

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Rodrigo Veiga Rosa

**O USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA EXPRESSIVA
COMO RECURSO AUXILIAR NO ENSINO DO MECANISMO DE
TAMPONAMENTO**

Belo Horizonte

2013

Rodrigo Veiga Rosa

**O USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA EXPRESSIVA
COMO RECURSO AUXILIAR NO ENSINO DO MECANISMO DE
TAMPONAMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Carla Leite Chaves

Belo Horizonte
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

R788u Rosa, Rodrigo Veiga
O uso de modelagem computacional qualitativa expressiva como recurso auxiliar no ensino do mecanismo de tamponamento / Rodrigo Veiga Rosa. Belo Horizonte, 2013.
164 f.: il.

Orientadora: Andréa Carla Leite Chaves
Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

1. Bioquímica - Estudo e ensino. 2. Tampões (Química) - Modelos matemáticos. 3. Ensino - Meios auxiliares. 4. Aprendizagem por atividades. I. Chaves, Andréa Carla Leite. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 577.1

Rodrigo Veiga Rosa

**O USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA EXPRESSIVA
COMO RECURSO AUXILIAR NO ENSINO DO MECANISMO DE
TAMPONAMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino.

Prof^a. Dr^a. Andréa Carla Leite Chaves (Orientadora) – PUC Minas

Prof^a. Dr^a. Adriana Gomes Dickman – PUC Minas

Prof^a. Dr^a. Magali dos Reis – PUC Minas

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2013.

Dedico este trabalho, e tudo o que
ele representa pra mim, a minha
mãe, Janice, e à minha
irmã, Rovana.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Janice, pela dedicação de uma vida.

À minha irmã, Rovana, por sempre acreditar em mim.

Ao meu amigo André, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus alunos Amanda, Daniella, Eric, Gabriel, Joedisson, Karla, Lillian, Lucas, Raquel, Vitor Belloti e Vitor Peroni, por se disponibilizarem a participar desta pesquisa, colaborando, em todas as aulas, na condução do trabalho.

À minha orientadora, professora Dr^a. Andréa Carla Leite Chaves, pelas orientações, empenho, dedicação e disponibilidade. Agradeço-lhe por ter caminhado ao meu lado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr^o. Thiéberson da Silva Gomes, da Universidade Federal do Espírito Santo, pela receptividade e por me ceder o ambiente ModeLab², para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao diretor do Colégio Cristo Rei, Salatiel, e a orientadora educacional do colégio, Esther, por permitirem o desenvolvimento deste trabalho nas dependências da escola.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da PUC – Minas, por contribuírem para minha formação em suas disciplinas.

Aos colegas de minha turma de mestrado, pelas trocas de ideias e pelos conhecimentos compartilhados.

E a todos que estiveram presentes durante esta minha caminhada, dando incentivo e força para que eu a concluísse, meu MUITO OBRIGADO!

*Diga-me, eu esquecerei.
Mostre-me, eu me lembrarei.
Mas envolva-me, e eu entenderei.
Confúcio*

RESUMO

O presente trabalho parte da importância do professor aprender a utilizar novas tecnologias para melhorar sua prática profissional e assim, contribuir para o aprimoramento do uso dessas no contexto da sala de aula. Ele foi motivado pelo crescente desinteresse dos alunos em aprender conteúdos associados à realidade microscópica e submicroscópica da natureza devido à falta de informações sensoriais. Nessa perspectiva, professores e pesquisadores têm sugerido um ensino que privilegie o uso de modelos e o envolvimento dos estudantes na construção destes, por possibilitar uma abordagem mais dialógica e analítica para o ensino. Sendo assim, nesse trabalho, optou-se por trabalhar com modelagem computacional qualitativa expressiva do mecanismo de tamponamento, um conteúdo de bioquímica que apresenta conceitos complexos, relativos ao equilíbrio químico. Num primeiro momento, foram elaboradas e aplicadas atividades didáticas visando o desenvolvimento de modelos pelos estudantes, que os levassem a uma representação o mais próximo possível do que é consensualmente aceito pela comunidade científica para o fenômeno de tamponamento. As atividades foram desenvolvidas com a participação voluntária e ativa dos estudantes, evidenciada pelo engajamento e satisfação deles na realização do que foi proposto, com destaque para as discussões internas as duplas, no intuito de desenvolver seus modelos explicativos, observando, questionando, testando, comparando e discutindo com as outras propostas de seu par, em busca de um modelo consensual. Este aspecto, sob o ponto de vista educacional, apresentou a possibilidade do estudante “aprender-fazendo”, deixando de ser um mero receptor passivo das informações e passando a participar ativamente de seu processo de formação. A avaliação da aprendizagem dos alunos, durante as atividades, mostrou que o processo de ensino contribuiu para a compreensão de conceitos químicos e de aspectos qualitativos essencialmente importantes para a compreensão de *como* o tamponamento ocorre. Num segundo momento, a partir da análise dos resultados da pesquisa, foi elaborada a sequência didática “*Sistema Tampão: um estudo fundamentado no processo de modelagem computacional*”, produto dessa dissertação, que constitui material de apoio para professores. Espera-se que os materiais didáticos aqui desenvolvidos sejam capazes de auxiliar no processo de ensino e de aprendizagem de outros conceitos biológicos e/ou químicos de forma similar, com as devidas

adaptações segundo os temas abordados, favorecendo uma aprendizagem ativa e, logo, emancipatória.

Palavras-chave: Modelagem computacional; Sistema de tamponamento; Sequência didática; Ensino de Bioquímica.

ABSTRACT

This work is part of the importance of the teacher to learn how to use new technologies to improve their professional practice and, thus, contribute to the improvement of the use of this in the context of the classroom. He was motivated by the growing interest of students in learning content associated with microscopic and submicroscopic reality of nature due to the lack of sensory information. In this perspective, teachers and researchers have proposed an education that focuses on the use of templates, and the involvement of students in the construction of these, by enabling a dialogic and analytic approach to teaching. Therefore, in this work, we decided to work with qualitative expressive computational modeling of buffering mechanism, a biochemical content that presents complex concepts, relating to chemical equilibrium. At first, have been prepared and applied educational activities aiming at the development of models for the students, that could lead to a representation as close as possible to what is accepted consensually by the scientific community to the phenomenon of buffering. The activities were carried out with the active and voluntary participation of students, evidenced by their satisfaction and engagement in the realization of what was proposed, with an emphasis on the double internal discussions, in order to develop their explanatory models, observing, questioning, testing, comparing and discussing with the other proposals of your couple, in search of a consensus model. This, from the point of view of education, presented the possibility of student "learn-by-doing", no longer a mere passive receiver of information and to actively participate in the training process. The assessment of students' learning, during the activities, showed that the teaching process has contributed to the understanding of chemical concepts and qualitative aspects essentially important for understanding *how* the buffering occurs. Secondly, from the analysis of the results of the survey, was drafted the following didactic "*buffering system: a study based on Computational modeling process*", product of this dissertation, as support material for teachers. It is expected that the teaching materials developed here will be able to assist in the teaching and learning process of other biological and/or chemical concepts. Similarly, *mutatis mutandis* according to the topics discussed, encouraging active learning and emancipatory.

Keywords for this page: Computational modeling; Buffer systems; Didactic sequence; Teaching Biochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Layout principal da interface gráfica do ModeLab ²	28
Figura 2: Janela de Análises Gráficas.....	29
Figura 3: Barra Principal de Ferramentas.....	29
Figura 4: Exemplo de configuração inicial para o modelo aqui em estudo.....	51
Figura 5: Comportamento esperado do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> , em quatro passos temporais.....	52
Figura 6: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico em forma análoga à de uma equação química do sistema: $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$	57
Figura 7: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico do sistema $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$, evidenciando a concepção de reagentes e produtos em recipientes separados.....	58
Figura 8: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico do sistema $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$, evidenciando a concepção de reagentes e produtos separados em um mesmo recipiente.....	58
Figura 9: Desenho esquemático elaborada pela dupla 6, representando o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$	64
Figura 10: Exemplo de um modelo explicativo utilizando modelo de bolas representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.....	65
Figura 11: Exemplo de modelo explicativo utilizando asteriscos para representar o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.....	66
Figura 12: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.....	66
Figura 13: Modelo explicativo proposto pela dupla 1, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.....	67
Figura 14: Modelo explicativo proposto pela dupla 2, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.....	67
Figura 15: Modelo explicativo proposto pela dupla 3, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.....	67
Figura 16: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.....	68

Figura 17: Modelo explicativo proposto pela dupla 5, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.....	68
Figura 18: Modelo explicativo proposto pela dupla 1, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	69
Figura 19: Modelo explicativo proposto pela dupla 6, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	69
Figura 20: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	70
Figura 21: Modelo explicativo proposto pela dupla 5, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	70
Figura 22: Modelo explicativo proposto pela dupla 3, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	70
Figura 23: Modelo explicativo proposto pela dupla 2, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.....	71
Figura 24: Distribuição inicial, na Grade de Simulação e Visualização, para o modelo do fenômeno de Expansão dos Gases criado pela dupla 1 no ModeLab ²	74
Figura 25: Exemplo de modelo final proposto pelos alunos para o mecanismo de tamponamento via bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) em um momento de acidose, em quatro passos temporais. Em verde, cátions H^+ , em azul, ânions HCO_3^- e em vermelho o H_2CO_3	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estrutura de criação de regras no Ambiente ModeLab ²	31
Quadro 2: Representação das regras detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente ModeLab ²	47
Quadro 3: Resumo das regras 1 a 4, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	48
Quadro 4: Resumo das regras 5 a 8, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	49
Quadro 5: Resumo das regras 9 a 12, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	50
Quadro 6: Regras construídas para descrever o comportamento do ânion bicarbonato no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a <i>condição inicial</i> , o <i>tipo de mudança</i> e o <i>efeito</i> utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente ModeLab ²	76
Quadro 7: Regras construídas para descrever o comportamento do cátion hidrogênio no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a <i>condição inicial</i> , o <i>tipo de mudança</i> e o <i>efeito</i> utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente ModeLab ²	77
Quadro 8: Regras construídas para descrever o comportamento do ácido carbônico no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a <i>condição inicial</i> , o <i>tipo de mudança</i> e o <i>efeito</i> utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente ModeLab ²	79
Quadro 9: Resumo sobre os aspectos de descrição da atividade de modelagem expressiva relativo ao fenômeno de tamponamento em acidose.....	83
Quadro 10: Unidades didáticas da sequência – <i>Sistema Tampão: um estudo fundamentado no processo de modelagem computacional</i>	86

LISTA DE SIGLAS

CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica

H^+ – cátion hidrogênio ou hidrônio

H_2CO_3 – ácido carbônico

H_2O – água

H_3CCOO^- – ânion etanoato ou ânion acetato

H_3CCOOH – ácido etanóico ou ácido acético

HCO_3^- – ânion hidrogenocarbonato ou bicarbonato

K_a – constante de ionização de um ácido ou constante de acidez

ModeLab² – *Modelling Laboratory 2D*

Na^+ – cátion sódio

$NaHCO_3$ – hidrogenocarbonato de sódio ou bicarbonato de sódio

$NaOH$ – hidróxido de sódio

OCEM – Orientações Curriculares Para o Ensino Médio

OH^- – ânion hidroxila

PCM – Passos de Construção de Modelos

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio

pH – Potencial Hidrogeniônico

pK_a – cologaritmo da constante de ionização de um ácido

pK_b – cologaritmo da constante de dissociação iônica ou ionização de uma base

PMC – Processo de Modelagem Computacional

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

ULBRA – Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	21
2.1 Modelos e modelagem	21
2.2. Modelagem computacional e o ensino de Ciências	22
2.2.1 Tipos de atividades e ambientes de modelagem computacional	24
2.3 O ambiente de modelagem computacional qualitativa ModeLab ²	26
2.3.1 A Interface do ModeLab ²	27
2.3.2 A Criação de Modelos no Ambiente ModeLab ²	29
2.4. Sequência didática	31
2.5. O mecanismo de tamponamento	33
2.5.1 Como agem os tampões	34
2.5.2 pH de uma solução tampão	35
3. ATIVIDADES DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA EXPRESSIVA PARA O SISTEMA DE TAMPONAMENTO	38
3.1. Descrição e relato de experiência da aplicação das atividades/aulas	39
3.1.1 Sujeitos e local da pesquisa	39
3.1.2 O desenvolvimento das atividades/aulas	40
4. AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES PROPOSTAS	54
4.1 A coleta dos dados	54
4.2. A análise dos dados	56
4.3 Descrição e Análise do Vivenciado	56
5 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	84
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
7 REFERÊNCIAS	89
8 APÊNDICES	95

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O ponto de partida para esta pesquisa surgiu da necessidade de aprender a utilizar novas linguagens e tecnologias para melhorar minha prática profissional e, assim, contribuir para o aprimoramento do uso de novas tecnologias no contexto da sala de aula no ensino de biologia.

Sou professor da rede particular de ensino, no município de Linhares-ES, tendo lecionado as disciplinas de Química, no Ensino Médio, desde 2004, e Bioquímica, em um Curso Técnico em Química, desde 2008. Além disso, lecionei as disciplinas de Biologia, Química e Física, no período de 1999 a 2003, em duas instituições públicas estaduais, bem como Biofísica, em 2008, em um curso de Ciências Biológicas, numa instituição particular. Nos últimos anos de docência, observo que existe uma grande problemática no ensino: cada vez mais, os alunos diminuem o interesse em aprender alguns conteúdos, em especial, aqueles associados à realidade microscópica e submicroscópica da natureza. Percebo que, o que dificulta bastante à aquisição da compreensão dos conceitos relacionados a esses conteúdos é a falta aos alunos de informações sensoriais. Não obstante, ao longo dos anos, colegas de trabalho comentam que os alunos apontam os fenômenos atômico-moleculares como os mais difíceis de serem entendidos na Física, na Química e na Biologia. Ainda, professores e pesquisadores da área de Ensino de Ciências verificaram, em suas investigações, dificuldades dos estudantes usarem representações mentais adequadas relacionadas à compreensão microscópica de fenômenos químicos (DAMASCENO et al., 2008; SOUZA, CARDOSO, 2008).

Em decorrência dessa minha inquietação, fui motivado a pesquisar soluções para reverter esse quadro, de modo que os alunos pudessem ser auxiliados a desenvolverem competências representativas mais eficazes sobre modelos moleculares.

Visando proporcionar aos alunos o desenvolvimento destas capacidades de representação, pesquisadores têm sugerido um ensino que privilegie o uso de modelos e o envolvimento dos estudantes na construção destes modelos se destaca

por possibilitar uma abordagem mais dialógica e analítica para o ensino (FERREIRA, 2006; FERREIRA; JUSTI, 2008).

Então, em 2010, com meu ingresso no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, resolvi investigar as possibilidades dos usos de modelos no ensino de fenômenos não observáveis diretamente, junto ao ensino médio. Nesse sentido, desenvolvi pesquisas bibliográficas sobre o tema, bem como conversei com professores que já tinham experiências com o uso de modelagem no ensino de ciências.

A escolha por trabalhar com o tema “Mecanismo de Tamponamento” deveu-se ao fato de este ser um conteúdo que apresenta conceitos complexos no ensino médio – tal como a ideia de partículas de reagentes e produtos coexistindo em um sistema fechado, sujeitas a uma frequência de colisões constantes que, apesar de resultarem em transformações químicas, não provocam alterações observáveis (FERNANDEZ et al., 2008; FERREIRA, 2006; MACHADO, ARAGÃO, 1996; SOUZA; CARDOSO, 2008) – e, principalmente, por contribuir na compreensão de fenômenos naturais, transcendendo a memorização. Tal perspectiva está de acordo com o que é proposto para o ensino de Biologia pelos Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio (PCNEM), reafirmada pelas Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (OCEM), de que sejam ofertados ao aluno elementos para a compreensão, interpretação e análise de informações, para que eles possam compreender a produção do conhecimento científico, bem como o mundo, e nele agir com autonomia.

Nestes documentos contemporâneos oficiais que orientam o ensino de Ciências da Natureza no Brasil há várias recomendações relativas a um direcionamento e organização do aprendizado, “no sentido de se produzir um conhecimento efetivo, de significado próprio e não somente propedêutico” (BRASIL, 1999). O ensino de Ciências da Natureza deve contribuir para a formação de cidadãos alfabetizados cientificamente, ou seja, que apresentem conhecimentos necessários para um posicionamento crítico frente ao desenvolvimento tecnológico e aos debates científicos atuais (OCEM, 2006; MENDONÇA, 2008).

Em Biologia, uma das recomendações é que o ensino não seja pautado pela simples memorização de denominações e conceitos, ou pela reprodução de regras e processos. Assim sendo, o currículo deve ser organizado de forma a proporcionar ao

aluno a maneira de pensar cientificamente, vivenciando as etapas do método científico (OCEM, 2006).

Nesse sentido, as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio salientam a necessidade de os alunos serem imersos em atividades que objetivem a produção de conhecimentos científicos de forma semelhante aos processos que ocorrem nas Ciências Naturais. Tais atividades apresentam caráter investigativo e permitem ao aluno o desenvolvimento de habilidades e competências tais como trabalhar em grupo, buscar e organizar informações, elaborar e testar hipóteses, organizar e analisar resultados esperados e inesperados, argumentar e comunicar suas ideias, o que é coerente com a formação de cidadãos que ajam com autonomia e criticidade.

Outra questão abordada por esses documentos é a necessidade de inserção do estudante em seu processo de aprendizagem, deixando de ser um mero receptor passivo das informações e passando a participar ativamente de seu processo de formação.

Em tais documentos também se salienta a necessidade de os alunos compreenderem que a produção do conhecimento científico é uma atividade humana influenciada por fatores como o contexto social, econômico e político, e que uma das principais atividades da Ciência é a teorização para a construção de modelos que expliquem o mundo a nossa volta. Sendo que tais modelos servem para explicar tanto aquilo que podemos observar diretamente, como também aquilo que só podemos inferir, e, que estes modelos são limitados, produtos da criatividade humana, construções mentais que buscam sempre manter a realidade observada como critério de legitimação (BRASIL, 1999).

Em face dessas considerações, o uso de modelos e ferramentas tecnológicas pode permitir aos estudantes visualizar o comportamento cinético-molecular de sistemas diversos (SANTOS; GRECA, 2005). Como observado em vários estudos, animações computacionais são uma efetiva ajuda para os estudantes visualizarem a dinâmica de processos a nível microscópico-molecular, particularmente quando o tópico em questão envolve atributos de visualização, movimento, trajetória e mudanças ao longo do tempo (SANGER; BDGER II, 2001 *apud* SANTOS; GRECA, 2005). Assim sendo, nossa intenção neste trabalho foi sugerir uma proposta metodológica, que possa contribuir para potencializar os processos de ensino e de aprendizagem do fenômeno do tamponamento bem como, levar os estudantes a se tornem mais colaboradores e ativos nesses processos.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram consideradas as seguintes questões:

- a) Como uma atividade de modelagem computacional qualitativa expressiva pode contribuir para facilitar a compreensão do fenômeno de tamponamento, por parte dos estudantes?
- b) As atividades de modelagem computacionais qualitativas expressivas podem ajudar os estudantes na aprendizagem ativa?
- c) O programa escolhido para ser usado na atividade de modelagem computacional proposta atende às necessidades pedagógicas que se pretende desenvolver em sala de aula?
- d) Quais as vantagens e as desvantagens do uso de modelagem computacional qualitativa expressiva no processo ensino-aprendizagem?
- e) Quais as dificuldades técnicas e pedagógicas relacionadas ao desenvolvimento das atividades de modelagem computacional expressiva para o conteúdo disciplinar em questão?
- f) Que etapas devem ser seguidas para o uso assertivo das atividades de modelagem computacional qualitativa expressiva para o ensino do mecanismo tamponante?
- g) O uso desta ferramenta computacional, nesta atividade, possibilita que ganhos de aprendizagem?

Para responder a esses questionamentos constituem objetivos dessa dissertação:

- a) Criar uma sequência didática, na forma de módulos educacionais, para o desenvolvimento de uma atividade de modelagem expressiva por parte dos estudantes, que pode levá-los à uma representação interna o mais próximo possível do que é consensualmente aceito pela comunidade científica para o fenômeno de tamponamento.

- b) Analisar a validade de atividades de modelagem expressiva, utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativa, como estratégia de apoio a aprendizagem do conteúdo de mecanismo de tamponamento pelos estudantes.
- c) Inferir sobre o potencial do ambiente de modelagem computacional ModeLab² para o ensino de um Tópico do conteúdo de bioquímica.
- d) Investigar o desempenho e aprendizagem de alunos que participarão de aulas utilizando a sequência proposta.

Esta dissertação foi organizada em capítulos, da seguinte forma:

- I. O primeiro capítulo corresponde a esta introdução;
- II. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico com dados, ideias e conceitos relevantes para a compreensão do uso da modelagem no ensino. O conteúdo deste capítulo foi importante ao nortear o desenvolvimento e análises deste trabalho;
- III. O terceiro capítulo é dedicado à elaboração das atividades de modelagem computacional qualitativa expressiva do fenômeno do tamponamento;
- IV. O quarto capítulo apresenta e discute a avaliação das atividades de modelagem expressiva elaboradas.
- V. O quinto capítulo é dedicado à apresentação da sequência didática “*Sistema Tampão: um estudo fundamentado no processo de modelagem computacional*”, produto desta dissertação, que constitui um material de apoio para professores;
- VI. Finaliza-se com as considerações finais onde discutimos e integramos os assuntos abordados nos capítulos apresentados acima, no intuito de contribuir para a melhoria da prática docente, mais especificamente para o uso da modelagem no ensino de Biologia/Química.

CAPÍTULO 2

2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1 Modelos e modelagem

Para se definir o que é modelagem é necessário em primeiro lugar, definir o que é um modelo, sendo esta definição não tão simples e dependente do contexto de sua utilização. Segundo GOMES e FERRACIOLLI (2006), citando GILBERT e BOULTER (1998), “um modelo pode ser visto como um intermediário entre as abstrações da teoria e as ações concretas da experimentação, que ajuda a fazer previsões, guiar a investigação, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação”. MOREIRA (1996), afirma que as pessoas constroem modelos, que são representações internas do mundo, numa tentativa de interiorizar o meio externo que lhes é apresentado, incluindo isto suas ideias, analogias, conceitos científicos, entre outros. Essas representações construídas pelas pessoas podem ajudá-las a elaborar conhecimentos implícitos que serão usados para responder questões e resolver problemas (BORGES, 1999), bem como deduzir consequências acerca de um determinado fenômeno. KURTZ (1995) e SANTOS (2009) definem modelo como substituto de um objeto ou sistema, ou ainda qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo. De acordo com os mesmos autores, todo o pensamento humano depende da construção e manipulação de modelos.

Assim, a partir dessas ideias, pode-se pensar que modelos são representações simplificadas de um recorte da realidade para o entendimento de uma demanda específica (BRANDÃO et. al, 2008; GOMES e FERRACIOLLI, 2005).

O fato de os modelos representarem um recorte da realidade indica que os mesmos são parciais e limitados. E, segundo BRANDÃO et. al. (2008), não existem modelos corretos, mas sim adequados. Esses modelos, sempre provisórios, vão sendo revistos e refinados de modo a ajustar-se ao comportamento da realidade que pretendem explicar.

A partir destas ideias sobre modelos, pode-se dizer que modelagem é a habilidade humana de construir modelos. O processo de modelagem abrange ferramentas que vão desde papel e lápis até a utilização de tecnologias interativas, como o computador.

Apesar de toda a variedade e aplicabilidade dos modelos e dos processos de modelagem destaca-se, segundo OLIVEIRA (2006) e FEHSENFELD (2010), citando OGBORN (1994), pelo menos três características são comuns a todos os modelos e atividades de modelagem:

- Uma coisa, o *modelo*, é usada no lugar de outra, o *mundo* que nos cerca.
- Toda atividade de modelagem faz uso de *simplificações* e *idealizações* das características, relações ou componentes dos sistemas que se queira representar.
- Finalmente, toda a atividade de modelagem começa com o interesse de se construir ou entender algo do mundo que nos cerca.

Logo, no contexto educacional, é necessário que o estudante construa seus modelos e os expresse, seja no papel ou no computador, usando simplificações e idealizações, durante as atividades de modelagem, e se beneficie dos modelos que ele construiu para entender diversas situações da realidade.

2.2. Modelagem computacional e o ensino de Ciências

Conforme GOMES e FERRACIOLLI (2005), o uso do computador em atividades de modelagem permite aos usuários uma eficiente testagem do modelo construído, pois possibilita que o mesmo seja simulado, quantas vezes forem necessárias, a partir da variação de parâmetros, observando sua evolução temporal em um curto intervalo de tempo. Tal procedimento favorece sua modificação rumo a obtenção de um modelo que expresse, da melhor maneira possível, o sistema real que está sendo estudado. Dentro contexto escolar, a modelagem computacional é bem propícia, pois permite aos estudantes criarem seus modelos a partir de suas concepções, interagindo de forma dinâmica com tais modelos, e auxiliando-os na compreensão e também no aprendizado de conceitos científicos que descrevem os processos envolvidos nas atividades propostas.

Nesta perspectiva, os autores acima citados, em 2006, desenvolveram algumas atividades de modelagem computacional qualitativa expressiva, com

estudantes de graduação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), referentes à difusão dos gases, no ambiente *ModeLab*². Os resultados deste estudo mostraram que os alunos foram capazes de construir modelos explicativos para o fenômeno em questão, a partir de suas concepções, e também de modificar tais modelos. As modificações foram realizadas quando, durante a visualização do comportamento da versão do modelo construído, os estudantes observaram que este não apresentava o comportamento esperado, de acordo com suas concepções. A evolução do modelo dos estudantes através da visualização de seu comportamento dinâmico no ambiente de modelagem computacional qualitativo permitiu-lhes refletir sobre aspectos e conceitos que não haviam considerado anteriormente a atividade. Segundo os autores deste trabalho, a simulação dinâmica pode representar uma alternativa para a limitada capacidade das pessoas “rodarem” seus modelos internos.

Ainda, no ensino de interações intermoleculares, SANTOS e GRECA (2003), realizaram algumas atividades de modelagem computacional, utilizando o software de simulação *DICEWIN* (em construção, no período de desenvolvimento do estudo), na disciplina de Química geral, da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), objetivando possibilitar aos estudantes a modelização e a visualização do comportamento microscópico de soluções, para a construção dos conceitos envolvidos no referido conteúdo. Ao fim das atividades, as autoras observaram que os alunos tiveram um ganho de aprendizagem considerável com a utilização deste tipo de ferramenta, que lhes permitiu, não apenas visualizar e representar o comportamento cinético-molecular dos sistemas discutidos, como também os possibilitou aprender a utilizar diferentes representações com certa competência. Em um estudo posterior, SANTOS e GRECA (2005), chamam a atenção para a modelação em Química, pois tais atividades neste campo do conhecimento têm peculiaridades específicas, que não são semelhantes às aquelas da modelação em outras ciências, devido à complexidade dos fenômenos de que ela trata, a utilização e a transferência de vários níveis de representação, dos conceitos intrínsecos a cada um deles, e ainda, da dificuldade que os estudantes têm em superar a representação macroscópica da matéria.

Também COSTA e PASSERINO (2008), em um estudo com alunos do curso de Licenciatura em Química do CEFET – Campos – RJ, relatam uma experiência no uso de um ambiente de simulação e modelagem computacional – o *Modellus* – no

ensino de Físico-Química. Os resultados deste estudo apresentaram evidências de que a incorporação de atividades de simulação e modelagem computacional ao estudo da Físico-Química melhorou a compreensão dos conceitos e das representações matemáticas dos modelos de gases ideais e reais, por parte dos alunos. Verificou-se que foi possível promover uma aprendizagem colaborativa e reflexiva. Tal fato foi associado à participação ativa dos estudantes no processo de troca de experiência e conhecimentos com seu par, visto que esta atividade foi desenvolvida em duplas.

Concordando com estudos experimentais e exploratórios, RAUPP, SERRANO e MOREIRA (2009) revelam dificuldades dos estudantes em transitar entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico da Química. Sendo a habilidade para transitar entre estes níveis de representação derivada do conceito de visualização espacial. Assim, professores e pesquisadores afirmam que, a experiência com a construção e manipulação de modelos se mostra importante no desenvolvimento das habilidades citadas anteriormente. Partindo-se dessas ideias, estes autores elaboraram e aplicaram algumas atividades de modelização, no ensino de isomeria geométrica, em Química Orgânica, junto a alunos de graduação em Engenharia Química, Química Industrial e Licenciatura em Química, de uma universidade privada da Grande Porto Alegre, RS. Durante as atividades desenvolvidas, o software utilizado foi o *ACD/ChemSketch* da *ACDLabs* (versão freeware). A conclusão deste estudo revelou que as atividades foram satisfatórias para promover uma evolução representacional que permitiu aos estudantes progredir na aplicação do conceito de isomeria.

Percebe-se então que, o ensino de Ciências por meio de atividades de modelagem, pode proporcionar uma gama de possibilidades para o diálogo em sala de aula, evidenciando ao estudante que a Ciência e seus modelos não são verdades prontas a serem repetidas, mas que são mutáveis, e que tem seus princípios e leis constantemente revistos e examinados à luz de novas ideias, observações e experimentos.

2.2.1 Tipos de atividades e ambientes de modelagem computacional

Nos dias de hoje, as ferramentas utilizadas para modelagem computacional são denominadas de Ambientes de Modelagem Computacional. Assim, baseando-se

na interação dos estudantes com tais ambientes, MELLAR e BLISS (1994), citados por GOMES e FERRACIOLLI (2005), distinguem dois modos de atividades de modelagem computacional:

- Atividades de Modelagem Exploratória: onde o estudante é levado a observar o comportamento de um modelo construído por um especialista, não podendo alterar sua estrutura. Tais atividades visam confrontar as concepções do estudante com aquelas apresentadas no modelo de um especialista.
- Atividades de Modelagem Expressiva: onde o estudante é levado a criar um modelo sobre a realidade a partir de suas próprias concepções, explicitando assim seus conhecimentos sobre determinado assunto.

Ainda, em 2003, GOMES propôs um terceiro tipo de atividade de modelagem, onde é apresentado ao estudante um modelo pronto, com o qual ele interage exploratoriamente. Porém, depois de explorar este modelo, o estudante pode modificá-lo, caso julgue necessário, caracterizando assim uma Atividade de Modelagem Semi-Expressiva.

Os softwares utilizados para a criação de modelos podem ser classificados de acordo com o tipo de raciocínio a eles associado, podendo ser quantitativo, semiquantitativo e qualitativo (GOMES, 2003). Dessa forma, existem:

- Ambientes de Modelagem Quantitativos
Ambientes que enfocam o cálculo de variáveis dependentes (RAMPINELI e FERRACIOLI, 2006), sendo, neste caso, necessário especificar as variáveis relevantes ao sistema a ser modelado, seus valores e as relações algébricas entre elas.
- Ambientes de Modelagem Semiquantitativa
Ambientes que enfocam o entendimento de relações causais entre os elementos do sistema e a análise do efeito nessas relações, mas não no conhecimento dos valores numéricos das relações algébricas (CAMILETTI e FERRACIOLI, 2001).

- Ambientes de Modelagem Qualitativos

Nestes ambientes os modelos são criados sem a especificação de variáveis, relações algébricas ou quantidades, mas pela especificação dos seus constituintes básicos e das regras relacionais que determinam seus comportamentos no sistema (GOMES e FERRACIOLI, 2006). Assim a construção dos modelos é baseada em lógica relativamente simples ou na tomada de decisão.

O presente trabalho utilizou o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab², que permite a construção de modelos que possam ser representados pelos objetos que interagem entre si por meio dos eventos criados através de regras de interação – representação baseada na metáfora de objetos e de eventos (GOMES, 2003; OLIVEIRA, 2006; GOMES, 2008) –, com uma interface de criação de modelos que se propõe a minimizar a carga cognitiva do estudante para esse fim (GOMES, 2008). O ModeLab² será abordado e detalhado nas seções a seguir.

2.3 O ambiente de modelagem computacional qualitativa ModeLab²

Com base no trabalho de GOMES (2003), em 2004, o Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), iniciou o projeto de pesquisa “*A Integração da Modelagem Computacional Baseada nas Regras de Autômatos Celulares no Aprendizado Exploratório em Ciências*” (FERRACIOLI, 2004). Este projeto resultou no desenvolvimento do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab², acrônimo de *Modelling Laboratory 2D*, que possui como um dos objetivos principais ser um Ambiente de Modelagem Qualitativa onde o aprendizado da ferramenta não seja empecilho à execução das atividades de construção dos modelos.

O Ambiente ModeLab² foi inicialmente investigado por GOMES em 2008, que avaliou sua utilização a partir de atividades de modelagem expressiva com estudantes universitários e, entre outros resultados obtidos, relatou que o ModeLab² mostrou ser um ambiente de modelagem computacional qualitativa adequado para o desenvolvimento de atividades dessa natureza.

2.3.1 A Interface do ModeLab²

O ModeLab² é uma ferramenta de modelagem que possui um layout simples (Figura 1), e esse layout é dividido em duas regiões principais: a Área de Simulação e Visualização e a Área de Modelagem.

A Área de Modelagem é o local onde a estrutura do modelo é criada em seus elementos de modelagem através do Editor de Objetos e do Editor de Regras. A Área de Simulação e Visualização é o local onde o modelo é simulado e seu comportamento pode ser observado.

Na Área de Modelagem, onde a estrutura do modelo é construída em seus elementos constituintes, há ferramentas de manipulação dos desenhos dos objetos na Grade de Simulação e Visualização. A figura 1 mostra os componentes desta área, que são:

- o Editor de Objetos – ferramenta onde os objetos do modelo são criados;
- o Apagador – ferramenta que permite apagar os objetos na Grade de Simulação e Visualização;
- o Seletor de Direções – ferramenta que permite que cada objeto disposto sobre a grade receba uma direção preferencial, uma característica que permite ao objeto apontar para um de seus oito vizinhos e
- o Editor de Regras – permite a criação e manipulação das regras que determinarão o comportamento dos objetos.

Área de Simulação e Visualização

Área de Modelagem

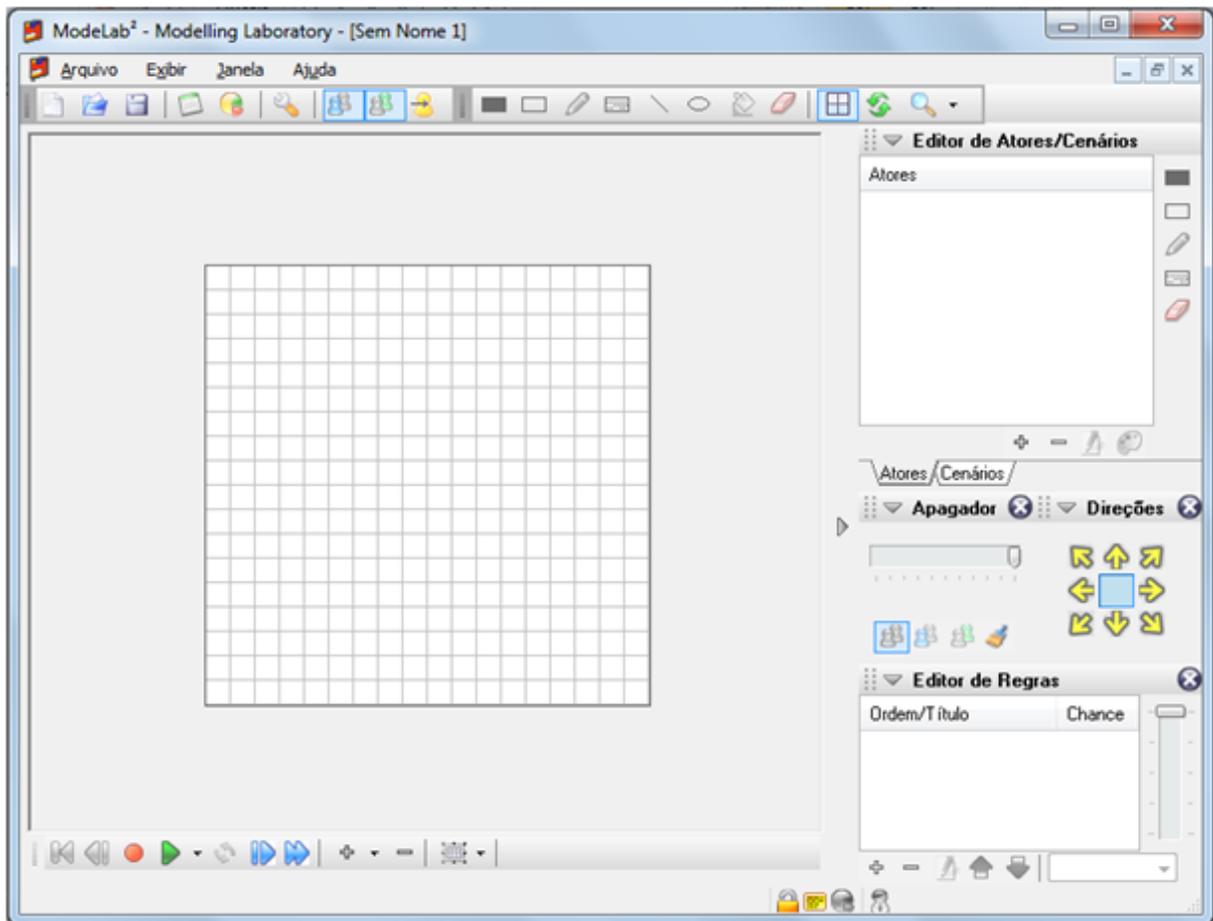


Figura 1: Layout principal da interface gráfica do ModeLab² (GOMES, 2008).

A Área de Simulação e Visualização é o local onde a configuração inicial do modelo é criada e onde ele é simulado, podendo ser analisado pelo comportamento dos objetos que o compõe. Outra forma de analisar o comportamento do modelo é através da Janela de Gráficos (Figura 2), onde o modelo pode ser observado pela variação das quantidades dos objetos.

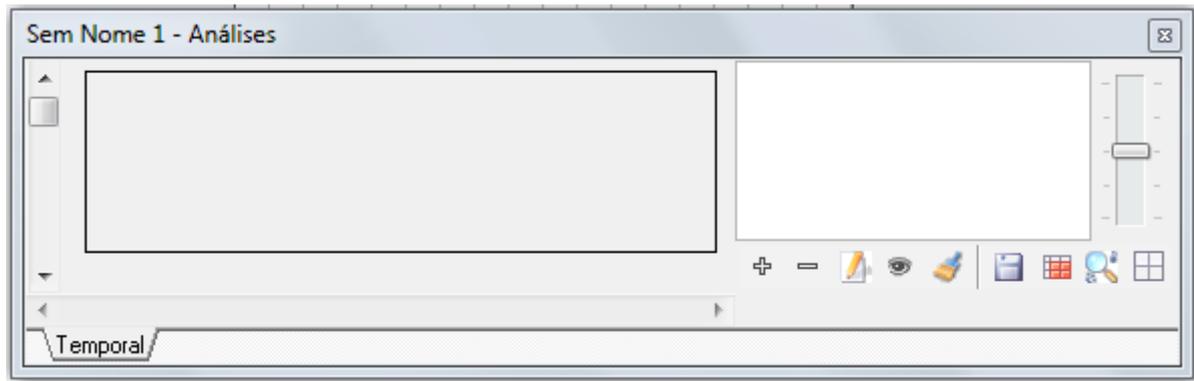


Figura 2: Janela de Análises Gráficas (GOMES, 2008).

Na Área de Simulação e Visualização encontram-se também as Ferramentas de Simulação, que permitem controlar a evolução do modelo.

Além das áreas descritas acima, na parte superior da Área de Simulação e Visualização, encontra-se a Barra Principal de Ferramentas do ModeLab² (Figura 3), que permite gerenciar todas as funcionalidades deste software, tais como criar, abrir e salvar os modelos, dentre outros.

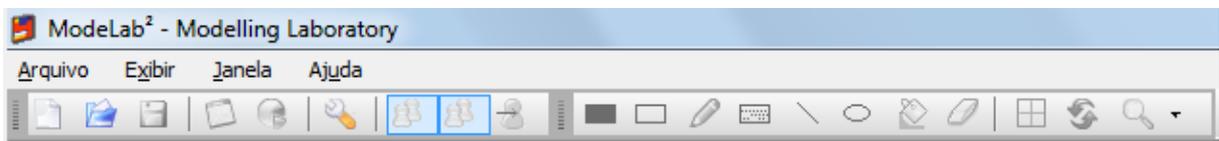


Figura 3: Barra Principal de Ferramentas (GOMES, 2008).

2.3.2 A Criação de Modelos no Ambiente ModeLab²

A construção de modelos no Ambiente ModeLab² se dá utilizando a metáfora de Objetos e Eventos, na qual se concebe que diversos sistemas da natureza podem ser representados através da especificação de objetos que constituem o modelo e dos eventos que ocorrem entre esses objetos. Neste Ambiente de Modelagem, esses eventos surgem a partir de regras de interação criadas para os objetos pelos usuários (FEHSENFELD, 2010; GOMES, 2008; OLIVEIRA, 2006).

No Ambiente ModeLab² os objetos podem ser de dois tipos: Atores e Cenários. Os Atores são definidos como objetos que podem se movimentar na grade de visualização; já os Cenários são definidos como locais ou regiões sobre os quais os Atores podem se movimentar, logo, os Cenários não possuem mobilidade. Além disso, seguindo leis físicas fundamentais, dois Atores não podem ocupar o mesmo

lugar no espaço ao mesmo tempo, de modo que um Ator pode também atuar como barreira para o movimento do outro. Da mesma forma, um mesmo espaço não pode ser ocupado por dois Cenários ao mesmo tempo.

Ao criar um modelo no Ambiente ModeLab², é preciso antes de tudo especificar quais são os objetos relevantes do sistema e classificá-los em Atores ou Cenários.

Os objetos criados no ModeLab² recebem uma propriedade denominada direção preferencial, sendo esta aleatoriamente fornecida pelo ambiente de modelagem, que os faz apontarem para um de seus oito vizinhos mais próximos, permitindo que sejam criadas regras que levem em conta essa direção. Esta direção preferencial pode ser modificada pelo usuário através do botão das Direções.

O comportamento dos objetos num modelo é caracterizado pelo conjunto de eventos que ocorrem no sistema em estudo. Nesse sentido, no ModeLab², os eventos em um modelo resultam das regras de interações entre os objetos que compõe o referido sistema. O Ambiente permite a associação de regras de interação local entre células vizinhas a cada objeto de um modelo. As regras possuem uma estrutura causal simples:

Se [condição inicial], então [resultado]

Assim, durante a simulação, a cada condição inicial satisfeita é executada uma regra e cada regra executada se constitui um evento isolado, pré-definido pelo usuário. No entanto, a composição de um conjunto de regras locais executadas no conjunto de objetos pode gerar comportamentos denominados emergentes, ou complexos: aqueles que não podem ser previstos a não ser que o modelo seja efetivamente simulado (FEHSENFELD, 2010).

Os tipos de regras que podem ser criados no Ambiente ModeLab² são:

- Criação/Modificação
Criam objetos ou modificam objetos criados.

- Movimento
Mudam a posição dos Atores.

- Direção

Modificam a direção preferencial dos Atores.

Já no contexto da elaboração de modelos no ModeLab², as regras são construídas seguindo três passos, mostrado no quadro 1 a seguir.

1º passo: condição inicial	2º passo: tipo de mudança	3º passo: efeito
Condição inicial para que a regra seja executada.	Tipo de mudança que ocorre nesta regra (modificação de objeto, posição e/ou direção).	Efeito gerado pela regra.

Quadro 1: Estrutura de criação de regras no Ambiente ModeLab² (GOMES, 2008).

Ainda no Ambiente ModeLab² é possível estabelecer com que probabilidade cada regra vai ser executada. Tal parâmetro pode ser o detalhe que diferencia um modelo de outro. Se as probabilidades não forem estabelecidas corretamente, o modelo pode não se comportar como esperado.

2.4. Sequência didática

O desenvolvimento das atividades referentes a este trabalho foi feito por meio de uma unidade didática voltada para o ensino do *mecanismo de tamponamento durante uma possível acidose*. Assim, atentou-se para o fato de que a sistematização de uma unidade didática constitui-se numa atividade complexa à prática de ensino porque inúmeras variáveis com possibilidades de intervenção estão envolvidas nesse processo.

A abordagem de elaboração da sequência didática, adotada aqui, é apresentada por ZABALA (1998). Este autor propõe uma composição construtivista dos processos de ensino e aprendizagem, ou seja, a de que o aluno deve ser considerado em sua capacidade de organizar internamente as informações que provêm do meio físico e social, retomando a metodologia de unidades didáticas e propondo uma sequência de atividades favoráveis à constituição, pelo aluno, da autonomia no aprender.

De acordo com o autor, a unidade didática, unidade de programação, ou unidade de intervenção pedagógica é definida como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998).

Estabelecidos os objetivos dos processos de ensinamentos e aprendizagem de conteúdos determinados, ZABALA recomenda verificar a pertinência da unidade didática a ser desenvolvida, iniciando-se com um levantamento do que já foi abordado anteriormente e do que será feito depois, com vistas a melhor determinar o que fazer na unidade presente. Além disso, é preciso deixar claros o papel do professor e do aluno no decorrer da unidade, os meios e materiais a serem usados e os momentos, os critérios e os instrumentos de avaliação da aprendizagem e da efetividade da própria unidade didática como opção metodológica (ZABALA, 1998).

As atividades que formam uma sequência didática podem restringir-se, apenas, a conteúdos conceituais, mas ZABALA chama atenção para a necessidade de ampliação dos objetivos de ensino para abranger, também, conteúdos procedimentais e atitudinais. Os conteúdos assim classificados envolvem variadas dimensões da formação do aluno, porque articula o saber (conteúdos conceituais) com o saber fazer (conteúdos procedimentais) e com o ser (conteúdos atitudinais). Relativo a estes, ZABALA afirma que uma das características dos *conteúdos conceituais* é que a aprendizagem nunca pode ser considerada acabada, uma vez que sempre existe a possibilidade de ampliação ou aprofundamento de conteúdos apropriados. Já os *conteúdos procedimentais* representam um conjunto de ações ordenadas e com um fim, ou seja, dirigidas para a realização de um objetivo, enquanto os *conteúdos atitudinais* englobam uma série de conteúdos que, por sua vez, podemos agrupar nas categorias valores, atitudes e normas.

De acordo com LUCAS e BATISTA (2011), citando ZABALA (1998), assume-se que sequências didáticas apresentam as seguintes características:

- I. São voltadas para objetivos específicos.
- II. Esquematisam as variáveis da complexa prática educativa.
- III. Os tipos de atividade, sobretudo a maneira de articulá-las, são traços diferenciais e determinantes à especificidade da proposta didática.
- IV. Indica a função desempenhada por cada uma das atividades no processo de construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos.

V. Avaliam a funcionalidade das atividades, sua ausência ou a ênfase que se lhes deve atribuir.

A maneira pela qual as atividades podem ser articuladas é determinante ao tipo de proposta didática que se pretende construir. Assim considera-se, segundo ZABALA, a importância “das intenções educacionais na definição dos conteúdos de aprendizagem e, portanto, do papel das atividades que se propõem”.

2.5. O mecanismo de tamponamento

Segundo FIORUCCI et al. (2001), historicamente o conceito de solução tampão surgiu de estudos em Bioquímica e da necessidade do controle do potencial hidrogeniônico (pH) em diversos aspectos da pesquisa científica, como por exemplo em estudos sobre a atividade enzimática nos sistemas biológicos, que têm sua ação catalítica sensível a variações de pH.

Neste contexto, em 1900, FERNBACH e HUBERT, em seus estudos sobre atividade enzimática, descobriram que uma solução de ácido fosfórico parcialmente neutralizado agia como uma “proteção contra mudanças bruscas e/ou repentinas na acidez e alcalinidade”, que descreveram como ação tamponante (FIORUCCI et al., 2001).

Esta resistência à mudança na concentração hidrogeniônica livre de uma solução foi também descrita por FELS, em 1904, que ao misturar ácidos fracos com seus sais (ou bases fracas com seus sais) permitia a obtenção de soluções cuja acidez ou alcalinidade não era alterada bruscamente pela presença de traços de impurezas ácidas ou básicas nos sistemas em estudo (FIORUCCI et al., 2001).

Posteriormente, o conceito de potencial hidrogeniônico (pH), como conhecemos hoje, foi introduzido por SØRENSEN em 1909. No mesmo ano, HENDERSON apontou o papel fundamental do íon bicarbonato na manutenção da concentração hidrogeniônica do sangue.

Hoje as soluções tampão são definidas como soluções que resistem a mudanças de pH quando a elas são adicionados ácidos ou bases ou quando uma diluição ocorre. Essa resistência é resultado do equilíbrio entre as espécies participantes do tampão, sendo que este é formado a partir da mistura de um ácido fraco e sua base conjugada ou de uma base fraca e seu ácido conjugado

(FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004; GUYTON e HALL, 2002; ATKINS e JONES, 2006).

Os tampões têm um papel importante nos processos bioquímicos, nos quais é essencial a manutenção do pH. Assim, muitos processos industriais e fisiológicos requerem um pH fixo à um pequeno intervalo, para que determinada função seja desempenhada.

2.5.1 Como agem os tampões

Os tampões resistem a mudanças no pH, porque essas soluções contêm um componente ácido e um básico em sua constituição. Para se explicar melhor o mecanismo de ação dessas soluções, será considerado o sistema tampão bicarbonato e ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$), que é de grande importância fisiológica, uma vez que controla o transporte de gás carbônico (CO_2) no sangue e o pH do mesmo (FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004).

Sabendo que o sal (bicarbonato de sódio) é um eletrólito forte, em solução aquosa estará completamente dissociado:



O ácido carbônico estará em equilíbrio com seus íons:



A constante de ionização para o ácido carbônico é dada por:

$$K_a = [\text{HCO}_3^-_{(aq)}] \cdot [\text{H}^+_{(aq)}] / [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

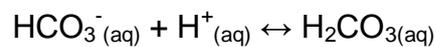
É importante ressaltar que, na solução tampão, a principal contribuição para a concentração de ânions bicarbonato, a base conjugada do ácido carbônico, é proveniente do sal.

Portanto, o ácido carbônico ioniza-se pouco, e a adição de ânion de bicarbonato à solução fará com que a ionização do ácido carbônico seja ainda menor, pois haverá deslocamento do equilíbrio químico em questão no sentido de

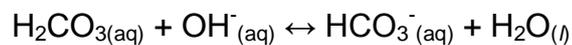
formação do ácido carbônico, e não da ionização, devido ao efeito do íon comum (ânion bicarbonato).

Assim, é possível verificar o que acontece com uma solução tampão, composta por ácido carbônico e bicarbonato, quando a ela for adicionado um ácido ou uma base fortes (FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004).

Se um ácido for adicionado a um tampão, ocorrerá uma elevação da concentração dos íons H^+ no meio; de acordo com o princípio de *Le Chatelier*, essa perturbação será neutralizada pela base conjugada do tampão (HCO_3^-), restabelecendo o estado de equilíbrio, e o pH da solução irá variar pouco, conforme a equação abaixo:



Se uma base for adicionada a um tampão, ocorrerá uma elevação da concentração dos íons OH^- no meio; de acordo com o princípio de *Le Chatelier*, essa perturbação será neutralizada pelo ácido carbônico do tampão, restabelecendo o estado de equilíbrio, e o pH da solução irá variar pouco, conforme a reação abaixo:



É importante frisar que existe um limite para as quantidades de ácido ou de base adicionadas a uma solução tampão antes que um dos componentes seja totalmente consumido.

2.5.2 pH de uma solução tampão

De acordo com a Teoria Protônica de G. LEWIS (E.U.A.), T. LOWRY (Inglaterra) e J. BRØNSTED (Dinamarca) (CHAGAS, 2000), ácido é uma espécie química doadora de prótons (H^+) e base uma espécie química receptora de prótons. A reação de neutralização seria uma transferência de prótons entre um ácido e uma base. Após o ácido (HA) perder seu próton, diz-se existir como base conjugada (A^-). Da mesma maneira, uma base protonada é denominada ácido conjugado (BH^+). Segundo a Teoria Protônica, o íon bicarbonato é a base conjugada do ácido

carbônico. Para a reação de dissociação do ácido carbônico em meio aquoso, pode-se escrever a seguinte constante de equilíbrio:

$$K_a = [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})} \cdot [\text{H}^+]_{(\text{aq})} / [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

Rearranjando essa expressão, tem-se:

$$[\text{H}^+]_{(\text{aq})} = K_a \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3] / [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})}$$

Aplicando-se \log_{10} em ambos os lados da expressão e multiplicando-as por (-1) obtem-se:

$$\log_{10} [\text{H}^+]_{(\text{aq})} = \log_{10} K_a \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3] / [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})}$$

$$\log_{10} [\text{H}^+]_{(\text{aq})} = \log_{10} K_a + \log_{10} [\text{H}_2\text{CO}_3] / [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})} \quad (-1)$$

$$- \log_{10} [\text{H}^+]_{(\text{aq})} = - \log_{10} K_a - \log_{10} [\text{H}_2\text{CO}_3] / [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})}$$

$$- \log_{10} [\text{H}^+]_{(\text{aq})} = - \log_{10} K_a + \log_{10} [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})} / [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

E como por definição $\text{p}K_a = - \log_{10} K_a$ e $\text{pH} = - \log_{10} [\text{H}^+]_{(\text{aq})}$, tem-se:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log_{10} [\text{HCO}_3^-]_{(\text{aq})} / [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

ou

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log_{10} [\text{BASE CONJUGADA}] / [\text{ÁCIDO}]$$

No caso de uma solução tampão preparada a partir de uma base fraca e seu ácido conjugado, a expressão assume a seguinte configuração:

$$\text{pH} = \text{p}K_b + \log_{10} [\text{ÁCIDO CONJUGADO}] / [\text{BASE}]$$

Esta é a equação de Henderson-Hasselbalch, extremamente útil no preparo de soluções tampões, pois além de permitir encontrar a proporção exata dos constituintes para a obtenção do pH desejado, possibilita estimar variações no pH dos sistemas tampões, quando da adição de H^+ ou de OH^- .

CAPÍTULO 3

3. ATIVIDADES DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA EXPRESSIVA PARA O SISTEMA DE TAMPONAMENTO

Para a realização deste estudo, buscou-se planejar e trabalhar atividades direcionadas para estudantes do segundo ano do Ensino Médio, fundamentada na construção, análise, desconstrução e reconstrução de modelos, tendo o sistema-tampão como tema específico. As atividades propostas na sequência procuraram refletir uma situação real do contexto de sala de aula.

O critério de escolha da temática, mecanismo de tamponamento, levou em consideração o fato de que o mesmo deveria ser de interesse científico tanto em relação a um conteúdo específico da Biologia como da Química, e que trata-se de um conteúdo de biologia que exige níveis de complexidade crescentes em relação às habilidades necessárias para a construção dos modelos.

Assim, buscou-se explicitar as principais características do sistema tampão, como:

- a dinamicidade do processo em equilíbrio;
- a coexistência de reagentes e produtos em um mesmo local;
- a simultaneidade das reações direta e inversa;
- a perturbação em um sistema tampão, como a adição de íons H^+ , geram uma alteração momentânea, no sentido de minimizar a perturbação, levando a uma nova situação de equilíbrio, evitando assim a mudança brusca de pH.

O planejamento das aulas/atividades foi desenvolvido a partir de fontes da literatura (FEHSENFELD, 2010; GOMES, 2008; OLIVEIRA, 2006; VIANA, 2010) que comentam atividades desenvolvidas com estudantes e contribuem para a compreensão de modelos utilizados no entendimento de fenômenos da realidade física.

3.1. Descrição e relato de experiência da aplicação das atividades/aulas

A proposta de aplicação da sequência didática foi apresentada ao diretor do colégio particular em que leciono a 10 anos, que avaliou positivamente a iniciativa e sugeriu que a estratégia de ensino se desenvolvesse em um horário alternativo, paralelo às minhas aulas, em função de algumas possíveis dificuldades na conclusão do calendário de atividades curriculares do fim do ano letivo.

Posteriormente, foi apresentado o trabalho e as intenções deste aos estudantes da segunda série do ensino médio, alunos estes que acompanho deste o 9º ano do ensino fundamental. Após a explicação da proposta, um grupo de 16 alunos se prontificou, voluntariamente, a participar do processo investigativo. Em consenso, foi marcado o primeiro encontro, no qual seria apresentada a estratégia de ensino, para um horário alternativo ao das aulas regulares.

3.1.1 Sujeitos e local da pesquisa

As atividades da sequência foram desenvolvidas com estudantes do segundo ano do ensino médio de um colégio particular da cidade de Linhares (ES), ao final do ano de 2012, em um horário alternativo extra-classe, em função de dificuldades na conclusão do calendário de atividades curriculares do fim do ano letivo. As atividades foram desenvolvidas, inicialmente, na própria sala de aula em que os alunos estudavam. Já as atividades de modelagem computacional expressivas foram realizadas no laboratório de informática da escola.

Com relação à participação dos sujeitos envolvidos nesta pesquisa, a mesma foi voluntária. Começou-se inicialmente com 16 estudantes. Porém, a quantidade de alunos foi reduzindo ao longo da investigação, em função das avaliações finais e, posteriormente, da recuperação – o trabalho foi desenvolvido no penúltimo mês do ano letivo. Ao final do processo, contou-se com dez estudantes, o que não prejudicou a coleta de dados, porque todos estes alunos participaram efetivamente das cinco aulas nas quais foi aplicada a estratégia de ensino.

Considera-se importante esclarecer que, em função da proposta de ensino ter sido desenvolvida em um horário alternativo às aulas convencionais do colégio e em um período de provas da escola, dependeu-se da disponibilidade apresentada pelos estudantes para marcar os encontros e definir o tempo para cada atividade.

3.1.2 O desenvolvimento das atividades/aulas

Para melhor ilustrar a estratégia desenvolvida e facilitar o entendimento em relação à análise dos dados, será apresentada a seguir uma descrição preliminar de cada aula, com as atividades desenvolvidas e o objetivo das mesmas. Ao longo da aplicação das atividades buscou-se permitir aos estudantes compreenderem *como* o processo de tamponamento ocorre, facilitando a visualização de alguns aspectos relativos ao fenômeno, impossíveis de serem vistos pela simples observação deste ou pela manipulação de fórmulas.

Foram apresentadas aos estudantes algumas situações envolvendo o equilíbrio químico e suas características principais – conteúdo que é de grande importância para o entendimento do fenômeno de tamponamento –, as quais serão detalhadas mais à frente. A abordagem deu-se de forma qualitativa e coube ao professor-pesquisador mediar todo o processo, priorizando o entendimento das entidades submicroscópicas, buscando promover um maior entendimento sobre o fenômeno em questão (MACHADO; ARAGÃO, 1996; SOUZA; CARDOSO 2008).

De início procurou-se identificar como os estudantes compreendiam, a nível atômico-molecular, o que ocorre durante um processo químico reversível, e a partir de suas concepções identificadas, desenvolveu-se uma proposta de ensino dos respectivos conceitos científicos associados a este fenômeno, por meio do uso de atividades de modelagem.

Essa proposta promoveu a elaboração de modelos por parte dos estudantes, em duplas, após a apresentação de algumas situações-problema envolvendo sistemas-tampão, com as devidas apresentações e discussões dos modelos expostos a todos. Essas discussões e reflexões sobre os modelos apresentados não objetivaram padronizar as ideias dos alunos, mas sim fornecer a eles uma estrutura teórica para que fossem capazes de analisar, modificar ou até mesmo descartar os modelos por eles desenvolvidos.

1ª. aula: “Conhecendo o que vocês sabem...”

Neste primeiro encontro com os estudantes, foi explicado que se tratava de uma pesquisa para obtenção de dados necessários à conclusão e à obtenção do título em um mestrado profissional. Foi exposto, também, que a participação de todos era importante e que não se estava a procura de obter, somente, respostas

certas. O interesse, em última instância, era saber como eles interpretariam os fenômenos químicos propostos.

Esse encontro ocorreu em uma quarta-feira, no período das 11h 40min até às 12h 40min, o que correspondeu a pouco mais de uma hora-aula, para apresentação e aplicação da atividade.

Após uma breve explanação sobre a elaboração e o uso de modelos, discutindo sua importância para a construção do conhecimento científico bem como o cuidado com as generalizações, foi pedido aos alunos que explicassem um sistema em equilíbrio químico (Atividade 1, Apêndice A), na qual, em duplas, buscariam propor, por meio de desenhos e argumentações, explicações sobre fenômenos químicos, algo que eles já vinham vendo desde o 9º ano do ensino fundamental. Os estudantes tiveram aproximadamente 20 minutos, para discutir as ideias e elaborar seus modelos explicativos.

Foi pedido às duplas que formulassem proposições para o comportamento do íon acetato (H_3CCOO^-) em solução aquosa e escolhessem uma explicação – consensual – para o fenômeno. Caso os componentes da dupla não chegassem a um acordo de opiniões, todas elas deveriam ser apresentadas e discutidas. O intuito com essa atitude era justamente promover a participação de todos, gerando discussões e defesa de opiniões dos integrantes da dupla.

No decorrer da aula, o professor-pesquisador e os estudantes discutiram cada proposta apresentada. Dentre as propostas aqui apresentadas pelos estudantes, estava a ideia de que reagentes e produtos se encontravam em “compartimentos” separados. E mesmo depois de se discutir tal ideia, os estudantes ainda aceitavam, nesta primeira aula, que reagentes e produtos estavam compartimentalizados dentro do mesmo sistema.

2.ª aula: “Visão de um sistema através de objetos e eventos”

O segundo encontro aconteceu na sexta-feira da mesma semana, também no período de 11h 40min às 12h 40min. Após a análise dos modelos propostos pelos estudantes na primeira aula, associando-os ao campo das discussões observadas, iniciou-se a aula retomando as questões mais relevantes apresentadas pelos alunos. Durante este encontro foi apresentado aos estudantes uma visão geral relativa à representação do mundo físico através de objetos e eventos. Nesta ocasião o material instrucional utilizado (Atividade 2, Apêndice B) visou levar os estudantes a

refletirem sobre objetos, eventos e regras de interação. Este material impresso, elaborado com base no manual do ModeLab² (FARRACIOLI, GOMES, SILVA, 2007), possuía uma breve descrição sobre objetos e eventos, bem como duas atividades que objetivaram fazer com que os estudantes adquirissem algumas habilidades básicas necessárias à construção de modelos no ambiente ModeLab².

No exercício 3 da atividade 2 (Apêndice B) solicitou-se às duplas de alunos que representassem o sistema tampão bicarbonato ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) do sangue de mamíferos, em nível submicroscópico.

O objetivo dessa atividade foi retomar as ideias mais relevantes apresentadas no encontro inicial, repensar o fenômeno em termos de objetos e eventos e investigar como os estudantes percebiam e tentavam explicar o sistema químico em questão dentro da perspectiva do que eles não conseguiam ver, só imaginar.

3.^a aula: “Conhecendo o mecanismo de tamponamento”

Durante o terceiro encontro, que ocorreu numa segunda-feira, das 11h 40min às 12h 30min, foi apresentado ao grupo a ideia de tamponamento. Para isto, discutiram-se as definições sobre ácidos e bases que eles tinham em mente e, logo em seguida, foi apresentada a definição de ácidos e bases segundo G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted, de 1923 (CHAGAS, 2000).

Nesse encontro, retomaram-se junto aos alunos as questões mais relevantes levantadas e defendidas na aula anterior, bem como os principais conceitos já discutidos.

Agora o material impresso utilizado nesse momento (Atividade 3, Apêndice C) objetivou levar os alunos a pensarem no mecanismo de tamponamento na perspectiva de objetos e eventos.

Após discussões sobre os modelos propostos em cada dupla, fez-se uma análise qualitativa do sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ de forma geral, apontando suas principais características e suas relações com os modelos propostos por outras duplas, a fim de relacionar e contrapor as ideias apresentadas, bem como explorar as limitações e aplicabilidade deles.

4.^a aula: “Representação de Objetos e Eventos no Computador”

Em 29/11/2012, quinta-feira, ocorreu a quarta e última aula. Este encontro teve início às 14h, tendo uma duração média de 2h 40min.

O conteúdo introdutório desta aula teve a finalidade de aprofundar nos alunos as habilidades cognitivas necessárias para a compreensão das relações de causa e efeito encontradas na natureza, a fim de introduzir o raciocínio necessário para a manipulação do ambiente de modelagem ModeLab².

O material impresso utilizado nessa aula (Atividade 4, Apêndice D) possui uma breve descrição do ambiente ModeLab² e uma atividade de modelagem inicial, cujo objetivo era levar os estudantes a utilizarem o Editor de Objetos, o Editor de Regras e a Janela de Simulação e Visualização desse software. Nesta atividade os estudantes criaram regras no ambiente de modelagem incluindo possíveis variações de acordo com o tipo de regra a ser criada: movimento, direção e criação/modificação. O fenômeno aqui utilizado como exemplo inicial foi o de um gás confinado em um recipiente, conforme sugestão do manual do usuário ModeLab² (FARRACIOLI, GOMES, SILVA, 2007).

Após esse primeiro contato com o ambiente ModeLab², os estudantes foram solicitados a representar o mecanismo de tamponamento via bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) no computador, utilizando esta plataforma. Neste processo de construção de modelos, devem ser identificados, inicialmente, os objetos considerados relevantes para a construção do modelo e as regras por de trás dos comportamentos dentro do modelo. Assim, visando orientar os estudantes neste processo foi utilizada uma sequência de nove passos denominados de Passos de Construção de Modelos (PCM), desenvolvida a partir de CAMILETTI e FERRACIOLI (2001) e adaptada por GOMES (2003). Dessa forma, o material instrucional utilizado nesse momento continha a seguinte sequência de passos:

1º Passo: Definição do sistema a ser estudado - **PCM1**.

2º Passo: Escolha do fenômeno de interesse - **PCM2**.

3º Passo: Listagem dos objetos relevantes - **PCM3**.

4º Passo: Classificação dos elementos listados em Atores e Cenários - **PCM4**.

5º Passo: Construção das regras através das interações entre os objetos - **PCM5**.

6º Passo: Construção de cada regra descrita no 5º passo através de detalhamento de acordo com o ambiente de modelagem descrito na apostila - **PCM6**.

7º Passo: Representação das interações no ambiente ModeLab² - **PCM7**.

8º Passo: Simulação - **PCM8**.

9º Passo: Validação do modelo - **PCM9**.

Os Passos da Construção do modelo esperado para o fenômeno de tamponamento são os descritos a seguir.

1º Passo – Definição do sistema a ser estudado

Solução-tampão durante uma acidose.

2º Passo – Escolha do fenômeno de interesse

Comportamento dos elementos da solução-tampão durante a adição de pequenas quantidades de ácido.

3º Passo – Listagem dos objetos relevantes

Parede do sistema, ânion bicarbonato, cátion hidrogênio e ácido carbônico.

4º Passo – Classificação dos objetos listados

Atores: Parede do sistema, ânion bicarbonato, cátion hidrogênio e ácido carbônico.

Cenários: Nenhum.

5º Passo – Construção das regras através das interações entre os objetos

Ânion bicarbonato

1. Movimentação do *ânion bicarbonato* em linha reta – Movimentação do *ânion bicarbonato*.

Se *ânion bicarbonato* ao lado de espaço vazio, então *ânion bicarbonato* se move em linha reta.

2. Colisão entre *ânion bicarbonato* e *parede do sistema* – Interação *ânion bicarbonato - parede*.

Se *ânion bicarbonato* ao lado de *parede do recipiente*, então *ânion bicarbonato* rebate.

3. Colisão entre *ânion bicarbonato* e *ânion bicarbonato* – Interação *ânion bicarbonato - ânion bicarbonato*.

Se *ânion bicarbonato* ao lado de *ânion bicarbonato*, então há repulsão mútua entre si.

Cátion hidrogênio

4. Movimentação do *cátion hidrogênio* em linha reta – Movimentação do *cátion hidrogênio*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de espaço vazio, então *cátion hidrogênio* se move em linha reta.

5. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *parede do sistema* – Interação *cátion hidrogênio - parede*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *parede do recipiente*, então *cátion hidrogênio* rebate.

6. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *cátion hidrogênio* – Interação *cátion hidrogênio - cátion hidrogênio*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *cátion hidrogênio*, então há repulsão mútua entre si.

7. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *ânion bicarbonato* – Interação *cátion hidrogênio - ânion bicarbonato*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *ânion bicarbonato*, então há formação de *ácido carbônico*.

Ácido carbônico

8. Movimentação do *ácido carbônico* em linha reta – Movimentação do *ácido carbônico*.

Se *ácido carbônico* ao lado de espaço vazio, então *ácido carbônico* se move em linha reta.

9. Colisão entre *ácido carbônico* e *parede do sistema* – Interação *ácido carbônico - parede*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *parede do recipiente*, então *ácido carbônico* rebate.

10. Colisão entre *ácido carbônico* e *ácido carbônico* – Interação *ácido carbônico - ácido carbônico*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *ácido carbônico*, então há repulsão mútua entre si.

11. Colisão entre *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato* – Interação *ácido carbônico - ânion bicarbonato*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *ânion bicarbonato*, então *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato* trocam direções entre si.

12. Colisão entre *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio* – Interação *ácido carbônico - cátion hidrogênio*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *cátion hidrogênio*, então *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio* trocam direções entre si.

Todas as regras deste modelo têm 100% de probabilidade de ocorrência. Assim, foram considerados adequados aqueles modelos em que os estudantes omitiram as probabilidades.

6º Passo – Representação das regras listadas no **5º passo** detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente ModeLab².

As regras do modelo desejado para o fenômeno de tamponamento são apresentadas no quadro 2.

7º Passo – Representação das interações no Ambiente ModeLab²

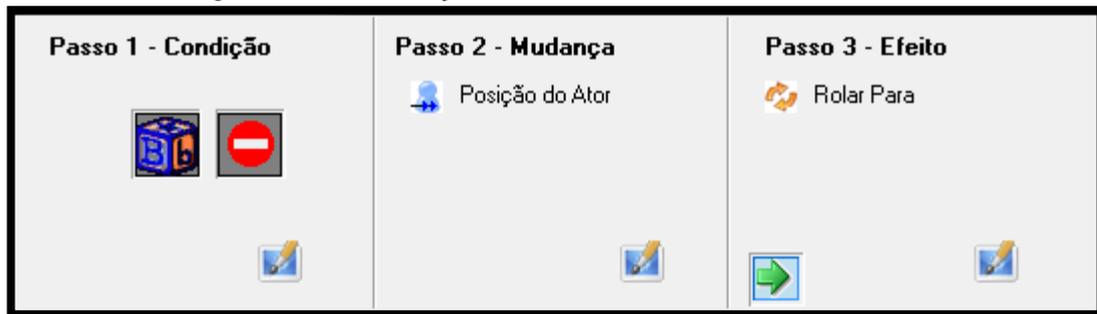
Conforme descrito anteriormente, construir o modelo significa “programar” o ambiente ModeLab² de forma que seja possível realizar a simulação a partir da qual se poderá observar a evolução temporal do modelo. Esta “programação” consiste em criar os objetos, criar as regras de interação e dispor os objetos na grade de simulação e visualização de maneira adequada.

O resumo das regras do modelo desejado para o fenômeno de tamponamento é apresentado nos quadros 3, 4 e 5.

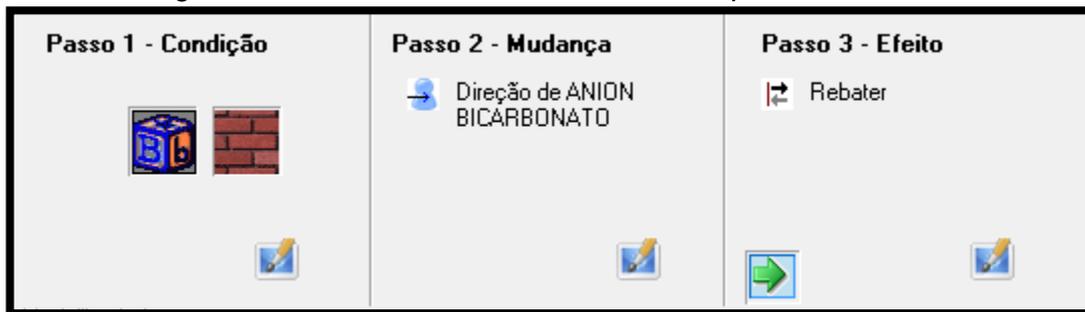
Regra	Passo1 Condição Inicial	Passo 2 Tipo de Mudança	Passo 3 Resultado da Mudança	Probabilidade
1	Ânion bicarbonato ao lado de sem ator	Muda posição de ânion bicarbonato	Ânion bicarbonato se move em linha reta	100 %
2	Ânion bicarbonato ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de ânion bicarbonato	Ânion bicarbonato rebate	100 %
3	Ânion bicarbonato ao lado de ânion bicarbonato	Mudam direções/sentidos ânion bicarbonato e ânion bicarbonato	Há repulsão mútua entre ânion bicarbonato e ânion bicarbonato	100 %
4	Cátion hidrogênio ao lado de sem ator	Muda posição de cátion hidrogênio	Cátion hidrogênio se move em linha reta	100 %
5	Cátion hidrogênio ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de cátion hidrogênio	Cátion hidrogênio rebate	100 %
6	Cátion hidrogênio ao lado de cátion hidrogênio	Mudam direções/sentidos cátion hidrogênio e cátion hidrogênio	Há repulsão mútua entre cátion hidrogênio e cátion hidrogênio	100 %
7	Cátion hidrogênio ao lado de ânion bicarbonato	Mudam cátion hidrogênio e ânion bicarbonato	Muda cátion hidrogênio e ânion bicarbonato por ácido carbônico	100 %
8	Ácido carbônico ao lado de sem ator	Muda posição de ácido carbônico	Ácido carbônico se move em linha reta	100 %
9	Ácido carbônico ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de ácido carbônico	Ácido carbônico rebate	100 %
10	Ácido carbônico ao lado de ácido carbônico	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e ácido carbônico	Há repulsão mútua entre ácido carbônico e ácido carbônico	100 %
11	Ácido carbônico ao lado de ânion bicarbonato	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e ânion bicarbonato	Ácido carbônico e ânion bicarbonato trocam direções entre si	100 %
12	Ácido carbônico ao lado de cátion hidrogênio	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e cátion hidrogênio	Ácido carbônico e cátion hidrogênio trocam direções entre si	100 %

Quadro 2: Representação das regras detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente Modelab².

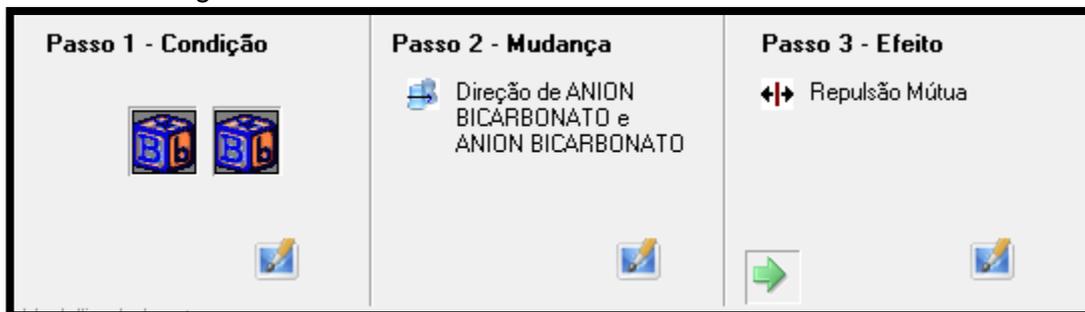
Regra 1: Movimentação do *ânion bicarbonato* em linha reta.



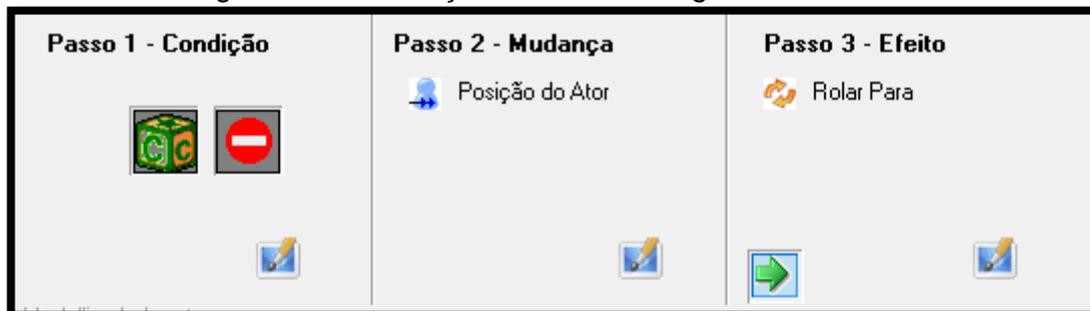
Regra 2: Colisão entre *ânion bicarbonato* e a *parede do sistema*.



Regra 3: Colisão ente *ânion bicarbonato* e *ânion bicarbonato*.

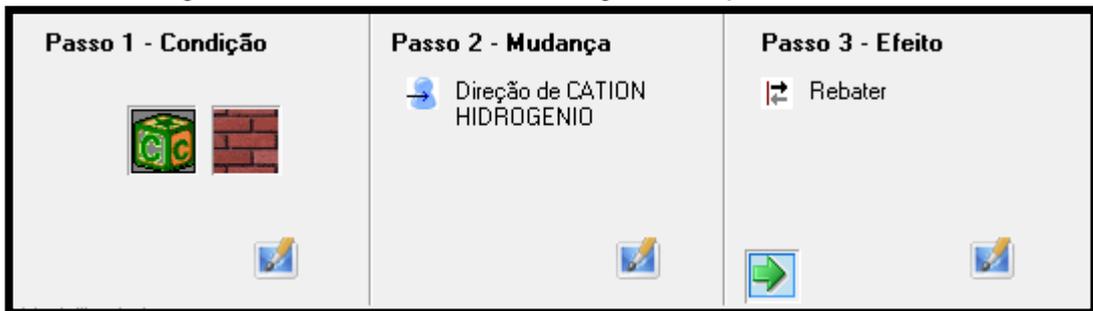


Regra 4: Movimentação do *cátion hidrogênio* em linha reta.

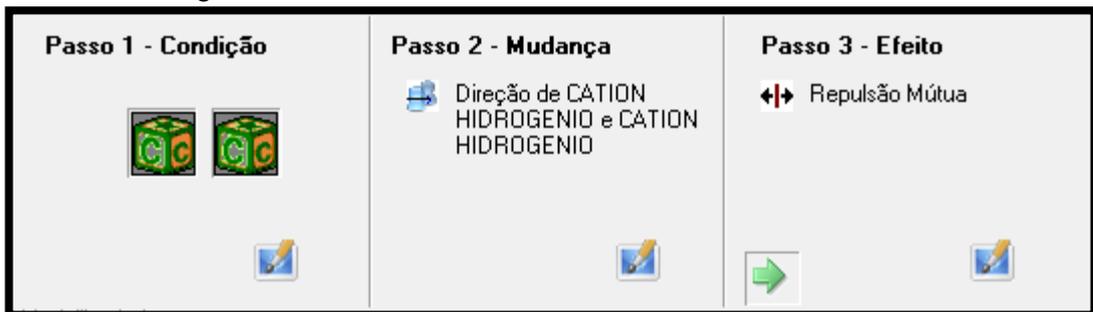


Quadro 3: Resumo das regras 1 a 4, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

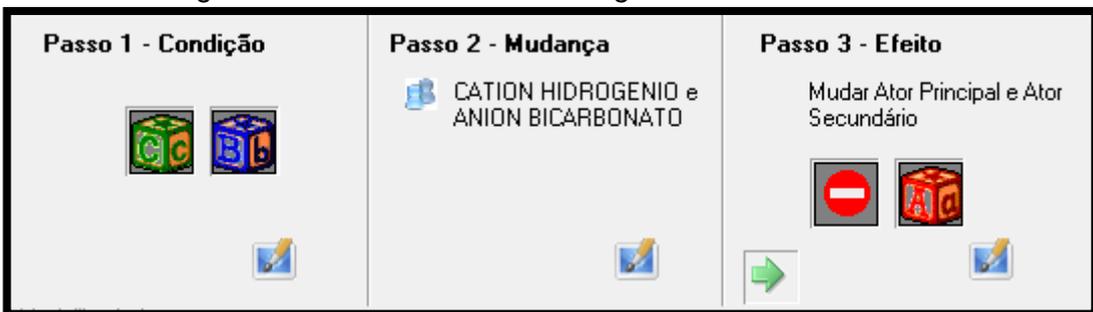
Regra 5: Colisão entre *cátion hidrogênio* e a *parede do sistema*.



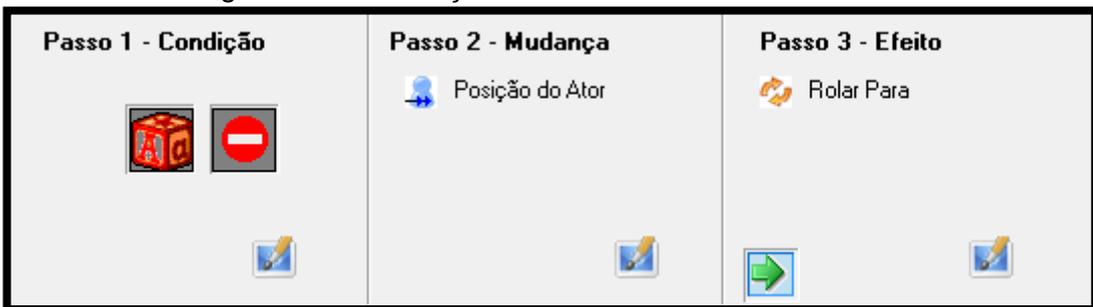
Regra 6: Colisão ente *ânion bicarbonato* e *ânion bicarbonato*.



Regra 7: Colisão entre *cátion hidrogênio* e *ânion bicarbonato*.

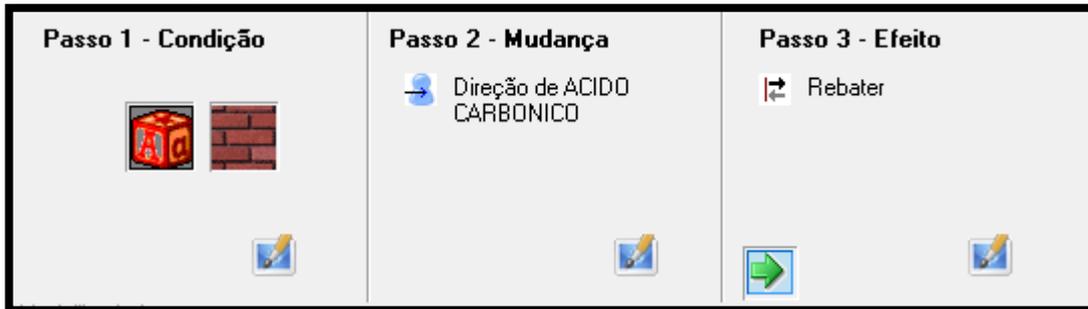


Regra 8: Movimentação do *ácido carbônico* em linha reta.

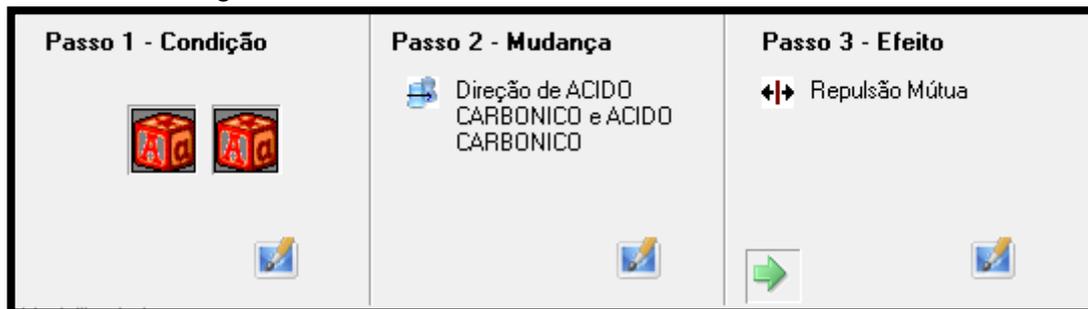


Quadro 4: Resumo das regras 5 a 8, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

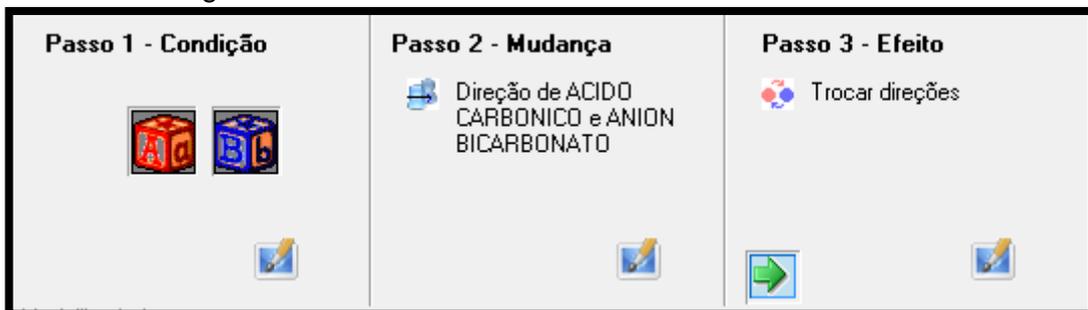
Regra 9: Colisão entre *ácido carbônico* e a *parede do sistema*.



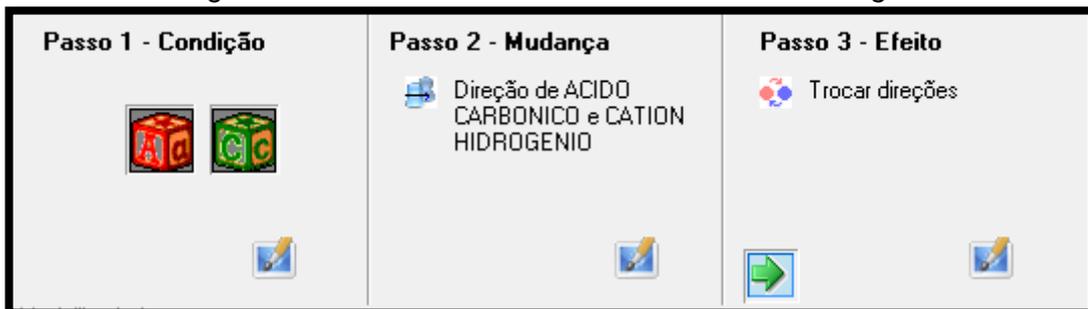
Regra 10: Colisão ente *ácido carbônico* e *ácido carbônico*.



Regra 11: Colisão ente *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato*.



Regra 12: Colisão ente *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio*.



Quadro 5: Resumo das regras 9 a 12, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

É importante ressaltar que na configuração inicial do modelo espera-se que os estudantes disponham os atores ânion bicarbonato e, posteriormente, cátion hidrogênio, sobre a grade e façam com que o ator parede do sistema contenha (circunde) àqueles atores, como por exemplo, é representado na figura 4. Não há restrições quanto à forma do recipiente ou quanto à densidade de ocupação do recipiente pelos íons e/ou moléculas.

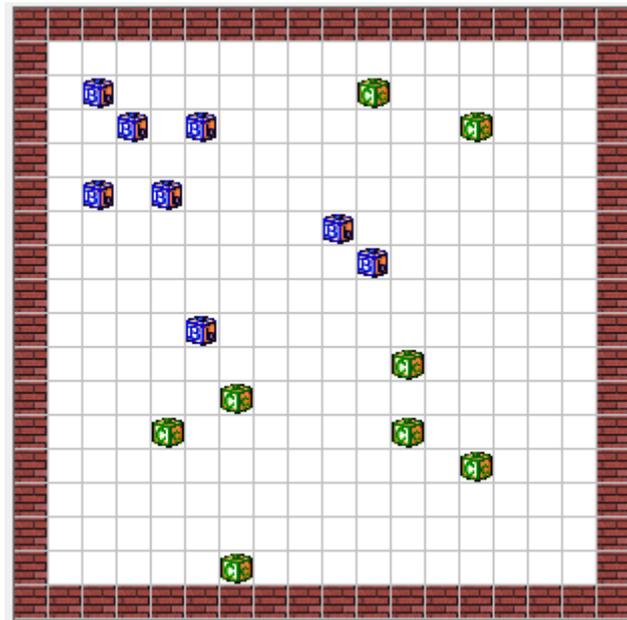


Figura 4: Exemplo de configuração inicial para o modelo aqui em estudo.

8º Passo – Simulação

Simulando o modelo no ModeLab² poderá ser observado o comportamento do mesmo.

A figura 5 mostra uma sequência da simulação do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*, em quatro passos temporais.

9º Passo – Validação do modelo

Após chegar à versão final do modelo: Ele está como você esperava?

() Sim. () Não.

Explique.

A Figura 5 mostra que a distribuição das partículas do sistema é aleatória ao longo do tempo, estando de acordo com o esperado. Observa-se na simulação do

modelo apresentado no Ambiente ModeLab² que as partículas executam movimentos em linha reta enquanto tiverem espaço para isso, colidem quando encontram a parede do sistema e ao encontrarem partículas com quem não tem afinidade química (elétrica), também há colisões que levam a formação de uma nova estrutura, o ácido carbônico. Assim, considera-se que o modelo construído é adequado.

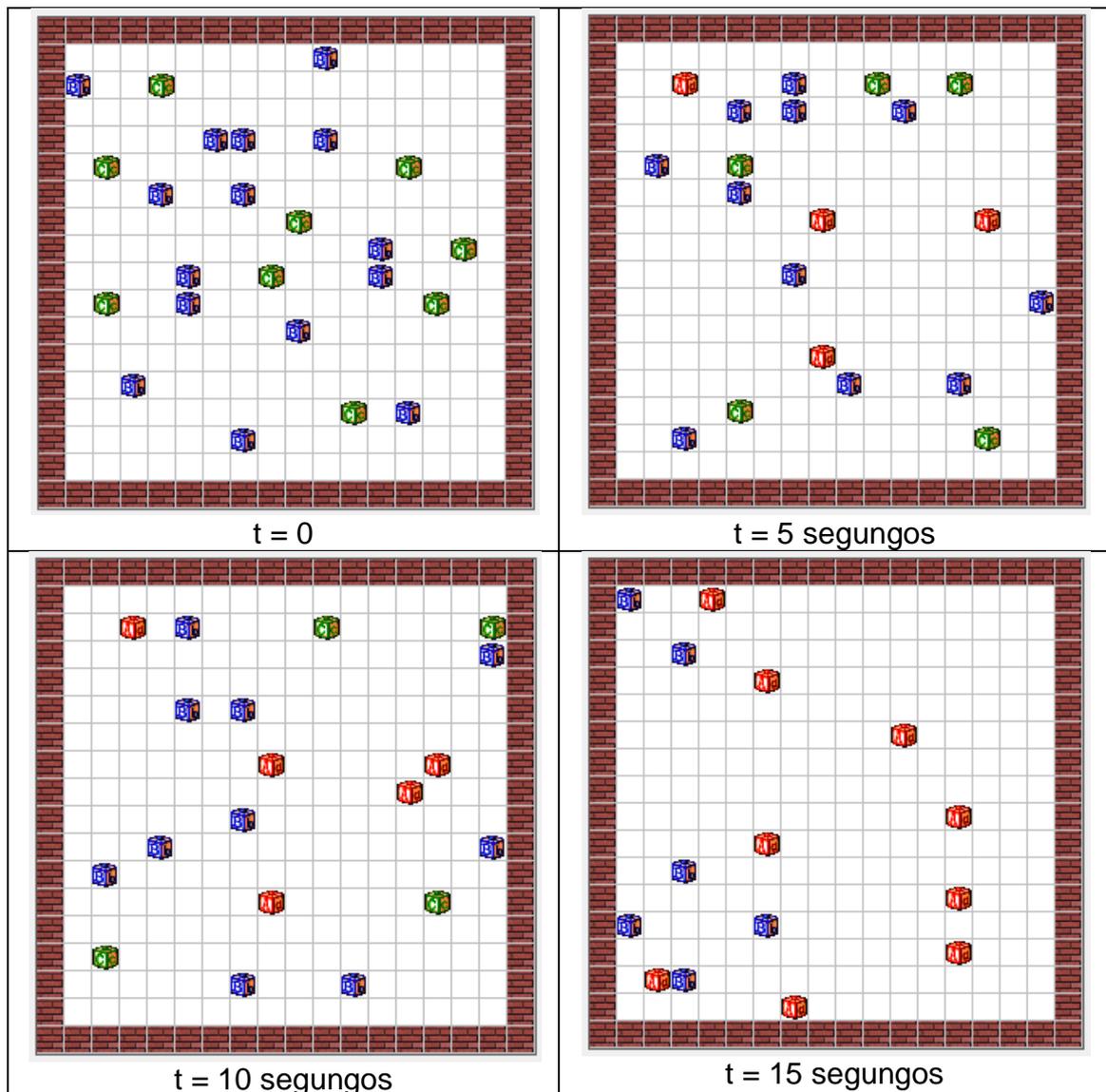


Figura 5: Comportamento esperado do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*, em quatro passos temporais.

Ao final desta atividade foi solicitado às duplas que comentassem, por escrito, sobre o que haviam aprendido com respeito ao mecanismo de tamponamento e

sobre a utilização de processos de modelagem para o entendimento de fenômenos submicroscópicos.

Considera-se importante destacar que, além da participação efetiva dos estudantes, o papel mediador docente, como esperado, foi fundamental para o bom desenvolvimento deste trabalho.

CAPÍTULO 4

4. AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

4.1 A coleta dos dados

Seguindo padrões observados durante a revisão de literatura (FERREIRA, 2006; OLIVEIRA, 2006; GOMES, 2008; MENDONÇA, 2008; MAIA, 2009; FEHSENFELD, 2010; VIANA, 2010) para a avaliação, a coleta de dados se deu por meio de quatro instrumentos, a saber:

- Atividades escritas produzidas pelos estudantes, com enfoque no Processo de Modelagem Computacional Qualitativa. Sendo algumas destas atividades intercaladas com tarefas de preenchimento que levavam o estudante a refletir sobre objetos, eventos e regras de interação.
- Arquivos log do ModeLab², que permitiram visualizar todos os procedimentos realizados pelos estudantes durante a construção de seus modelos no ambiente de modelagem computacional. Esse arquivo gera muitas informações, pois, ele registra cada *click* que o usuário dá na plataforma.
- Observações impressas registradas pelo professor-pesquisador.
- Análise do modelo final desenvolvido pelos estudantes, o que permitiu a validação dos dados, por meio de um contínuo processo de associação e confrontação entre os mesmos.

Pelo fato de os dados coletados serem de natureza inerentemente qualitativa, para a análise da atividade de modelagem computacional, foi utilizada uma técnica semelhante a da Rede Sistêmica, que vem se mostrando um excelente instrumento na análise deste tipo de dado (GOMES, 2008; GOMES, FERRACIOLI, 2005; GOMES, FERRACIOLI, 2006; FEHSENFELD, 2010; OLIVEIRA 2006).

O problema central em analisar e descrever informações qualitativas é obter um conjunto de categorias descritas para cada aspecto dos dados. Esse conjunto de categorias deve possuir as seguintes características:

- Serem fidedignos e consistentes para que possam ser utilizados por qualquer pesquisador.
- Refletir adequadamente importantes características esperadas e não esperadas dos dados brutos.
- Respeitar a complexidade dos dados após a definição.
- Serem relevantes para as questões básicas de pesquisa.

Baseado nesse conjunto de características e na natureza dos dados do arquivo Log gerado pelas ações dos alunos durante a manipulação no ambiente de modelagem computacional ModeLab² foram organizadas estruturas de categorias interdependentes.

O conjunto dessas categorias descreve o Processo de Modelagem Computacional (PMC), baseados nos Passos de Construção de Modelos (PCM). As categorias geradas neste estudo representam o comportamento dos alunos ao longo de todo o processo de construção de modelos no ambiente ModeLab².

Sendo assim, procurou-se, a partir do processo investigativo, possibilitar acesso ao processo de construção do conhecimento científico – proposição e teste de hipóteses, discussões da abrangência e limitações dos modelos propostos.

Assim, os dados analisados emergiram da combinação dos diferentes instrumentos de coleta – transcrição das atividades escritas, do arquivo Log gerado pelo ModeLab², do modelo computacional final desenvolvido pelos estudantes e das observações registradas pelo professor investigador – e permitiram elucidar as questões da pesquisa apresentadas na introdução dessa dissertação.

4.2. A análise dos dados

Durante o período em que foram aplicadas as atividades da sequência, observaram-se as relações entre os estudantes, com o professor, com o material impresso recebido e com os objetos do conhecimento. Procurou-se evidenciar os aspectos qualitativos do mecanismo de tamponamento, evitando atividades que favorecessem a formação de concepções alternativas sobre os conceitos relativos ao tema.

Considerou-se importante ilustrar o processo vivenciado e para tanto, foram transcritos alguns dos principais trechos das proposições apresentadas pelos alunos acompanhados das intervenções proferidas, no intuito de demonstrar o quão importante é, para os processos de ensino e aprendizagem, a valorização das concepções dos estudantes.

A partir da organização dos dados coletados, suas associações e contraposições, percebeu-se que a questão de maior importância para esta pesquisa está relacionada a capacidade dos alunos em relacionar conceitos e conectá-los, criando modelos explicativos sobre a realidade física, sendo este um caráter emancipatório da estratégia deste trabalho.

4.3 Descrição e Análise do Vivenciado

Para melhor entendimento das discussões e da evolução conceitual apresentada pelos alunos, será apresentada uma descrição de cada atividade/aula. Aqui serão discutidas as explicações por escrito relatadas por algumas duplas para os sistemas submicroscópicos apresentados. Além disso, serão transcritas as explicações propostas pelas duplas para os referidos fenômenos. Tais fatos serão expostos em sequência cronológica, dispensando assim numerações.

1ª. aula: “Conhecendo o que vocês sabem...”

Esse primeiro encontro teve duração de 1 hora, onde foi feita uma breve explanação sobre a elaboração e o uso de modelos, discutindo sua importância para a construção do conhecimento científico bem como o cuidado com as generalizações. Então foi pedido aos estudantes que, em duplas, explicassem quimicamente o sistema em equilíbrio: $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$

(Atividade 1, Apêndice A). As explicações poderiam ser feitas por meio de desenhos ou proposições escritas. Os estudantes tiveram aproximadamente 20 minutos, para discutir as ideias e elaborar seus modelos explicativos.

No decorrer da aula, o professor-pesquisador e as duplas de estudantes discutiam cada proposta explicativa apresentada. O interesse aqui era que os alunos propusessem um modelo explicativo para os íons acetato e hidrônio em solução aquosa.

As duplas optaram por representar o sistema através de desenhos. Verificaram-se nestes modelos pictóricos elaborados por eles, dificuldades de representação das entidades submicroscópicas, destacando a influência das ideias de natureza macroscópica sensorial em sua percepção, o que reforça a tese de MACHADO e ARAGÃO (1996) e SOUZA e CARDOSO (2008), que também descreveram tais dificuldades.

Ainda concordando com MACHADO e ARAGÃO (1996), percebeu-se que os estudantes, ao representarem o estado de equilíbrio químico do sistema proposto, por meio de desenhos, utilizaram formas análogas às das equações químicas (Figura 6). A representação dos alunos para este estado, ainda contém a ideia de que as espécies químicas participantes se encontrariam em recipientes separados ou estariam separados dentro do mesmo recipiente, concebendo assim reagentes e produtos compartimentalizados (Figuras 7 e 8).

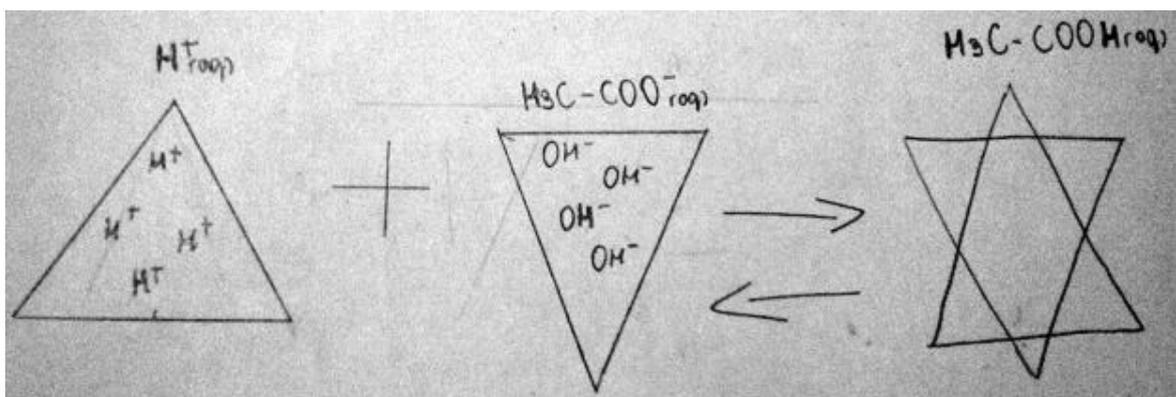


Figura 6: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico em forma análoga à de uma equação química do sistema: $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$.

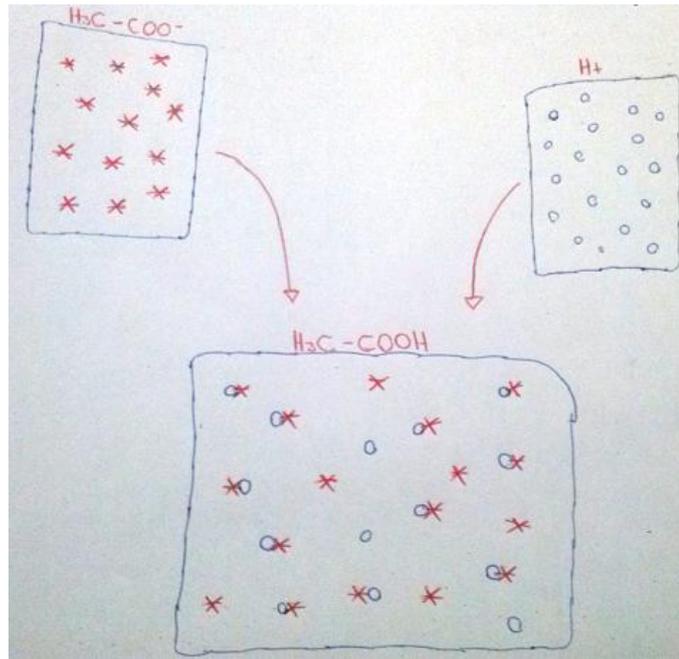


Figura 7: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico do sistema $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$, evidenciando a concepção de reagentes e produtos em recipientes separados.

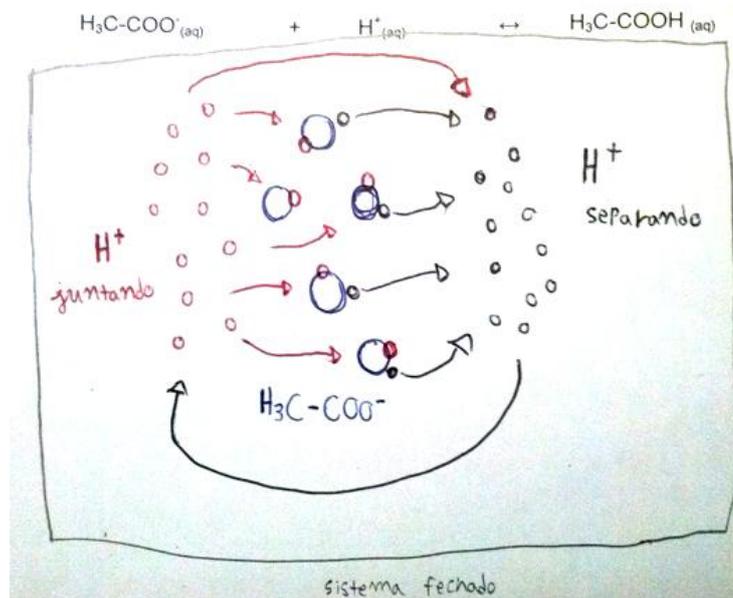


Figura 8: Exemplo de representação dos alunos para o estado de equilíbrio químico do sistema $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$, evidenciando a concepção de reagentes e produtos separados em um mesmo recipiente.

Com relação à explicação escrita do fenômeno, somente uma dupla propôs uma descrição complementar ao desenho:

O $H_3C-COO^-_{(aq)}$ se choca com o $H^+_{(aq)}$, fazendo o processo direto e inverso que resulta em $H_3C-COO^-_{(aq)}$ que também pode ser separado e voltar ao estado inicial num movimento de ida e volta repetido continuamente.

A leitura do trecho transcrito acima chama a atenção à tentativa que a dupla demonstra de justificar seu desenho com base na teoria de colisões, ou seja, com base em uma explicação microscópica com maior riqueza conceitual e argumentativa.

Como o intuito nesse encontro era levantar as concepções iniciais dos alunos, as diferentes ideias foram socializadas com a turma e percebeu-se que muitos estudantes indagaram se suas hipóteses estavam corretas. Não foi aprofundado nenhum conceito ao grupo, pois este primeiro encontro propunha-se a analisar as ideias iniciais dos alunos. E assim todas as hipóteses levantadas para a explicação do sistema proposto foram organizadas para serem discutidas no encontro seguinte.

As principais hipóteses propostas pelos alunos foram:

- os íons H^+ encontram os íons acetatos formando ácido acético;
- os íons H^+ estão em movimento;
- os íons acetato estão em movimento;
- o ácido acético está em movimento.

Apesar do assertivo conceito de movimento dos íons e moléculas, os estudantes ainda necessitavam construir mentalmente modelos mais completos, para internalizarem a noção de colisões eficazes e não eficazes, por exemplo (Teoria Cinética das Colisões).

E apesar de tentarem representar a reversibilidade do processo reativo proposto por meio de desenhos, ficou claro, durante as discussões, que este conceito ainda não estava “sedimentado”.

2.^a aula: “Visão de um sistema através de objetos e eventos”

Após analisar os desenhos e as explicações escritas das duplas na tentativa de elaborar um modelo explicativo para o sistema apresentado, notou-se que era importante retomar o processo de elaboração de modelos, destacando os processos de levantamento e teste de hipóteses, bem como a discussão de sua abrangência e suas limitações.

Assim, iniciou-se esse segundo encontro retomando as principais ideias apresentadas pelos alunos na 1.^a aula. Posteriormente, foi apresentada aos estudantes uma visão geral relativa à representação do mundo físico através de objetos e eventos. Nesta ocasião o material instrucional utilizado (Atividade 2, Apêndice B) visou levar os estudantes a refletirem sobre objetos, eventos e regras de interação.

O material instrucional deste encontro era constituído de pequenos textos sobre o conteúdo abordado, intercalados com tarefas de preenchimento que levavam o estudante a refletir sobre objetos, eventos e regras de interação, conforme sugestões do manual do usuário do ModeLab² (FARRACIOLI, GOMES, SILVA, 2007).

Nas atividades 1 e 2, do material instrucional distribuído nessa aula, os estudantes internalizaram os conceitos de objetos, cenários e eventos. Com respeito aos eventos, os estudantes fizeram detalhamentos que ultrapassaram as expectativas do professor-pesquisador, pois alguns dos alunos eram atletas da escola, conhecendo muito bem objetos e eventos possíveis durante uma partida de futebol, como proposto nas atividades 1 e 2 do material.

No que diz respeito às regras de interação, a atividade 3 solicitou às seis duplas de alunos que representassem o sistema tampão $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ do sangue de mamíferos, em nível submicroscópico. O objetivo dessa atividade foi retomar as ideias mais relevantes apresentadas no encontro inicial, repensar o fenômeno em termos de objetos e eventos, e investigar como os estudantes percebiam e tentavam explicar o sistema químico em questão dentro da perspectiva do que eles não conseguiam ver, só imaginar.

Durante esta última atividade, as duplas de alunos 1, 3, 5 e 6, listaram corretamente os objetos relevantes para o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$, que seriam: o ânion bicarbonato (HCO_3^-), o cátion hidrogênio (H^+) e o ácido carbônico (H_2CO_3). A dupla 2 listou, como relevantes para este sistema, os elementos oxigênio (O),

carbono (C) e hidrogênio (H), enquanto a dupla 4 listou o ânion bicarbonato (HCO_3^-) e o ácido carbônico (H_2CO_3). É fundamental ressaltar que nenhuma das duplas listou um elemento importante deste sistema, as paredes do recipiente. Mesmo não listando esse elemento, as duplas 1, 3 e 5 o citaram na descrição de seus eventos como visto a seguir.

Em discussões individualizadas com as duplas, percebeu-se que os estudantes já conseguiam conectar suas ideias ao mundo submicroscópico, associando o fenômeno proposto na atividade 3 a uma reação química em que haveria movimento e interações entre as entidades participantes. Referente a estas ideias, foram feitas, a seguir, as transcrições, na íntegra, desta atividade 3 de cada dupla de alunos.

Dupla 1:

Reação de H^+ com HCO_3^- formando H_2CO_3 , reação de H_2CO_3 formando H^+ e HCO_3^- , colisão entre moléculas de HCO_3^- e H_2CO_3 , colisão de moléculas ou átomos com as paredes do sistema, colisão de HCO_3^- com outro HCO_3^- , colisão de H_2CO_3 com outra H_2CO_3 e deslocamento livre.

Considerou-se importante fazer um pequeno acerto conceitual junto a esta dupla, com respeito a ideia de colisão elástica e colisão eficaz (Teoria das Colisões em Química). Também foram discutidos aqui o comportamento do íon hidrônio ao colidir com outro íon hidrônio, bem como o que levaria o ácido carbônico a sofrer ionização, regenerando os íons hidrônio e bicarbonato.

Dupla 2:

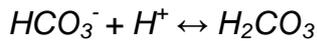
- O H no sistema fechado deslocando-se de superfície em superfície até se chocar com a molécula de CO_3 , os átomos reagem e formam HCO_3^- .
- Dois átomos de H entram em contato com CO_3 formando H_2CO_3 .
- Após o bicarbonato ser formado ele se choca com o H e reage formando H_2CO_3 e vice versa.
- HCO_3^- colide com HCO_3^-
- HCO_3^- colide com H_2CO_3
- HCO_3^- colide com H_2CO_3

Verificou-se nesta dupla algumas lacunas conceituais referentes a estruturas moleculares. Esta dupla não conseguiu representar o cátion hidrogênio corretamente, bem como o gás carbônico (CO_2), como pode ser verificado nas respostas acima (que estão na íntegra). Segundo estes estudantes, o cátion hidrogênio seria representado por H, e o ânion bicarbonato inicial seria representado por CO_3 . Tais lacunas foram posteriormente discutidas com estes estudantes, a fim de lhes dar um maior suporte teórico para a elucidação de seu modelo explicativo.

Dupla 3:

- *Bicarbonato (HCO_3^-)*
 - *pode colidir com outro HCO_3^-*
 - *pode bater na parede do recipiente*
 - *pode colidir com H^+*
 - *pode colidir com H_2CO_3*
 - *pode reagir com H^+*
- *Hidrônio (H^+)*
 - *colidir na parede do recipiente*
 - *colidir com outro H^+*
 - *colidir com HCO_3^-*
 - *colidir com H_2CO_3*
- *Ác. carbônico*
 - *colidir com HCO_3^-*
 - *colidir com H_2CO_3*
 - *colidir com H^+*
 - *colidir na parede do recipiente*

A dupla 3 foi questionada com respeito às colisões e seus efeitos. Aos alunos estava claro que havia movimento aleatório entre as espécies reagentes, mas não estava claro quando uma colisão era puramente elástica e quando era eficaz, no sentido de se promover a formação de uma estrutura química nova.

Dupla 4:

Para virar ácido carbônico o bicarbonato precisa ganhar 1 H⁺.

O H⁺ precisa estar livre para reagir com o HCO₃⁻.

A partir do momento que o HCO₃⁻ encontra um H⁺ livre se choca com e forma H₂CO₃.

Com a dupla 4 o professor retomou os principais conceitos relativos à Teoria das Colisões, estudados no trimestre anterior em Cinética Química. Apesar dessa lacuna conceitual, verificou-se que os estudantes já tinham a ideia de que as estruturas que formavam o sistema HCO₃⁻/H₂CO₃ estão em constante movimento aleatório.

Dupla 5:

- *O bicarbonato pode se chocar com a parede, com outras moléculas, pode se chocar com o H⁺ e formar ác. carbônico.*
- *O ácido carbônico também pode se chocar com a parede, com outras moléculas, pode perder H⁺ e forma bicarbonato.*
- *O H⁺ pode se chocar com a parede, com outras moléculas de HCO₃⁻ e formar H₂CO₃ ou se desprender da mesma e forma HCO₃⁻.*

Com essa dupla procurou-se discutir com maior detalhe os eventos possíveis do sistema proposto, visto que sua descrição se parecia muito resumida e fragmentada.

Dupla 6:

- *H⁺ pode reagir com HCO₃⁻ e formar H₂CO₃*
- *HCO₃⁻ pode colidir e gerar outra reação com o H₂CO₃*
- *H⁺ pode reagir com o H₂CO₃ e formar outra mistura*

Estes estudantes também representaram o sistema por meio de um desenho (Figura 9), onde haviam os elementos constituintes do mesmo.

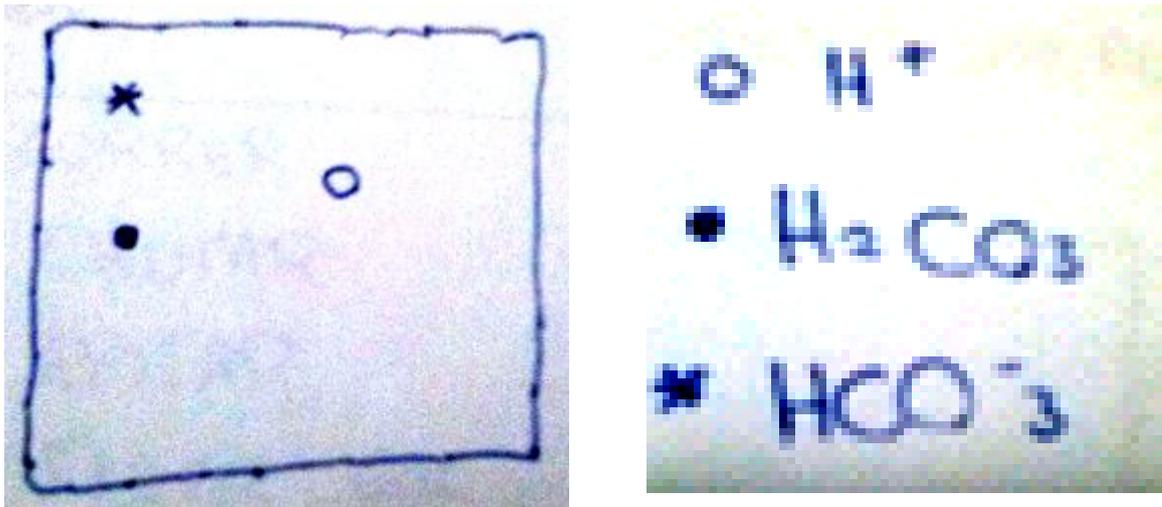


Figura 9: Desenho esquemático elaborada pela dupla 6, representando o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$.

Nessa dupla, assim como na dupla 5, verificou-se uma descrição fragmentada dos possíveis eventos no sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$. Também com esta dupla foi discutida rapidamente a Teoria das Colisões, bem como suas aplicações no presente estudo.

Percebeu-se em todas as duplas, certa dificuldade em expor suas ideias por escrito. Mesmo assim a participação e o envolvimento dos alunos nessa atividade foram bastante significativos. Percebeu-se que eles faziam associações com construtos químicos já compreendidos sobre movimento molecular, e na exposição de suas ideias encontravam-se mais seguros.

Nessa aula, constatou-se que, pela mediação, contemplando e valorizando as ideias apresentadas pelos estudantes, conseguiu-se um avanço considerável em suas explicações orais. Isso os aproximava, cada vez mais, de um modelo quimicamente aceito e de uma visão mais ampla de como se constrói o conhecimento científico.

O empenho dos estudantes foi notório, com participação ativa dos integrantes de todas as duplas. Observou-se que os alunos se tornavam observadores críticos, questionadores, capazes de comparar, valorizar, intervir, escolher e até mesmo romper com concepções prévias.

3.^a aula: “Conhecendo o mecanismo de tamponamento”

Este terceiro encontro teve como objetivo fornecer base teórica aos estudantes sobre o mecanismo de tamponamento. Para isto, discutiram-se as definições sobre ácidos e bases que eles tinham em mente e, logo em seguida, foi apresentada a definição de ácidos e bases segundo G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted, de 1923 (CHAGAS, 2000). Também foram retomadas as ideias mais relevantes na explicação do sistema tratado durante a última aula.

Após discussões sobre os modelos propostos por cada dupla, fez-se uma análise qualitativa do sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ de forma geral (Atividade 3, Apêndice C), apontando suas principais características e suas relações com os modelos propostos por outras duplas, a fim de relacionar e contrapor as ideias apresentadas, bem como explorar as limitações e aplicabilidade delas.

Observou-se que as discussões relativas à dinamicidade do sistema proposto ampliou a visão dos estudantes sobre os sistemas submicroscópicos.

Os dados relatados a partir de agora se referem às ideias e modelos apresentados por todas as duplas, que propuseram modelos explicativos para cada situação descrita na atividade entregue a eles. Aqui, os estudantes foram orientados a pensarem no mecanismo de tamponamento na perspectiva de *objetos* e *eventos*.

No primeiro item da atividade 3 foi pedido aos estudantes que representassem o íon bicarbonato “livre” em um sistema fechado. As duplas 1, 2, 3, 4 e 5, usaram modelos de bolas para representar o que havia sido solicitado (Figura 10). Apenas a dupla 6 optou por usar asteriscos para representar o íon bicarbonato. Ainda esta última dupla propôs que o íon bicarbonato estivesse em movimento, “porém sem colisão” (Figura 11). Após a proposição deste modelo, dialogou-se com esta dupla sobre o movimento aleatório dos elementos do sistema fluído proposto e a possibilidade de colisões entre tais elementos, de acordo com leis básicas do mundo físico.

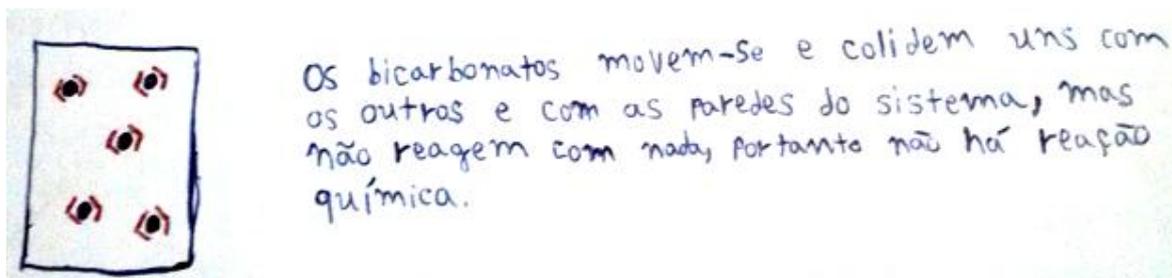


Figura 10: Exemplo de um modelo explicativo utilizando modelo de bolas representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.

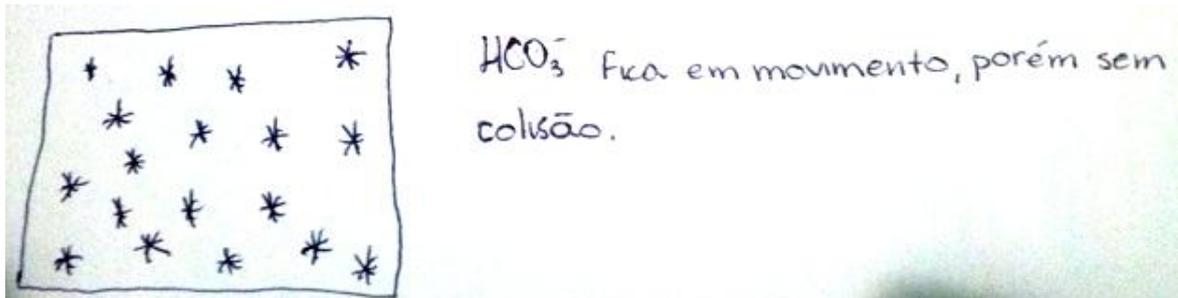


Figura 11: Exemplo de modelo explicativo utilizando asteriscos para representar o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.

Os estudantes da dupla 4 manifestaram que seu desenho e explicações não estavam completos. Buscou-se, então, resgatar a explicação oral apresentada pela dupla e comparar com o desenho, para que percebessem o que poderia ser reformulado no desenho e nas explicações. Mesmo com tal atitude, percebe-se ainda dificuldade em expor as ideias na forma escrita (Figura 12). Percebeu-se também lacunas conceituais relacionadas a conceitos alternativos sobre átomos, moléculas e íons nessa dupla.

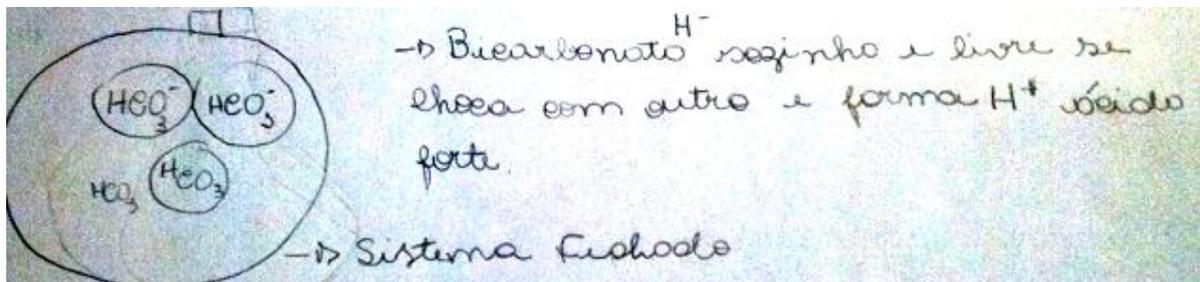


Figura 12: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) “livre” em um sistema fechado.

Durante essa primeira parte da atividade, todas as duplas quando questionadas sobre o movimento das partículas do sistema fechado, apresentaram uma visão mais próxima de um modelo quimicamente aceito para o movimento do íon em questão, no quesito aleatoriedade.

No segundo momento desta atividade, foi pedido às duplas que refletissem sobre o que ocorreria com os objetos do sistema idealizado no item anterior, se a ele fosse adicionado uma pequena porção de íons H^+ . Após uma rápida discussão relativa aos fatores que “causariam instabilidade” ao sistema proposto, todas as

duplas adequaram tal sistema para explicar o comportamento dos íons agora existentes nele.

Observou-se nas respostas das duplas 1, 2 e 3 (Figura 13, 14 e 15) a ideia de dinamicidade do processo no sistema em questão; da coexistência de reagentes e produtos em um mesmo local, distribuídos de forma aleatória e homogênea – contrariando a visão compartimentalizada das reações; e uma tentativa, da dupla 1, de aplicar ao sistema proposto a ideia de simultaneidade das reações – reação direta e inversa, contrariando a visão da unilateralidade do processo (Figura 13). Durante esta parte da atividade, esta dupla, assim como outras, afirmou ser “complicado imaginar os elementos destes sistemas realizando movimentos, colidindo”, etc.

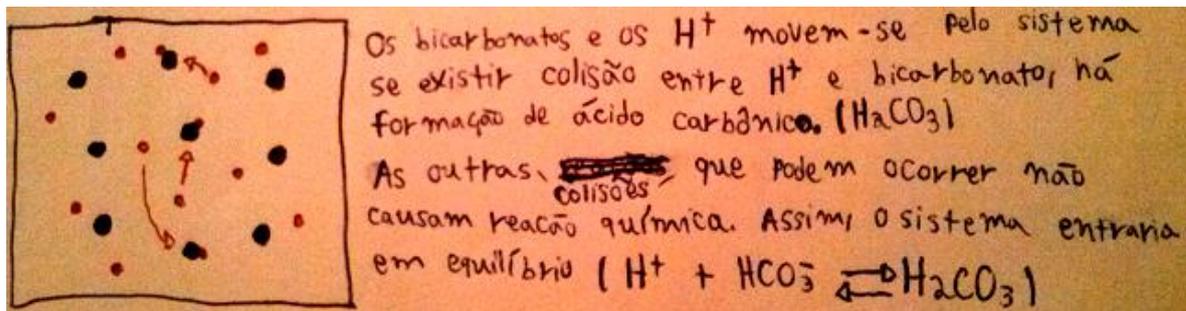


Figura 13: Modelo explicativo proposto pela dupla 1, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.

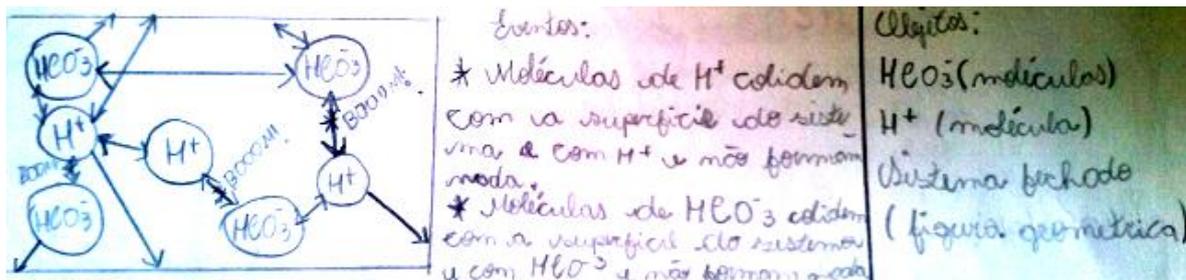


Figura 14: Modelo explicativo proposto pela dupla 2, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.

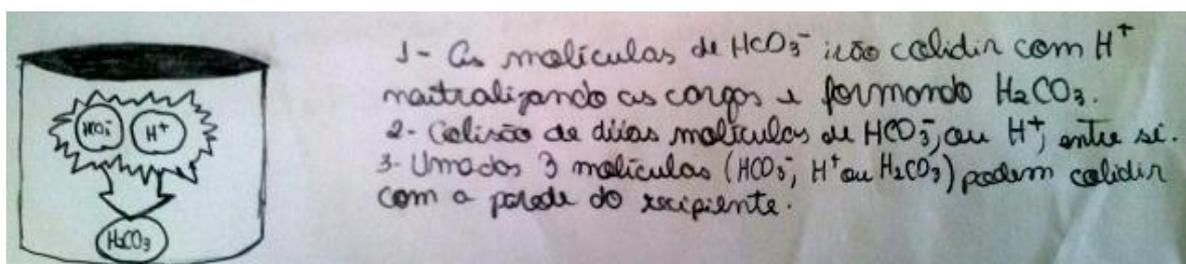


Figura 15: Modelo explicativo proposto pela dupla 3, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.

O modelo explicativo proposto pela dupla 4 (Figura 16) ainda indicava uma forte influência de uma visão compartimentalizada do processo em questão.

As duplas 5 e 6 resumiram o comportamento do sistema em questão à formação de ácido carbônico pela atração/colisão dos íons opostos (Figura 17). Segundo a dupla 6: “Como os opostos se atraem, o bicarbonato reage com H^+ e forma ácido carbônico (H_2CO_3).”

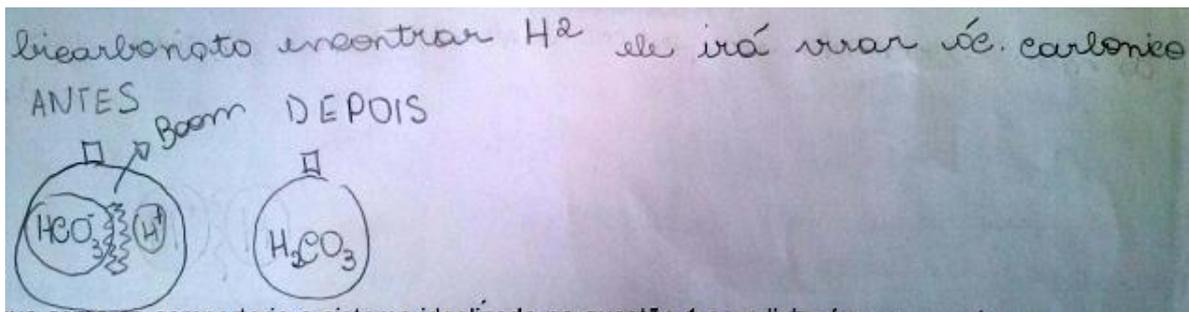


Figura 16: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.

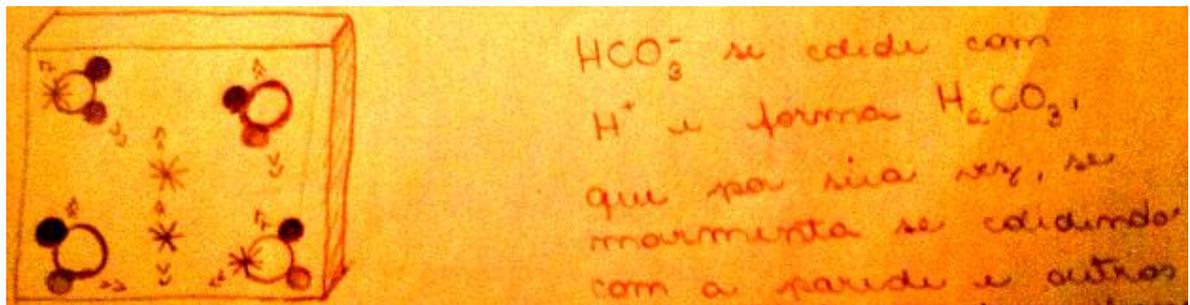


Figura 17: Modelo explicativo proposto pela dupla 5, representando o íon bicarbonato (HCO_3^-) e o íon hidrônio, juntos, em um sistema fechado.

Quando questionados sobre o que ocorreria ao sistema se fosse adicionada a ele uma base forte, como o NaOH, as duplas de estudantes apresentaram ideias ainda incompletas sobre o comportamento dos elementos que compunham este sistema. As duplas 1 e 6 não idealizaram todos os elementos existentes no sistema, como os íons Na^+ , e propuseram reação apenas entre os íons hidroxila (OH^-) e os íons hidrônio (H^+), ignorando a possibilidade de formação de água quando hidroxilas reagissem com moléculas de ácido carbônico (Figuras 18 e 19). Observou-se também que a dupla 1 não considerou a possibilidade de colisão ineficaz (ou simplesmente elástica) entre os íons hidroxila e bicarbonato, e as duplas não

levaram em conta a aleatoriedade de movimentos possíveis para os elementos do sistema.

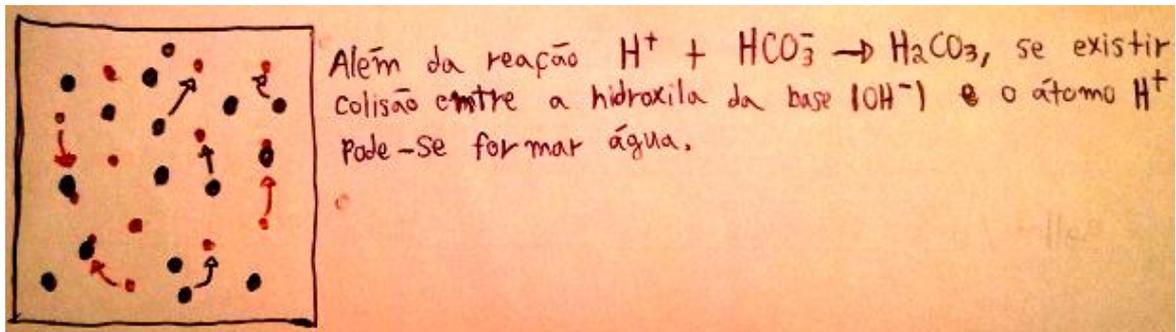


Figura 18: Modelo explicativo proposto pela dupla 1, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

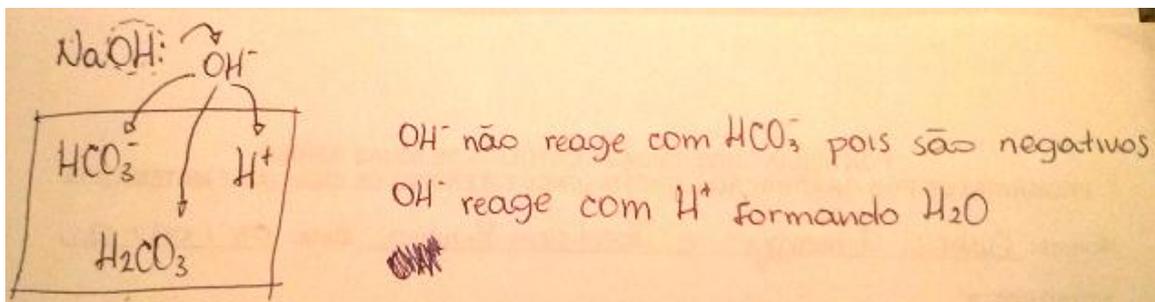


Figura 19: Modelo explicativo proposto pela dupla 6, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

As ideias das duplas 4 e 5 assemelharam-se às duplas 1 e 6, com a implementação da possibilidade de reação entre os íons hidrônio e os íons hidroxila (OH^-), levando a formação de água (Figuras 20 e 21). Observou-se ainda, na dupla 4, dificuldade na exposição de ideias, na forma escrita, demonstrando a existência de algumas lacunas conceituais no que diz respeito aos conceitos sobre moléculas e íons.

As duplas 2 e 3 propuseram modelos explicativos mais próximos de um modelo quimicamente aceito e uma visão mais ampla do referido sistema (Figuras 22 e 23). Verificou-se que apenas a dupla 2 considerou a existência do sódio no sistema, mas não na forma iônica. As duas duplas levaram em conta possíveis movimentos dos elementos constituintes do sistema proposto, bem como suas respectivas reações, quando possível. A dupla 2 ainda questionou: " H^+ reage com H^+ ? H_2CO_3 reage com H^+ ?", o que é de grande importância, pois as perguntas levaram ao levantamento de hipóteses e à busca por respostas lógicas, caracterizando, em parte, uma atitude científica frente ao desconhecido.

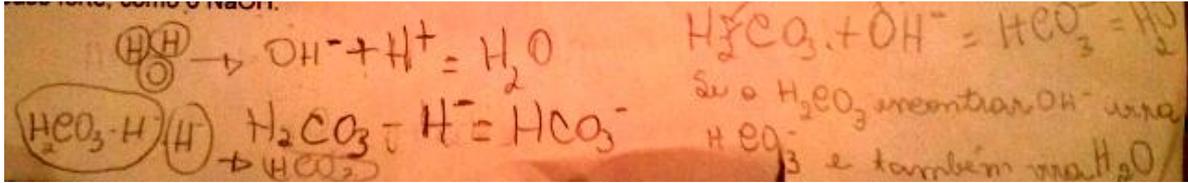


Figura 20: Modelo explicativo proposto pela dupla 4, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

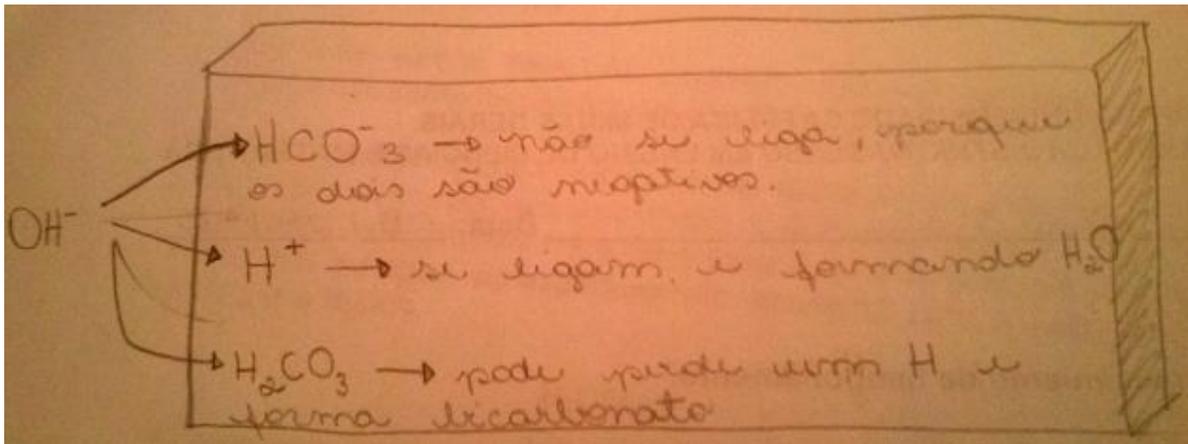


Figura 21: Modelo explicativo proposto pela dupla 5, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

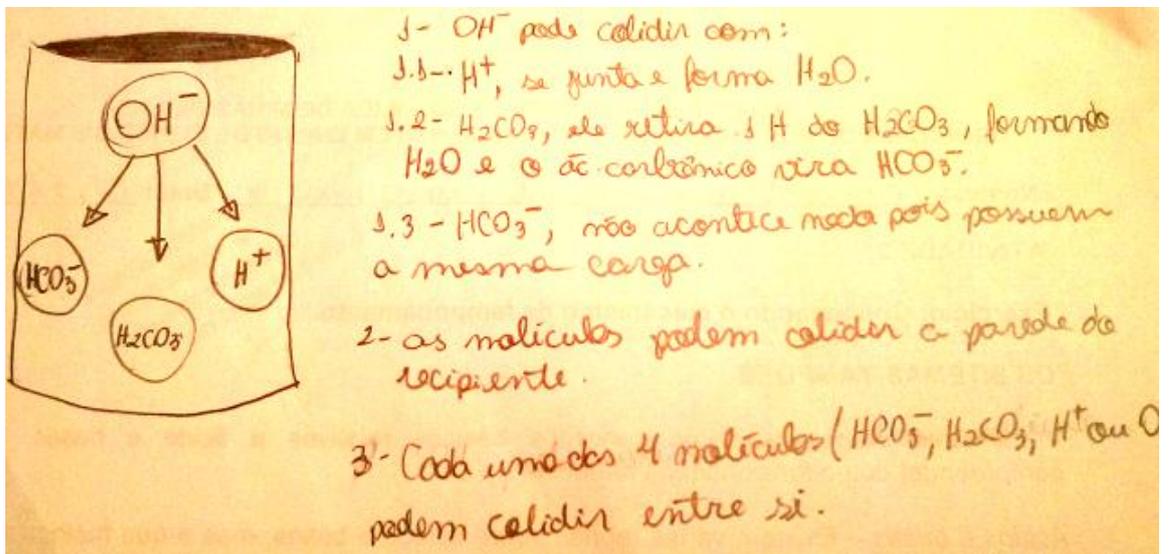


Figura 22: Modelo explicativo proposto pela dupla 3, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

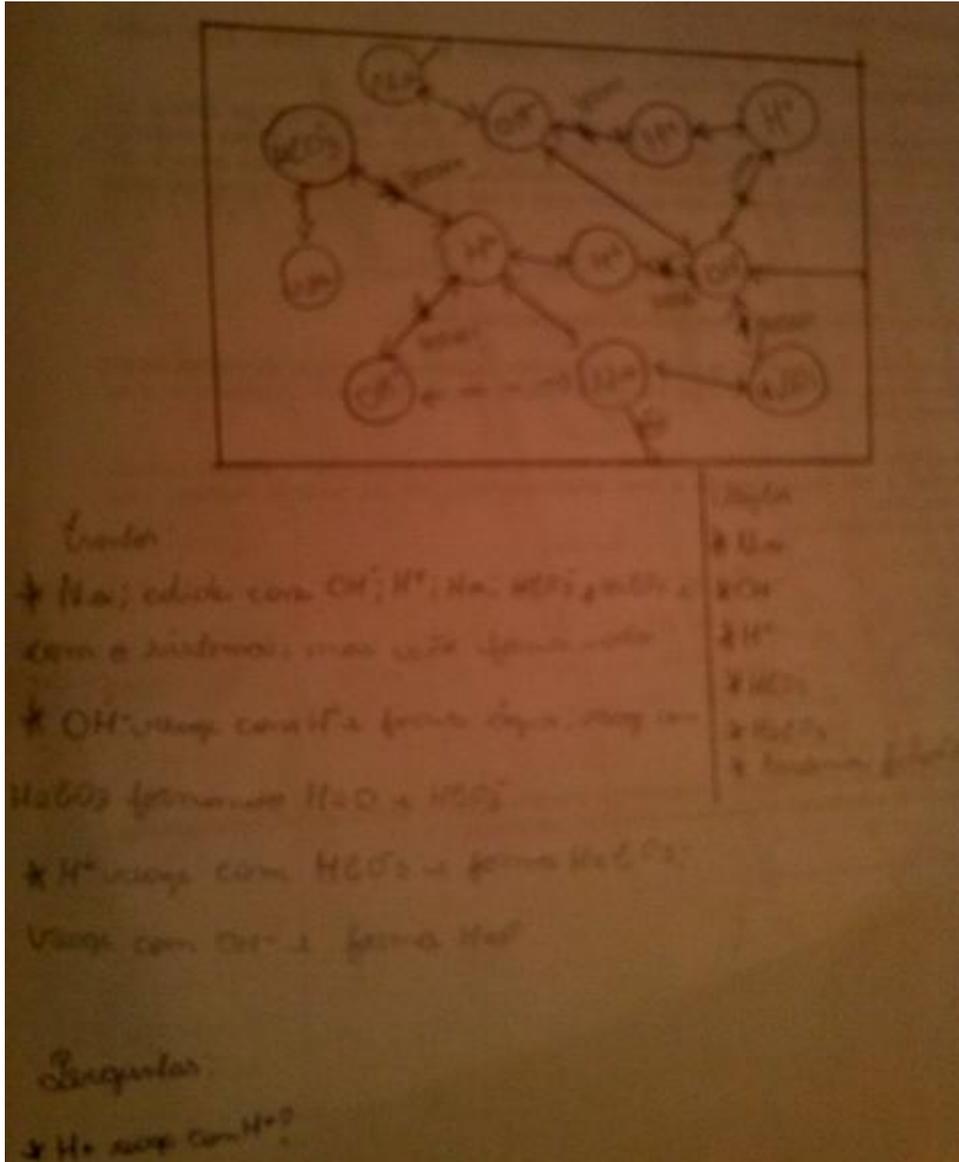


Figura 23: Modelo explicativo proposto pela dupla 2, para o sistema em estudo, após a adição de NaOH.

Nessa aula, constatou-se que, pela mediação, contemplando e valorizando as ideias apresentadas pelos estudantes, conseguiu-se um avanço considerável nas explicações orais e nos desenhos apresentados. Entretanto, a dificuldade dos estudantes em expor suas ideias na forma escrita ainda persistiu. Ficou claro o entendimento dos estudantes de que ocorre a formação de substâncias novas após determinadas colisões (ou contatos) entre alguns elementos do sistema considerado.

4.^a aula: “Representação de Objetos e Eventos no Computador”

O início deste encontro teve por objetivo aprofundar, as habilidades cognitivas necessárias para a compreensão das relações de causa e efeito encontradas na natureza, a fim de introduzir o raciocínio necessário para a manipulação do ambiente de modelagem ModeLab².

O material impresso desta aula (Atividade 4, Apêndice D) possuía uma breve descrição do ambiente ModeLab² e uma atividade de modelagem inicial, cuja proposta era levar os estudantes a utilizarem o Editor de Objetos, o Editor de Regras e a Janela de Simulação e Visualização desse software.

Nesta atividade de modelagem expressiva foi solicitado aos estudantes que construíssem um modelo do fenômeno de expansão de um gás, em um sistema fechado, seguindo os Passos de Construção de Modelos – PCM (GOMES, 2003). Para isso, o material instrucional apresentava, inicialmente, um texto-base e um roteiro com informações sobre o sistema abordado, para que os estudantes pudessem construir seus modelos no ambiente ModeLab², e assim conhecer o software.

Relembrando os Passos de Construção de modelos (PCM):

1º Passo: Definição do sistema a ser estudado - **PCM1**.

2º Passo: Escolha do fenômeno de interesse - **PCM2**.

3º Passo: Listagem dos objetos relevantes - **PCM3**.

4º Passo: Classificação dos elementos listados em Atores e Cenários - **PCM4**.

5º Passo: Construção das regras através das interações entre os objetos - **PCM5**.

6º Passo: Construção de cada regra descrita no 5º passo através de detalhamento de acordo com o ambiente de modelagem descrito na apostila - **PCM6**.

7º Passo: Representação das interações no ambiente ModeLab² - **PCM7**.

Observou-se que os estudantes não tiveram grandes dificuldades em usar o ambiente ModeLab² nesta atividade, sendo que a única dúvida comum à todas as duplas foi a diferenciação entre *Atores* e *Cenários*, e seus respectivos comportamentos. Esta dúvida foi sanada com testes, feitos pelos próprios estudantes, ao idealizarem a parede onde estava contido o gás da atividade-exemplo, como *Cenário* e posteriormente como *Ator*.

Após esse primeiro contato com o ambiente ModeLab², os estudantes foram solicitados a representar o mecanismo de tamponamento via bicarbonato/ácido

carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) em um momento de acidose, no computador, utilizando esta plataforma.

Inicialmente, os estudantes, seguindo os PCM definiram o sistema a ser estudado e o fenômeno de interesse, de forma satisfatória.

Acerca dos *Elementos de Modelagem* considerados pelos estudantes no papel, verificou-se que o modelo construído por eles possuía:

- **Atores**

HCO_3^- (ânion bicarbonato), H_2CO_3 (ácido carbônico), H^+ (cátion hidrogênio), OH^- (ânion hidroxila), H_2O (água) e parede.

OBS: Apenas a dupla 5 não listou H_2O (água) como ator.

- **Cenários**

Nenhum.

- **Regras**

As duplas 3, 4 e 5 listaram, no papel, como regras de interação:

- " HCO_3^- está em movimento aleatório
- HCO_3^- rebate em outro HCO_3^- e na parede
- $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ se transforma em H_2CO_3 "

OBS: As duplas 3, 4 e 5 negligenciaram o fato de que o cátion " H^+ se movimenta aleatoriamente" no sistema em estudo.

As duplas 1 e 2 não fizeram a listagem das regras no papel.

Assim, percebeu-se que os *Atores* foram criados corretamente, mas verificou-se que os estudantes das duplas 3, 4 e 5, realizaram a listagem das regras no papel, na forma dos eventos do sistema e não na forma solicitada, *Se [condição inicial], então [resultado]*.

Ao invés de detalhar primeiramente as regras no papel (sexto passo), os estudantes preferiram fazer as regras diretamente no ambiente ModeLab².

As duplas 1, 2 e 4, iniciaram a criação do modelo adicionando o ator parede e posteriormente o ator bicarbonato. Criaram uma borda, ao redor da grade, com a

parede, e íons bicarbonatos distribuídos aleatoriamente. Assim, o estado inicial desenhado por estas duplas para simular o modelo é mostrado na Figura 24.

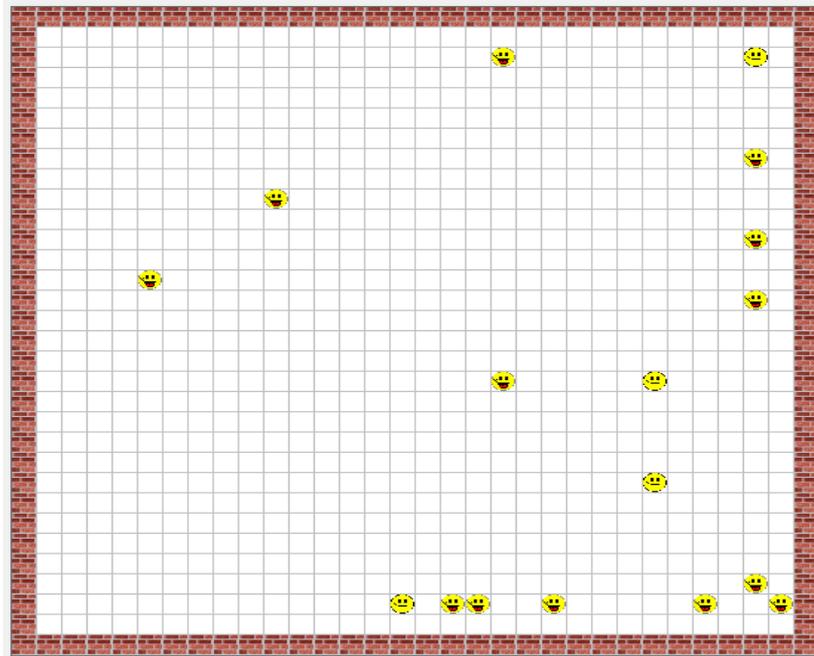


Figura 24: Distribuição inicial, na Grade de Simulação e Visualização, para o modelo do fenômeno de tamponamento durante uma acidose criado pela dupla 1, no ModeLab².

As duplas 3 e 5 iniciaram seus modelos criando as primeiras regras para o íon bicarbonato, mas logo apagaram tudo e estruturaram as paredes do sistema, de modo semelhante as duplas 1, 2 e 4.

Em relação à elaboração das regras, as duplas criaram inicialmente regras que gerassem eventos para o íon bicarbonato, possibilitando seu movimento aleatório, e seus possíveis encontros com a parede do sistema e com outro íon bicarbonato. Nas primeiras tentativas os estudantes não obtiveram o efeito esperado, e assim retomavam ao Passo 1 e repensavam a regra em questão. Ao finalizarem a regra, os estudantes simulavam o comportamento do ator, verificando se estava de acordo com o esperado. Assim, passavam para outro evento e a regra que o gerava. É interessante notar aqui que os estudantes testavam, espontaneamente, as possibilidades dos passos 2 e 3 na estrutura da regra no ambiente ModeLab², alterando assim a possível *mudança* por parte do ator, bem como o *efeito* que esta mudança levaria, com isso eles analisavam a viabilidade das diferentes opções na geração do evento desejado.

As regras construídas para o fenômeno em questão apresentam, respectivamente, a *condição inicial*, o *tipo de mudança* e o *efeito* utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente ModelLab².

Comparando as regras de interação do ânion bicarbonato no sistema proposto, as duplas apresentaram as mesmas estruturas básicas para descrever o comportamento deste “ator” (Quadro 6). Houve algumas diferenças no *tipo de mudança* e no *efeito* descrito pelas duplas para o ânion bicarbonato, mas o comportamento observado durante a simulação do modelo manteve-se, no geral, como esperado.

Ainda referente ao ânion bicarbonato, as duplas 2, 3 e 4, criaram, posteriormente, uma regra para descrever a colisão entre este íon e o cátion hidrogênio, levando-se a *mudança de atores*, o que representa a formação do ácido carbônico (Quadro 6).

As primeiras regras criadas para o cátion hidrogênio (H^+) diziam respeito a seu movimento aleatório (Quadro 7), semelhante às criadas para o ânion bicarbonato. Estes eventos foram gerados com relativa facilidade, pois os estudantes já haviam feito algo semelhante no exemplo de expansão de um gás e no comportamento do ânion bicarbonato.

Então os estudantes se depararam com a seguinte questão: “O *que aconteceria com os íons H^+ e HCO_3^- ao se encontrarem?*” Após debates internos, as duplas criaram regras para gerar o evento de “captura” do H^+ pelo HCO_3^- . As duplas 2, 3 e 4, criaram esta regra junto ao “ator” ânion bicarbonato (Quadro 6), já as duplas 1 e 5 o fizeram junto ao “ator” cátion hidrogênio (Quadro 7). As regras eram criadas e o modelo simulado. Como o comportamento não era o esperado logo de início, as duplas realizaram modificações que levaram o modelo a se comportar como o esperado, indicando que houve uma evolução positiva no processo de construção do modelo. Durante as simulações os alunos perceberam satisfatoriamente que, se os cátions H^+ estavam “presos” aos ânions HCO_3^- , na forma de H_2CO_3 , o pH do sistema não sofria alterações. Isso permitiu a visualização e o entendimento dos alunos da principal função do sistema tampão que é manter o pH constante.

DUPLA 1			
Bicarbonato	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal	Rebater
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 2			
BICARBONATO	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
DUPLA 3			
Bicarbonato	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 4			
HCO ₃	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
DUPLA 5			
Bicarbonato	(Ator) - (s/Ator)	Posição do Ator	Pular Para
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal	Rebater
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Trocar direções
Adaptado de: Copyright (c) Modelab - Todos os direitos reservados.			

Quadro 6: Regras construídas para descrever o comportamento do ânion bicarbonato no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a *condição inicial*, o *tipo de mudança* e o *efeito* utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente Modelab².

DUPLA 1			
Hidrogênio	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
DUPLA 2			
HIDROGENIO	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 3			
H+	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 4			
H+	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
DUPLA 5			
H+	(Ator) - (Ator)	Ator Principal e Ator Secundário	Mudar Ator Principal e Ator Secundário
	(Ator) - (s/Ator)	Posição do Ator	Pular Para
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal	Rotação Horária de 45°
Adaptado de: Copyright (c) Modelab - Todos os direitos reservados.			

Quadro 7: Regras construídas para descrever o comportamento do cátion hidrogênio no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a *condição inicial*, o *tipo de mudança* e o *efeito* utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente Modelab².

Na etapa de descrição das interações do ácido carbônico formado pela reação entre o cátion hidrogênio e o ânion bicarbonato, era esperado que os estudantes criassem regras que levassem este “ator” a:

- movimentar-se aleatoriamente pelo sistema,
- interagir com a parede do sistema via colisão elástica,

- interagir com outra molécula do mesmo ácido, repelindo-se mutuamente ou colidindo elasticamente,
- e que, ao interagir com os íons presentes no sistema, houvesse entre este ácido e tais íons uma colisão elástica.

Comparando as regras de interação *ácido carbônico-parede*, verificou-se que apenas a dupla 5 criou a regra *rebater*, o que foi considerado adequado (Quadro 8), as demais duplas optaram por criar, neste caso, uma regra de *repulsão* ou *repulsão mútua*, o que não afetou o comportamento geral do sistema. Ainda, as duplas 2 e 3 não criaram regras de interação entre moléculas do ácido carbônico e os íons bicarbonato e hidrogênio, acreditando que os reagentes do sistema estariam sempre em quantidades estequiométricas, o que foi discutido posteriormente junto à estas duplas, mostrando-lhes a diversidade de comportamentos do sistema no quesito quantidades. Já a dupla 5 não previu a possibilidade de interação entre duas moléculas de ácido carbônico via colisão elástica, o que também foi discutido com esta dupla posteriormente.

As duplas foram então instruídas, pelo professor, a aumentar, gradativamente, a quantidade de íons H^+ , em relação aos íons HCO_3^- . Então, os estudantes desenharam quantidades maiores de íons H^+ em relação aos íons HCO_3^- e realizaram a simulação do modelo novamente, percebendo que o mecanismo de tamponamento tinha um limite para manter o pH estável, ou seja, os alunos entenderam que cada sistema tampão tem uma zona de tamponamento e que a adição de excesso de ácido pode levar a um desequilíbrio ácido-básico mesmo na presença do sistema tampão.

Observou-se nos modelos finais dos estudantes que não foram criadas regras para o ator “parede” e nem cenários para o modelo. Em resumo, os modelos foram construídos com um número adequado de objetos e as regras elaboradas para os atores H^+ e HCO_3^- foram suficientes para que o modelo se comportasse como o esperado. Na figura 25 está representado um exemplo de modelo final proposto pelos alunos para o mecanismo do tampão bicarbonato (HCO_3^-/H_2CO_3) em uma situação de acidose no corpo humano. Importante salientar que esta é apenas a tela inicial do modelo, uma vez que o movimento das moléculas só pode ser visto no ModeLab².

DUPLA 1			
Ácido Carbônico	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 2			
ACIDO CARBONICO	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 3			
Ác. Carbônico	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal	Repelido por
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 4			
H ₂ CO ₃	(Ator) -> (s/Ator)	Posição do Ator	Rolar Para
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Secundário	Repelir
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Secundário	Repelir
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
	(Ator) - (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Repulsão Mútua
DUPLA 5			
Ác. Carbônico	(Ator) - (s/Ator)	Posição do Ator	Pular Para
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Trocar direções
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal e Ator Secundário	Trocar direções
	(Ator) -> (Ator)	Direção de Ator Principal	Rebater
Adaptado de: Copyright (c) Modelab - Todos os direitos reservados.			

Quadro 8: Regras construídas para descrever o comportamento do ácido carbônico no sistema em estudo, apresentando, respectivamente, a *condição inicial*, o *tipo de mudança* e o *efeito* utilizado pelos estudantes na construção do modelo no ambiente Modelab².

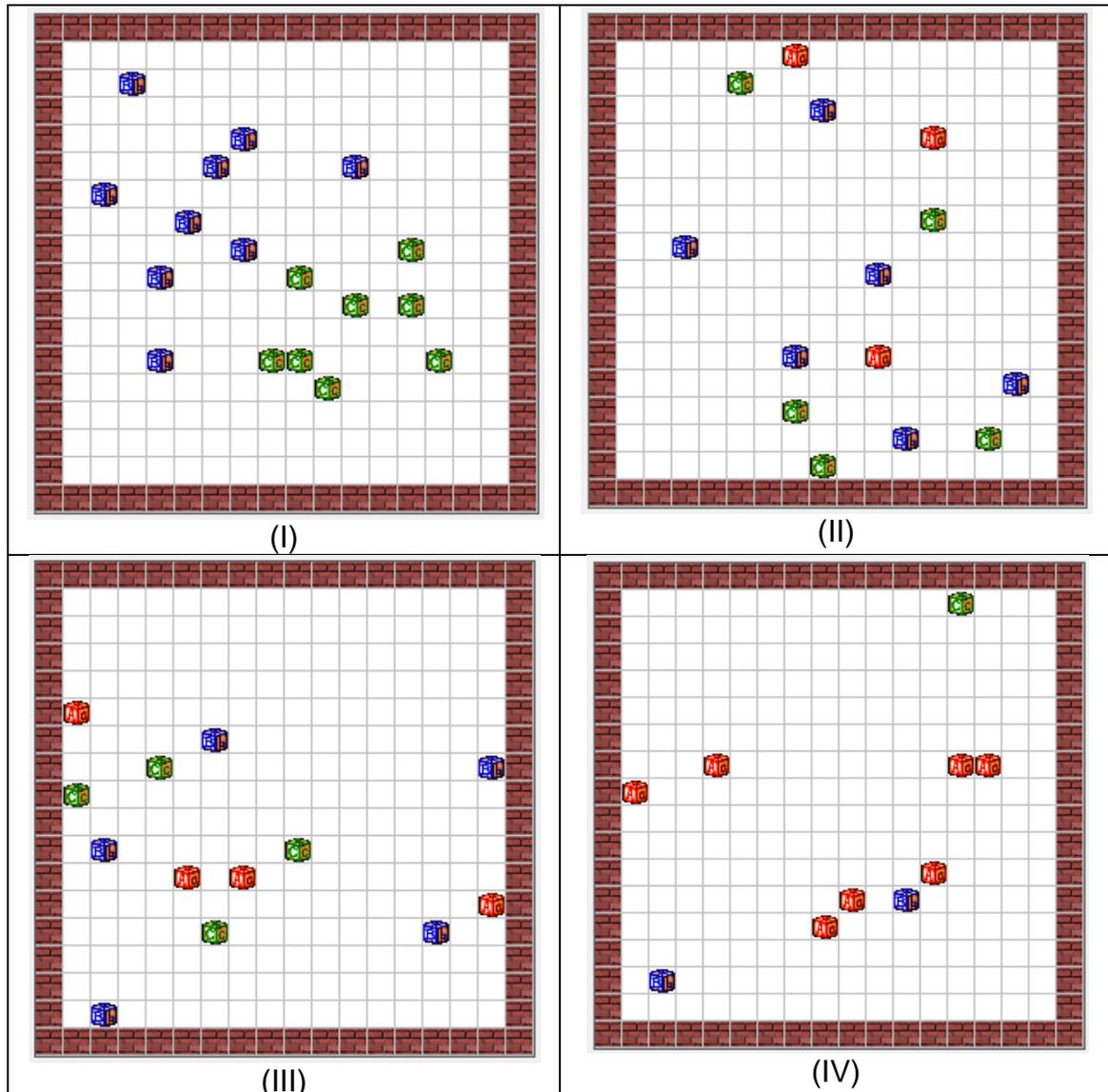


Figura 25: Exemplo de modelo final proposto pelos alunos para o mecanismo de tamponamento via bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) em um momento de acidose, em quatro passos temporais. Em verde, cátions H^+ , em azul, ânions HCO_3^- e em vermelho o H_2CO_3 .

É válido relatar que a interação entre os componentes de cada dupla foi caracterizada por alguns momentos de questionamento sobre certos pontos da construção do modelo, porém, eles sempre chegavam a um consenso no final, ou testavam suas diferentes hipóteses, simulando o modelo várias vezes, com diferentes regras ou modificações das regras já existentes.

As habilidades desenvolvidas pelos estudantes, durante as atividades de modelagem expressiva, estiveram relacionadas com:

- entendimento do conteúdo em estudo;
- sugestão de um comportamento para o modelo antes da simulação;

- explicação do comportamento do modelo em nível qualitativo;
- comparação do comportamento do modelo com o esperado por eles e
- alteração do modelo inserindo e editando regras e explicando o motivo de cada alteração.

Ao final desta atividade foi pedido às duplas que comentassem, por escrito, sobre o que haviam aprendido com respeito ao mecanismo de tamponamento, e os estudantes apresentaram proposições para explicar o sistema em questão, contemplando as principais ideias discutidas durante o desenvolvimento de seus modelos. Nas suas proposições os estudantes exploraram a aleatoriedade dos movimentos, as colisões elásticas e as colisões eficazes entre os elementos do sistema em estudo, o processo de formação de substâncias novas, e a coexistência de reagentes e produtos num mesmo local e distribuídos de forma aleatória.

Quando indagados, por escrito, se eles acreditavam terem aprendido um pouco mais sobre os conceitos relativos ao Sistema-tampão, por meio da atividade desenvolvida, suas respostas foram:

Dupla 1: *Sim, pois nela podemos ver como realmente acontece o sistema, coisa que em sala de aula seria mais difícil.*

Dupla 2: *Sim, pois o programa ilustra de forma simples e clara o que ocorre nas partículas submicroscópicas.*

P.S.: A plataforma facilita o aprendizado, pois mostra o que acontece, o que na sala de aula não seria visualizado.

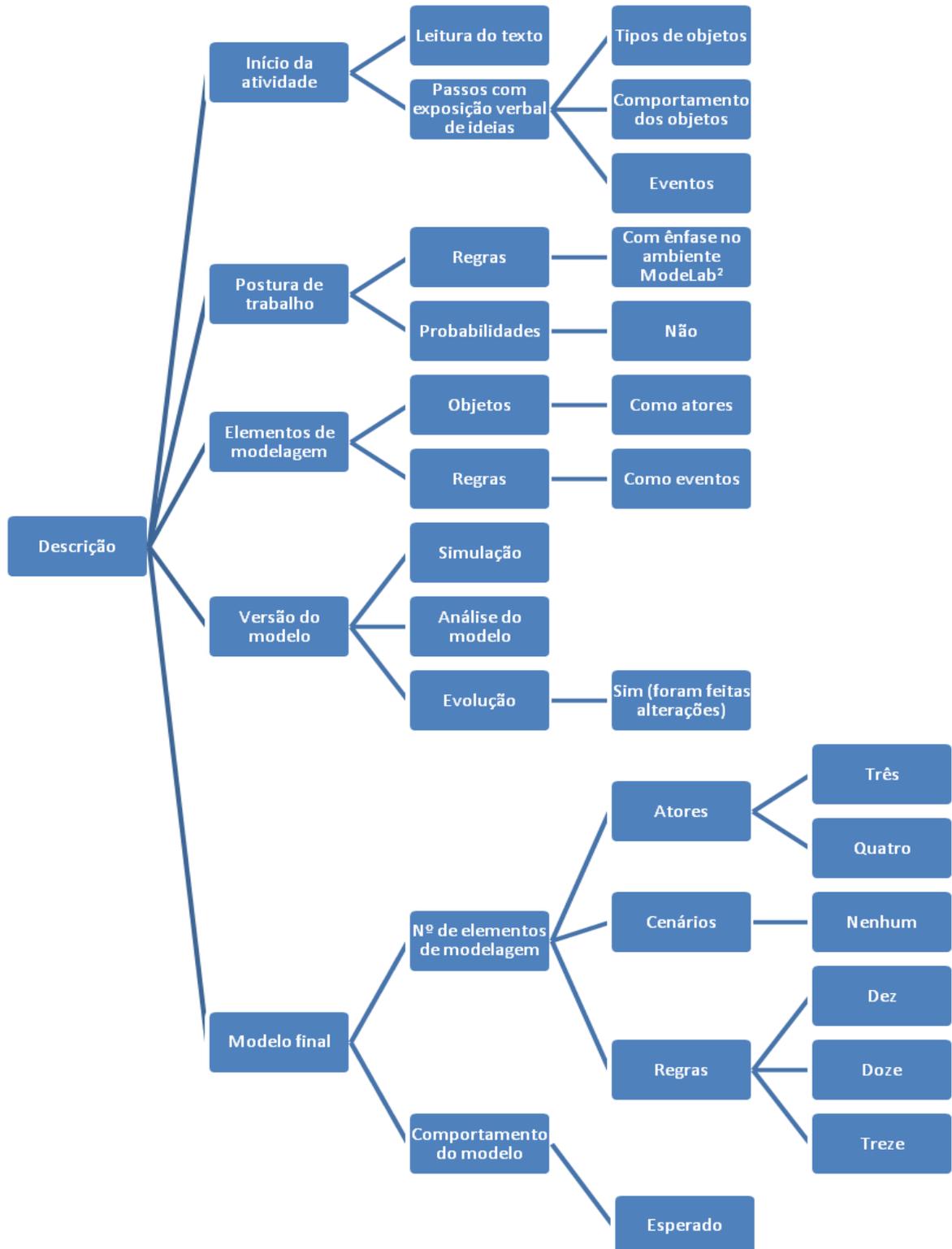
Dupla 3: *Sim. O sistema é bem mais atrativo e interessante, possibilitando o melhor entendimento do sistema-tampão.*

Dupla 4: *Sim, pois nos mostrou, de uma forma mais clara e divertida.*

Dupla 5: Sim. Pois com o ModeLab² foi possível testar as reações e ver cada molécula em movimento, e como reagem ao encontrar outras moléculas, facilitando assim a resolução das atividades e o aprendizado.

Percebeu-se, durante o desenvolvimento desta atividade, o quanto os alunos valorizaram o processo investigativo, e também como se sentiram importantes em discutir as proposições em busca de um modelo consensual em que eles eram os sujeitos da investigação.

A análise dos dados de cada dupla no processo de modelagem computacional do fenômeno de tamponamento, obtidos via observação dos estudantes nas aulas, análise das atividades escritas, análise do arquivo Log gerado pelo ModeLab² e no modelo final elaborado pelos estudantes, é apresentada no resumo de categorias mostrado no Quadro 9, refletindo o comportamento dos alunos durante as atividades expressivas de modelagem.



Quadro 9: Resumo sobre os aspectos de descrição da atividade de modelagem expressiva relativo ao fenômeno de tamponamento em acidose.

CAPÍTULO 5

5. APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este capítulo contempla o processo de elaboração da sequência didática “*Sistema Tampão: um estudo fundamentado no processo de modelagem computacional*”. A sequência se baseia em um tratamento qualitativo sobre o fenômeno de tamponamento e busca possibilitar o entendimento de como e porque ele ocorre. Ela foi construída a partir da análise dos resultados da pesquisa, apresentados nos capítulos 3 e 4 desta dissertação e no referencial metodológico de ZABALA (1998).

Assim, partindo das ideias de ZABALA, 1998, apresentadas no referencial teórico-metodológico, foi feito um levantamento de abordagens metodológicas, da fundamentação teórica, síntese do conteúdo programático proposto a ser ensinado neste trabalho, e posteriormente tais conhecimentos foram articulados para a construção da sequência didática que é apresentada nessa dissertação.

A sequência didática aqui adotada considerou fatores relevantes à relação ensino e aprendizagem no ambiente escolar, tais como:

- a presença de diferentes tipos de conteúdos (conceituais, procedimentais e atitudinais);
- o estímulo às relações sociais entre os estudantes em função dos diálogos entre os pares das duplas e também com o professor;
- os conflitos de ideias entre os pares das duplas, conduzindo os estudantes ao exercícios da tolerância e do respeito aos diferentes pontos de vistas.

Assim, as atividades da sequência possibilitaram interações discursivas entre os estudantes, e destes com o professor, nas situações de aprendizagem durante as aulas.

No quadro a seguir, apresenta-se de forma condensada a composição da sequência e suas unidades didáticas com os conteúdos trabalhados, os objetivos e as atividades.

Ressaltamos que a sequência didática e os materiais didáticos necessários para aplicá-la serão disponibilizados na íntegra junto com a dissertação, no formato impresso e digital, para facilitar sua divulgação e utilização pelos professores.

Unidade didática	Conteúdos abordados	Objetivos	Atividades
Conhecendo o que vocês pensam...	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução ao conceito de modelos e modelagem. - O uso de modelos na construção do conhecimento químico e bioquímico: exemplo do tampão $\text{H}_3\text{CCOOH}/\text{H}_3\text{CCOO}^-$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Propor modelos explicativos sobre um fenômeno submicroscópico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão orientada: Uso de modelos e sua importância na construção do conhecimento científico. - Atividade escrita: explicação química do sistema em equilíbrio: $\text{H}_3\text{C-COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} \leftrightarrow \text{H}_3\text{C-COOH}_{(\text{aq})}$.
Visão de um sistema físico através de Objetos e Eventos	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução ao raciocínio em termos de objetos e eventos aplicado à realidade física. - Regras de interação como geradoras de eventos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar um modelo explicativo, utilizando o raciocínio em termos de objetos e eventos, para o sistema $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudo de caso macroscópico: um jogo de futebol. - Atividade escrita: listagem de objetos e possíveis eventos para o sistema $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$.
Conhecendo o mecanismo de tamponamento	<ul style="list-style-type: none"> - Definição de ácidos e bases segundo a Teoria Protônica de G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted. - Conceito de solução tampão. - O sistema-tampão em termos de objetos e eventos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construir conceitos básicos para a elucidação do mecanismo de tamponamento. - Interpretar uma solução tampão raciocinando em termos de objetos, regras básicas de interação e eventos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão orientada: Relações de causa-efeito encontradas na natureza. - Atividade escrita – raciocinando uma solução tampão em termos de objetos, regras básicas de interação e eventos.
Representação de Objetos e Eventos no Computador: o mecanismo de tamponamento.	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução ao ambiente de modelagem computacional qualitativo ModeLab². - Proposição de um modelo computacional para o mecanismo de tamponamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aprender a construir modelos no ambiente ModeLab². - Construir um modelo computacional dinâmico para o fenômeno de tamponamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Atividade prático-teórica no computador: Representação do mecanismo do tampão bicarbonato em uma situação de acidose no corpo humano utilizando o ModeLab².

Quadro 10: Unidades didáticas da sequência – *Sistema Tampão: um estudo fundamentado no processo de modelagem computacional.*

CAPÍTULO 6

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais aspectos da investigação da modelagem computacional qualitativa, a partir de atividades de modelagem expressiva sobre o sistema de tamponamento, desenvolvidas por estudantes do ensino médio, são tratadas, neste capítulo, considerando-se às respostas às questões básicas de pesquisa e a visão dos alunos participantes.

Todas as atividades desenvolvidas contaram com a participação ativa dos estudantes, evidenciada pelo engajamento deles na realização do que foi proposto, com destaque para as discussões internas entre os componentes das duplas, no intuito de desenvolver seus modelos explicativos, observando, questionando, testando, comparando e discutindo em busca de um modelo consensual. Essa participação é algo que merece ser enfatizado por sua contribuição no processo de aprendizagem dos estudantes.

Destaca-se que o envolvimento dos alunos nos processos de criação de modelos foram momentos singulares de observação por parte do professor, pois, além da oportunidade de acompanhá-los na expressão e/ou modificação de suas ideias prévias, constitui-se em um momento oportuno para orientá-los sobre como se estabelecem os modelos científicos, favorecendo o letramento científico dos alunos.

Na avaliação do aprendizado dos alunos sobre o sistema tampão verificou-se que a estratégia de modelagem proposta contribuiu para a compreensão de aspectos conceituais qualitativos sobre o tema, essencialmente relacionados à *como* o tamponamento ocorre. Essa contribuição pode ser associada, principalmente, à criação, pelos estudantes, de uma situação virtual, que podia ser atualizada e, assim, possibilitou a visualização do comportamento cinético-molecular do sistema em estudo, diminuindo a dificuldade que os estudantes têm de transitar entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico da Biologia e da Química. Ganhos que seriam dificilmente seriam experimentados em uma relação direta, sem o uso da modelagem.

Ainda, sob o ponto de vista educacional, as atividades de modelagem computacional expressivas apresentaram a possibilidade do estudante “aprender-

fazendo”, extrapolando os limites impostos pela simples transmissão de conhecimentos por parte do professor favorecendo um processo de aprendizagem ativa.

No que diz respeito às vantagens das atividades expressivas, observou-se que pôde ser dado uma maior ênfase no desenvolvimento conceitual do conteúdo. Ainda, as atividades de modelagem expressiva possibilitam um controle do tempo, o que leva a reproduzir o fenômeno de maneira lenta ou acelerada, podendo melhor estudá-lo. Pode-se afirmar que, uma das maiores vantagens do desenvolvimento destas atividades, é que os modelos propostos possibilitam a individualização e o entendimento dos componentes fisiológicos de um sistema complexo (neste caso o tampão), o que dificilmente pode ser feito nas práticas usuais de sala de aula ou de laboratório.

Percebeu-se o quanto é fundamental o professor dar oportunidade para os estudantes demonstrarem “como eles imaginam que um determinado fenômeno se processa”, ou seja, expressarem seu conhecimento prévio e ficar atento às questões relevantes levantadas pelos estudantes durante todo o processo, para retomá-las no momento oportuno. Assim, pode-se agir de forma mais efetiva, questionando, direcionando, desconstruindo e reconstruindo concepções e levando à produção de novos saberes.

Um aspecto importante a se destacar diz respeito à perda da noção de complexidade do sistema real em estudo que pode ocorrer durante o processo de modelagem de sistemas complexos como os tampões, isso necessita ser discutido com os alunos, para que os mesmos não negligenciem as simplificações adotadas, acreditando que o modelo proposto seja um espelho da realidade.

Acredita-se que a estratégia aqui desenvolvida é capaz de auxiliar o ensino de outros conceitos biológicos e/ou químicos de forma similar, com as devidas adaptações segundo os temas abordados, promovendo uma aprendizagem ativa e, logo, emancipatória.

Finaliza-se esta dissertação salientando a importância das atividades de modelagem computacional expressivas no ensino. Salienta-se que capacitar o estudante para se valer dos benefícios procedentes de novas ferramentas disponíveis no mundo atual é um passo muito importante para atingirmos a plena cidadania.

7. REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o ambiente** / Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro – 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006. 968p.

BORGES, A. T. **Como evoluem os modelos mentais**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 1, n.1, 1999. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/15/41>. Acessado em 20 de junho de 2012.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Um estudo exploratório sobre a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte de professores de Física do ensino médio**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba – 2008. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0110-1.pdf>. Acessado em 25 de Junho de 2012.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Fundamental (SEF). **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEF, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **OCNEM: Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2006.

CAMILETTI, G.; FERRACIOLLI, L. **Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6681/6148>. Acessado em 28 de Junho de 2012.

CHAGAS, A. P. **O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX**. Química Nova, v. 23, n.1, p. 126-133, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2156.pdf>. Acessado em 05 de agosto de 2012.

CHAGAS, A. P. **O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX**. Química Nova, v.23, n. 1, 2000.

COSTA, R. G.; PASSERINO, L. M. **Uma proposta pedagógica para o uso da modelagem computacional no curso de licenciatura em Química do CEFET – Campos**. *CINTED-UFRGS Novas Tecnologias na Educação*, v. 6, n. 2, 2008.

DAMASCENO, H.C.; BRITO, M.S.; WARTHA, E.J. **As representações mentais e a simbologia química**. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química – XIV ENEQ, 2008. 12p. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0623-1.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

FEHSENFELD, K. M. **A Representação de Fenômenos de Cinética de Gases Utilizando o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab²: Um Estudo Exploratório com Estudantes Ingressantes na Educação Superior**. 2010. 288p. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal do Espírito Santo.

FERNANDEZ, C.; BALDINO, J. O.; TIEDEMANN, P. W.; BERTOTTI, M. **Conceitos de Química dos Ingressantes nos Cursos de Graduação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo**. Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1582-1590, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n6/a51v31n6.pdf>. Acessado em 15 de junho de 2012.

FERRACIOLI, L.; GOMES, T.; SILVA, R. M. **ModeLab2 – Modelling Laboratory 2D**. 2007. 20p. Laboratório de tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva. Universidade Federal do Espírito Santo.

FERRACIOLI, Laercio. **Ambientes Computacionais para o Aprendizado Exploratório em Ciência**. Projeto de pesquisa mantido pelo CNPq – Contrato 46.8522/00-0. 2004.

FERREIRA, P. F. M. **Modelagens e suas contribuições para o ensino de ciências: Uma análise no estudo de equilíbrio químico**. 2006. 165p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. **Modelagem e o “Fazer Ciência”**. Química Nova na Escola, n. 28, p. 32-36, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/08-RSA-3506.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **O conceito de solução tampão**. Química Nova, n.13, 2001.

GILBERT, J. K. e BOULTER C. J. **Aprendendo ciências através de modelos e modelagem**. In: COLINVAUX, D. (Ed.). Modelos e educação em ciências. Rio de Janeiro: Ravil, 1998.

GOMES, T. **A Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários**. 2003. 220f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Espírito Santo.

GOMES, T. S. **A Modelagem Computacional Qualitativa através do Ambiente ModeLab²: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários Desenvolvendo Atividades de Modelagem Expressiva sobre Tópicos de Ciências**. 2008. 253 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Física. Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo.

GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. **A Investigação da Construção de Modelos no Estudo de um Tópico de Física utilizando um ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 453-461, abr. 2006. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a08v28n4.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2012.

GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. **Investigação sobre a Interação de Estudantes Universitários com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker**. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE – UFJF – 2005. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/436/422>. Acessado em 30 de Junho de 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. **Tratado de Fisiologia Médica / Tradução de: Charles Alfred Esbérard, Fernando Diniz Mundim, Franklin David Rumjanek, Lélis Borges do Couto, Giuseppe Taranto, Mira de Casrilevitz Engelhardt, Nádia Vieira Rangel e Patricia Lydie Voeux** – 10ª edição - Editora Guanabara Koogan S. A., 2002.

KURTZ, A. C. **Introdução a Modelagem Computacional na Educação**. Rio Grande: Editora da Furg – Brasil. 1995.

LUCAS, L. B.; BATISTA, I. L. **Contribuições axiológicas e epistemológicas ao ensino da teoria da evolução de Darwin**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 2, p. 245-273, 2001.

MACHADO, A. H.; ARAGÃO, R. M. R. **Como os estudantes concebem o estado de equilíbrio químico**. *Química Nova na Escola*, n. 4, p.18-20, 1996. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc04/aluno.pdf>. Acessado em 13 de junho de 2012.

MAIA, P. F. **Habilidades investigativas no ensino fundamentado em modelagem**. 2009. 165p. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M.; PEDRO, R. J. **Solução tampão: uma proposta experimental usando materiais de baixo custo**. *Química Nova na Escola*, n. 20, p. 59-62, 2004.

MELLAR, H. BLISS, J. (1994) **Introduction: Modelling and Education**. In: Mellar, H. Bliss, J. Boohan, R. Ogborn, J. Topsett (Eds.) Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum. The Falmer Press, London Washington, D.C., Cap 1, p.1-7, 1994.

MENDONÇA, P. C. C. **Ligando as ideias dos alunos à Ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 2008. 241p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

MOREIRA, M. A. **Modelos mentais**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 1, n. 3, 1996. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 17 de maio de 2012.

OGBORN, J. **Overview: The Nature of Modelling**. In: MELLAR, Harvey (org.). Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum. London: The Falmer Press, 1994, p. 11-15.

OLIVEIRA, R. R de. **O estudo da modelagem computacional qualitativa através do fenômeno de difusão de gás: um estudo exploratório com estudantes universitários**. 2006. 241p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Espírito Santo. p. 12-34.

RAMPINELLI, M.; FERRACIOLLI, L. **Estudo do fenômeno colisões através da modelagem quantitativa**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, nº 1, p. 93-122, 2006. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6292/12775>. Acessado em 26 de julho de 2012.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. **Desenvolvimento de habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em Química**. Experiências em Ensino de Ciências, v. 4, n.1, p. 65-78, 2009.

SANGER, M. J.; BADGER II, S.M. (2001) **Using Computer-Based Visualization Strategies to Improve Students' Understanding of Molecular Polarity and Miscibility**. Journal of Chemical Education, 78(10), 1412-1426.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M.; SERRANO, A. **Uso do software DICEWIN na Química Geral**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v.3, n.1, p. 58-69, 2003.

SANTOS, F. M.; GRECA, I. M. **Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Porto Alegre, v. 4, n. 1, 2005. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART7_Vol4_N1.pdf. Acessado em 20 de junho de 2012.

SANTOS, J. R. G. **Investigação do uso de atividades de modelagem computacional no ensino integrado de Física e de Matemática**. 2009. 109p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Brasileira. Centro de Educação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SOUZA, K. A. de F. D.; CARDOSO, A. A. **Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula**. Química Nova na Escola, n. 27, 51-56, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc27/08-peq-3106.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

VIANA, A. P. P. **Estratégias de ensino-aprendizagem de conceitos relacionados ao tema equilíbrio químico utilizando modelagem e modelos**. 2010. 166p. Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa: Como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – Atividade 1**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU-SENSU* EM ENSINO DE CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA**

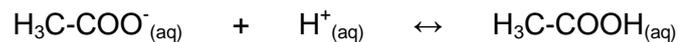
Nomes: _____ Data: ____/____/____.

ATIVIDADE 1**Conhecendo o que vocês pensam...**

Com o objetivo de melhor entender o que vocês pensam a respeito de determinados fenômenos, peço-lhes que, em dupla, respondam ao que é solicitado abaixo. Caso vocês não cheguem a um consenso, não há problema em apresentar as diferentes ideias de cada um da dupla, mesmo que divergentes. O importante, no entanto, é que vocês tentem, ao máximo, chegar a um consenso, argumentando em defesa das próprias explicações para o que é solicitado.

Professor Rodrigo Veiga Rosa

Proponha um modelo, em nível submicroscópico, por meio de desenhos e explicações escritas, que ilustre o sistema representado abaixo. Suponha que lhe fosse possível visualizar as espécies envolvidas.



APÊNDICE B – Atividade 2

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU-SENSU* EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

ATIVIDADE 2

1. Visão de Um Sistema Através de Objetos e Eventos

1.1. Introdução

Ao olharmos a nossa volta agora, percebemos que o mundo é constituído por uma série de objetos, tais como pessoas, cadeiras, mesas, canetas ou cadernos. Também são percebidos, juntamente com tais objetos, ambientes nos quais eles estão inseridos. Um exemplo de ambiente é a atmosfera. Dessa forma, consideraremos, nestas atividades, o mundo ao nosso redor como sendo um sistema constituído de elementos que são objetos e ambientes.

Antes de adentrarmos os sistemas submicroscópicos – a nível molecular –, para entender o mecanismo de tamponamento, gostaria de ver se estão bem claros a vocês os conceitos de objetos e ambientes.

Exercício 1: Listando os elementos de um sistema.

Tente listar alguns elementos relevantes constituintes do sistema “*campo de futebol, durante um jogo de futebol*”.

As interações entre os elementos do sistema geram eventos, que, em conjunto, determinam o comportamento do sistema. Eventos são acontecimentos que podem ocorrer em um sistema, tais como, caminhar, correr, saltar, comer etc.. Cada sistema possui seus eventos específicos.

Assim, neste contexto define-se:

- **objetos**: elementos de um sistema que podem interagir entre si e

- **eventos**: os acontecimentos provenientes da interação entre os objetos.

Exercício 2: Listando os eventos de um sistema.

Faça uma lista dos eventos que podem ocorrer no sistema “*campo de futebol, durante um jogo de futebol*”.

Neste contexto, os eventos são entendidos como sendo gerados por regras específicas associadas. Assim, uma regra pode ser entendida como aquilo que determina o comportamento de um determinado objeto frente a uma determinada situação. O conjunto de várias regras acontecendo ao mesmo tempo gera o comportamento do sistema.

Imagine os diferentes eventos (acontecimentos) ocorridos durante uma partida de futebol. Tais eventos seriam gerados por regras, como por exemplo:

Se o caminho está livre para jogador, **então** o jogador corre.

Se o jogador está com bola, **então** o jogador chuta a bola.

Percebe-se que as regras possuem a seguinte estrutura:

SE [condição inicial], **ENTÃO** [resultado]

Importante perceber que deve haver uma relação entre aquilo que deu origem ao evento e o resultado do mesmo.

Exercício 3: Aplicando a teoria de “Objetos e Eventos” à sistemas submicroscópicos.

Agora que vocês já tiveram uma noção introdutória sobre objetos e eventos, precisamos avançar um pouco mais. Para isso, vamos listar os objetos relevantes e os possíveis eventos referentes ao sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$, que ocorre, por exemplo, em sangue de mamíferos. Nesse sentido, tentem representar o sistema e seu comportamento a nível submicroscópico, em um sistema fechado. Bom trabalho!

Objetos

Eventos

APÊNDICE C – Atividade 3

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU-SENSU* EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

ATIVIDADE 3

OS SISTEMAS-TAMPÕES

Inicialmente é necessário revisar alguns conceitos básicos, para melhor compreender como funcionam os tampões.

Ácidos e bases – Existem várias teorias sobre ácidos e bases, mas a que melhor se adéqua aos nossos propósitos agora é a definição de Brownstead e Lery, na qual um ácido é uma substância capaz de liberar prótons H^+ e uma base é uma substância capaz de captar esses prótons. Um ácido, em solução, apresenta-se em equilíbrio com a sua base conjugada. Tomemos como exemplo o H_2CO_3 .



O bicarbonato (HCO_3^-) é a base conjugada do ácido carbônico (H_2CO_3).

Sistema tampão – É um sistema que contém substâncias capazes de minimizar alterações de pH do meio em que elas estão. O mais importante sistema-tampão do nosso organismo é o do bicarbonato (HCO_3^-).

Nesse sentido, tente representar, utilizando a teoria de “Objetos e Eventos”, o sistema tampão bicarbonato e seu comportamento, a nível submicroscópio, em um sistema fechado, nos seguintes casos:

1- O íon bicarbonato “livre”.

2- O que ocorreria com o sistema representado anteriormente, em termos do equilíbrio químico, em relação às substâncias, se a esse sistema fosse adicionado íons H^+ ?

3- Indique como se comportaria o sistema idealizado na questão 2, se adicionássemos a ele uma base forte, como o NaOH.

APÊNDICE D – Atividade 4

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU-SENSU* EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

ATIVIDADE 4

A Representação de Objetos e Eventos no Computador

1 INTRODUÇÃO

Existem várias maneiras de representar um sistema da natureza no computador possibilitando a observação do seu comportamento ao longo do tempo. Uma destas maneiras é construir um modelo do sistema e representá-lo através de uma ferramenta, ou ambiente, de modelagem computacional. Neste estudo utilizaremos o Ambiente de Modelagem Computacional ModeLab². Este ambiente é baseado no conceito de “Objetos e Eventos”, no qual diversos sistemas da natureza podem ser representados através da especificação dos objetos que constituem o modelo e dos eventos que ocorrem com estes objetos.

No ModeLab² os objetos podem ser de dois tipos: os *Atores* e os *Cenários*. Os atores são objetos que podem se mover na *Grade de Visualização*, e os *Cenários* são objetos que não possuem a propriedade de movimento. Os *Cenários* podem ser definidos como os locais por onde os *Atores* podem passar.

2 UTILIZANDO O AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL MODELAB²

Inicie o ModeLab² clicando duas vezes no seu ícone localizado na tela do computador. Na sua inicialização aparecem algumas janelas iniciais que podem ser fechadas por não serem importantes.

2.1 A tela principal do ModeLab² é composta por várias partes (Figura 01), sendo que cada uma tem uma função específica.

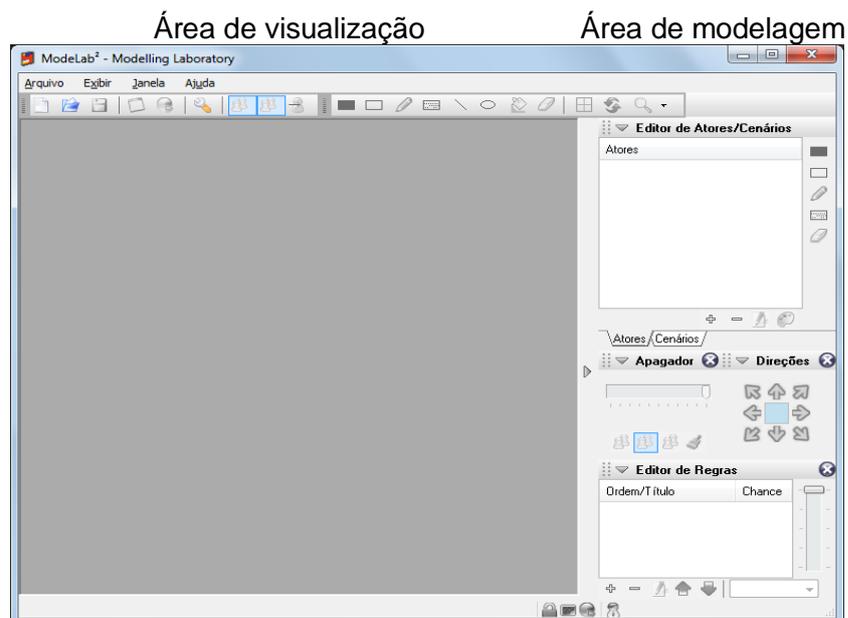


Figura 01

2.2 A Representação de Objetos e Eventos no Computador, um exemplo.

Vamos estudar a difusão de um gás através de um modelo bem simples. Com o desenvolvimento deste modelo será possível observar as partículas do gás se movendo e ocupando homogeneamente o recipiente após certo tempo.

O modelo “Gás-Recipiente” possui as seguintes características:

- Sistema

Gás confinado em um recipiente.

- Descrição

As partículas de um gás se movem aleatoriamente e colidem entre si e com as paredes do recipiente.

- Atores

Partícula e *Parede* do recipiente.

- Cenário

Nenhum.

- Eventos

1. *Partícula* se move aleatoriamente.
2. *Partícula* rebate em *Partícula*.
3. *Partícula* rebate em *Parede*.

- Regras

1. Se *Partícula* ao lado de local vazio, então *Partícula* se move aleatoriamente.
2. Se *Partícula* bate em *Partícula*, então elas trocam de direção entre si.
3. Se *Partícula* bate em *Parede*, então ela muda a direção de acordo com o ângulo de incidência.

- Regras no ModeLab²

Passo 1	Passo 2	Passo 3
1. <i>Partícula</i> ao lado de sem ator.	Muda posição de <i>Partícula</i> .	<i>Partícula</i> se move aleatoriamente.
2. <i>Partícula</i> ao lado de <i>Partícula</i> .	Muda direção de <i>Partícula</i> .	<i>Partículas</i> trocam de direção entre si.
3. <i>Partícula</i> ao lado de <i>Parede</i> .	Muda direção de <i>Partícula</i> .	<i>Partícula</i> rebate.

Este modelo terá dois atores e três eventos. Note que todas as regras pertencem ao Ator “*Partícula*”. O próximo passo é a implementação do modelo no ambiente ModeLab², para isso basta abrir o ModeLab² e criar um novo arquivo indo ao menu **Arquivo>Novo**. Assim, será criada uma *Grade de Visualização* vazia. Neste momento o *Editor de Objetos* e *Editor de Regras* são habilitados.

Agora, vá ao menu **Arquivo>Salvar** e salve o arquivo com o nome “gás_recipiente_NOME.mdl2”.

O passo seguinte é inserir os objetos que farão parte do modelo do sistema a ser estudado. Para isso, selecione a aba dos *Atores* e clique no botão **+**. Selecione uma imagem que represente o Ator “*Partícula*”, e dê esse nome a ele.

Agora adicione outro Ator que possa representar uma parede. Repita os procedimentos referentes ao objeto “*Partícula*”.

O próximo passo é criar as regras para cada objeto. No modelo em questão, apenas o objeto “*Partícula*” possui movimento, assim selecione este Ator no *Painel dos Objetos*, vá ao painel das regras e clique no botão de adição de regras, indicado pelo sinal **+**.

Para as regras da Tabela anterior a construção dos passos é descrita a seguir.

1. Partícula se move aleatoriamente.

Passo 1: *Partícula* ao lado de *sem ator* – Clique e arraste o objeto especial “*Sem Ator*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Clique na opção *Posição do Ator*.

Passo 3: *Partícula* se move – Selecione a opção *pular para*.

2. Partícula rebate em Partícula

Passo 1: *Partícula* ao lado de *Partícula* – Clique e arraste “*Partícula*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Muda a direção de *Partícula* e *Partícula* – Clique na opção *Direção de Partícula e Partícula*.

Passo 3: Trocar direções – Selecionar a opção disponível.

3. Partícula rebate em Parede

Passo 1: *Partícula* ao lado de *Parede* – Clique e arraste “*Parede*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Muda a Direção de *Partícula* – Clique na opção *Direção de Partícula*.

Passo 3: Muda a direção de *Partícula* – Clique no efeito Rebater.

Após a criação das regras, faça um desenho na grade de visualização da seguinte forma: uma borda com o *Ator “Parede”* e um quadrado no centro da Grade de visualização com o *Ator “Partícula”*.

Tendo feito o desenho na grade, clique no botão Iniciar para simular o modelo.

Se o comportamento do modelo não estiver satisfatório, reveja as regras que você criou anteriormente.

3. REPRESENTAÇÃO DO MECANISMO DE TAMPONAMENTO NO COMPUTADOR

Agora que você já teve a oportunidade de verificar, em linhas gerais, como funciona o ModeLab², faça o que se pede a seguir.

Construa um modelo que represente o mecanismo de ação tamponante do íon bicarbonato ($\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$) e do ácido carbônico ($\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$) em equilíbrio químico.

Demonstre, em seu modelo, por que pequenas adições de H^+ ou OH^- não modificam o pH da solução.

Desenvolva seu modelo discutindo suas ideias com o seu colega de dupla.

1º Passo – Definição do sistema a ser estudado.

2º Passo – Escolha do fenômeno de interesse.

3º Passo – Listagem dos objetos relevantes.

4º Passo – Classificação dos objetos listados em Atores e Cenários.

5º Passo – Construção das regras através das interações entre os objetos.

6º Passo – Na tabela abaixo, represente as regras listadas no 5º Passo de detalhando os 3 Passos de Construção de Regras exposto no início desta atividade.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)

7º Passo - Representação das Interações no Ambiente ModeLab².

- Construa o modelo no ModeLab².

8º Passo - Simulação

- Simule o modelo no Modelab² e observe o seu comportamento.

9º Passo - Validação do modelo

- Explique o comportamento do modelo.

- O comportamento do modelo está como o esperado? Explique.

- Caso a resposta seja negativa à questão anterior, e caso queira, procure os possíveis motivos que não levaram o modelo a apresentar o comportamento esperado.

Explique os motivos e faça as modificações que achar necessárias para que o modelo se comporte como o esperado.

AVALIANDO A ATIVIDADE PROPOSTA

Vocês acreditam ter aprendido um pouco mais sobre os conceitos relativos ao Sistema-tampão por meio desta atividade proposta? Justifiquem sua resposta.

APÊNDICE E – Sequência didática

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**Rodrigo Veiga Rosa
Andréa Carla Leite Chaves**

Sequência Didática

**“SISTEMA TAMPÃO: UM ESTUDO FUNDAMENTADO NO
PROCESSO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL”**

Belo Horizonte – MG

2013

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Layout principal da interface gráfica do ModeLab ²	134
Figura 2: Janela de Análises Gráficas.....	135
Figura 4: Tela principal do ModeLab ²	146
Figura 5: Exemplo de configuração inicial para o modelo aqui em estudo.....	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estrutura de criação de regras no Ambiente ModeLab ²	137
Quadro 2: Representação das regras detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente ModeLab ²	154
Quadro 3: Resumo das regras 1 a 4, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	155
Quadro 4: Resumo das regras 5 a 8, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	156
Quadro 5: Resumo das regras 9 a 12, do modelo <i>Solução-tampão durante uma acidose</i> . Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.....	157

LISTA DE ABREVIATURAS

CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica

H^+ – cátion hidrogênio ou hidrônio

H_2CO_3 – ácido carbônico

H_2O – água

H_3CCOO^- – ânion etanoato ou ânion acetato

H_3CCOOH – ácido etanóico ou ácido acético

HCO_3^- – ânion hidrogenocarbonato ou bicarbonato

K_a – constante de ionização de um ácido ou constante de acidez

ModeLab² – *Modelling Laboratory 2D*

Na^+ – cátion sódio

$NaHCO_3$ – hidrogenocarbonato de sódio ou bicarbonato de sódio

$NaOH$ – hidróxido de sódio

OCEM – Orientações Curriculares Para o Ensino Médio

OH^- – ânion hidroxila

PCM – Passos de Construção de Modelos

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio

pH – Potencial Hidrogeniônico

pK_a – cologaritmo da constante de ionização de um ácido

pK_b – cologaritmo da constante de dissociação iônica ou ionização de uma base

PMC – Processo de Modelagem Computacional

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

ULBRA – Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	05
1 INTRODUÇÃO.....	111
2 UMA PALAVRA AO PROFESSOR.....	114
3 UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MECANISMO DE TAMPONAMENTO A PARTIR DE ATIVIDADES DE MODELAGEM.....	115
ATIVIDADE I – CONHECENDO O QUE OS ALUNOS PENSAM.....	116
ATIVIDADE II – VISÃO DE UM SISTEMA FÍSICO ATRAVÉS DE OBJETOS E EVENTOS.....	118
ATIVIDADE III – CONHECENDO O MECANISMO DE TAMPONAMENTO.....	121
ATIVIDADE IV – REPRESENTAÇÃO DE OBJETOS E EVENTOS NO COMPUTADOR: O MECANISMO DE TAMPONAMENTO.....	124
APÊNDICE F – Texto de Apoio.....	127
APÊNDICE G – Atividade 1.....	142
APÊNDICE H – Atividade 2.....	143
APÊNDICE I – Atividade 3.....	145
APÊNDICE J – Atividade 4.....	146
APÊNDICE K – Passos da Construção do modelo esperado para o fenômeno de tamponamento.....	151
REFERÊNCIAS.....	159

APRESENTAÇÃO

Esta sequência didática é uma produção resultante da dissertação “*O Uso de Modelagem Computacional Qualitativa Expressiva como Recursos Auxiliar no Ensino do Mecanismo de Tamponamento*” (Rosa, 2013). A sequência dá ênfase aos procedimentos didáticos adotados no decorrer do processo de desenvolvimento da dissertação.

A experiência da aplicação da sequência didática ocorreu no ano letivo de 2012 junto a alguns alunos da 2ª série do Ensino Médio na disciplina de Química. Faz-se um relato de atividades validadas como instrumentos na construção ativa de conhecimentos pelos alunos. Apesar de não parecer novidade, já que fala sobre uma situação que todo o professor de Biologia ou Química, na sua prática em sala de aula, já vivenciou em algum momento, propõe-se uma discussão e uma revisão no modo de se tratar a dificuldade dos alunos em aprender fenômenos que ocorrem a nível submicroscópico, devido ao tratamento formalístico-tradicional dado a este tipo de tema, na educação básica.

A mera exposição de ideias apresentadas aos alunos no estudo dos fenômenos atômico-moleculares, mostra-se demasiadamente abstrata. Os alunos apresentam dificuldade em relacionar conceitos e transcrever este tipo de fenômeno em linguagem formal com domínio de significados. Durante o desenvolvimento deste trabalho verificou-se que, enquanto mediadores do processo de aprendizagem, nós professores precisamos rever nossa prática e propor um caminho mais eficiente para que o aluno possa, a partir de seus conhecimentos prévios, evoluir para um conhecimento consensualmente aceito pela comunidade científica.

O caminho aqui proposto se deu através do uso de atividades de construção de modelos no computador, o que intensificou o diálogo e as discussões orientadas, na busca de interpretar um fenômeno físico-químico: o sistema tampão.

As atividades de modelagem expressivas apresentam-se como um bom instrumento na construção do conhecimento científico, por parte do aluno, pois os possibilita proporem suas ideias e comunicarem-se de forma honesta e clara. Incluir, no currículo, atividades de modelagem, representa oferecer um meio para que os alunos possam desenvolver uma atitude construtiva em relação a seu aprendizado, reconhecendo-o como um processo que envolve sua participação ativa.

. As atividades propostas na sequência foram pensadas para alunos da 2ª série do Ensino Médio e estão estruturadas com os seguintes tópicos: título, tempo de duração, conteúdos abordados, objetivos, o que os alunos poderão aprender com esta aula, conhecimentos prévios que deverão ser trabalhados pelo professor com os alunos, material de apoio ao professor para execução da aula, procedimentos didáticos e metodológicos e avaliação.

Este material é acompanhado de um CD que contém a versão digital do mesmo e da maioria dos materiais de apoio necessários para a realização das atividades aqui propostas.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, professores observam que existe uma grande problemática no ensino: cada vez mais, os alunos diminuem o interesse em aprender alguns conteúdos, em especial, aqueles associados à realidade microscópica e submicroscópica da natureza. Percebe-se que, o que dificulta bastante a aquisição da compreensão dos conceitos relacionados a esses conteúdos é a falta aos alunos de informações sensoriais. Ainda, professores e pesquisadores da área de Ensino de Ciências verificaram, em suas investigações, dificuldades dos estudantes usarem representações mentais adequadas relacionadas à compreensão microscópica de fenômenos químicos (DAMASCENO et al., 2008; SOUZA; CARDOSO, 2008).

Visando proporcionar aos alunos o desenvolvimento destas capacidades de representação, pesquisadores têm sugerido um ensino que privilegie o uso de modelos, e o envolvimento dos estudantes na construção destes modelos se destaca por possibilitar uma abordagem mais dialógica e analítica para o ensino (FERREIRA, 2006; FERREIRA; JUSTI, 2008). Tal perspectiva está de acordo com o que é proposto para o ensino de Biologia pelos Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio (PCNEM), reafirmada pelas Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (OCEM), a de que sejam ofertados ao aluno elementos para a compreensão, interpretação e análise de informações, para que eles possam compreender a produção do conhecimento científico, bem como o mundo, e nele agir com autonomia.

Nestes documentos contemporâneos oficiais que orientam o ensino de Ciências da Natureza no Brasil há várias recomendações relativas a um direcionamento e organização do aprendizado, “no sentido de se produzir um conhecimento efetivo, de significado próprio e não somente propedêutico” (BRASIL, 1999). O ensino de Ciências da Natureza deve contribuir para a formação de cidadãos alfabetizados cientificamente, ou seja, que apresentem conhecimentos necessários para um posicionamento crítico frente ao desenvolvimento tecnológico e aos debates científicos atuais (OCEM, 2006; MENDONÇA, 2008).

Em Biologia, uma das recomendações é que o ensino não seja pautado pela simples memorização de denominações e conceitos, ou pela reprodução de regras e processos. Assim sendo, o currículo deve ser organizado de forma a proporcionar ao

aluno a maneira de pensar cientificamente, vivenciando as etapas do método científico (OCEM, 2006).

Nesse sentido, as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio salientam a necessidade de os alunos serem imersos em atividades que objetivem a produção de conhecimentos científicos de forma semelhante aos processos que ocorrem nas Ciências Naturais. Tais atividades apresentam caráter investigativo e permitem ao aluno o desenvolvimento de habilidades e competências tais como trabalhar em grupo, buscar e organizar informações, elaborar e testar hipóteses, organizar e analisar resultados esperados e inesperados, argumentar e comunicar suas ideias, o que é coerente com a formação de cidadãos que ajam com autonomia e criticidade.

Outra questão abordada por esses documentos é a necessidade de inserção do estudante em seu processo de aprendizagem, deixando de ser um mero receptor passivo das informações e passando a participar ativamente de seu processo de formação.

Em tais documentos também se salienta a necessidade de os alunos compreenderem que a produção do conhecimento científico é uma atividade humana influenciada por fatores como o contexto social, econômico e político, e que uma das principais atividades da Ciência é a teorização para a construção de modelos que expliquem o mundo a nossa volta. Sendo que tais modelos servem para explicar tanto aquilo que podemos observar diretamente, como também aquilo que só podemos inferir, e que estes modelos são limitados, produtos da criatividade humana, construções mentais que buscam sempre manter a realidade observada como critério de legitimação (BRASIL, 1999).

Em face dessas considerações, o uso de modelos e ferramentas tecnológicas pode permitir aos estudantes visualizar o comportamento cinético-molecular de sistemas diversos (SANTOS; GRECA, 2005). Como observado em vários estudos, animações computacionais são uma efetiva ajuda para os estudantes visualizarem a dinâmica de processos a nível microscópico-molecular, particularmente quando o tópico em questão envolve atributos de visualização, movimento, trajetória e mudanças ao longo do tempo (SANGER; BDGER II, 2001 *apud* SANTOS; GRECA, 2005). Assim sendo, a intenção neste trabalho foi sugerir uma proposta metodológica, que possa contribuir para potencializar os processos de ensino e aprendizagem de um importante fenômeno biológico, o mecanismo de

tamponamento durante uma acidose, bem como levar os estudantes a se tornem mais colaboradores e ativos em seu processo de formação.

2 UMA PALAVRA AO PROFESSOR

Prezado professor com o objetivo de ajudá-lo a se preparar para aplicar na sala de aula as atividades propostas nessa sequência sugerimos a leitura do texto de apoio disponíveis no APÊNDICE F que aborda: (1) Definição de modelos e modelagem; (2) Modelagem computacional e o ensino de Ciências; (3) Tipos de atividades e ambientes de modelagem computacional; (4) O ambiente de modelagem computacional qualitativa Modelab²; (5) A Criação de Modelos no Ambiente Modelab² e (6) O mecanismo de tamponamento.

Quanto ao ambiente Modelab² é importante esclarecer que este foi desenvolvido para permitir a criação de modelos qualitativos e possibilitar a execução destes com o objetivo de testá-los e, se necessário, modificá-los. A construção de modelos neste ambiente se dá utilizando o conceito de “Objetos e Eventos”, no qual diversos sistemas da natureza podem ser representados através da especificação dos objetos que constituem o modelo e dos eventos que ocorrem com estes objetos. Esses eventos são aqui representados através de regras de interação entre os objetos. Sendo assim, o APÊNDICE F fornece instruções sobre o ModeLab², explicando como criar objetos, regras e modelos.

Esperamos que você experimente as atividades propostas aqui na sua prática didática, Lembre-se que esse material não constitui uma receita pronta, ele aponta caminhos e pode e deve ser modificado e adaptado de acordo com suas necessidades e com sua realidade educacional.

Bom trabalho,

Os autores

3 UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MECANISMO DE TAMPONAMENTO A PARTIR DE ATIVIDADES DE MODELAGEM

Nesta proposta, buscou-se planejar e trabalhar atividades direcionadas a estudantes do segundo ano do Ensino Médio, fundamentada na construção, análise, desconstrução e reconstrução de modelos, tendo o sistema-tampão como tema específico.

Assim, buscou-se explicitar as principais características do sistema-tampão, como:

- a dinamicidade do processo em equilíbrio;
- a coexistência de reagentes e produtos em um mesmo local;
- a simultaneidade das reações direta e inversa;
- a perturbação em um sistema tampão, como a adição de íons H^+ , geram uma alteração momentânea, no sentido de minimizar a perturbação, levando a uma nova situação de equilíbrio, evitando assim a mudança brusca de pH.

O planejamento das aulas/atividades foi desenvolvido a partir de fontes da literatura (FEHSENFELD, 2010; GOMES, 2008; OLIVEIRA, 2006; VIANA, 2010) que comentam atividades desenvolvidas com estudantes e contribuem para a compreensão de modelos utilizados no entendimento de fenômenos da realidade física.

ATIVIDADE I – CONHECENDO O QUE OS ALUNOS PENSAM

DURAÇÃO – 60 minutos.

CONTEÚDOS – Introdução ao conceito de modelos e modelagem. O uso de modelos na construção do conhecimento químico e bioquímico: o exemplo do tampão $\text{H}_3\text{COOH}/\text{H}_3\text{COO}^-$.

OBJETIVO

- Propor modelos explicativos sobre um fenômeno submicroscópico.

O QUE OS ALUNOS PODERÃO APRENDER COM ESTA AULA

- O conceito de modelo em Ciências.
- A importância do uso de modelos no estudo de fenômenos submicroscópicos.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS QUE DEVERÃO SER TRABALHADOS PELO PROFESSOR COM OS ALUNOS

- A elaboração e o uso de modelos no cotidiano e na Ciência.
- Generalizações na construção de modelos.

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

ARTIGOS:

- BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 1, n.1, 1999. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/15/41>. Acessado em 20 de junho de 2012.
- DAMASCENO, H.C.; BRITO, M.S.; WARTHA, E.J. As representações mentais e a simbologia química. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química – XIV ENEQ, 2008. 12p. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0623-1.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

- FERREIRA, P. F. M; JUSTI, R. S. Modelagem e o “Fazer Ciência”. Química Nova na Escola, n. 28, p. 32-36, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/08-RSA-3506.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.
- MOREIRA, M. A. Modelos mentais. Investigações em Ensino de Ciências, v. 1, n. 3, 1996. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 17 de maio de 2012.

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS E METODOLÓGICOS:

- Inicialmente o professor precisa fazer uma breve e clara explanação sobre a elaboração e o uso de modelos, discutindo sua importância para a construção do conhecimento científico, bem como o cuidado com as generalizações.
- Posteriormente, solicita-se às duplas que elaborem proposições explicativas para um sistema em equilíbrio químico (Atividade 1, Apêndice G), por meio de desenhos e/ou argumentações, na busca de elucidar o comportamento do referido sistema. Durante a formulação das proposições para o comportamento dos componentes do sistema, os estudantes devem escolher uma explicação consensual. Caso os componentes da dupla não cheguem a um acordo de opiniões, todas as proposições devem ser apresentadas e discutidas. O intuito com essa atitude é promover a participação de todos, gerando discussões e defesa de opiniões dos integrantes da dupla.

Observação: No decorrer da aula, o professor e os estudantes precisam discutir cada proposta apresentada. Sendo este um momento oportuno para compreensão da importância dos modelos para o entendimento da realidade física, bem como, a limitação dos mesmos.

AVALIAÇÃO

A avaliação deve ser feita por meio da observação da qualidade das discussões, bem como, dos modelos explicativos propostos por cada dupla de alunos.

ATIVIDADE II – VISÃO DE UM SISTEMA FÍSICO ATRAVÉS DE OBJETOS E EVENTOS

DURAÇÃO – 60 minutos.

CONTEÚDOS – Introdução ao raciocínio em termos de objetos e eventos aplicados à realidade física. Regras de interação como geradoras de eventos.

OBJETIVO – Elaborar um modelo explicativo, em termos de objetos e eventos, para o sistema $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$.

O QUE OS ALUNOS PODERÃO APRENDER COM ESTA AULA

- A elaboração de modelos explicativos, sobre a realidade física, em termos de objetos, regras de interação e eventos.
- A elaboração de um modelo explicativo, utilizando a metáfora de objetos e eventos, para o sistema submicroscópico $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS QUE DEVERÃO SER TRABALHADOS PELO PROFESSOR COM OS ALUNOS

- Metáfora de objetos e eventos.
- Objetos, regras de interação e eventos numa realidade física.

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

ARTIGOS:

- CAMILETTI, G.; FERRACIOLLI, L. Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6681/6148>. Acessado em 28 de Junho de 2012.
- GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. A Investigação da Construção de Modelos no Estudo de um Tópico de Física utilizando um ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 453-461, abr. 2006. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a08v28n4.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2012.

- GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. Investigação sobre a Interação de Estudantes Universitários com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE – UFJF – 2005. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/436/422>. Acessado em 30 de Junho de 2012.
- KURTZ, A. C. Introdução a Modelagem Computacional na Educação. Rio Grande: Editora da Furg – Brasil. 1995.
- RAMPINELLI, M.; FERRACIOLLI, L. Estudo do fenômeno colisões através da modelagem quantitativa. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, nº 1, p. 93-122, 2006. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6292/12775>. Acessado em 26 de julho de 2012.

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS E METODOLÓGICOS:

- Inicialmente o professor deve apresentar aos estudantes uma visão geral relativa à representação do mundo físico através de objetos e eventos, bem como regras de interação que geram tais eventos.
- Posteriormente, o professor deve solicitar aos estudantes que, em duplas, listem os objetos relevantes do sistema proposto no **Exercício 1** da *Atividade 2* (Apêndice H) e, em seguida, os eventos possíveis do mesmo sistema (**Exercício 2**, *Atividade 2*, Apêndice H).
- Ao término destes dois exercícios, o professor deve discutir com os estudantes, os objetos relevantes e os possíveis eventos do sistema proposto nesta atividade. Tem-se aqui a oportunidade de preencher algumas lacunas conceituais referentes ao conteúdo abordado nesta aula.

- Por fim, deve-se solicitar aos estudantes que representem o sistema (HCO_3^- / H_2CO_3) utilizando os conceitos de objetos e eventos abordados nesta aula, conforme o **Exercício 3** da *Atividade 2* (Apêndice H).

Observação: Novamente, no decorrer da aula, o professor e os estudantes precisam discutir cada proposta apresentada. Sendo este também um momento oportuno para compreensão dos conceitos de objetos, regras de interação e eventos.

AVALIAÇÃO

- A avaliação deve ser feita por meio da observação da qualidade das discussões, bem como, dos objetos listados e eventos propostos nos **Exercícios 1, 2 e 3** da atividade.

ATIVIDADE III – CONHECENDO O MECANISMO DE TAMPONAMENTO

DURAÇÃO – 60 minutos.

CONTEÚDOS – Definição de ácidos e bases segundo a Teoria Protônica de G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted. Conceito de solução tampão. O sistema-tampão em termos de objetos e eventos.

OBJETIVO – Construir conceitos básicos para a elucidação do mecanismo de tamponamento utilizando as ideias de objetos, regras básicas de interação e eventos.

O QUE OS ALUNOS PODERÃO APRENDER COM ESTA AULA

- A Metáfora de objetos e eventos aplicada ao estudo do mecanismo de tamponamento.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS QUE DEVERÃO SER TRABALHADOS PELO PROFESSOR COM OS ALUNOS

- A Teoria Protônica de G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted.
- Solução tampão – aspectos gerais.

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

- ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o ambiente / Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro – 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006. 968p.
- CHAGAS, A. P. O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX. Química Nova, v. 23, n.1, p. 126-133, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2156.pdf>. Acessado em 05 de agosto de 2012.
- FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. O conceito de solução tampão. Química Nova, n.13, 2001.

- GUYTON, A. C.; HALL, J. Tratado de Fisiologia Médica / Tradução de: Charles Alfred Esbérard, Fernando Diniz Mundim, Franklin David Rumjanek, Lélis Borges do Couto, Giuseppe Taranto, Mira de Casrilevitz Engelhardt, Nádia Vieira Rangel e Patricia Lydie Voeux – 10ª edição - Editora Guanabara Koogan S. A., 2002.
- MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M.; PEDRO, R. J. Uma proposta experimental para soluções tamponantes, n. 20, 2004.

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS E METODOLÓGICOS:

3. Inicialmente o professor deve discutir com os estudantes, as definições sobre ácidos e bases que eles têm em mente e, logo em seguida, apresenta-lhes a definição de ácidos e bases proposta G. Lewis, T. Lowry e J. Brønsted.
4. Em seguida, o professor deve retomar as questões mais relevantes levantadas e defendidas na aula anterior, bem como os principais conceitos já discutidos sobre o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$.
5. Posteriormente, solicita-se aos estudantes que, em duplas, elaborem modelos explicativos para as situações propostas nos **Exercícios 1, 2 e 3** da *Atividade 3* (Apêndice I).
6. Após discussões sobre os modelos propostos em cada dupla, faz-se uma análise qualitativa do sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ de forma geral, apontando suas principais características e suas relações com os modelos propostos por outras duplas, a fim de relacionar e contrapor as ideias apresentadas, bem como explorar as limitações e aplicabilidade deles.

Observação: No decorrer da aula, professor e estudantes precisam discutir cada proposta apresentada. Sendo este um momento oportuno para compreensão da importância dos modelos para o entendimento da realidade física, bem como, a limitação dos mesmos.

AVALIAÇÃO

- A avaliação deve ser feita por meio da observação da qualidade das discussões, bem como, dos modelos explicativos propostos por cada dupla de alunos para o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$.

ATIVIDADE IV – REPRESENTAÇÃO DE OBJETOS E EVENTOS NO COMPUTADOR: O MECANISMO DE TAMPONAMENTO

DURAÇÃO – 160 minutos.

CONTEÚDOS – Introdução ao ambiente de modelagem computacional qualitativo ModeLab². Proposição de um modelo computacional para o mecanismo de tamponamento.

OBJETIVO – Construir um modelo computacional dinâmico para o fenômeno de tamponamento.

O QUE OS ALUNOS PODERÃO APRENDER COM ESTA AULA

- Manipulação do ambiente de modelagem ModeLab².
- Representação de um fenômeno submicroscópico em um ambiente de modelagem computacional qualitativa.

CONHECIMENTOS PRÉVIOS QUE DEVERÃO SER TRABALHADOS PELO PROFESSOR COM OS ALUNOS

Noções básicas de criação de objetos e construção de regras do ambiente ModeLab².

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

- CAMILETTI, G.; FERRACIOLLI, L. Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6681/6148>. Acessado em 28 de Junho de 2012.
- FERRACIOLI, L.; GOMES, T.; SILVA, R. M. ModeLab2 – Modelling Laboratory 2D. 2007. 20p. Laboratório de tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva. Universidade Federal do Espírito Santo.

- GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. A Investigação da Construção de Modelos no Estudo de um Tópico de Física utilizando um ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 453-461, abr. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a08v28n4.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2012.
- GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. Investigação sobre a Interação de Estudantes Universitários com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE – UFJF – 2005. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/436/422>. Acessado em 30 de Junho de 2012.
- RAMPINELLI, M.; FERRACIOLLI, L. Estudo do fenômeno colisões através da modelagem quantitativa. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, nº 1, p. 93-122, 2006. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6292/12775>. Acessado em 26 de julho de 2012.

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS E METODOLÓGICOS:

- Iç. No início da aula o professor deve apresentar o ambiente ModeLab² aos estudantes, seus componentes básicos e funções gerais.
- ç. A seguir solicita-se aos estudantes que, em duplas, acompanhem o desenvolvimento de um modelo para a difusão de um gás, de acordo com as orientações de “A Representação de Objetos e Eventos no Computador” (Atividade 4, Apêndice J).
- çI. Após esse contato com o ambiente ModeLab², solicita-se aos estudantes a representar o mecanismo de tamponamento via bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) no computador, utilizando esta plataforma. Neste processo de construção de modelos, devem ser identificados, inicialmente, os objetos considerados relevantes para a construção do modelo e as regras por de trás dos comportamentos dentro do modelo. Assim, visando orientar os

estudantes neste processo sugere-se utilizar uma sequência de nove passos denominados de Passos de Construção de Modelos (PCM), desenvolvida a partir de CAMILETTI e FERRACIOLI (2001) e adaptada por GOMES (2003), conforme orientações em “*REPRESENTAÇÃO DO MECANISMO DE TAMPONAMENTO NO COMPUTADOR*” (Atividade 4, Apêndice J). Uma sequência de passos sugeridos para orientar o professor durante o desenvolvimento desta atividade encontra-se no APÊNDICE K.

Observação: No decorrer da aula, o professor e os estudantes precisam discutir cada proposta apresentada, bem como o que levaria o sistema a não se comportar como o esperado.

AVALIAÇÃO

- A avaliação deve ser feita por meio da observação da qualidade das discussões, bem como, dos modelos computacionais propostos por cada dupla de alunos para o sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ durante uma situação de acidose.

APÊNDICE F

Texto de apoio

Autor: Rodrigo Veiga Rosa

Modelos e Modelagem

Para se definir o que é modelagem é necessário em primeiro lugar, definir o que é um modelo, sendo esta definição não tão simples e dependente do contexto de sua utilização. Segundo GOMES e FERRACIOLLI (2006), citando GILBERT e BOULTER (1998), “um modelo pode ser visto como um intermediário entre as abstrações da teoria e as ações concretas da experimentação, que ajuda a fazer previsões, guiar a investigação, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação”. MOREIRA (1996), afirma que as pessoas constroem modelos, que são representações internas do mundo, numa tentativa de interiorizar o meio externo que lhes é apresentado, incluindo isto suas ideias, analogias, conceitos científicos, entre outros. Essas representações construídas pelas pessoas podem ajudá-las a elaborar conhecimentos implícitos que serão usados para responder questões e resolver problemas (BORGES, 1999), bem como deduzir consequências acerca de um determinado fenômeno. Ainda KURTZ (1995) e SANTOS (2009), definem modelo como substituto de um objeto ou sistema, ou ainda qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo. De acordo com os mesmos autores, todo o pensamento humano depende da construção e manipulação de modelos.

Assim, a partir dessas ideias, pode-se pensar que modelos são representações simplificadas de um recorte da realidade para o entendimento de uma demanda específica (BRANDÃO et. al, 2008; GOMES e FERRACIOLLI, 2005).

O fato de os modelos representarem um recorte da realidade indica que os mesmos são parciais e limitados. E, segundo BRANDÃO et. al. (2008), não existem modelos corretos, mas sim adequados. Esses modelos, sempre provisórios, vão sendo revistos e refinados de modo a ajustar-se ao comportamento da realidade que pretendem explicar.

A partir destas ideias sobre modelos, pode-se dizer que modelagem é a habilidade humana de construir modelos. O processo de modelagem abrange

ferramentas que vão desde papel e lápis até a utilização de tecnologias interativas, como o computador.

Apesar de toda a variedade e aplicabilidade dos modelos e dos processos de modelagem destaca-se, segundo OLIVEIRA (2006) e FEHSENFELD (2010), citando OGBORN (1994), pelo menos três características são comuns a todos os modelos e atividades de modelagem:

- Uma coisa, o *modelo*, é usada no lugar de outra, o *mundo* que nos cerca.
- Toda atividade de modelagem faz uso de *simplificações* e *idealizações* das características, relações ou componentes dos sistemas que se queira representar.
- Finalmente, toda a atividade de modelagem começa com o interesse de se construir ou entender algo do mundo que nos cerca.

Logo, no contexto educacional, é necessário que o estudante construa seus modelos e os expresse, seja no papel ou no computador, usando simplificações e idealizações, durante as atividades de modelagem, e se beneficie dos modelos que ele construiu para entender diversas situações da realidade.

Modelagem computacional e o ensino de Ciências

Conforme GOMES e FERRACIOLLI (2005), o uso do computador em atividades de modelagem permite aos usuários uma eficiente testagem do modelo construído, pois possibilita que o mesmo seja simulado, quantas vezes forem necessárias, a partir da variação de parâmetros, observando sua evolução temporal em um curto intervalo de tempo. Tal procedimento favorece sua modificação rumo a obtenção de um modelo que expresse, da melhor maneira possível, o sistema real que está sendo estudado. Dentro contexto escolar, a modelagem computacional é bem propícia, pois permite aos estudantes criarem seus modelos a partir de suas concepções, interagindo de forma dinâmica com tais modelos, e auxiliando-os na compreensão e também no aprendizado de conceitos científicos que descrevem os processos envolvidos nas atividades propostas.

Nesta perspectiva, os autores acima citados, em 2006, desenvolveram algumas atividades de modelagem computacional qualitativa expressiva, com estudantes de graduação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), referentes à difusão dos gases, no ambiente *ModeLab*². Os resultados deste estudo mostraram que os alunos foram capazes de construir modelos explicativos para o fenômeno em questão, a partir de suas concepções, e também de modificar tais modelos. As modificações foram realizadas quando, durante a visualização do comportamento da versão do modelo construído, os estudantes observaram que este não apresentava o comportamento esperado, de acordo com suas concepções. A evolução do modelo dos estudantes através da visualização de seu comportamento dinâmico no ambiente de modelagem computacional qualitativo permitiu-lhes refletir sobre aspectos e conceitos que não haviam considerado anteriormente a atividade. Segundo os autores deste trabalho, a simulação dinâmica pode representar uma alternativa para a limitada capacidade das pessoas “rodarem” seus modelos internos.

Ainda, no ensino de interações intermoleculares, SANTOS et. al (2003), realizaram algumas atividades de modelagem computacional, utilizando o software de simulação *DICEWIN* (em construção, no período de desenvolvimento do estudo), na disciplina de Química geral, da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), objetivando possibilitar aos estudantes a modelização e a visualização do comportamento microscópico de soluções, para a construção dos conceitos envolvidos no referido conteúdo. Ao fim das atividades, as autoras observaram que os alunos tiveram um ganho de aprendizagem considerável com a utilização deste tipo de ferramenta, que lhes permitiu, não apenas visualizar e representar o comportamento cinético-molecular dos sistemas discutidos, como também os possibilitou aprender a utilizar diferentes representações com certa competência. Em um estudo posterior, SANTOS e GRECA (2005), chamam a atenção para a modelação em Química, pois tais atividades neste campo do conhecimento têm peculiaridades específicas, que não são semelhantes às aquelas da modelação em outras ciências, devido à complexidade dos fenômenos de que ela trata, a utilização e a transferência de vários níveis de representação, dos conceitos intrínsecos a cada um deles, e ainda, da dificuldade que os estudantes têm em superar a representação macroscópica da matéria.

Também COSTA e PASSERINO (2008), em um estudo com alunos do curso de Licenciatura em Química do CEFET – Campos – RJ, relatam uma experiência no uso de um ambiente de simulação e modelagem computacional – o *Modellus* – no ensino de Físico-Química. Os resultados deste estudo apresentaram evidências de que a incorporação de atividades de simulação e modelagem computacional ao estudo da Físico-Química melhorou a compreensão dos conceitos e das representações matemáticas dos modelos de gases ideais e reais, por parte dos alunos. Verificou-se que foi possível promover uma aprendizagem colaborativa e reflexiva. Tal fato foi associado à participação ativa dos estudantes no processo de troca de experiência e conhecimentos com seu par, visto que esta atividade foi desenvolvida em duplas.

Concordando com estudos experimentais e exploratórios, RAUPP, SERRANO e MOREIRA (2009), revelam dificuldades dos estudantes em transitar entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico da Química. Sendo a habilidade para transitar entre estes níveis de representação derivada do conceito de visualização espacial. Assim, professores e pesquisadores afirmam que, a experiência com a construção e manipulação de modelos se mostra importante no desenvolvimento das habilidades citadas anteriormente. Partindo-se dessas ideias, estes autores elaboraram e aplicaram algumas atividades de modelização, no ensino de isomeria geométrica, em Química Orgânica, junto a alunos de graduação em Engenharia Química, Química Industrial e Licenciatura em Química, de uma universidade privada da Grande Porto Alegre, RS. Durante as atividades desenvolvidas, o software utilizado foi o *ACD/ChemSketch* da *ACDLabs* (versão freeware). A conclusão deste estudo revelou que as atividades foram satisfatórias para promover uma evolução representacional que permitiu aos estudantes progredir na aplicação do conceito de isomeria.

Percebe-se então que, o ensino de Ciências por meio de atividades de modelagem, pode proporcionar uma gama de possibilidades para o diálogo em sala de aula, evidenciando ao estudante que a Ciência e seus modelos não são verdades prontas a serem repetidas, mas que são mutáveis, e que tem seus princípios e leis constantemente revistos e examinados à luz de novas ideias, observações e experimentos.

Tipos de atividades e ambientes de modelagem computacional

Nos dias de hoje, as ferramentas utilizadas para modelagem computacional são denominadas de Ambientes de Modelagem Computacional. Assim, baseando-se na interação dos estudantes com tais ambientes, MELLAR e BLISS (1994), citados por GOMES e FERRACIOLLI (2005), distinguem dois modos de atividades de modelagem computacional:

- Atividades de Modelagem Exploratória: onde o estudante é levado a observar o comportamento de um modelo construído por um especialista, não podendo alterar sua estrutura. Tais atividades visam confrontar as concepções do estudante com aquelas apresentadas no modelo de um especialista.
- Atividades de Modelagem Expressiva: onde o estudante é levado a criar um modelo sobre a realidade a partir de suas próprias concepções, explicitando assim seus conhecimentos sobre determinado assunto.

Ainda, em 2003, GOMES propôs um terceiro tipo de atividade de modelagem, onde é apresentado ao estudante um modelo pronto, com o qual ele interage exploratoriamente. Porém, depois de explorar este modelo, o estudante pode modificá-lo, caso julgue necessário, caracterizando assim uma Atividade de Modelagem Semi-Expressiva.

Os softwares utilizados para a criação de modelos podem ser classificados de acordo com o tipo de raciocínio a eles associado, podendo ser quantitativo, semiquantitativo e qualitativo (GOMES, 2003). Dessa forma, existem:

- Ambientes de Modelagem Quantitativos
Ambientes que enfocam o cálculo de variáveis dependentes (RAMPINELI e FERRACIOLI, 2006), sendo, neste caso, necessário especificar as variáveis relevantes ao sistema a ser modelado, seus valores e as relações algébricas entre elas.
- Ambientes de Modelagem Semiquantitativa

Ambientes que enfocam o entendimento de relações causais entre os elementos do sistema e a análise do efeito nessas relações, mas não no conhecimento dos valores numéricos das relações algébricas (CAMILETTI e FERRACIOLI, 2001).

- **Ambientes de Modelagem Qualitativos**

Nestes ambientes os modelos são criados sem a especificação de variáveis, relações algébricas ou quantidades, mas pela especificação dos seus constituintes básicos e das regras relacionais que determinam seus comportamentos no sistema (GOMES e FERRACIOLI, 2006). Assim a construção dos modelos é baseada em lógica relativamente simples ou na tomada de decisão.

A presente proposta utilizou o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab², que permite a construção de modelos que possam ser representados pelos objetos que interagem entre si por meio dos eventos criados através de regras de interação – representação baseada na metáfora de objetos e de eventos (GOMES, 2003; OLIVEIRA, 2006; GOMES, 2008) –, com uma interface de criação de modelos que se propõe a minimizar a carga cognitiva do estudante para esse fim (GOMES, 2008). O ModeLab² será abordado e detalhado nas seções a seguir.

O ambiente de modelagem computacional qualitativa ModeLab²

Com base no trabalho de Gomes (2003), em 2004, o Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), iniciou o projeto de pesquisa “*A Integração da Modelagem Computacional Baseada nas Regras de Autômatos Celulares no Aprendizado Exploratório em Ciências*” (Ferracioli, 2004). Este projeto resultou no desenvolvimento do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab², acrônimo de *Modelling Laboratory 2D*, que possui como um dos objetivos principais ser um Ambiente de Modelagem Qualitativa onde o aprendizado da ferramenta não seja empecilho à execução das atividades de construção dos modelos.

O Ambiente ModeLab² foi inicialmente investigado por Gomes em 2008, que avaliou sua utilização a partir de atividades de modelagem expressiva com estudantes universitários e, entre outros resultados obtidos, relatou que o ModeLab² mostrou ser um ambiente de modelagem computacional qualitativa adequado para o desenvolvimento de atividades dessa natureza.

O ModeLab² é uma ferramenta de modelagem que possui um layout simples (Figura 1), e esse layout é dividido em duas regiões principais: a Área de Simulação e Visualização e a Área de Modelagem.

A Área de Modelagem é o local onde a estrutura do modelo é criada em seus elementos de modelagem através do Editor de Objetos e do Editor de Regras. A Área de Simulação e Visualização é o local onde o modelo é simulado e seu comportamento pode ser observado.

Na Área de Modelagem, onde a estrutura do modelo é construída em seus elementos constituintes, há ferramentas de manipulação dos desenhos dos objetos na Grade de Simulação e Visualização. A figura 1 mostra os componentes desta área, que são:

- o Editor de Objetos – ferramenta onde os objetos do modelo são criados;
- o Apagador – ferramenta que permite apagar os objetos na Grade de Simulação e Visualização;
- o Seletor de Direções – ferramenta que permite que cada objeto disposto sobre a grade receba uma direção preferencial, uma característica que permite ao objeto apontar para um de seus oito vizinhos e
- o Editor de Regras – permite a criação e manipulação das regras que determinarão o comportamento dos objetos.

Área de Simulação e Visualização

Área de Modelagem

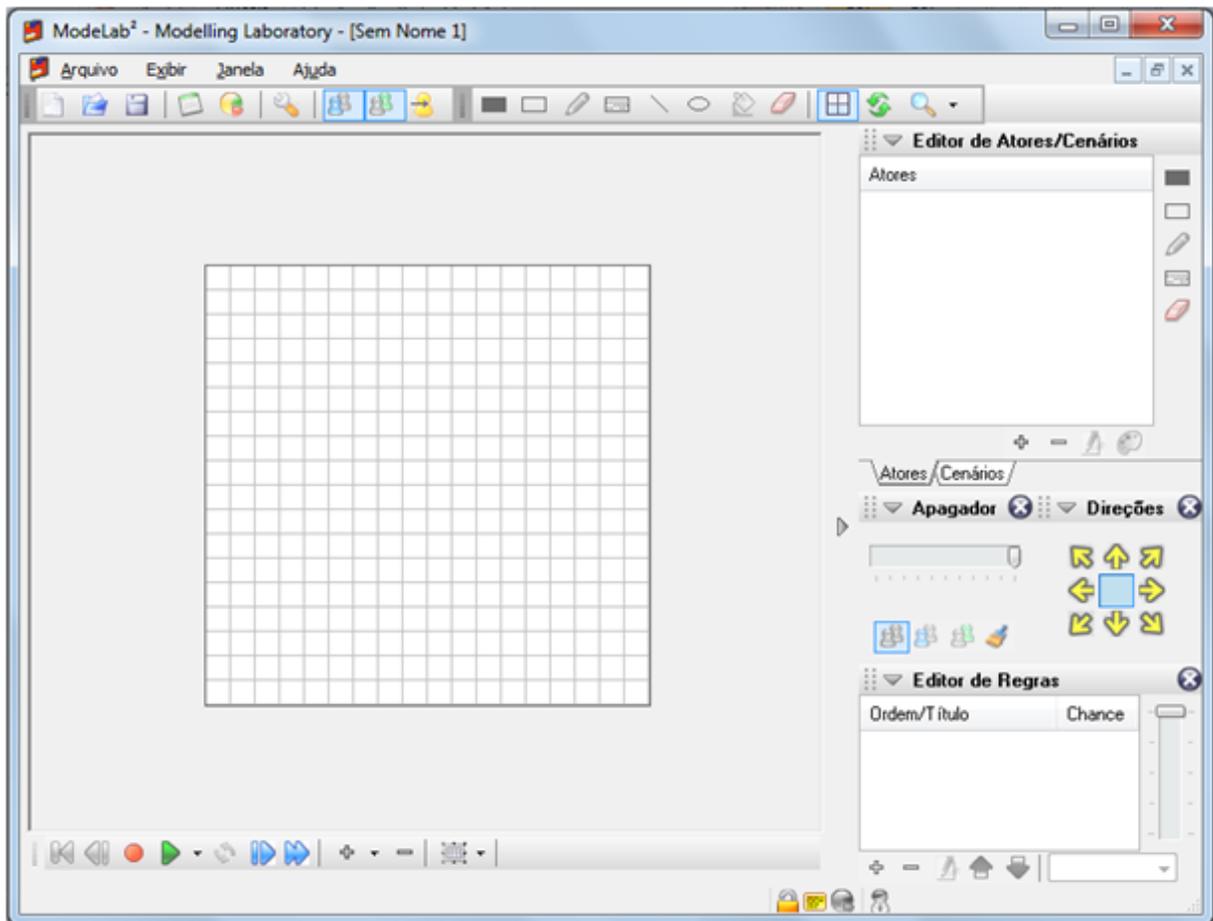


Figura 1: Layout principal da interface gráfica do ModeLab² (GOMES, 2008).

A Área de Simulação e Visualização é o local onde a configuração inicial do modelo é criada e onde ele é simulado, podendo ser analisado pelo comportamento dos objetos que o compõe. Outra forma de analisar o comportamento do modelo é através da Janela de Gráficos (Figura 2), onde o modelo pode ser observado pela variação das quantidades dos objetos.

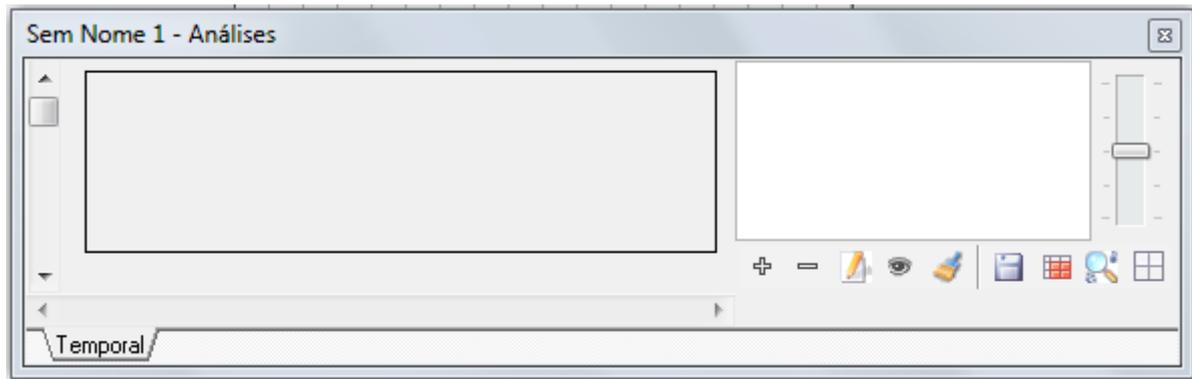


Figura 2: Janela de Análises Gráficas (GOMES, 2008).

Na Área de Simulação e Visualização encontram-se também as Ferramentas de Simulação, que permitem controlar a evolução do modelo.

Além das áreas descritas acima, na parte superior da Área de Simulação e Visualização, encontra-se a Barra Principal de Ferramentas do ModeLab² (Figura 3), que permite gerenciar todas as funcionalidades deste software, tais como criar, abrir e salvar os modelos, dentre outros.



Figura 3: Barra Principal de Ferramentas (GOMES, 2008).

A Criação de Modelos no Ambiente ModeLab²

A construção de modelos no Ambiente ModeLab² se dá utilizando a metáfora de Objetos e Eventos, na qual se concebe que diversos sistemas da natureza podem ser representados através da especificação de objetos que constituem o modelo e dos eventos que ocorrem entre esses objetos. Neste Ambiente de Modelagem, esses eventos surgem a partir de regras de interação criadas para os objetos pelos usuários (FEHSENFELD, 2010; GOMES, 2008; OLIVEIRA, 2006).

No Ambiente ModeLab² os objetos podem ser de dois tipos: Atores e Cenários. Os Atores são definidos como objetos que podem se movimentar na grade de visualização; já os Cenários são definidos como locais ou regiões sobre os quais os Atores podem se movimentar, logo, os Cenários não possuem mobilidade. Além disso, seguindo leis físicas fundamentais, dois Atores não podem ocupar o mesmo

lugar no espaço ao mesmo tempo, de modo que um Ator pode também atuar como barreira para o movimento do outro. Da mesma forma, um mesmo espaço não pode ser ocupado por dois Cenários ao mesmo tempo.

Ao criar um modelo no Ambiente ModeLab², é preciso antes de tudo especificar quais são os objetos relevantes do sistema e classificá-los em Atores ou Cenários.

Os objetos criados no ModeLab² recebem uma propriedade denominada direção preferencial, sendo esta aleatoriamente fornecida pelo ambiente de modelagem, que os faz apontarem para um de seus oito vizinhos mais próximos, permitindo que sejam criadas regras que levem em conta essa direção. Esta direção preferencial pode ser modificada pelo usuário através do botão das Direções.

O comportamento dos objetos num modelo é caracterizado pelo conjunto de eventos que ocorrem no sistema em estudo. Nesse sentido, no ModeLab², os eventos em um modelo resultam das regras de interações entre os objetos que compõe o referido sistema. O Ambiente permite a associação de regras de interação local entre células vizinhas a cada objeto de um modelo. As regras possuem uma estrutura causal simples:

Se [condição inicial], então [resultado]

Assim, durante a simulação, a cada condição inicial satisfeita é executada uma regra e cada regra executada se constitui um evento isolado, pré-definido pelo usuário. No entanto, a composição de um conjunto de regras locais executadas no conjunto de objetos pode gerar comportamentos denominados emergentes, ou complexos: aqueles que não podem ser previstos a não ser que o modelo seja efetivamente simulado (FEHSENFELD, 2010).

Os tipos de regras que podem ser criados no Ambiente ModeLab² são:

- Criação/Modificação
Criam objetos ou modificam objetos criados.
- Movimento
Mudam a posição dos Atores.

- Direção

Modificam a direção preferencial dos Atores.

Já no contexto da elaboração de modelos no ModeLab², as regras são construídas seguindo três passos, mostrado na quadro 1 a seguir.

1º passo: condição inicial	2º passo: tipo de mudança	3º passo: efeito
Condição inicial para que a regra seja executada.	Tipo de mudança que ocorre nesta regra (modificação de objeto, posição e/ou direção).	Efeito gerado pela regra.

Quadro 1: Estrutura de criação de regras no Ambiente ModeLab² (GOMES, 2008).

Ainda no Ambiente ModeLab² é possível estabelecer com que probabilidade cada regra vai ser executada. Tal parâmetro pode ser o detalhe que diferencia um modelo de outro. Se as probabilidades não forem estabelecidas corretamente, o modelo pode não se comportar como esperado.

O mecanismo de tamponamento

Segundo FIORUCCI et al. (2001), historicamente o conceito de solução tampão surgiu de estudos em Bioquímica e da necessidade do controle do potencial hidrogeniônico (pH) em diversos aspectos da pesquisa científica, como por exemplo em estudos sobre a atividade enzimática nos sistemas biológicos, que têm sua ação catalítica sensível a variações de pH.

Neste contexto, em 1900, FERNBACH e HUBERT, em seus estudos sobre atividade enzimática, descobriram que uma solução de ácido fosfórico parcialmente neutralizado agia como uma “proteção contra mudanças bruscas e/ou repentinas na acidez e alcalinidade”, que descreveram como ação tamponante (FIORUCCI et al., 2001).

Esta resistência à mudança na concentração hidrogeniônica livre de uma solução foi também descrita por FELS, em 1904, que ao misturar ácidos fracos com seus sais (ou de bases fracas com seus sais) permitia a obtenção de soluções cuja

acidez ou alcalinidade não era alterada bruscamente pela presença de traços de impurezas ácidas ou básicas nos sistemas em estudo (FIORUCCI et al., 2001).

Posteriormente, o conceito de potencial hidrogeniônico (pH), como conhecemos hoje, foi introduzido por SØRENSEN em 1909. No mesmo ano, HENDERSON apontou o papel fundamental do íon bicarbonato na manutenção da concentração hidrogeniônica do sangue.

Hoje as soluções tampão são definidas como soluções que resistem a mudanças de pH quando a elas são adicionados ácidos ou bases ou quando uma diluição ocorre. Essa resistência é resultado do equilíbrio entre as espécies participantes do tampão, sendo que este é formado a partir da mistura de um ácido fraco e sua base conjugada ou de uma base fraca e seu ácido conjugado (FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004; GUYTON e HALL, 2002; ATKINS e JONES, 2006).

Os tampões têm um papel importante nos processos bioquímicos, nos quais é essencial a manutenção do pH. Assim, muitos processos industriais e fisiológicos requerem um pH fixo à um pequeno intervalo, para que determinada função seja desempenhada.

Os tampões resistem a mudanças no pH, porque essas soluções contêm um componente ácido e um básico em sua constituição. Para se explicar melhor o mecanismo de ação dessas soluções, será considerado o sistema tampão bicarbonato e ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$), que é de grande importância fisiológica, uma vez que controla o transporte de gás carbônico (CO_2) no sangue e o pH do mesmo (FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004).

Sabendo que o sal (bicarbonato de sódio) é um eletrólito forte, em solução aquosa estará completamente dissociado:



O ácido carbônico estará em equilíbrio com seus íons:



A constante de ionização para o ácido carbônico é dada por:

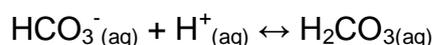
$$K_a = [\text{HCO}_3^-_{(aq)}] \cdot [\text{H}^+_{(aq)}] / [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

É importante ressaltar que, na solução tampão, a principal contribuição para a concentração de ânions bicarbonato, a base conjugada do ácido carbônico, é proveniente do sal.

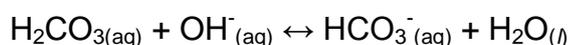
Portanto, o ácido carbônico ioniza-se pouco, e a adição de ânion de bicarbonato à solução fará com que a ionização do ácido carbônico seja ainda menor, pois haverá deslocamento do equilíbrio químico em questão no sentido de formação do ácido carbônico, e não da ionização, devido ao efeito do íon comum (ânion bicarbonato).

Assim, é possível verificar o que acontece com uma solução tampão, composta por ácido carbônico e bicarbonato, quando a ela for adicionado um ácido ou uma base fortes (FIORUCCI et al., 2001; MARCONATO et al., 2004).

Se um ácido for adicionado a um tampão, ocorrerá uma elevação da concentração dos íons H^+ no meio; de acordo com o princípio de *Le Chatelier*, essa perturbação será neutralizada pela base conjugada do tampão (HCO_3^-), restabelecendo o estado de equilíbrio, e o pH da solução irá variar pouco, conforme a equação abaixo:



Se uma base for adicionada a um tampão, ocorrerá uma elevação da concentração dos íons OH^- no meio; de acordo com o princípio de *Le Chatelier*, essa perturbação será neutralizada pelo ácido carbônico do tampão, restabelecendo o estado de equilíbrio, e o pH da solução irá variar pouco, conforme a reação abaixo:



É importante frisar que existe um limite para as quantidades de ácido ou de base adicionadas a uma solução tampão antes que um dos componentes seja totalmente consumido.

De acordo com a Teoria Protônica de G. Lewis (E.U.A.), T. Lowry (Inglaterra) e J. Brønsted (Dinamarca) (CHAGAS, 2000), ácido é uma espécie química doadora de prótons (H^+) e base uma espécie química receptora de prótons. A reação de neutralização seria uma transferência de prótons entre um ácido e uma base. Após o ácido (HA) perder seu próton, diz-se existir como base conjugada (A^-). Da mesma

maneira, uma base protonada é denominada ácido conjugado (BH^+). Segundo a Teoria Protônica, o íon bicarbonato é a base conjugada do ácido carbônico. Para a reação de dissociação do ácido carbônico em meio aquoso, pode-se escrever a seguinte constante de equilíbrio:

$$K_a = [HCO_3^-(aq)] \cdot [H^+(aq)] / [H_2CO_3]$$

Rearranjando essa expressão, tem-se:

$$[H^+(aq)] = K_a \cdot [H_2CO_3] / [HCO_3^-(aq)]$$

Aplicando-se \log_{10} em ambos os lados da expressão e multiplicando-as por (-1) obtém-se:

$$\log_{10} [H^+(aq)] = \log_{10} K_a \cdot [H_2CO_3] / [HCO_3^-(aq)]$$

$$\log_{10} [H^+(aq)] = \log_{10} K_a + \log_{10} [H_2CO_3] / [HCO_3^-(aq)] \quad (-1)$$

$$- \log_{10} [H^+(aq)] = - \log_{10} K_a - \log_{10} [H_2CO_3] / [HCO_3^-(aq)]$$

$$- \log_{10} [H^+(aq)] = - \log_{10} K_a + \log_{10} [HCO_3^-(aq)] / [H_2CO_3]$$

E como por definição $pK_a = - \log_{10} K_a$ e $pH = - \log_{10} [H^+]$, tem-se:

$$pH = pK_a + \log_{10} [HCO_3^-(aq)] / [H_2CO_3]$$

$$pH = pK_a + \log_{10} [BASE CONJUGADA] / [ÁCIDO]$$

No caso de uma solução tampão preparada a partir de uma base fraca e seu ácido conjugado, a expressão assume a seguinte configuração:

$$pH = pK_b + \log_{10} [ÁCIDO CONJUGADO] / [BASE]$$

Esta é a equação de Henderson-Hasselbalch, extremamente útil no preparo de soluções tampões, pois além de permitir encontrar a proporção exata dos

constituintes para a obtenção do pH desejado, possibilita estimar variações no pH dos sistemas tampões, quando da adição de H^+ ou de OH^- .

APÊNDICE G**ATIVIDADE 1**

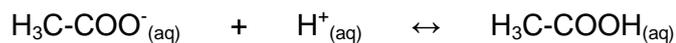
Nomes: _____ **Data:** ____/____/____.

Conhecendo o que vocês pensam...

Com o objetivo de melhor entender o que vocês pensam a respeito de determinados fenômenos, peço-lhes que, em dupla, respondam ao que é solicitado abaixo. Caso vocês não cheguem a um consenso, não há problema em apresentar as diferentes ideias de cada um da dupla, mesmo que divergentes. O importante, no entanto, é que vocês tentem, ao máximo, chegar a um consenso, argumentando em defesa das próprias explicações para o que é solicitado.

Professor Rodrigo Veiga Rosa

Proponha um modelo, em nível submicroscópico, por meio de desenhos e explicações escritas, que ilustre o sistema representado abaixo. Suponha que lhe fosse possível visualizar as espécies envolvidas.



APÊNDICE H

ATIVIDADE 2

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

1. Visão de Um Sistema Através de Objetos e Eventos

1.1. Introdução

Ao olharmos a nossa volta agora, percebemos que o mundo é constituído por uma série de objetos, tais como pessoas, cadeiras, mesas, canetas ou cadernos. Também são percebidos, juntamente com tais objetos, ambientes nos quais eles estão inseridos. Um exemplo de ambiente é a atmosfera. Dessa forma, consideraremos, nestas atividades, o mundo ao nosso redor como sendo um sistema constituído de elementos que são objetos e ambientes.

Antes de adentrarmos os sistemas submicroscópicos – a nível molecular –, para entender o mecanismo de tamponamento, gostaria de ver se estão bem claros a vocês os conceitos de objetos e ambientes.

Exercício 1: Listando os elementos de um sistema.

Tente listar alguns elementos relevantes constituintes do sistema “*campo de futebol, durante um jogo de futebol*”.

As interações entre os elementos do sistema geram eventos, que, em conjunto, determinam o comportamento do sistema. Eventos são acontecimentos que podem ocorrer em um sistema, tais como, caminhar, correr, saltar, comer etc.. Cada sistema possui seus eventos específicos.

Assim, neste contexto define-se:

- **objetos**: elementos de um sistema que podem interagir entre si e

- **eventos**: os acontecimentos provenientes da interação entre os objetos.

Exercício 2: Listando os eventos de um sistema.

Faça uma lista dos eventos que podem ocorrer no sistema “*campo de futebol, durante um jogo de futebol*”.

Neste contexto, os eventos são entendidos como sendo gerados por regras específicas associadas. Assim, uma regra pode ser entendida como aquilo que determina o

comportamento de um determinado objeto frente a uma determinada situação. O conjunto de várias regras acontecendo ao mesmo tempo gera o comportamento do sistema.

Imagine os diferentes eventos (acontecimentos) ocorridos durante uma partida de futebol. Tais eventos seriam gerados por regras, como por exemplo:

Se o caminho está livre para jogador, **então** o jogador corre.

Se o jogador está com bola, **então** o jogador chuta a bola.

Percebe-se que as regras possuem a seguinte estrutura:

SE [condição inicial], **ENTÃO** [resultado]

Importante perceber que deve haver uma relação entre aquilo que deu origem ao evento e o resultado do mesmo.

Exercício 3: Aplicando a teoria de “Objetos e Eventos” à sistemas submicroscópicos.

Agora que vocês já tiveram uma noção introdutória sobre objetos e eventos, precisamos avançar um pouco mais. Para isso, vamos listar os objetos relevantes e os possíveis eventos referentes ao sistema $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$, que ocorre, por exemplo, em sangue de mamíferos. Nesse sentido, tentem representar o sistema e seu comportamento a nível submicroscópico, em um sistema fechado. Bom trabalho!

Objetos

Eventos

APÊNDICE I

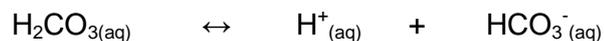
ATIVIDADE 3

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

OS SISTEMAS-TAMPÕES

Inicialmente é necessário revisar alguns conceitos básicos, para melhor compreender como funcionam os tampões.

Ácidos e bases – Existem várias teorias sobre ácidos e bases, mas a que melhor se adéqua aos nossos propósitos agora é a definição de Brownstead e Lery, na qual um ácido é uma substância capaz de liberar prótons H⁺ e uma base é uma substância capaz de captar esses prótons. Um ácido, em solução, apresenta-se em equilíbrio com a sua base conjugada. Tomemos como exemplo o H₂CO₃.



O bicarbonato (HCO₃⁻) é a base conjugada do ácido carbônico (H₂CO₃).

Sistema tampão – É um sistema que contém substâncias capazes de minimizar alterações de pH do meio em que elas estão. O mais importante sistema-tampão do nosso organismo é o do bicarbonato (HCO₃⁻).

Nesse sentido, tente representar, utilizando a teoria de “Objetos e Eventos”, o sistema tampão bicarbonato e seu comportamento, a nível submicroscópico, em um sistema fechado, nos seguintes casos:

1- O íon bicarbonato “livre”.

2- O que ocorreria com o sistema representado anteriormente, em termos do equilíbrio químico, em relação às substâncias, se a esse sistema fosse adicionado íons H⁺?

3- Indique como se comportaria o sistema idealizado na questão 2, se adicionássemos a ele uma base forte, como o NaOH.

APÊNDICE J

ATIVIDADE 4

Nomes: _____ Data: ____/____/____.

A Representação de Objetos e Eventos no Computador

1 INTRODUÇÃO

Existem várias maneiras de representar um sistema da natureza no computador possibilitando a observação do seu comportamento ao longo do tempo. Uma destas maneiras é construir um modelo do sistema e representá-lo através de uma ferramenta, ou ambiente, de modelagem computacional. Neste estudo utilizaremos o Ambiente de Modelagem Computacional ModeLab². Este ambiente é baseado no conceito de “Objetos e Eventos”, no qual diversos sistemas da natureza podem ser representados através da especificação dos objetos que constituem o modelo e dos eventos que ocorrem com estes objetos.

No ModeLab² os objetos podem ser de dois tipos: os *Atores* e os *Cenários*. Os atores são objetos que podem se mover na *Grade de Visualização*, e os *Cenários* são objetos que não possuem a propriedade de movimento. Os *Cenários* podem ser definidos como os locais por onde os *Atores* podem passar.

2 UTILIZANDO O AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL MODELAB²

Inicie o ModeLab² clicando duas vezes no seu ícone localizado na tela do computador. Na sua inicialização aparecem algumas janelas iniciais que podem ser fechadas por não serem importantes.

2.1 A tela principal do ModeLab² é composta por várias partes (Figura 01), sendo que cada uma tem uma função específica.

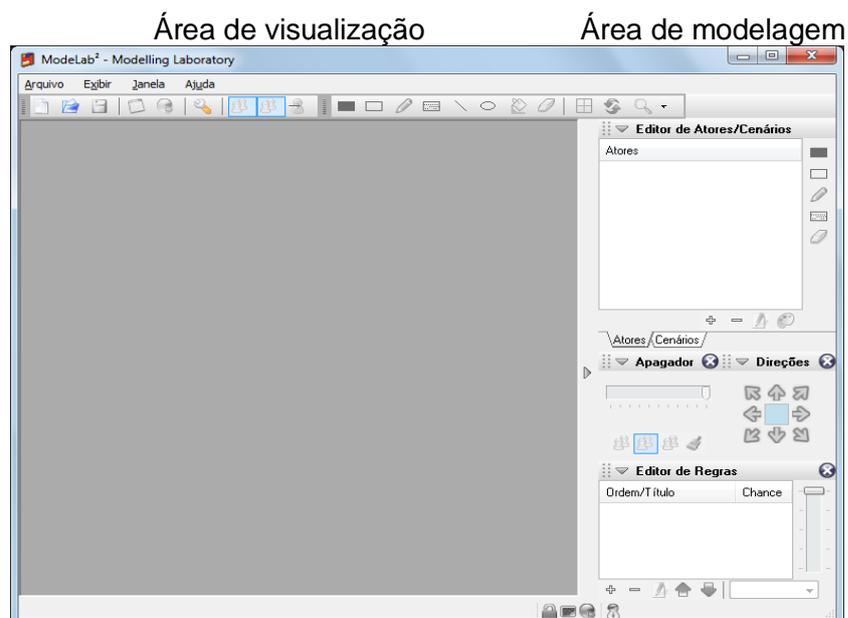


Figura 4: Tela principal do ModeLab².

2.2 A Representação de Objetos e Eventos no Computador, um exemplo.

Vamos estudar a difusão de um gás através de um modelo bem simples. Com o desenvolvimento deste modelo será possível observar as partículas do gás se movendo e ocupando homogeneamente o recipiente após certo tempo.

O modelo “Gás-Recipiente” possui as seguintes características:

- Sistema

Gás confinado em um recipiente.

- Descrição

As partículas de um gás se movem aleatoriamente e colidem entre si e com as paredes do recipiente.

- Atores

Partícula e *Parede* do recipiente.

- Cenário

Nenhum.

- Eventos

1. *Partícula* se move aleatoriamente.
2. *Partícula* rebate em *Partícula*.
3. *Partícula* rebate em *Parede*.

- Regras

1. Se *Partícula* ao lado de local vazio, então *Partícula* se move aleatoriamente.
2. Se *Partícula* bate em *Partícula*, então elas trocam de direção entre si.
3. Se *Partícula* bate em *Parede*, então ela muda a direção de acordo com o ângulo de incidência.

- Regras no ModeLab²

Passo 1	Passo 2	Passo 3
1. <i>Partícula</i> ao lado de sem ator.	Muda posição de <i>Partícula</i> .	<i>Partícula</i> se move aleatoriamente.
2. <i>Partícula</i> ao lado de <i>Partícula</i> .	Muda direção de <i>Partícula</i> .	<i>Partículas</i> trocam de direção entre si.
3. <i>Partícula</i> ao lado de <i>Parede</i> .	Muda direção de <i>Partícula</i> .	<i>Partícula</i> rebate.

Este modelo terá dois atores e três eventos. Note que todas as regras pertencem ao Ator “*Partícula*”. O próximo passo é a implementação do modelo no ambiente ModeLab², para isso basta abrir o ModeLab² e criar um novo arquivo indo ao menu **Arquivo>Novo**. Assim, será criada uma *Grade de Visualização* vazia. Neste momento o *Editor de Objetos* e *Editor de Regras* são habilitados.

Agora, vá ao menu **Arquivo>Salvar** e salve o arquivo com o nome “gás_recipiente_NOME.mdl2”.

O passo seguinte é inserir os objetos que farão parte do modelo do sistema a ser estudado. Para isso, selecione a aba dos *Atores* e clique no botão **+**. Selecione uma imagem que represente o Ator “*Partícula*”, e dê esse nome a ele.

Agora adicione outro Ator que possa representar uma parede. Repita os procedimentos referentes ao objeto “*Partícula*”.

O próximo passo é criar as regras para cada objeto. No modelo em questão, apenas o objeto “*Partícula*” possui movimento, assim selecione este Ator no *Painel dos Objetos*, vá ao painel das regras e clique no botão de adição de regras, indicado pelo sinal **+**.

Para as regras da Tabela anterior a construção dos passos é descrita a seguir.

1. Partícula se move aleatoriamente.

Passo 1: *Partícula* ao lado de *sem ator* – Clique e arraste o objeto especial “*Sem Ator*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Clique na opção *Posição do Ator*.

Passo 3: *Partícula* se move – Selecione a opção *pular para*.

2. Partícula rebate em Partícula

Passo 1: *Partícula* ao lado de *Partícula* – Clique e arraste “*Partícula*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Muda a direção de *Partícula* e *Partícula* – Clique na opção *Direção de Partícula e Partícula*.

Passo 3: Trocar direções – Selecionar a opção disponível.

3. Partícula rebate em Parede

Passo 1: *Partícula* ao lado de *Parede* – Clique e arraste “*Parede*” para a célula da direita na condição inicial.

Passo 2: Muda a Direção de *Partícula* – Clique na opção *Direção de Partícula*.

Passo 3: Muda a direção de *Partícula* – Clique no efeito Rebater.

Após a criação das regras, faça um desenho na grade de visualização da seguinte forma: uma borda com o *Ator* “*Parede*” e um quadrado no centro da Grade de visualização com o *Ator* “*Partícula*”.

Tendo feito o desenho na grade, clique no botão Iniciar para simular o modelo.

Se o comportamento do modelo não estiver satisfatório, reveja as regras que você criou anteriormente.

3. REPRESENTAÇÃO DO MECANISMO DE TAMPONAMENTO NO COMPUTADOR

Agora que você já teve a oportunidade de verificar, em linhas gerais, como funciona o ModeLab², faça o que se pede a seguir.

Construa um modelo que represente o mecanismo de ação tamponante do íon bicarbonato (HCO_3^- (aq)) e do ácido carbônico (H_2CO_3 (aq)) em equilíbrio químico.

Demonstre, em seu modelo, por que pequenas adições de H^+ ou OH^- não modificam o pH da solução.

Desenvolva seu modelo discutindo suas ideias com o seu colega de dupla.

1º Passo – Definição do sistema a ser estudado.

2º Passo – Escolha do fenômeno de interesse.

3º Passo – Listagem dos objetos relevantes.

4º Passo – Classificação dos objetos listados em Atores e Cenários.

5º Passo – Construção das regras através das interações entre os objetos.

6º Passo – Na tabela abaixo, represente as regras listadas no 5º Passo de detalhando os 3 Passos de Construção de Regras exposto no início desta atividade.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)

7º Passo - Representação das Interações no Ambiente ModeLab².

- Construa o modelo no ModeLab².

8º Passo - Simulação

- Simule o modelo no Modelab² e observe o seu comportamento.

9º Passo - Validação do modelo

- Explique o comportamento do modelo.

- O comportamento do modelo está como o esperado? Explique.

- Caso a resposta seja negativa à questão anterior, e caso queira, procure os possíveis motivos que não levaram o modelo a apresentar o comportamento esperado.

Explique os motivos e faça as modificações que achar necessárias para que o modelo se comporte como o esperado.

AVALIANDO A ATIVIDADE PROPOSTA

Vocês acreditam ter aprendido um pouco mais sobre os conceitos relativos ao Sistema-tampão por meio desta atividade proposta? Justifiquem sua resposta.

APÊNDICE K

Passos da Construção do modelo esperado para o fenômeno de tamponamento

1º Passo – Definição do sistema a ser estudado

Solução-tampão durante uma acidose.

2º Passo – Escolha do fenômeno de interesse

Comportamento dos elementos da solução-tampão durante a adição de pequenas quantidades de ácido.

3º Passo – Listagem dos objetos relevantes

Parede do sistema, ânion bicarbonato, cátion hidrogênio e ácido carbônico.

4º Passo – Classificação dos objetos listados

Atores: Parede do sistema, ânion bicarbonato, cátion hidrogênio e ácido carbônico.

Cenários: Nenhum.

5º Passo – Construção das regras através das interações entre os objetos

Ânion bicarbonato

1. Movimentação do *ânion bicarbonato* em linha reta – Movimentação do *ânion bicarbonato*.

Se ânion bicarbonato ao lado de espaço vazio, então *ânion bicarbonato* se move em linha reta.

2. Colisão entre *ânion bicarbonato* e *parede do sistema* – Interação *ânion bicarbonato - parede*.

Se ânion bicarbonato ao lado de *parede do recipiente*, então *ânion bicarbonato* rebate.

3. Colisão entre *ânion bicarbonato* e *ânion bicarbonato* – Interação *ânion bicarbonato - ânion bicarbonato*.

Se *ânion bicarbonato* ao lado de *ânion bicarbonato*, então há repulsão mútua entre si.

Cátion hidrogênio

4. Movimentação do *cátion hidrogênio* em linha reta – Movimentação do *cátion hidrogênio*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de espaço vazio, então *cátion hidrogênio* se move em linha reta.

5. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *parede do sistema* – Interação *cátion hidrogênio* - *parede*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *parede do recipiente*, então *cátion hidrogênio* rebate.

6. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *cátion hidrogênio* – Interação *cátion hidrogênio* - *cátion hidrogênio*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *cátion hidrogênio*, então há repulsão mútua entre si.

7. Colisão entre *cátion hidrogênio* e *ânion bicarbonato* – Interação *cátion hidrogênio* - *ânion bicarbonato*.

Se *cátion hidrogênio* ao lado de *ânion bicarbonato*, então há formação de *ácido carbônico*.

Ácido carbônico

8. Movimentação do *ácido carbônico* em linha reta – Movimentação do *ácido carbônico*.

Se *ácido carbônico* ao lado de espaço vazio, então *ácido carbônico* se move em linha reta.

9. Colisão entre *ácido carbônico* e *parede do sistema* – Interação *ácido carbônico* - *parede*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *parede do recipiente*, então *ácido carbônico* rebate.

10. Colisão entre *ácido carbônico* e *ácido carbônico* – Interação *ácido carbônico* - *ácido carbônico*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *ácido carbônico*, então há repulsão mútua entre si.

11. Colisão entre *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato* – Interação *ácido carbônico - ânion bicarbonato*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *ânion bicarbonato*, então *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato* trocam direções entre si.

12. Colisão entre *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio* – Interação *ácido carbônico - cátion hidrogênio*.

Se *ácido carbônico* ao lado de *cátion hidrogênio*, então *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio* trocam direções entre si.

Todas as regras deste modelo têm 100% de probabilidade de ocorrência. Assim, foram considerados adequados aqueles modelos em que os estudantes omitiram as probabilidades.

6º Passo – Representação das regras listadas no **5º passo** detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente ModeLab².

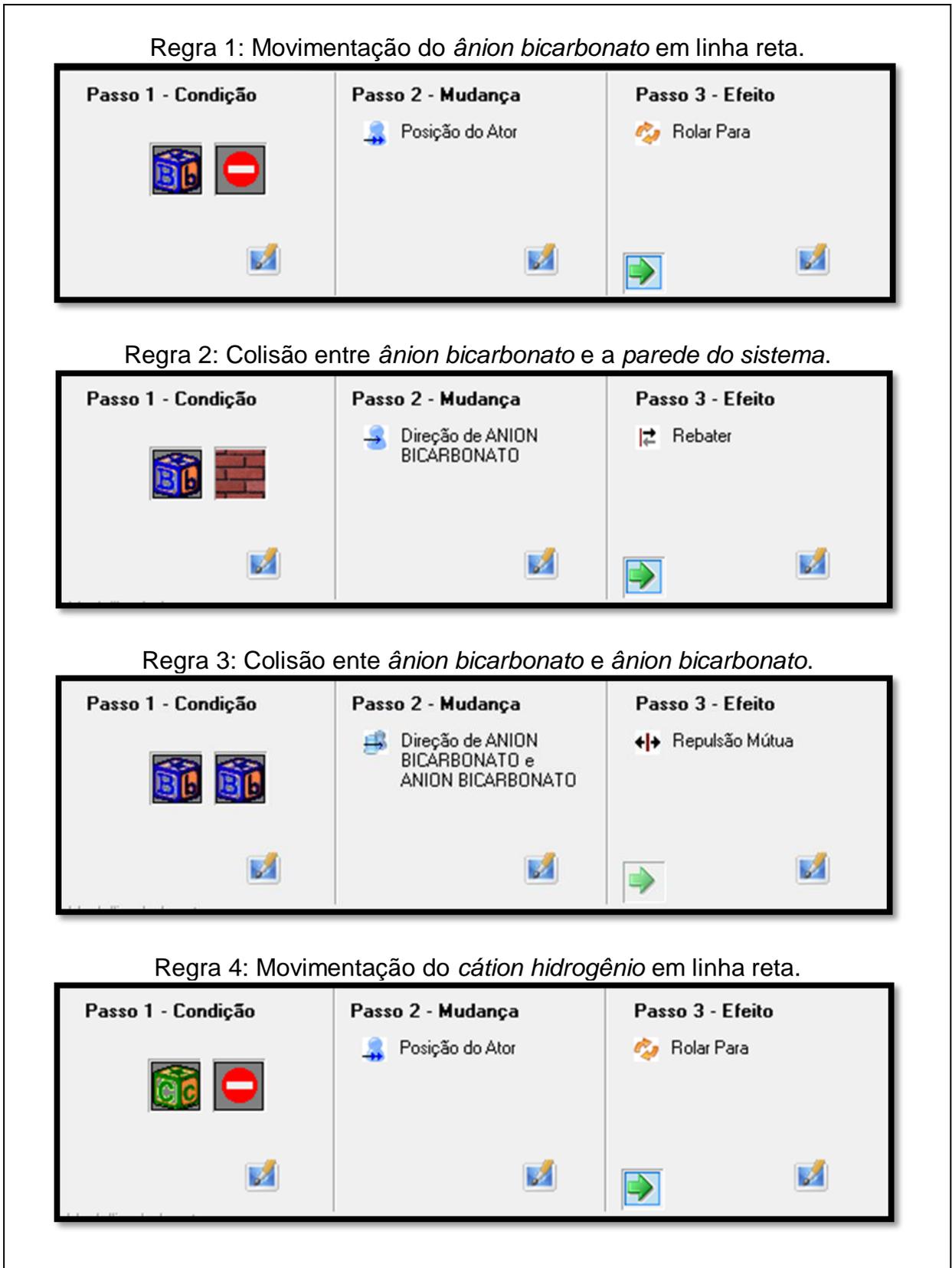
Regra	Passo1 Condição Inicial	Passo 2 Tipo de Mudança	Passo 3 Resultado da Mudança	Probabilidade
1	Ânion bicarbonato ao lado de sem ator	Muda posição de ânion bicarbonato	Ânion bicarbonato se move em linha reta	100 %
2	Ânion bicarbonato ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de ânion bicarbonato	Ânion bicarbonato rebate	100 %
3	Ânion bicarbonato ao lado de ânion bicarbonato	Mudam direções/sentidos ânion bicarbonato e ânion bicarbonato	Há repulsão mútua entre ânion bicarbonato e ânion bicarbonato	100 %
4	Cátion hidrogênio ao lado de sem ator	Muda posição de cátion hidrogênio	Cátion hidrogênio se move em linha reta	100 %
5	Cátion hidrogênio ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de cátion hidrogênio	Cátion hidrogênio rebate	100 %
6	Cátion hidrogênio ao lado de cátion hidrogênio	Mudam direções/sentidos cátion hidrogênio e cátion hidrogênio	Há repulsão mútua entre cátion hidrogênio e cátion hidrogênio	100 %
7	Cátion hidrogênio ao lado de ânion bicarbonato	Mudam cátion hidrogênio e ânion bicarbonato	Muda cátion hidrogênio e ânion bicarbonato por ácido carbônico	100 %
8	Ácido carbônico ao lado de sem ator	Muda posição de ácido carbônico	Ácido carbônico se move em linha reta	100 %
9	Ácido carbônico ao lado de parede do sistema	Muda direção/sentido de ácido carbônico	Ácido carbônico rebate	100 %
10	Ácido carbônico ao lado de ácido carbônico	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e ácido carbônico	Há repulsão mútua entre ácido carbônico e ácido carbônico	100 %
11	Ácido carbônico ao lado de ânion bicarbonato	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e ânion bicarbonato	Ácido carbônico e ânion bicarbonato trocam direções entre si	100 %
12	Ácido carbônico ao lado de cátion hidrogênio	Mudam direções/sentidos ácido carbônico e cátion hidrogênio	Ácido carbônico e cátion hidrogênio trocam direções entre si	100 %

Quadro 2: Representação das regras detalhando os três passos de construção de regras no formato do Ambiente Modelab².

7º Passo – Representação das interações no Ambiente Modelab²

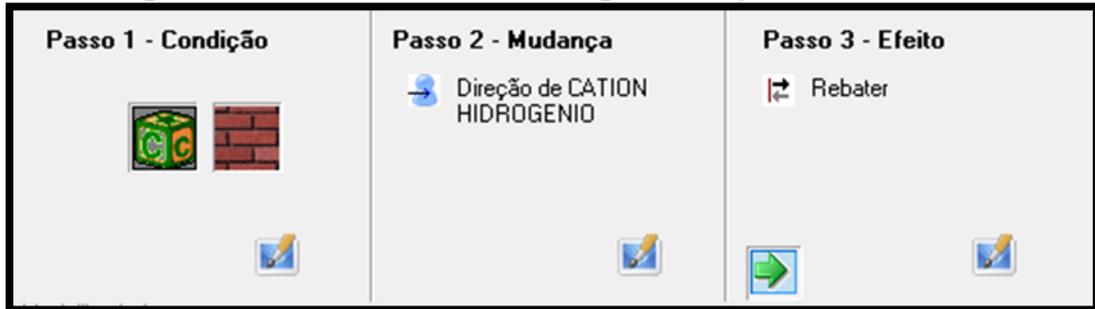
Conforme descrito anteriormente, construir o modelo significa “programar” o ambiente Modelab² de forma que seja possível realizar a simulação a partir da qual se poderá observar a evolução temporal do modelo. Esta “programação” consiste em criar os objetos, criar as regras de interação e dispor os objetos na grade de simulação e visualização de maneira adequada.

O resumo das regras do modelo desejado para o fenômeno de tamponamento é apresentado nos quadros 3, 4 e 5.

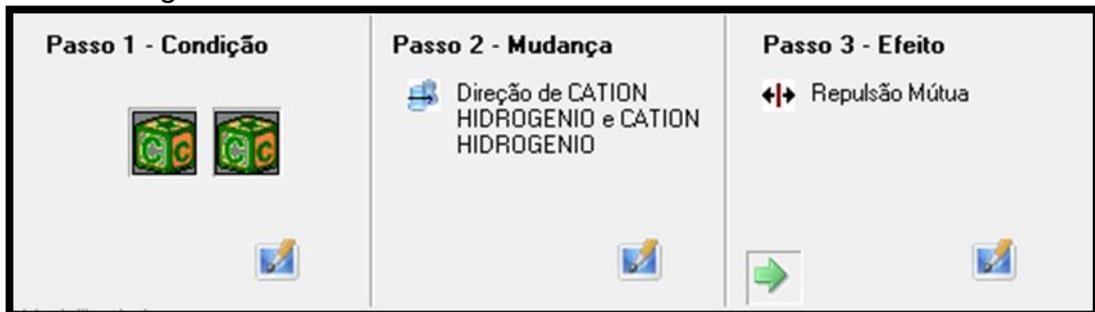


Quadro 3: Resumo das regras 1 a 4, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

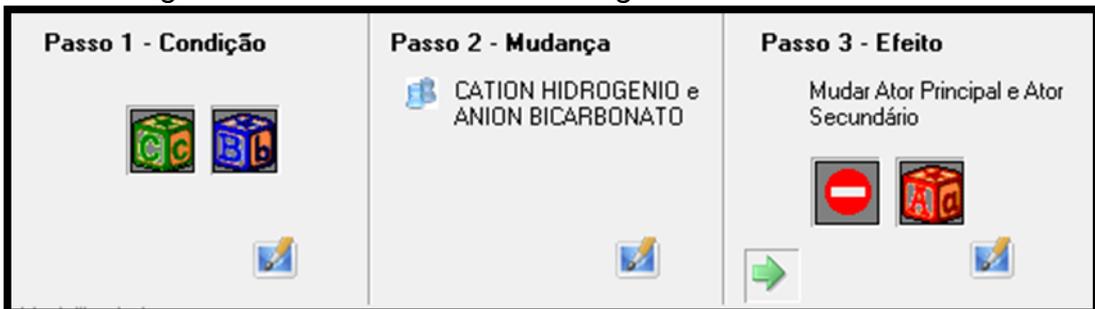
Regra 5: Colisão entre *cátion hidrogênio* e a *parede do sistema*.



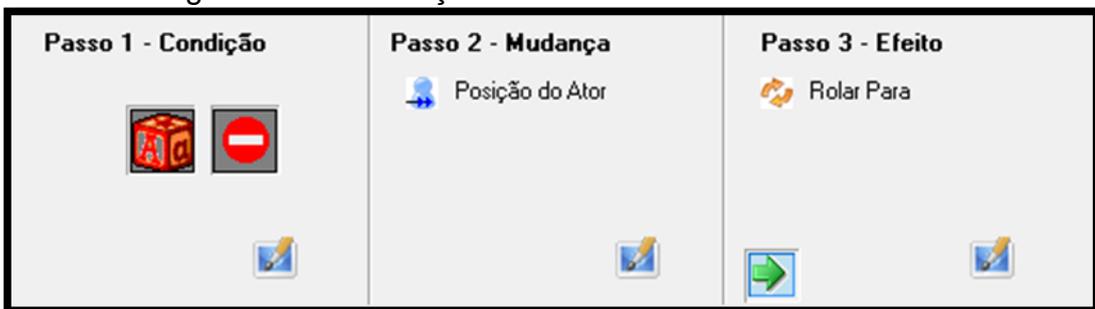
Regra 6: Colisão ente *ânion bicarbonato* e *ânion bicarbonato*.



Regra 7: Colisão entre *cátion hidrogênio* e *ânion bicarbonato*.



Regra 8: Movimentação do *ácido carbônico* em linha reta.



Quadro 4: Resumo das regras 5 a 8, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

Regra 9: Colisão entre *ácido carbônico* e a *parede do sistema*.

Passo 1 - Condição	Passo 2 - Mudança	Passo 3 - Efeito
	 Direção de ACIDO CARBONICO	 Rebater
		 

Regra 10: Colisão entre *ácido carbônico* e *ácido carbônico*.

Passo 1 - Condição	Passo 2 - Mudança	Passo 3 - Efeito
	 Direção de ACIDO CARBONICO e ACIDO CARBONICO	 Repulsão Mútua
		 

Regra 11: Colisão entre *ácido carbônico* e *ânion bicarbonato*.

Passo 1 - Condição	Passo 2 - Mudança	Passo 3 - Efeito
	 Direção de ACIDO CARBONICO e ANION BICARBONATO	 Trocar direções
		 

Regra 12: Colisão entre *ácido carbônico* e *cátion hidrogênio*.

Passo 1 - Condição	Passo 2 - Mudança	Passo 3 - Efeito
	 Direção de ACIDO CARBONICO e CATION HIDROGENIO	 Trocar direções
		 

Quadro 5: Resumo das regras 9 a 12, do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*. Todas as regras têm 100 % de probabilidade de ocorrência.

É importante ressaltar que na configuração inicial do modelo espera-se que os estudantes disponham os atores ânion bicarbonato e, posteriormente, cátion hidrogênio, sobre a grade e façam com que o ator parede do sistema contenha (circunde) àqueles atores, como por exemplo, é representado na figura 4. Não há restrições quanto à forma do recipiente ou quanto à densidade de ocupação do recipiente pelos íons e/ou moléculas.

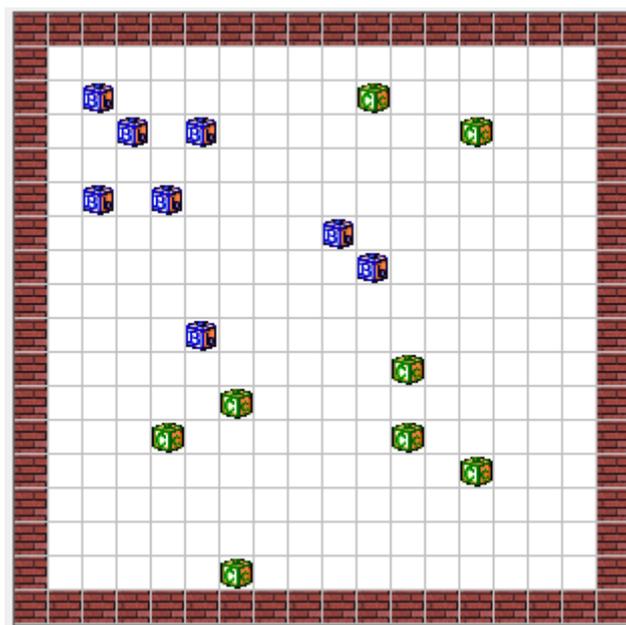


Figura 5: Exemplo de configuração inicial para o modelo aqui em estudo.

8º Passo – Simulação

Simulando o modelo no ModeLab² poderá ser observado o comportamento do mesmo.

A figura 5 mostra uma sequência da simulação do modelo *Solução-tampão durante uma acidose*, em quatro passos temporais.

9º Passo – Validação do modelo

Após chegar à versão final do modelo: Ele está como você esperava?

() Sim.

() Não.

Explique.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o ambiente** / Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro – 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006. 968p.

BORGES, A. T. **Como evoluem os modelos mentais**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 1, n.1, 1999. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/15/41>. Acessado em 20 de junho de 2012.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Um estudo exploratório sobre a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte de professores de Física do ensino médio**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba – 2008. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0110-1.pdf>. Acessado em 25 de Junho de 2012.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Fundamental (SEF). **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEF, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **OCNEM: Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2006.

CAMILETTI, G.; FERRACIOLLI, L. **Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6681/6148>. Acessado em 28 de Junho de 2012.

CHAGAS, A. P. **O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX**. Química Nova, v. 23, n.1, p. 126-133, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2156.pdf>. Acessado em 05 de agosto de 2012.

COSTA, R. G.; PASSERINO, L. M. **Uma proposta pedagógica para o uso da modelagem computacional no curso de licenciatura em Química do CEFET – Campos**. *CINTED-UFRGS Novas Tecnologias na Educação*, v. 6, n. 2, 2008.

DAMASCENO, H.C.; BRITO, M.S.; WARTHA, E.J. **As representações mentais e a simbologia química**. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química – XIV ENEQ, 2008. 12p. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0623-1.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

FEHSENFELD, K. M. **A Representação de Fenômenos de Cinética de Gases Utilizando o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativa ModeLab²: Um Estudo Exploratório com Estudantes Ingressantes na Educação Superior**. 2010. 288p. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal do Espírito Santo.

FERRACIOLI, Laercio. **Ambientes Computacionais para o Aprendizado Exploratório em Ciência**. Projeto de pesquisa mantido pelo CNPq – Contrato 46.8522/00-0. 2004.

FERREIRA, P. F. M. **Modelagens e suas contribuições para o ensino de ciências: Uma análise no estudo de equilíbrio químico**. 2006. 165p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

FERREIRA, P. F. M; JUSTI, R. S. **Modelagem e o “Fazer Ciência”**. Química Nova na Escola, n. 28, p. 32-36, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/08-RSA-3506.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **O conceito de solução tampão**. Química Nova, n.13, 2001.

GILBERT, J. K. e BOULTER C. J. **Aprendendo ciências através de modelos e modelagem**. In: COLINVAUX, D. (Ed.). Modelos e educação em ciências. Rio de Janeiro: Ravil, 1998.

GOMES, T. **A Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários**. 2003. 220f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Espírito Santo.

GOMES, T. S. **A Modelagem Computacional Qualitativa através do Ambiente ModeLab²: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários Desenvolvendo Atividades de Modelagem Expressiva sobre Tópicos de Ciências**. 2008. 253 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Física. Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo.

GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. **A Investigação da Construção de Modelos no Estudo de um Tópico de Física utilizando um ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 453-461, abr. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a08v28n4.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2012.

GOMES, T.; FERRACIOLLI, L. **Investigação sobre a Interação de Estudantes Universitários com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker**. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE – UFJF – 2005. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/436/422>. Acessado em 30 de Junho de 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. **Tratado de Fisiologia Médica / Tradução de: Charles Alfred Esbérard, Fernando Diniz Mundim, Franklin David Rumjanek, Lélis Borges do Couto, Giuseppe Taranto, Mira de Casrilevitz Engelhardt, Nádia Vieira Rangel e Patricia Lydie Voeux – 10ª edição - Editora Guanabara Koogan S. A., 2002.**

KURTZ, A. C. **Introdução a Modelagem Computacional na Educação**. Rio Grande: Editora da Furg – Brasil. 1995.

MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M.; PEDRO, R. J. **Solução tampão: uma proposta experimental usando materiais de baixo custo**. *Química Nova na Escola*, n. 20, p. 59-62, 2004.

MELLAR, H. BLISS, J. (1994) **Introduction: Modelling and Education**. In: Mellar, H. Bliss, J. Boohan, R. Ogborn, J. Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press, London Washington, D.C., Cap 1, p.1-7, 1994.

MENDONÇA, P. C. C. **Ligando as ideias dos alunos à Ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 2008. 241p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

MOREIRA, M. A. **Modelos mentais**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 3, 1996. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 17 de maio de 2012.

OGBORN, J. **Overview: The Nature of Modelling**. In: MELLAR, Harvey (org.). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: The Falmer Press, 1994, p. 11-15.

OLIVEIRA, R. R de. **O estudo da modelagem computacional qualitativa através do fenômeno de difusão de gás: um estudo exploratório com estudantes universitários**. 2006. 241p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Espírito Santo. p. 12-34.

RAMPINELLI, M.; FERRACIOLLI, L. **Estudo do fenômeno colisões através da modelagem quantitativa**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, nº 1, p. 93-122, 2006. Disponível em:

<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6292/12775>. Acessado em 26 de julho de 2012.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. **Desenvolvimento de habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em Química**. Experiências em Ensino de Ciências, v. 4, n.1, p. 65-78, 2009.

SANGER, M. J.; BADGER II, S.M. (2001) **Using Computer-Based Visualization Strategies to Improve Students' Understanding of Molecular Polarity and Miscibility**. Journal of Chemical Education, 78(10), 1412-1426.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M.; SERRANO, A. **Uso do software DICEWIN na Química Geral**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v.3, n.1, p. 58-69, 2003.

SANTOS, F. M.; GRECA, I. M. **Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Porto Alegre, v. 4, n. 1, 2005. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART7_Vol4_N1.pdf. Acessado em 20 de junho de 2012.

SANTOS, J. R. G. **Investigação do uso de atividades de modelagem computacional no ensino integrado de Física e de Matemática**. 2009. 109p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Brasileira. Centro de Educação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SOUZA, K. A. de F. D.; CARDOSO, A. A. **Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula**. Química Nova na Escola, n. 27, 51-56, 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc27/08-peq-3106.pdf>. Acessado em 12 de junho de 2012.

VIANA, A. P. P. **Estratégias de ensino-aprendizagem de conceitos relacionados ao tema equilíbrio químico utilizando modelagem e modelos.** 2010. 166p. Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília.