluno trabalhar com átomos e moléculas em escala macroscópica. Essa estratégia possibilitou condições favoráveis de construção de conceitos microscópicos a partir do próprio aluno. É interessante citar que o aluno tem a possibilidade de manipular e combinar os elementos químicos. Dessa forma, o aluno terá a oportunidade de ter um pensamento relacional e sistemático dos fenômenos que ocorrem na química

(AIRES, 2000). Por outro lado, a literatura mostra que a utilização de um quadro de giz/pincel, ilustração de livros, desenhos e outros meios convencionais não são recursos suficientes para preencher a lacuna existente entre o que acontece com os elementos químicos e o que os alunos realmente percebe (LUZZI et al., 1998).



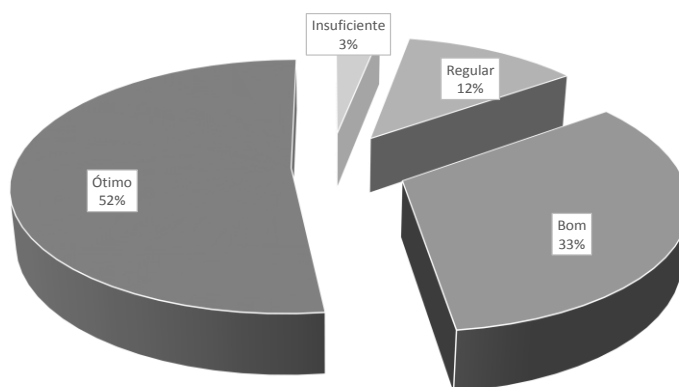
**Figura 1:** Acertos obtidos pela as turmas avaliadas

A evolução na aprendizagem de balanceamento também é alcançada com outros princípios de simuladores. Strangherlin et al. (2014) aumentou o número de acertos dos alunos com o uso da plataforma Laboratório Didático Virtual (LabVirt) (LABVIRT, 2014). No entanto, a aplicação do simulador é condicionada ao treinamento do software, uma vez que, antes da sua utilização existe uma base conceitual a ser ensinada. A vantagem do LabVirt é que os compostos usados no aprendizado de balanceamento fazem parte do cotidiano do aluno, por exemplo,  $\text{CO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Assim, o professor pode motivar o aprendizado do aluno com temas como aquecimento global ou mesmo na produção de aço. O sucesso da simulação com o LabVirt está condicionado à qualidade do professor em contextualizar o processo de balanceamento de equações químicas.

Como estratégia de ensino o PhET revelou ser também eficiente da mesma forma que o uso de jogos lúdicos. A questão do uso de jogos é que a sua aceitação na química não garante uma mudança na postura pedagógica do professor em relação ao seu conhecimento. Apesar de ser tão antigo como a presença do cotidiano nas escolas, o lúdico é uma ideia que necessita da vivência do professor para garantir o sucesso no processo de aprendizagem do conteúdo de química a ser ensinado (CUNHA, 2012). O risco é envolver o aluno numa competição o que desfavorece o processo de aprendizagem e a tomada de consciência. O aluno ao final do jogo pode apresentar dificuldades na depuração de conceitos e conseqüentemente do nível de aprendizagem proposto para determinado conteúdo (AIRES, 2000).

Evidentemente, ao serem questionados sobre a influência do PhET no entendimento de balanceamento de equações químicas, 85% dos alunos da Turma "A"

classificaram o software como Bom e Ótimo para o entendimento do assunto de balanceamento de equações químicas (Figura 2). O restante, subdivididos em regular e insuficiente, representam 15% dos alunos da Turma A.



**Figura 2:** Nota do PhET atribuídas pelos alunos da Turma A.

Na Turma B também foi investigado se os discentes gostariam de utilizar um software como ferramenta de ensino de balanceamento químico, pois 77% dos alunos gostariam de utilizar um software como ferramenta de aprendizagem. Dentre as possibilidades, a explicação é que a metodologia de ensino empregada pelo professor não tem atendido as expectativas dos alunos. Outra possibilidade é a própria tecnologia disponível para a utilização do dia-a-dia das pessoas. A presença das redes sociais e Apps são cada vez mais presentes na sociedade moderna. Ao contrário das salas de aulas, cujo modelo tradicional ainda é majoritário. Aulas convencionais são sempre pobres em visualização e dinamismo, enquanto os alunos necessitam de algo diferente em seu processo de ensino e aprendizagem.

Em princípio, o professor tem como alunos a geração Z, cujo nascimento ocorreu na era digital e que não sabem o que significa viver sem internet, celular e computadores. Para ensinar a essa geração é primordial que o professor tenha uma profunda percepção de novas tecnologias, de forma que precisam estar preparados para utilizar tais avanços. Sem dúvidas, o uso de novas tecnologias torna as aulas mais dinâmicas, trazendo um maior número de informações simultâneas o que motiva o aluno a transformar tais informações em conhecimento. As aulas no processo tradicional de ensino pouco se apropriaram dos recursos que as novas tecnologias oferecem (CRUZ; NERI, 2014). Além disso, modelos didáticos de solução de problemas com balanceamento químico, baseado na relação experiente (professor) e novatos (alunos) apresentam limitações, pois não são apropriados para resolver problemas abertos, tendo estratégias didáticas implícitas situadas no paradigma de ensino/aprendizagem, como processamento de informação com base neoconduista (SILVA; NÚÑEZ, 2002). De modo geral, esses modelos didáticos não favorecem o desenvolvimento da criatividade e nem exercício do pensamento divergente nos novatos. O êxito da solução do balanceamento depende do exercício da criatividade e do questionamento em relação a epistemologia da reação química.

Esse fato conduz a discussão sobre a formação do professor de química que é um processo complexo, envolvendo o aprendizado dos conteúdos específicos, princípios educacionais, metodologias de ensino, psicologia de aprendizagem, uso e

escolha de meios didáticos, etc. Comumente, o curso universitário de Química é considerado dogmático, a-histórico, descontextualizado, baseado somente em conteúdo. Fatores que revestem na atividade formadora do licenciando em química principalmente na falta da utilização de ferramentas contemporâneas, como uso de softwares abertos no ensino de conteúdos meramente abstratos (EICHLER; DEL PINO, 2000).

A baixa eficiência de acertos na aula tradicional sugere que essa metodologia por si só não é capaz de fazer com que o aluno entenda suficientemente as representações macroscópicas, microscópicas e simbólicas usadas cotidianamente no balanceamento de equações químicas. É importante ressaltar as hipóteses defendidas por Wu e Shah (2003) que enfatizam as múltiplas formas de representação do conhecimento químico que acarretam diretamente na compreensão da química. Para esses autores, representações visuais promovem um entendimento mais profundo e consistente dos fenômenos e conceitos estudados na área de química. Nesse contexto, representações da química eminentemente abstratas mostradas com o uso de softwares computacionais são importantes para os alunos compreenderem os níveis simbólicos, macroscópicos e microscópicos. Nossos resultados mostram que o ensinamento do princípio de conservação das massas de Lavoisier, condições defendidas por Yitbarek (2011) para a compreensão e ensinamento das reações químicas, não são atingidas usando apenas aulas expositivas baseados somente em livros didáticos. Adicionalmente, Pauletti (2012) em um trabalho de revisão respalda o entendimento deste trabalho de que o uso de softwares computacionais estabelece uma conexão entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico, necessários para entender o processo de balanceamento de reações químicas.

### Considerações Finais

Ficou evidenciado neste trabalho a eficiência da utilização do software PhET em consórcio com a aula expositiva do professor. O que mostra a necessidade do uso de tecnologias virtuais no ensino de balanceamento de equações químicas. Definitivamente alguns alunos do ensino médio não compreendem o ensinamento de química utilizando apenas metodologias tradicionais. Essa prática de ensino não apresenta satisfatoriamente o ambiente microscópico dos fenômenos químicos. Finalmente, os recursos existentes no PhET complementam a aula tradicional do professor de forma espontânea e sem a necessidade de longo tempo de treinamento do software.

### Referências

- AIRES, J. A. **Softwares educativos: Uma tecnologia de informação e comunicação na educação.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- CRUZ, A. G.; NERI, D. F. M. A inserção de tablets em escolas da rede pública estadual na cidade de petrolina-Pe: uma percepção dos educadores e educandos. **REVASF**, v.4, n.6, p. 6–26, 2014.
- CUNHA, M. B. Jogos no Ensino de Química: Considerações Teóricas para sua Utilização em Sala de Aula. **Química Nova na Escola**, v.34, n.2, p. 92–98, 2012.

- EICHLER, M.; DEL PINO, J. C. Computadores em educação química: Estrutura atômica e tabela periódica. **Química Nova**, v.23, n.6, p. 835–840, 2000.
- EIVAZIAN, A. M. B. O ensino da ciência usando simulações. **Acesso**, p. 17–20, 1995.
- KUMAR, D. D. Computer Applications in Balancing Chemical Equations. **Journal of Science Education and Technology**, v.10, n.4, 2001a.
- KUMAR, D. D. Computer Applications in Balancing Chemical Equations. **Journal of Science Education and Technology**, v.10, n.4, p. 347–350, 2001b.
- LABVIRT. **Laboratório didático virtual**. Disponível em: <[www.labvirt.fe.usp.br](http://www.labvirt.fe.usp.br)>.
- LAUGIER, A.; DUMON, A. The equation of reaction: a cluster of obstacles. **Chemistry Education: Research and Practice**, v.5, n.3, p. 327–342, 2004.
- LUZZI, F. et al. Assistente inteligente para suporte ao ensino de química orgânica. IV Congresso RIBIE. **Anais...Brasília**: 1998
- MCFADDEN, J. et al. Beginning Science Teachers' Use of a Digital Video Annotation Tool to Promote Reflective Practices. **Journal of Science Education and Technology**, v.23, n.3, p. 458–470, 1 nov. 2013.
- MICKLOS LEWIS, A. L.; BODNER, G. M. Chemical reactions: what understanding do students with blindness develop? **Chemistry Education Research and Practice**, v.14, n.4, p. 625, 2013.
- NAAH, B. M.; SANGER, M. J. Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. **Chemistry Education Research and Practice**, v.13, n.3, p. 186, 2012.
- OLIVEIRA, R. C. **Uso de modelos moleculares por alunos de Ensino Médio: contribuições para o desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos**. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, 2012.
- PADILLA, K.; GARRITZ, A. **The pedagogical content knowledge of university chemistry** Narst 2011 Annual Meet. **Anais...2011**
- PAPALIA, D. A.; OLDS, S. W.; FELDMAN, R. D. **Desenvolvimento humano**. 12a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 800
- PhET Interactive Simulation**. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 20 ago. 2014.
- PAULETTI, FABIANA. Processos cognitivos: considerações acerca das dificuldades de aprendizagem. **Revista Areté**, v.5, n.8, p.98-107, 2012.
- SANGER, M. J. Evaluating Students' Conceptual Understanding of Balanced Equations and Stoichiometric Ratios Using a Particulate Drawing. **Journal of Chemical Education**, v.82, n.1, p. 131, jan. 2005.
- SANTOS, E. B. et al. Simulador Computacional para Estudo de Reações Químicas Erbase - XIV Escola Regional de Computação. **Anais...Feira de Santana**: 2014. Disponível em: <<http://erbase2014.uefs.br/informacao-geral/publicacoes>>
- SCHMIDT, H. An Alternate Path to Stoichiometry Problem Solving. **Research in Science Education**, v.27, n.2, p. 237–249, 1997.



SILVA, S. F.; NÚÑEZ, I. B. O ensino por problemas e trabalho experimental dos estudantes - reflexões teórico-metodológicas. **Química Nova**, v.25, n.6B, p. 1197–1203, 2002.

STANGHERLIN, D. H.; UHMANN, R. I. M.; BREEM, C. Compreendendo o balanceamento de equações químicas por meio da utilização de um simulador virtual 34o EDE: Inovação no Ensino de Química: Metodologias, Interdisciplinares e politecnia. **Anais...**2014

TASKIN, V.; BERNHOLT, S. Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. **International Journal of Science Education**, v.36, n.1, p. 157–185, 14 nov. 2012.

WU, Hsin-Kai; SHAH, Priti . Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v.88, n.24, p. 465-492, abr. 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.10126/pdf>>. Acesso em: 01 junho. 2015.

YARROCH, W. L. Student understanding of chemical equation balancing. **Journal of Research in Science Teaching**, v.22, n.5, p. 449–459, 1985.

YITBAREK, S. Chemical reaction: Diagnosis and towards remedy of misconceptions. **AJCE**, v.1, January, p. 10–28, 2011.

ZOU, D. et al. A Novel Global Harmony Search Algorithm for Chemical Equation Balancing 2010 International Conference on Computer Design and Applications. **Anais...**2010