

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

**O PAPEL DA INVESTIGAÇÃO NA COMPREENSÃO DO
COMPORTAMENTO DAS SOLUÇÕES TAMPÃO**

CHARLES COSER DE MATOS

Porto Alegre, 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

CHARLES COSER DE MATOS

**O PAPEL DA INVESTIGAÇÃO NA COMPREENSÃO DO
COMPORTAMENTO DAS SOLUÇÕES TAMPÃO**

Trabalho de conclusão apresentado junto
à atividade de ensino “Seminários de
Estágio” do Curso de Química, como
requisito parcial para a obtenção do grau
de Licenciado em Química

Profa. Dra. Tania Denise Miskinis Salgado
Orientadora

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVO	3
REFERENCIAL TEÓRICO	4
O papel da experimentação e da investigação na formação do conhecimento científico	4
Dimensões psicológica e sociológica da experimentação	9
Análise crítica das práticas de laboratório habituais	11
A prática de laboratório como investigação	12
METODOLOGIA	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
CONCLUSÃO	29
BIBLIOGRAFIA	30
ANEXOS	32

RESUMO

O presente trabalho consistiu em uma reflexão teórica a respeito da aplicação de atividades práticas de cunho investigativo. O principal objetivo foi evidenciar o papel de tais atividades no aprendizado e na compreensão dos conceitos envolvidos no tema soluções tampão. Procurou-se investigar também o desenvolvimento de habilidades inerentes aos procedimentos envolvidos nas atividades experimentais. O trabalho foi realizado com uma turma de um curso técnico de nível médio na área de Química, em uma disciplina considerada básica para a compreensão dos fenômenos a serem estudados em disciplinas aplicadas.

Palavras-chave: experimentação no ensino de química, experiências investigativas, soluções tampão

ABSTRACT

THE ROLE OF INVESTIGATION IN THE COMPREHENSION OF BUFFER SOLUTIONS BEHAVIOR

This work consisted on a theoretical reflection about the application of practical activities with investigative character. The main objective was to highlight the role of such activities on the learning and comprehension of the concepts involved in the buffer solutions theme. The development of skills inherent to the procedures involved in experimental activities has also been investigated. The work was performed with a class of students of an intermediate level technician course in the chemical area, in a subject considered basic to the comprehension of the phenomena studied in further applied disciplines.

Key words: experimentation in chemistry teaching, investigative experiences, buffer solutions

INTRODUÇÃO

Uma metodologia de ensino constitui-se da junção de intervenções didáticas viáveis na visão do professor. Essas intervenções auxiliam na passagem do conhecimento através do ensino, de forma mais simplificada e estimulante, inserindo os conceitos – químicos, por exemplo – num contexto social e prático vivenciado pelos alunos. Deste modo o aluno pode construir suas representações frente às interpretações conceituais trabalhadas pelo professor no ensino de química.

“Os conhecimentos exigem autonomia e discernimento por parte dos profissionais, ou seja, não se trata somente de conhecimentos técnicos padronizados cujos modos operatórios são codificados e conhecidos de antemão, por exemplo, em forma de rotinas, de procedimentos ou mesmo de receitas. Ao contrário, os conhecimentos profissionais exigem sempre uma parcela de improvisação e de adaptação a situações novas e únicas que exigem do profissional reflexão e discernimento para que possa não só compreender o problema como também organizar e esclarecer os objetivos almejados e os meios a serem usados para atingi-los”. Tardif (1999).

Segundo Tardif (1999), não há uma receita para a elaboração de uma metodologia para os processos de ensino, portanto, é importante que o professor reveja suas aulas com o objetivo de melhorá-las. A utilização da experimentação na prática docente, especificamente no ensino de química, pode ser um recurso importante para diminuir a dificuldade que muitos alunos apresentam para compreender os conceitos trabalhados, e que os professores enfrentam para ensiná-los. Isso porque a utilização da experimentação nas aulas diminui a distância entre as teorias apresentadas pelo professor e a prática dos conhecimentos químicos e tecnológicos.

De acordo com Zanon & Maldaner (2007), existem limitações no Ensino de Química praticado na Educação Básica. As mesmas vêm sendo observadas desde o final da década de 70 do século XX. São exemplos, principalmente, a carência de experimentação e de relação com o cotidiano, além da descontextualização, a linearidade, a fragmentação dos conteúdos de Química, entre outras.

Contudo, é importante questionar o modo como os professores utilizam os recursos experimentais na elaboração de suas aulas, para que a finalidade da aplicação de tal recurso surta real efeito na ensinagem dos fenômenos requeridos, e não apenas sirva de entretenimento para os alunos.

Para Carrascosa, Gil Pérez & Vilches (2006), é essencial que se reavalie o papel da atividade experimental na educação científica, e que se reflita sobre alguns questionamentos a respeito da experimentação no ensino de ciências, tais como: *“Qual deveria ser o papel do trabalho experimental na aprendizagem de ciências? Como reorientar as práticas de laboratório para que deixem de ser simples receitas de aplicar? Que imagem das relações ciência-tecnologia as práticas pretendem transmitir?”*

Na opinião de muitos professores, as experimentações estimulam a curiosidade e as discussões, incentivam reflexões, promovem a elaboração de hipóteses sobre fenômenos cotidianos e favorecem uma maior percepção na relação entre ciência e tecnologia por parte dos alunos. Por isso, uma reavaliação dos procedimentos experimentais utilizados é importante para que os resultados almejados no ensino da química sejam atingidos.

OBJETIVO

O papel da atividade experimental no ensino de ciências, especialmente a química, tem sido debatido e avaliado há mais de trinta anos. Entretanto, as atividades comumente executadas no ensino básico e superior têm sido criticadas por vários autores (Hodson, 1994; Gil Perez & Valdés Castro, 1996).

A atividade experimental frequentemente tem se resumido à execução rigorosa de um procedimento, privando o aluno do processo de análise e elaboração de hipóteses. Essas habilidades cognitivas, que poderiam e deveriam ser trabalhadas nos alunos, podem ser trabalhadas tornando o aluno um agente mais ativo no processo, através de atividades investigativas (Hofstein & Lunetta, 2004). Inserindo o aluno no processo de investigação, este tem a oportunidade de participar da interpretação do problema até a possível solução para ele (Gil Perez & Valdés Castro, 1996; Hodson, 2005).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho de conclusão de curso é analisar o papel da atividade experimental de caráter investigativo na compreensão de conceitos químicos. Particularmente, será estudado o papel destas atividades na compreensão do comportamento e na aprendizagem dos conceitos associados às soluções tampão.

REFERENCIAL TEÓRICO

O papel da experimentação e da investigação na formação do conhecimento científico

A atividade experimental é um dos aspectos chave no ensino e na aprendizagem de ciências, especialmente no ensino de química, que é uma ciência experimental. Há mais de 2300 anos Aristóteles (1979) já defendia a experimentação quando afirmava: “quem possui a noção sem a experiência e conhece o universal ignorando o particular nele contido enganar-se-á muitas vezes no tratamento.” Desde aquela época já se reconhecia o caráter particular da experiência, e de seu papel como elemento imprescindível para se atingir um conhecimento universal. Ter a noção sem a experiência resgata, em certa medida, a temática de se discutir as causas sem ter contato com os fenômenos empíricos, o que significa ignorar o particular e correr o risco de formular explicações equivocadas.

Passados 23 séculos e guardadas as particularidades do contexto em que se aplica a fala de Aristóteles, notamos que muitas propostas de ensino de ciências ainda desafiam a contribuição dos empiristas para a elaboração do conhecimento, ignorando a experimentação ainda como uma espécie de observação natural, como um dos eixos estruturadores das práticas escolares. A elaboração do conhecimento científico apresenta-se dependente de uma abordagem experimental, não tanto pelos temas de seu objeto de estudo, os fenômenos naturais, mas fundamentalmente porque a organização desse conhecimento ocorre preferencialmente nos entremeios da investigação. Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas (Giordan, 1999).

A experimentação ocupou um papel essencial na consolidação das ciências naturais a partir do século XVII, na medida em que as leis formuladas deveriam passar pelo crivo das situações empíricas propostas, dentro de uma lógica sequencial de formulação de hipóteses e verificação de consistência.

Ocorreu naquele período uma ruptura com as práticas de investigação vigentes, que consideravam ainda uma estreita relação da natureza e do homem com o divino, e que estavam fortemente impregnadas pelo senso comum. Segundo Giordan, a experimentação ocupou um lugar privilegiado na proposição de uma metodologia científica que se pautava pela racionalização de procedimentos, tendo assimilado formas de pensamento características, como a indução e a dedução.

Estabelecendo um problema, o cientista ocupa-se em efetuar alguns experimentos que o levam a fazer observações cuidadosas, coletar dados, registrá-los e divulgá-los entre outros membros de sua comunidade, numa tentativa de refinar as explicações para os fenômenos subjacentes ao problema em estudo. O acúmulo de observações e dados, ambos derivados do estágio de experimentação, permite a formulação de enunciados mais genéricos que podem adquirir a força de leis ou teorias, dependendo do grau de abrangência do problema em estudo e do número de experimentos concordantes. Esse processo de formular enunciados gerais à custa de observações e coleta de dados sobre o particular, contextualizado no experimento, é conhecido como indução. O método descrito por Francis Bacon fundamenta a chamada ciência indutivista, que em suas palavras se resume a:

“Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma que consiste em saltar as sensações e das coisas mais particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, em se descobrir os axiomas intermediários a partir desse princípio e da sua imóvel verdade. E outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios de máxima generalidade. Esse é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado.” (Bacon, 1989).

Um exemplo simples de aplicação do método indutivo em situações de ensino pode ser analisado numa atividade de laboratório na qual se pede que vários alunos registrem independentemente a temperatura de ebulição da água. Supondo que esses alunos façam seus experimentos em uma cidade litorânea e que todos eles tenham registrado a temperatura de 100°C, pode-se levá-los à conclusão, pelo método indutivo baseado no acúmulo de evidências experimentais, que a temperatura de ebulição da água é 100°C.

Ainda preocupado em formular uma metodologia científica precisa, René Descartes impôs à experimentação um novo papel, diverso do proposto por seu contemporâneo Bacon. Descartes considerava que o processo dedutivo – reconhecer a influência causal de pelo menos um enunciado geral sobre um evento particular – ganharia mais força na medida em que o percurso entre o enunciado geral e o evento particular fosse preenchido por eventos experimentais:

“Percebi (...) no que concerne às experiências, que estas são tanto mais necessárias quanto mais adiantado se está em conhecimentos. (...) Primeiramente, tentei descobrir, em geral, os princípios e causas primitivas de tudo o que é ou que pode ser no mundo (...). Depois, examinei quais eram os primeiros e mais comuns efeitos que podiam ser deduzidos de tais causas (...). Após isso, quis descer às mais particulares.”

Desse trecho retirado da sexta parte –“que coisas são requeridas para avançar na pesquisa da natureza” – do livro Discurso do Método, percebe-se que há uma inversão na proposta de Descartes para o fazer ciência, comparando-se com aquela feita por Bacon, pois não é mais o acúmulo de evidências particulares que fortalece o enunciado geral, a lei, a teoria.

Partindo-se de um enunciado geral, como “a temperatura de ebulição dos líquidos é função da pressão ambiente” e tendo como fato que ao nível do mar a água ferve a 100°C e numa certa cidade serrana a 96,5°C podemos formular a hipótese de que a temperatura de ebulição da água em uma panela de pressão será maior que 100°C. Como o enunciado apela para a variação da temperatura em função da pressão, e os dados revelam que essa taxa é positiva, (maior pressão, maior temperatura) deduzimos que em um sistema semi-aberto como uma panela de pressão a pressão ambiente será maior e, portanto, será maior também a temperatura de ebulição da água. Qual o papel da experimentação aqui? Confirmar nossa hipótese, uma espécie de carimbo atestando a força do enunciado geral.

Cumpramos destacar a característica de controle que a experimentação passa a exercer com a transformação do conhecimento científico. Esse controle, exercido sobre as variáveis inerentes ao fenômeno de estudo, subsidia a prática empírica de adotar a precisão da medida da variável como critério mais adequado de julgamento do fenômeno, que durante o advento

racionalista da ciência passa a ocupar o lugar da prática aristotélica de privilegiar os sentidos na abordagem do fenômeno. O empírico avança para a compreensão do fenômeno à medida que abstrai os sentidos e se apoia em medidas instrumentais mais precisas, passíveis de reprodução extemporânea. O ataque à filosofia aristotélica no século XVII é completado por Galileu, que atribui à experimentação um papel central no fazer ciência, o de legitimadora (Giordan, 1999).

Esses três pensadores são considerados fundadores da ciência moderna, fundamentalmente por terem combatido o pensamento aristotélico, no qual a experiência tinha base na observação natural, mas também por ter contribuído com a estruturação do que ficou conhecido como método científico, pelo qual a experiência é planejada através de um estratagema racional. Suas ideias fundamentais foram retomadas por Augusto Comte (1983) em seu Curso de Filosofia positiva:

“... indicarei a data do grande movimento impresso ao espírito humano (...) pela ação combinada dos preceitos de Bacon, das concepções de Descartes e das descobertas de Galileu, como o momento em que o espírito da filosofia positiva começou a pronunciar-se no mundo.”

As ideias positivistas influenciaram e ainda influenciam práticas pedagógicas na área de ensino em ciências, sustentadas pela aplicação do método científico. Saber selecionar e hierarquizar variáveis segundo critérios de pertinência para a compreensão dos fenômenos, controlar e prever seus efeitos sobre os eventos experimentais, encadear logicamente sequências de dados extraídos de experimentos são consideradas, na visão positivista, competências de extremo valor para a educação científica do aluno. Nesse contexto, de acordo com Giordan (1999), a experimentação exerce a função não só de instrumento para o desenvolvimento dessas competências, mas também como veículo legitimador do conhecimento científico, na medida em que os dados extraídos dos experimentos constituíam a palavra final sobre o entendimento do fenômeno em causa. Parece ter sido o desenvolvimento dessas competências o principal objetivo da experimentação no ensino de ciências, e de química, em particular, até o final da década de 60, quando os programas de educação científica recebiam uma forte influência do pensamento lógico-positivista e comportamentalista. Tratava-se de aplicar as

regras do método científico nas salas de aula, confiando que a aprendizagem ocorreria pela transmissão dessas etapas ao aluno, que indutivamente assimilaria o conhecimento subjacentemente.

À parte a polêmica sobre o processo de evolução do pensamento científico, podemos identificar, ainda no pensamento de Comte, os prejuízos que a transposição cega, irrefletida, do método científico e o papel atribuído à experimentação nesse tratamento reservam à prática da educação científica. Comte, ao desprezar a teologia e a metafísica, refuta o exercício da busca das causas geradoras dos fenômenos, por acreditar que somente a experimentação pode oferecer a medida de força para as explicações positivas. Priorizando analisar com exatidão as circunstâncias da produção de explicações positivas, Comte adota o rigor empírico como fundamento da prática científica e propõe vincular essas explicações, mediante relações normais de sucessão e similitude. Para os afeitos à cotidianidade da ciência normal, tal proposta pode ser defensável, principalmente porque se sustentam no pragmatismo ingênuo dos acertos e desprezam o erro como estágio inerente do fazer ciência. Para a educação científica, a tese positivista carece de fundamentação científica, por desconsiderar que para o aprendiz a ciência é uma representação do mundo, entre outras tantas, que se revelam de maneira espontânea ou dirigida por uma práxis cultural distinta daquela legitimada pela comunidade científica.

A partir da década de 60, os programas de educação científica passaram a ser influenciados por uma Cultura de pesquisa nessa área, recebendo influência da psicologia cognitiva e da epistemologia estruturalista, entre outras áreas do conhecimento. As atividades de ensino deixaram de ser encaradas como transposições diretas do trabalho de cientistas e o desenvolvimento cognitivo do ser humano foi tomado como parâmetro essencial para a proposição de estratégias de ensino. Nesses termos, os estágios de evolução do pensamento e as ideias prévias do indivíduo arquitetadas num ambiente sociocultural e histórico foram tomados como elementos fundadores da aprendizagem (Mortimer e Carvalho, 1996). A linearidade do método científico de matriz lógico-positivista foi desafiada e assim os elementos organizadores do método foram reavaliados e seus lugares redefinidos.

Dimensões psicológica e sociológica da experimentação

Em seu livro “Formação do Espírito Científico”, Gaston Bachelard (1996) aponta os obstáculos que se apresentam ao sujeito quando em contato com o conhecimento científico, seja por meio de fenômenos, seja no exercício da compreensão. Ao propor que a primeira experiência exigente é a experiência que ‘falha’, Bachelard destaca o papel do erro no progresso da ciência, tanto por se exigir um processo de frenagem do estímulo, o que acalmaria os impulsos do sensível, como também por impulsionar o cientista à precisão discursiva e social, subsidiando o desenvolvimento de técnicas e teorias.

Uma experiência imune a falhas mimetiza a adesão do pensamento do sujeito sensibilizado ao que supõe ser a causa explicativa do fenômeno, em lugar de promover uma reflexão racionalizada. O erro em um experimento planta o inesperado em vista de uma trama explicativa fortemente arraigada no bem-estar assentado na previsibilidade, abrindo oportunidades para desequilíbrio afetivo frente ao novo. Rompe-se com a linearidade da sucessão “fenômeno corretamente observado/medido=>interpretação inequívoca”, verdadeiro obstrutor do pensamento reflexivo e incentivador das explicações imediatas. A chamada psicanálise do erro visa dosar o grau de satisfação íntima do sujeito, substrato indispensável para manter o aluno engajado em processos investigativos. Numa dimensão psicológica, a experimentação, quando aberta às possibilidades de erro e acerto, mantém o aluno comprometido com sua aprendizagem, pois ele a reconhece como estratégia para a resolução de uma problemática da qual ele toma parte diretamente, formulando-a, inclusive.

O segundo argumento de Bachelard em favor do ‘experimento exigente’ é igualmente aplicável às situações de aprendizagem: a busca de uma precisão discursiva e social. Poderíamos nos ater às questões dos instrumentos de observação/medição do fenômeno, mas estaríamos nesse caso fadados a permanecer em discussões tecnicistas sobre a medida experimental. Importa, neste momento, desvelar a noção de representação do conhecimento para os processos de aprendizagem. Em primeiro plano, sendo a ciência uma construção humana, deve-se reconhecer que no fazer ciências e

desenvolve um processo de representação da realidade em que predominam acordos simbólicos e linguísticos num exercício continuado de discursos mentais, íntimos ao sujeito, e discursos sociais, propriedade do coletivo. A falha do experimento alimenta esse exercício, por mobilizar os esforços do grupo no sentido de corrigir as observações/medições; por desencadear uma sucessão de diálogos de natureza conflituosa entre o sujeito e o outro e com seus modelos mentais, e por colocarem dúvida a veracidade do modelo representativo da realidade. A decorrência possível desse movimento é um novo acordo para se ter acesso e para representar o fenômeno, que altera o quadro dialógico do sujeito com a realidade.

O que se busca com o 'experimento exigente' e aqui o professor ocupa um lugar estratégico, é um acordo na direção do que é cientificamente aceito e, portanto, dialogável com a comunidade científica. Esse exercício social de precisão discursiva não foi priorizado pelas propostas de ensino de ciências quando se tentou aplicar o método da redescoberta, acreditando-se que o acesso ao fenômeno e a seus instrumentos de observação/medição cumpriria os objetivos do ensino, meramente reprodutórios da 'realidade positiva'. Ao se incentivar os alunos a expor suas ideias acerca do fenômeno, que estão no plano da subjetividade, desencadeia-se um processo pautado na intersubjetividade do coletivo, cujo aprimoramento fundamenta o conhecimento objetivo. O processo de objetivação do conhecimento, por ser uma necessidade social, deve ser um eixo central da prática educativa e aqui a experimentação desempenha um papel de fórum para o desenvolvimento dessa prática.

Mais recentemente o tema aprendizagem colaborativa (Johnson, Johnson & Holubec, 1995) vem sendo amplamente debatido na literatura de ensino de ciências, a partir do que podemos depreender que é necessário criar oportunidades não somente para a realização de experimentos em equipe, mas também para a colaboração entre equipes. A formação de um espírito colaborativo de equipe pressupõe uma contextualização socialmente significativa para a aprendizagem, do ponto de vista tanto da problematização (temas socialmente relevantes) como da organização do conhecimento científico (temas epistemologicamente relevantes). Novamente cabe ao professor papel de líder e organizador do coletivo, arbitrando os conflitos

naturalmente decorrentes da aproximação entre as problematizações socialmente relevantes e os conteúdos do currículo de ciências.

Análise crítica das práticas de laboratório habituais

A ideia de buscar na atividade experimental uma alternativa ao ensino puramente livresca e a solução à falta de interesse pela aprendizagem de ciências já é antiga. De fato, já faz parte da intuição básica da maioria dos professores de ciências e dos próprios alunos, que o ensino através da experimentação seria a chave para a familiarização com a atividade científica. Entretanto o uso dessa chave tem sido dificultada, afirma-se, por fatores externos (falta de infra-estrutura e materiais adequados, excesso de alunos, etc...).

Essa ideia influenciou notavelmente o mundo anglo-saxão, que nos anos 60 e 70 elaboraram e puseram em prática numerosos projetos de aprendizagem por experimentação. Desses projetos derivaram inclusive protótipos de equipamentos e variações de trabalhos experimentais que se estenderam por vários países, entre eles o Brasil, que esteve sob forte influência norte-americana durante esse período.

Mas, até que ponto essas práticas contribuíram e contribuem para a dita familiarização? É importante analisar essa questão mediante uma cuidadosa análise das práticas habituais, porque podemos supor que o problema principal não seja o número de práticas realizadas, e sim a natureza das mesmas.

Diversos autores, dentre eles Gil Pérez (1996), Hodson (1994) e Lunetta (2004), têm descrito as práticas habituais como que tendo caráter de simples receita, dando ênfase principalmente a medições e cálculos, priorizando a obtenção de habilidades como usar aparelhos, e seguir corretamente um roteiro, ao invés de instigar o aluno a pensar sobre o fenômeno e formular hipóteses sobre ele.

Essa concepção empírico-indutivista da ciência tem grande influência sobre os professores de ciências e conseqüentemente sobre a metodologia destes quanto à realização de experimentos. Esta visão empobrecida da ciência é muito evidente quando o trabalho experimental se realiza, como é frequente, com o propósito de observar algum fenômeno para extrair dele

algum conceito. Não se indicam as questões a que se pretende dar resposta (o que contribui para uma visão aproblemática da ciência), nem se discute seu possível interesse e relevância social (visão descontextualizada, socialmente neutra), nem se procede a tentativa de hipóteses suscetíveis a serem postas à prova mediante modelos concebidos previamente, sem que se peça aos alunos que sigam um algoritmo detalhado, onde falta a análise crítica dos resultados obtidos.

Em resumo, o trabalho experimental não só tem uma pobre presença no ensino de ciências, como a orientação das escassas práticas conduz a uma visão distorcida e empobrecida da atividade científica.

A prática de laboratório como investigação

É consenso entre os pesquisadores que a atividade experimental deve ser reorientada, tornando-as mais investigativas (Gil Pérez, 1996). Esse consenso existe, mas é necessário ir mais adiante e mostrar de forma concreta, com exemplos ilustrativos, o que cada um entende por prática como investigação. Caso contrário, corremos o risco de que a dita expressão não passe de um mero slogan, atrativo, mas pouco operacional, tendo em vista a realidade dos professores, que continuam dando pouca atenção às práticas de laboratório.

De acordo com Carrascosa, Gil Pérez & Vilches (2006), uma prática de laboratório que pretenda aproximar-se de uma investigação tem de deixar de ser um trabalho puramente experimental e integrar muitos outros aspectos da atividade científica, igualmente essenciais. Resumidamente são listados a seguir alguns aspectos considerados pelo autor como fundamentais para poder falar de uma orientação investigativa da aprendizagem de ciências e, neste caso, das práticas. Cabe salientar que esses aspectos não constituem um algoritmo que deva ser seguido de forma linear, mas são lembretes da extraordinária riqueza da atividade científica contra os já habituais reducionismos.

- 1- Apresentar situações problema abertas, de um nível de dificuldade adequado, de forma que os alunos possam tomar decisões para sistematizá-las, transformando-as em problemas específicos.

- 2- Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas, dando sentido ao seu estudo, incluindo implicações na ciência e na tecnologia, impacto ambiental e social. E favorecendo a tomada de decisões a respeito.
- 3- Priorizar a análise qualitativa, significativa, que ajude a compreender as situações problema (à luz dos conhecimentos disponíveis, do interesse do problema, etc.) e a formular perguntas operacionais sobre o que se busca. Em outras palavras, trata-se de sair de procedimentos cegos sem negar, muito pelo contrário, o papel essencial da matemática como instrumento de investigação, que intervém em todo o processo, desde o enunciado de problemas precisos (com a necessária formulação de perguntas operacionais) até a análise dos resultados.
- 4- Priorizar a formulação de hipóteses como atividade central da investigação científica, suscetível de orientar o tratamento das situações e de explicitar as pré-concepções dos estudantes. Insistir na necessidade de fundamentar essas hipóteses e prestar atenção, nesse sentido, à atualização dos conhecimentos que constituam pré-requisitos para o estudo empreendido. Exigir uma cuidadosa operacionalização das hipóteses, prestando atenção ao controle de variáveis e à dependência entre elas, etc.
- 5- Conceder a devida importância à elaboração da atividade prática, à planificação da atividade experimental pelos próprios estudantes, dando a dimensão tecnológica o papel que lhe cabe neste processo. Incentivar, onde for possível, a incorporação de tecnologias atuais aos procedimentos experimentais, proporcionando uma visão mais correta da atividade científica contemporânea. Prestar atenção aos possíveis perigos (para os alunos, para o meio ambiente) que advém do procedimento experimental e prever formas de eliminá-los ou reduzi-los.
- 6- Priorizar a análise dos resultados (sua interpretação física, sua confiabilidade) à luz dos conhecimentos disponíveis, das hipóteses trabalhadas e dos resultados de outros investigadores (os resultados de outras equipes de estudantes e os aceitos pela comunidade científica, recolhidos de livros, artigos, etc.). Favorecer, à luz dos resultados, a autorregulação do trabalho dos alunos, ou seja, as necessárias revisões

no procedimento experimental, nas hipóteses ou até na proposição do problema. Prestar particular atenção aos conflitos cognitivos entre os resultados obtidos e as concepções iniciais, facilitando assim, de uma forma funcional, mudanças conceituais e debates sobre o tema.

- 7- Chamar atenção quanto a outras perspectivas do estudo realizado (readaptação a outro nível de complexidade, problemas derivados, etc.) e contemplar as implicações do estudo realizado (possíveis aplicações, repercussão negativa, etc.).
- 8- Pedir um esforço de integração que considere a contribuição do estudo realizado a construção de um corpo coerente de conhecimentos, assim como as possíveis implicações em outros campos de conhecimentos.
- 9- Frisar a importância de anotações das atividades científica (cadernos de laboratório) que descrevem o trabalho realizado e que podem servir de base para posteriores reflexões acerca da atividade.
- 10- Priorizar a dimensão coletiva do trabalho científico, organizando equipes de trabalho e facilitando a interação com as outras equipes, que representam a comunidade científica, com o corpo de conhecimentos já estabelecido (através dos livros escolares, dos artigos, etc.) e com o professor.

A orientação proposta questiona a ideia de prática de laboratório como atividade autônoma, pois a investigação científica é muito mais que o trabalho experimental e este não tem sentido tomado isoladamente.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal Rio Grande do Sul, no curso técnico de nível médio de Análise de Processos, dentro da disciplina Química Básica II, cuja ementa (Instituto Federal do Rio Grande do Sul, 2005) é:

“Reações Químicas; Cálculos estequiométricos; Termoquímica; Cinética; Equilíbrio químico; Soluções tampão; Oxirredução”.

Essa disciplina conta com uma aula semanal, com três períodos de cinquenta minutos juntos, e a turma em questão conta com 15 alunos matriculados, sendo que os que comparecem regularmente são 12.

O comportamento das soluções tampão e os conceitos relacionados são de grande importância, pois serão utilizados em outras disciplinas do curso, como a Química Analítica Quantitativa, que será ministrada paralelamente à Química Básica II. Estas soluções são também muito importantes para o controle de processos biológicos que ocorrem naturalmente nos seres vivos e têm inúmeras outras aplicações práticas no futuro profissional dos Técnicos formados por este curso.

Por isso, foi dada ênfase para a compreensão do comportamento destas soluções e dos conceitos relacionados, através de atividades práticas de caráter investigativo (Stuart & Marcondes, 2008) a serem realizadas pelos estudantes.

Antes das atividades, investigaram-se os conceitos que os alunos já possuíam a respeito do assunto, através da aplicação de um pré-teste (Anexo I). Basicamente, procurava-se saber o quanto os alunos conheciam a respeito das soluções tampão, de suas características e de suas aplicações, industriais, laboratoriais e biológicas. Essa verificação foi feita na semana anterior à realização da atividade prática propriamente dita.

Na aula seguinte, foi proposta a resolução de um estudo dirigido (Anexo II), em que os alunos deveriam desenvolver os fundamentos teóricos da prática laboratorial, listando equipamentos, vidrarias e reagentes necessários. Com base na estratégia proposta por Rossi-Rodrigues, Oliveira, & Galemback (2009), foi simulado o comportamento da solução tampão, através de cálculos baseados no modelo teórico, montando uma planilha em computador. Esta

estratégia foi ampliada, fazendo-se uma comparação dos comportamentos das soluções tamponadas e não tamponadas, frente à adição de ácidos e bases fortes (Anexo III). A adequação das fórmulas utilizadas ao formato utilizado no software, bem como as concentrações de ácido e base conjugados que seriam utilizados na prática foram escolhidos em conjunto com os alunos, que opinavam quanto às condições ideais de trabalho, com base no comportamento das soluções representadas nos gráficos gerados na planilha (Anexo III). Com o objetivo de que a prática de laboratório adquira um caráter mais investigativo, de acordo com a proposta de Gil Pérez (1996), as condições experimentais foram ajustadas de forma que se fizesse nítida a diferença entre a solução tamponada e a não tamponada, e que se evidenciasse o momento em que a solução tampão perderia sua capacidade tamponante (onde a equação de Henderson-Hasselbach perde sua validade, situação representada nos gráficos como uma queda brusca do pH até zero). Com os parâmetros experimentais escolhidos, passou-se à etapa seguinte, a atividade laboratorial.

A atividade laboratorial proposta consistia basicamente em executar, na prática, as mesmas situações simuladas na aula anterior. Para isso, os alunos receberam um roteiro (Anexo IV). Esse roteiro indicava, em linhas gerais, o objetivo da atividade no laboratório, que era pôr em prática as simulações feitas anteriormente e comparar os valores teóricos com os práticos.

Foi solicitado aos alunos que preparassem um roteiro mais detalhado da prática que seria realizada, com base no roteiro que eles receberam. Já no estudo dirigido, todos os cálculos foram feitos partindo de algumas soluções estoque fornecidas. Sendo assim, os alunos deveriam descrever todos os passos que deveriam seguir para cumprir os objetivos listados no roteiro que receberam, incluindo as diluições necessárias, os detalhes do uso do pHmetro, etc.

Durante os procedimentos práticos, alguns grupos obtiveram leituras de pH incoerentes com o comportamento que haviam previsto na simulação, o que eles interpretaram como falha no pHmetro. Uma vez que as medidas de todos os grupos estavam longe do esperado, resolveu-se suspender a prática e refazê-la posteriormente, tentando elucidar o motivo do ocorrido para que a prática fosse realizada “satisfatoriamente”.

Durante os debates sobre a possível causa da “falha” do experimento, chegamos à conclusão de que as concentrações de ácido e de base conjugada utilizados na solução tampão eram muito baixas, e que, apesar de teoricamente a solução se comportar como tamponada, na prática teríamos uma solução com capacidade tamponante menor, o que explicava satisfatoriamente as leituras obtidas. Assim, decidiu-se que as concentrações no tampão deveriam ser superiores, para que se pudesse visualizar a capacidade tamponante da solução. Então, com os novos parâmetros escolhidos, a atividade laboratorial foi concluída, apresentando resultados coerentes com a teoria e com os resultados da simulação anteriormente realizada.

A atividade em laboratório foi feita por três grupos, com quatro componentes cada (o número de grupos foi determinado pelo número de phmetros disponíveis). A cada um dos grupos foi solicitado um relatório, no qual deveria estar os dados teóricos e práticos, a explicação das diferenças entre as soluções tampão e não tampão, e entre os valores teóricos e práticos, bem como exemplos de aplicações dessas soluções.

Para cada seção, do relatório, foram enviadas aos alunos instruções sobre o que deveria estar presente. A descrição enviada aos alunos encontra-se no Anexo V. Entre o fim da atividade prática e a entrega do relatório, foi aplicado um pós-teste (Anexo VI), individualmente, com o objetivo de avaliar o quanto a atividade tinha ajudado na compreensão dos conceitos relacionados às soluções tampão.

As respostas dos estudantes ao pós-teste foram analisadas e agrupadas em categorias, segundo o grau de adequação ao comportamento químico das soluções tampão. Também os relatórios foram avaliados pelo mesmo critério, tendo-se, adicionalmente, verificado a qualidade da produção textual e da expressão de resultados, inclusive no que se refere à habilidade de construir gráficos que representem adequadamente os resultados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma análise detalhada dos resultados obtidos em cada um dos instrumentos (pré-teste, estudo dirigido, roteiro de aula laboratorial, pós-teste, relatório) utilizados durante a presente atividade será feita a seguir. Serão discutidas, em um segundo momento, questões importantes que puderam ser observadas nas respostas dadas pelos estudantes, que refletem características do ensino a que foram submetidos durante toda a vida escolar, questões essas que podem nos dar subsídios para uma prática docente mais efetiva.

Pré-Teste

Antes do início da atividade prática, foi aplicado um pré-teste, que teve por objetivo avaliar o conhecimento prévio dos estudantes a respeito do assunto a ser trabalhado: soluções tampão.

O pré-teste era composto por duas questões, que perguntavam diretamente se o estudante já tinha ouvido falar de soluções tampão e, se sim, se conhecia características e aplicações destas (Anexo I). Dos 13 alunos que frequentavam regularmente a disciplina, apenas sete estavam no dia da aplicação do pré-teste, por isso, apenas estes puderam ser avaliados.

Destes sete estudantes, todos responderam que já tinham ouvido falar em soluções tampão. Dentre eles, três apontaram alguma característica dessas soluções, sendo que um deles escreveu o seguinte: *“Sei que elas neutralizam o pH inverso ao delas.”* Essa afirmação não está correta. Os outros dois alunos escreveram que essas soluções têm um pH específico, sendo que um deles afirmou o seguinte: *“possui um pH que varia pouco independente do meio em que é colocada”* resposta essa que revela uma visão um pouco distorcida do comportamento de tais soluções.

Quanto às aplicações dessas soluções, dois alunos responderam que essas soluções são aplicadas na calibração de aparelhos de medida de pH.

O que se pode observar através deste pré-teste é que a maioria dos alunos não conhecia o comportamento e a gama de aplicações que têm as soluções tampão. Os estudantes que já conheciam essas soluções usavam-

nas em seus trabalhos, mas sem ter uma compreensão correta de com o que estavam lidando.

Estudo Dirigido

Tendo investigado com o pré-teste as concepções prévias dos estudantes sobre o assunto, o próximo passo foi a aplicação de um estudo dirigido, onde se viu teoricamente o comportamento das soluções tampão em contraste com o comportamento de soluções não tamponadas. Os estudantes começaram a atividade com alguns parâmetros pré-determinados e com o objetivo de planejar uma atividade laboratorial que mostrasse na prática o comportamento previsto na teoria. Com essa motivação foi realizado o estudo dirigido, e tendo essas ideias em mente foram escolhidos os parâmetros que seriam usados no laboratório.

O estudo dirigido continha uma pequena introdução teórica ao assunto e as fórmulas utilizadas para sistemas tamponados, que já haviam sido deduzidas antes em aula e que foram anexadas ao texto para facilitar a transposição destas à forma que seria utilizada na simulação no software (Anexo III). Além disso, solicitava cálculos para a preparação de uma solução tampão, com uma concentração definida pelo professor anteriormente e que poderia ser mudada de acordo com a necessidade. Basicamente, a ideia era dar alguns parâmetros iniciais para que os alunos discutissem quais deveriam ser mudados, com base no comportamento esperado obtido pelos cálculos e pelo que se pretendia visualizar com a prática.

Todos os parâmetros inicialmente propostos no estudo foram questionados, com o objetivo de que esses parâmetros produzissem os melhores resultados possíveis na prática laboratorial. Os melhores resultados, segundo os alunos, seriam aqueles que evidenciarium o contraste entre as soluções tamponada e não tamponada, e foi seguindo esses objetivos que foram escolhidos os parâmetros otimizados para a prática. Além disso, o planejamento da aula laboratorial não se restringiu à escolha de parâmetros experimentais, mas também de uma listagem de equipamentos necessários e a descrição completa de todos os procedimentos que eles deveriam seguir para a realização da prática.

Atividade Laboratorial

Decididos todos os parâmetros, passou-se à atividade laboratorial, em que os estudantes esperavam simplesmente confirmar as conclusões obtidas nas simulações feitas anteriormente. Entretanto, o objetivo desta parte da atividade ficou mais claro aos alunos à medida que esta foi realizada.

O objetivo de realizar na prática os mesmos passos realizados nas simulações era, além de confirmar os comportamentos esperados, mostrar o distanciamento entre a teoria e a prática e as dificuldades técnicas às quais estamos sujeitos nas atividades experimentais.

Para a prática, foram utilizados os parâmetros que estão expressos na parte superior da planilha transcrita na Figura 1.

pKa	7,21	[HCl]	0,15	mol ácido conj	0,0035	[H ⁺]	6,17E-08
[ácido conj]	0,35	[NaOH]	0,15	mol base conj	0,0035	[OH ⁻]	1,62E-07
[base conj]	0,35			V sol. Tampão (mL)	20,00		
pH	7,21						
NaOH(mL)	moles NaOH	pH t	HCl (mL)	moles HCl	pH t	pH (não tamponado)	pH(não tamponado)
0,00	0,0000	7,21	0,00	0,0000	7,21	7,21	7,21
0,50	0,0001	7,23	0,50	0,0001	7,19	9,88	4,12
1,00	0,0002	7,25	1,00	0,0002	7,17	10,18	3,82
2,00	0,0003	7,28	2,00	0,0003	7,14	10,48	3,52
3,00	0,0005	7,32	3,00	0,0005	7,10	10,65	3,35
4,00	0,0006	7,36	4,00	0,0006	7,06	10,78	3,22
5,00	0,0008	7,40	5,00	0,0008	7,02	10,88	3,12
6,00	0,0009	7,44	6,00	0,0009	6,98	10,95	3,05
7,00	0,0011	7,48	7,00	0,0011	6,94	11,02	2,98
8,00	0,0012	7,52	8,00	0,0012	6,90	11,08	2,92
9,00	0,0014	7,56	9,00	0,0014	6,86	11,13	2,87
10,00	0,0015	7,61	10,00	0,0015	6,81	11,18	2,82
20,00	0,0030	8,32	20,00	0,0030	6,10	11,48	2,52

Figura 1 - Planilha usada como base para a prática laboratorial (as células sombreadas são as calculadas a partir de fórmulas).

A tabela mostrada na Figura 1 deu origem aos gráficos mostrados nas Figuras 2 e 3.

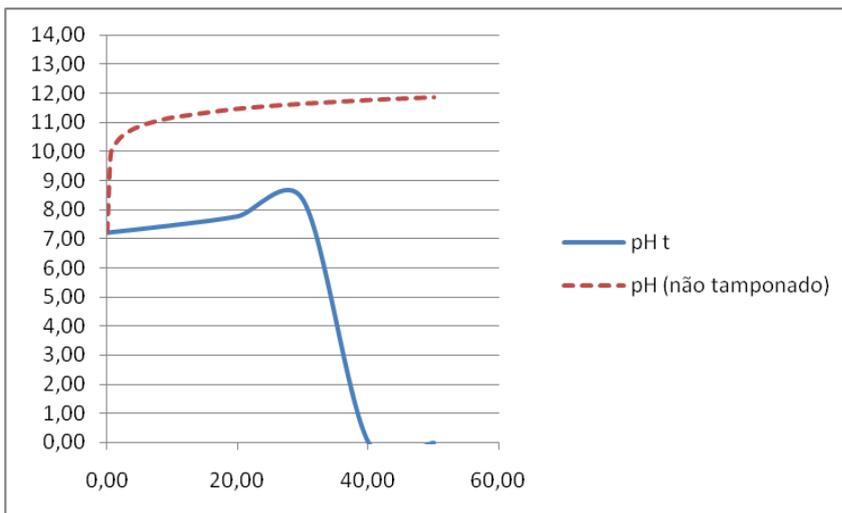


Figura 2 - Gráfico (pH x volume de base forte adicionada) gerado pela planilha da Figura 1.

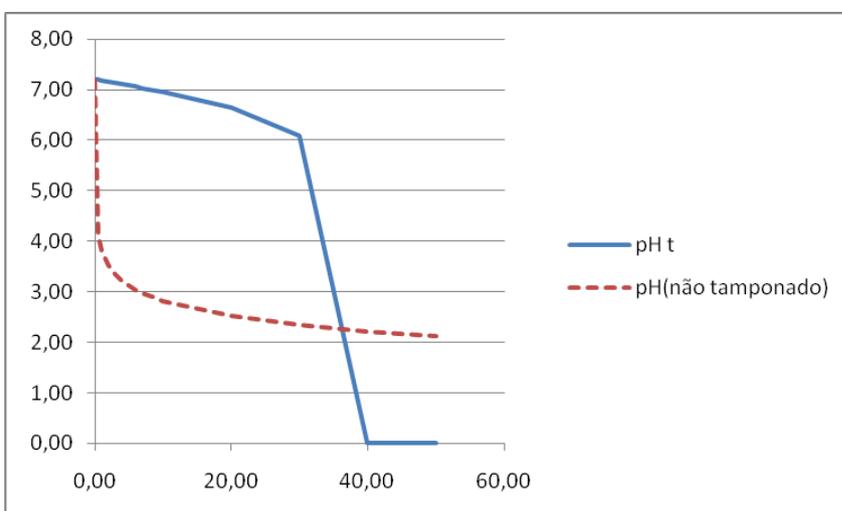


Figura 3 – Gráfico (pH x volume de ácido forte adicionado) gerado pela planilha da Figura 1.

A atividade foi planejada pelos estudantes para que mostrasse que com volumes mínimos de ácido e base forte relativamente diluídos a solução não tamponada (representada pela curva pontilhada) tinha uma variação brusca de pH, enquanto que a solução tamponada (linha cheia) praticamente mantinha o pH constante. Além disso, as concentrações foram escolhidas para que se chegasse ao ponto onde a equação de Henderson-Hasselbach perde a validade (o que se reflete no gráfico como uma queda brusca do pH até zero).

O que os estudantes descobriram durante a realização da prática é que as soluções não se comportam de forma exatamente igual ao que eles previram. Durante as medições no laboratório, o pH das soluções tamponadas,

que deveria se manter quase constante, começou a variar mais rápido antes do esperado, o que os levou a pensar que havia algum problema com o pHmetro.

De fato, um dos grupos estava trabalhando com um eletrodo que não era adequado ao volume de solução que eles tinham, e isso falseava suas medidas. Os outros grupos, entretanto, tiveram problemas de leitura no equipamento e esses erros iam ficando cada vez maiores à medida que a prática era executada. Como os resultados obtidos foram muito diferentes dos que os estudantes esperavam, estes concluíram que a prática havia falhado e que se deveria buscar uma justificativa para este fracasso para que se pudesse tentar outra vez. Alguns estudantes pareceram frustrados a princípio, mas a minha percepção, como professor, foi que este episódio foi construtivo para eles, pois tiveram a oportunidade de planejar uma atividade, colocá-la em prática e formular hipóteses sobre o motivo dos comportamentos observados.

Em um primeiro momento, a justificativa para a “falha” do experimento foram os aparelhos, que deveriam estar descalibrados. Então, tentou-se descobrir com os responsáveis pelo aparelho se isso poderia ter originado essas leituras erradas. Uma vez que os aparelhos tinham sido calibrados e estavam funcionando corretamente antes do experimento, procuramos outras justificativas e chegamos à conclusão de que a solução tampão se comportava como se não fosse tamponada. Isso nos fez pensar que talvez as concentrações utilizadas no preparo da solução tampão fossem muito baixas, o que ocasionaria uma perda precoce da capacidade tamponante. É importante frisar que todas essas hipóteses foram levantadas em conjunto com os estudantes, que participaram ativamente da busca de informações e das discussões sobre a prática.

O que se fez então foi a verificação dessas hipóteses através da realização de uma segunda atividade laboratorial, usando os parâmetros contidos na planilha do Anexo III. Para testar nossas hipóteses, preparamos o tampão com concentrações maiores e usamos essa solução preparada para calibrar o pHmetro, o que excluiria a possibilidade das leituras saírem errado por problemas de calibração, além de dar a oportunidade para que os estudantes aprendessem a calibrar o instrumento, conhecimento esse que será muito importante na vida profissional deles.

Obtiveram-se resultados de acordo com o esperado teoricamente, dentro de um intervalo considerado aceitável pelos alunos, comprovando a validade das hipóteses propostas.

Pós-Teste

O pós-teste foi realizado no período entre a realização das atividades laboratoriais, ou seja, os estudantes ainda não haviam “acertado” a prática. O pós-teste teve como objetivo avaliar o quanto eles entendiam o funcionamento de uma solução tamponada e se eles saberiam explicar esse funcionamento com base nos conhecimentos de equilíbrio químico vistos anteriormente na mesma disciplina. O pós-teste foi aplicado individualmente e como um complemento ao relatório.

A questão colocada no pós-teste foi feita com base na dificuldade enfrentada no laboratório, ela se referia à concentração da solução tamponada; mais especificamente, perguntava qual a mudança no comportamento da solução se aumentássemos a concentração do tampão mantendo a proporção ácido conjugado/base conjugada constante, além de pedir a explicação da mudança observada com base nos conhecimentos de equilíbrio químico que eles possuíam. Como resposta à primeira parte da pergunta, a primeira conclusão que se pode tomar é que o pH da solução não iria mudar, pois o que define o pH de uma solução tampão é a proporção entre o ácido e a base, e não suas concentrações. Entretanto, o que era menos óbvio e que também se poderia deduzir pela observação da expressão de Henderson-Hasselbach é que a capacidade tamponante da solução muda. Então, poderia se observar dois níveis distintos de compreensão do assunto nas respostas dos estudantes, conforme se mostra a seguir. Para observar e explicar a primeira dedução, o nível de compreensão do assunto é menor que o necessário para explicar a segunda dedução.

Dentre os nove estudantes que responderam o pós-teste, todos observaram que o pH da solução não mudaria. Destes, seis estudantes explicaram satisfatoriamente o comportamento deduzido. Uma das respostas consideradas satisfatórias está transcrita abaixo:

“Se as concentrações de ácido e base conjugadas aumentarem, mas permanecerem as duas com o mesmo valor, o pH da solução será igual ao valor do pKa. Pois a razão entre as concentrações será um e o log de um é zero.

$$pH = pKa + 0 \qquad pH = pKa$$

Como as concentrações aumentarão na mesma proporção tanto na base quanto no ácido, o equilíbrio será deslocado tanto para o lado dos reagentes quanto para o lado dos produtos, e a reação ainda se manterá em equilíbrio, pois as concentrações são as mesmas para o ácido e a base conjugada.”

Por outro lado, a resposta abaixo foi considerada insatisfatória:

“O pH mantém-se inalterado, pois a medida que aumentamos a quantidade de H^+ aumentamos também a de OH^- . Por se tratar dos mesmos ácidos e bases, somente em quantidades diferentes, o sal que era forte permanecerá forte e o sal fraco permanecerá fraco; por manter-se essa proporção nas concentrações o equilíbrio faz-se e o pH não muda.”

Já a segunda parte da pergunta foi respondida por três dos nove alunos. Desses 3, 2 explicaram de maneira satisfatória. Abaixo, lê-se a resposta de um deles:

“Se aumentássemos a concentração de ácido e base, mantendo as proporções, o pH da solução continuaria sendo igual ao pKa, o que mudaria seria a capacidade tamponante, pois a solução aguentaria uma maior adição de ácido ou de base.

Pela equação de Henderson-Hasselbach, temos que quando as concentrações de ácido (HA) e base conjugada (A^-) são iguais, o pH da solução será igual ao pKa.

Por questões de equilíbrio químico, quando adicionamos um ácido genérico HB ele irá reagir com a base conjugada A^- , formando o ácido conjugado HA. Deste modo quanto maior minha concentração de base conjugada maior será a quantidade de ácido para consumi-la por inteiro e assim acabar com a solução tampão.

Quando adicionamos uma base genérica B^- , ela reage com o ácido conjugado HA formando A^- . Então, assim como quando da adição de ácido, quanto maior a concentração de ácido conjugado, maior o volume de base que se pode colocar na solução sem que ela perca seu poder tamponante.”

O que se pode observar com os resultados do pós-teste, em comparação com os resultados do pré-teste, é que ao longo das diversas etapas da atividade, os alunos foram progressivamente construindo conceitos e aprimorando a compreensão do comportamento das soluções tampão e do equilíbrio químico responsável por este comportamento. Explicar comportamentos e conceitos é algo dificilmente exigido dos estudantes durante toda a sua vida escolar, então não é estranho perceber a dificuldade destes em explicar situações. Muitas das respostas consideradas insatisfatórias dão a entender que o estudante compreendeu, mesmo que superficialmente os conceitos, mas se confunde e mistura as coisas ao tentar explicar. Um exemplo de resposta assim é a resposta insatisfatória transcrita logo acima. Para afirmar que o pH da solução não muda, o estudante necessariamente entendeu que há um equilíbrio envolvido e que de alguma forma o que define o pH da solução é a razão entre as concentrações. Ao tentar explicar, no entanto, o estudante não consegue explicar a observação satisfatoriamente.

Relatório

Terminada a atividade, os estudantes deveriam relatar todos os passos seguidos, desde o pré-teste até a aula laboratorial através de um relatório, que deveria conter as seções descritas no Anexo V. Neste Anexo estão transcritas as instruções para a confecção do relatório, incluindo um direcionamento sobre quais informações deveriam constar em cada seção do relatório.

O Anexo V foi enviado por email para os estudantes, a fim de complementar as informações dadas oralmente em aula. Fizemos questão de transcrevê-lo para salientar a forma com que a atividade como um todo foi desenvolvida, de maneira informal, colocando o professor na posição de pesquisador mais experiente, ao invés de ser o detentor do conhecimento. O que se pode observar é que, agindo de forma mais informal para com os estudantes, estes se sentem mais seguros para expressar suas opiniões e propor suas hipóteses.

Foram formados, conforme descrito na metodologia, três grupos, cada um com quatro componentes. O número de grupos foi determinado pelo

número de phmetros disponíveis. Assim, foram gerados três relatórios, um por grupo.

Ao contrário do pós-teste, que mostrou algumas questões conceituais em que os estudantes ainda tinham dificuldade, nos relatórios não puderam ser identificadas incorreções com relação aos conceitos. O resultado dos relatórios deixou claro que várias habilidades e conceitos foram adquiridos pelos estudantes. Um comentário sobre esses conceitos e habilidades adquiridos foi feito por um dos grupos no seu relatório:

“...além de simplesmente explicar sobre tampões ela (a atividade) trouxe um grande aprendizado a mais sobre vários assuntos como concentração de soluções, reações químicas, equilíbrio, pH, Ka, e ainda estequiometria além de outros presentes não citados.”

Como dito anteriormente, os resultados da atividade corroboram a opinião desses alunos, pois as seções de resultados de todos os relatórios trazem explicações satisfatórias dos fenômenos observados, e a descrição de toda a rotina experimental é compreensível e completa.

Quanto à expressão dos resultados, um dos grupos, por exemplo, apresentou um dos gráficos pH x Volume de base com um dos eixos excessivamente grande; o eixo marcava adições de 0 a 100mL, enquanto que só havia dados de adições até 20mL de base, o que gerou um gráfico inadequado. Ao que parece nesse caso o problema se deveu a uma dificuldade na operação do software, pois os outros gráficos apresentavam eixos configurados adequadamente. Uma questão curiosa a respeito deste mesmo grupo foi a de ter usado parâmetros diferentes para confeccionar os gráficos. A sugestão era que se comparassem os gráficos provenientes da simulação com os obtidos com os dados experimentais, a fim de identificar semelhanças e diferenças. Entretanto, os estudantes plotaram os gráficos da simulação usando os parâmetros iniciais, diferentes dos usados no laboratório. Visualmente, não houve prejuízo na comparação, pois os dados eram semelhantes, mas o que ficou claro aqui foi a falta de uma compreensão de o porquê eles estavam comparando os dados.

Outra questão relacionada a gráficos foi observada em um segundo relatório, reproduzido parcialmente na Figura 4.

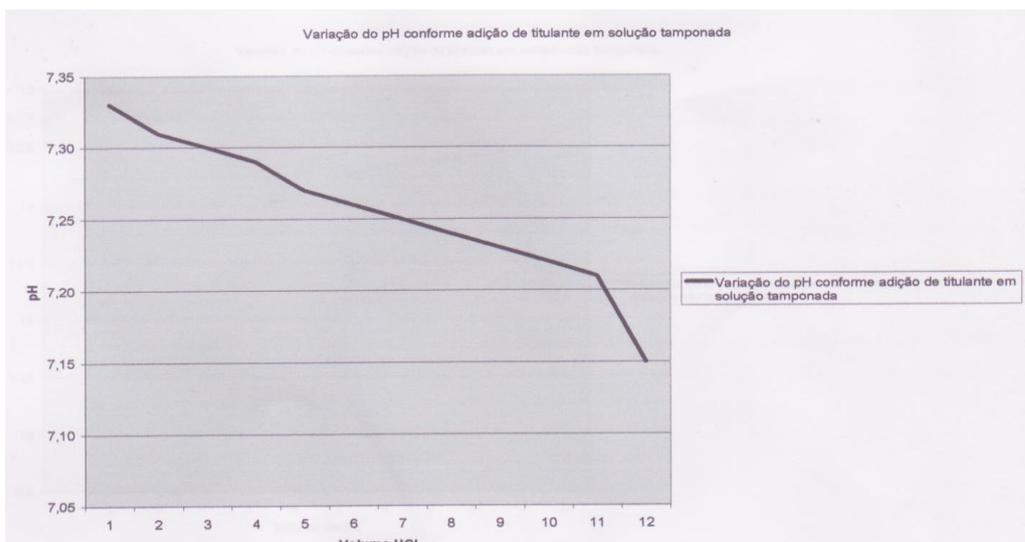


Figura 4 – Gráfico apresentado no relatório de um dos grupos.

Note que o intervalo de pH que compõe o eixo y no gráfico varia de 7,05 a 7,35, ou seja, um intervalo de 0,2 unidades de pH. Bom, se estamos estudando soluções tamponadas e o nosso objetivo é dizer que essas soluções têm poucas variações no pH, um gráfico com essa inclinação não é adequado. Neste caso, um eixo maior mostraria graficamente que o pH permanece praticamente constante durante o experimento.

Outro fator que compromete o gráfico é o fato de, no eixo x, os valores começarem em 0,5 mL e não em 0 mL de ácido adicionado. Ou seja, não foi posto no gráfico o valor do pH da solução antes de começar a titulação. Ora, se um dos objetivos era mostrar que a solução não tamponada tinha uma grande variação de pH na primeira adição de base ou ácido, ao contrário da solução tamponada, este gráfico não descreve esse comportamento e por isso é inadequado.

O que se pode observar através deste relatório foi uma dificuldade na expressão dos resultados. O que evidencia que estes alunos não têm ideia de que a apresentação dos resultados para a comunidade científica é parte integrante e importantíssima da ciência. Fica clara uma busca por “resultados corretos”, sem uma preocupação com outros fatores que também são importantes. Essa é uma mentalidade que infelizmente está amplamente disseminada no ensino e que contribui para que o aluno adquira uma visão incorreta da atividade científica.

CONCLUSÃO

As atividades desenvolvidas procuraram dar aos estudantes uma visão mais ampla de como o conhecimento científico é produzido, e de como ele é transmitido à comunidade científica. Apesar do estranhamento dos estudantes, por realizar uma atividade diferente, foi nítido o progresso destes, tanto na compreensão dos fenômenos quanto na expressão de resultados e na compreensão de como a ciência progride. O episódio da prática que “falhou”, por exemplo, foi encarada por alguns alunos como algo frustrante, mas permitiu que estes chegassem a várias conclusões sobre o comportamento das soluções e dos aparelhos utilizados, trazendo a conclusão de que as dificuldades operacionais fazem parte do trabalho experimental e que os modelos não descrevem a realidade exatamente, e sim de forma simplificada. Tentando explicar a falha os estudantes procuraram saber como o eletrodo do phmetro efetuava a medida do pH, o que gerou todo um esclarecimento sobre a teoria envolvida nos eletrodos.

Pode-se concluir, portanto, que a atividade foi muito proveitosa para os estudantes, que a avaliaram positivamente. Também se pode evidenciar uma série de debilidades que têm origem no modelo de ensino atual, o qual tem sido criticado por vários autores. É possível afirmar que a atividade atingiu seus objetivos, e que evidenciou a importância da investigação na construção do conhecimento.

O recurso da experimentação é de importância significativa no ensino de Química, não servindo apenas para estimular os alunos. Este recurso deve ser mais bem explorado pelos professores para que os alunos desenvolvam certas habilidades e competências que as aulas expositivas, por exemplo, não proporcionam de forma tão concreta como as aulas práticas.

BIBLIOGRAFIA

- ARISTÓTELES (1979) *Metafísica*. São Paulo: Abril. Livro A cap. I (Coleção Os Pensadores) Original do século IV a.C.
- BACHELARD, G. (1996) *Formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto. Original de 1937.
- BACHELARD, G. (1974) *O novo espírito científico*. São Paulo: Abril. (Coleção Os Pensadores) Original de 1934.
- BACON, F. (1989) *Novum organum*. Aforismo XIX. São Paulo: Abril. (Coleção Os Pensadores) Original de 1620.
- CARRASCOSA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. (2006) Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Cadernos Brasileiros de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 157.
- COMTE, A. (1983) *Curso de filosofia positiva*. São Paulo: Abril. (Coleção Os Pensadores) Original de 1842.
- DESCARTES, R. (1987) *Discurso do método*. São Paulo: Abril, v.1.(Coleção Os Pensadores). Original de 1637.
- GIL PEREZ, D; VALDÉS CASTRO, P. (1996) La orientacion de las prácticas de laboratório com investigacion: um exemplo ilustrativo. *Enseñanza de Las Ciências*, v. 14, n. 2, p.155-163.
- GIORDAN, M. (1999) O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, n. 10, p. 43.
- HODSON, D. (1994) Hacia um enfoque más crítico del trabajo de laboratório. *Enseñanza de Las Ciências*, v. 12, n. 3, p.299-313.
- HODSON, D. (2005) Teaching and learning Chemistry in the laboratory: a critical look at the research. *Educación Química*, v. 16, n. 1, p.30-38.
- HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. (2004) The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, v. 88, n. 1, p. 28-54.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. (2005) Plano de curso do Curso Técnico de Análise de Processos. Porto Alegre: Escola Técnica da UFRGS.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R.; HOLUBEC, E. (1990) *Circles of Learning: Cooperation in the Classroom*. Edina, MN: Interaction Book Company.

MORTIMER, E. F.; CARVALHO, A. M. P. (1996) Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de ciências. Caderno de Pesquisas, n. 96, p.5-14.

ROSSI-RODRIGUES, B. C.; OLIVEIRA, E. A. de; GALEMBECK, E. (2009) Sistemas tampão: uma estrutura didática teórico-prática. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 4. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000400040&lng=es&nrm=iso. Acessado em 17 de agosto de 2009.

STUART, R. de C.; MARCONDES, M. E. R. (2008) Atividades experimentais investigativas: habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio. Anais do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. Curitiba: UFPR, 21 a 24 de julho de 2008. Disponível em:

<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0342-1.pdf> Acessado em 17 de agosto de 2009.

TARDIF, M. (org.) (1999) *Saberes profissionais dos professores e conhecimentos universitários*. Quebec: Les Presses de l'Université Laval.

ZANON, L. B.; MALDANER, O. A. (2007) *Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil*. Ijuí: Unijuí.



ANEXO I

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Curso Técnico em Química Química Básica II

Pré-Teste

Você já ouviu falar de soluções tampão? Conhece as características de soluções tampão?

Você conhece aplicações práticas deste tipo de solução?

SOLUÇÕES-TAMPÃO: PREPARAÇÃO E PROPRIEDADES

1 – INTRODUÇÃO TEÓRICA

Uma solução-tampão consiste de um par ácido fraco/base conjugada que resiste a variações no pH quando pequenas quantidades de ácidos ou bases lhe são adicionadas ou quando ocorre diluição. Os químicos utilizam tampões toda vez que necessitam manter o pH de uma solução em um nível constante e pré-determinado. Os bioquímicos são particularmente interessados em tampões, pois o funcionamento dos sistemas biológicos é criticamente dependente do pH.

A equação central para as soluções-tampão é a equação de Henderson-Hasselbalch, a qual consiste meramente em um rearranjo da expressão da constante de equilíbrio K_a para a dissociação de um ácido:

$$\begin{aligned} \text{HA} &= \text{H}^+ + \text{A}^- \\ K_a &= ([\text{H}^+] \times [\text{A}^-]) / [\text{HA}] \\ -\log [\text{H}^+] &= -\log K_a + \log ([\text{A}^-] / [\text{HA}]) \end{aligned}$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log ([\text{A}^-] / [\text{HA}]) \quad (\text{equação de Henderson-Hasselbalch})$$

Se a solução é preparada com uma base fraca B e seu ácido conjugado, a equação de Henderson-Hasselbalch tem a forma:

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log ([\text{B}] / [\text{BH}^+])$$

Obs.: Note que o pKa aplica-se à forma ácida HA.

Essa equação indica que o pH de uma solução que consiste de um par ácido fraco/base conjugada pode ser calculado sempre que soubermos o pKa da forma ácida e a razão entre as concentrações da base e do ácido conjugados.

Nesta experiência você irá inicialmente preparar uma solução-tampão que consiste no par conjugado $\text{NaH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$. A seguir você testará as propriedades dessa solução tampão (com respeito à adição de ácidos e bases e à diluição), comparando-as com as de uma solução aquosa não-tamponada de pH similar.

2-Estudo dirigido

Considerando um volume de 500 mL de uma solução tampão formada de $\text{NaH}_2\text{PO}_4(\text{aq})$ 0,100mol/L e $\text{Na}_2\text{HPO}_4(\text{aq})$ 0,100mol/L.

a)Escreva a equação de todas as etapas de ionização do H_3PO_4 em água.

b)Escreva a equação da constante de equilíbrio para cada uma das ionizações do ácido em água.

c)Escreva a equação de Henderson Hasselbach para o tampão em questão e diga qual valor de pKa deve ser utilizado.

d)Mostre os cálculos necessários para preparar o tampão a partir das soluções estoque fornecidas.

e)Calcule o pH teórico da solução tampão.

f) Calcule o pH resultante quando uma alíquota de 5 mL da solução-tampão for diluída a 100 mL.

g) Calcule o pH resultante quando uma alíquota de 5 mL da solução não tamponada for diluída a 100 mL.

h)Qual será o valor do pH teórico resultante da adição de 0,8mL de NaOH 1mol/L em 15 mL de tampão?

i) Qual será o valor do pH teórico resultante da adição de 0,8mL de HCl 1mol/L em 20 mL de tampão?

j)Liste os equipamentos e vidrarias necessárias para realizar a titulação da solução tampão fornecida.

k)Calcule os valores teóricos de pH a cada adição de ácido e de base à solução tampão preparada (definir o volume de tampão (titulado) e concentração dos titulantes (ácido e base) que serão utilizados).

l)Usando os dados fornecidos abaixo, utilize um programa de computador (MsExcel) para simular a adição de ácidos e bases a uma solução tamponada e a uma não-tamponada, a fim de comparar o comportamento dessas duas soluções através dos valores e gráficos obtidos, segundo o modelo fornecido pelo professor.

Dados:

Ácido	Ka ₁	pKa ₁	Ka ₂	pKa ₂	Ka ₃	pKa ₃
H ₃ PO ₄	7,6x10 ⁻³	2,12	6,2x10 ⁻⁸	7,21	2,1x10 ⁻¹³	12,68

Soluções disponíveis:

Solução estoque de NaOH 5mol/L

Solução estoque de HCl 5mol/L

Solução estoque de NaH_2PO_4 1mol/L

Solução estoque de Na_2HPO_4 1mol/L

ANEXO III

Planilha utilizada nas simulações

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	pKa	7,21	[HCl]	0,15	mol ácido conj	0,0150	[H ⁺]	6,17E-08					
2	[ácido conj]	1	[NaOH]	0,15	mol base conj	0,0150	[OH ⁻]	1,62E-07					
3	[base conj]	1			V sol. Tampão (mL)	30,00							
4	pH	7,21											
5													
6	NaOH(mL)	moles NaOH	pH t	HCl (mL)	moles HCl	pH t			pH (não tamponado)			pH(não tamponado)	
7	0,00	0,0000	7,21	0,00	0,0000	7,21			7,21			7,21	
8	0,50	0,0001	7,21	0,50	0,0001	7,21			9,88			4,12	
9	1,00	0,0002	7,22	1,00	0,0002	7,20			10,18			3,82	
10	2,00	0,0003	7,23	2,00	0,0003	7,19			10,48			3,52	
11	3,00	0,0005	7,24	3,00	0,0005	7,18			10,65			3,35	
12	4,00	0,0006	7,24	4,00	0,0006	7,18			10,78			3,22	
13	5,00	0,0008	7,25	5,00	0,0008	7,17			10,88			3,12	
14	6,00	0,0009	7,26	6,00	0,0009	7,16			10,95			3,05	
15	7,00	0,0011	7,27	7,00	0,0011	7,15			11,02			2,98	
16	8,00	0,0012	7,28	8,00	0,0012	7,14			11,08			2,92	
17	9,00	0,0014	7,29	9,00	0,0014	7,13			11,13			2,87	
18	10,00	0,0015	7,30	10,00	0,0015	7,12			11,18			2,82	
19	20,00	0,0030	7,39	20,00	0,0030	7,03			11,48			2,52	
20	30,00	0,0045	7,48	30,00	0,0045	6,94			11,65			2,35	
21	40,00	0,0060	7,58	40,00	0,0060	6,84			11,78			2,22	
22	49,99	0,0075	7,69	49,99	0,0075	6,73			11,87			2,13	
23													

Obs: As células coloridas têm valores gerados por fórmulas;
Concentrações em mol/L.

Gráficos associados à planilha acima:

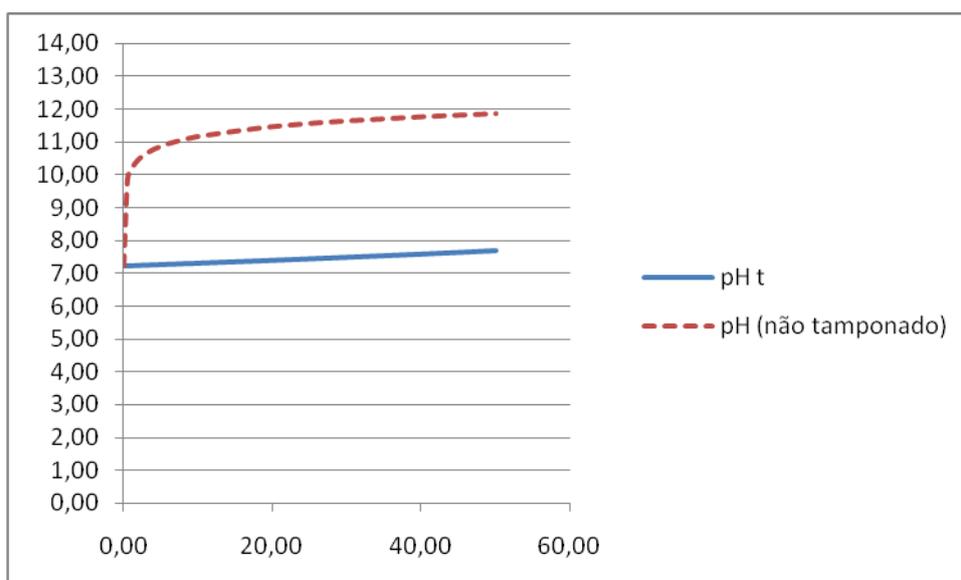


Gráfico I - Variação do pH nas soluções tamponada (linha cheia) e não tamponada (linha pontilhada) pela adição de base forte.

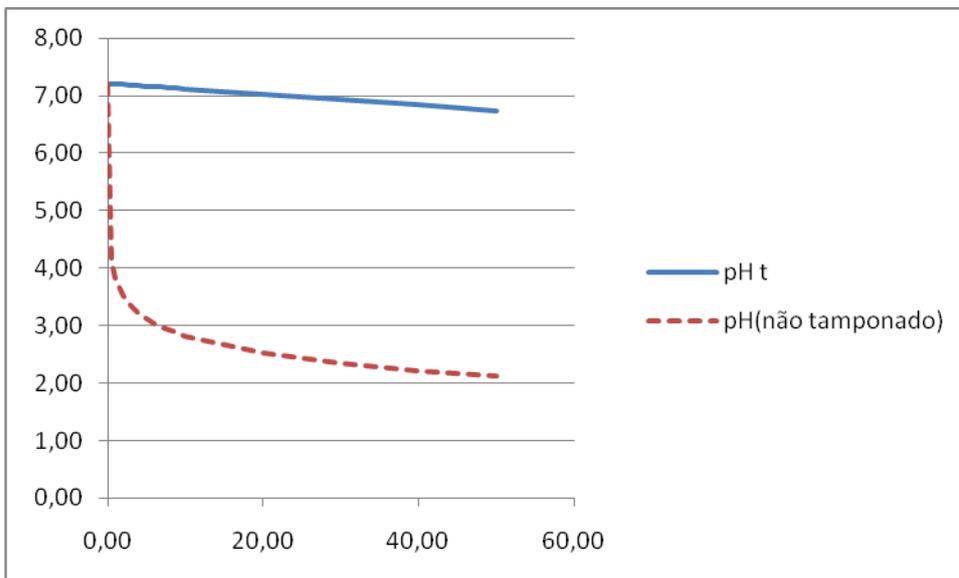


Gráfico II - Variação do pH de solução tamponada (linha cheia) e não tamponada (linha pontilhada) pela adição de ácido forte.

PARTE EXPERIMENTAL

Preparação da solução-tampão

- a) Prepare a solução tampão mencionada anteriormente a partir das soluções estoque fornecidas.
- b) Prepare uma solução não tamponada com o pH igual ao da solução tampão preparada.
- c) Com o uso de um pHmetro, faça a leitura do pH da solução tampão e compare com o valor teórico.
- d) Tome uma alíquota de 5 mL da solução-tampão e transfira para um balão volumétrico de 100 mL, completando o volume com água destilada. Meça o pH da solução-tampão diluída.
- e) Tome uma alíquota de 5 mL da solução não tamponada e transfira para um balão volumétrico de 100 mL, completando o volume com água destilada. Meça o pH da solução não tamponada.
- f) Faça a leitura do pH da solução tampão após a adição de 0,8mL de NaOH 1mol/L em 15 mL de tampão. Compare com o valor teórico.
- g) Faça a leitura do pH da solução tampão após a adição de 0,8mL de HCl 1mol/L em 20 mL de tampão. Compare com o valor teórico.
- h) Repita os passos das letras f e g com a solução não tamponada.
- i) Titule a solução tampão utilizando os mesmos volumes e concentrações de ácido e de base utilizados nos cálculos teóricos. Insira os dados na tabela comparando os pH teóricos e experimentais.

ANEXO V

Orientações para o Relatório

“O relatório deverá conter as seguintes seções:

Introdução

Objetivos

Metodologia

Resultados e discussão

Conclusão

Bibliografia

Como são três grupos na turma toda, em tese vão ter bastantes pessoas para fazer esse trabalho, então não vai ficar pesado.

Procurem as recomendações da ABNT para a confecção de trabalhos desse tipo... eu até não exijo que vocês sigam as regras da ABNT à risca, mas que coloquem o trabalho nos moldes desta. Vocês podem (e devem) procurar exemplos de aplicações das soluções tampão, tanto em sistemas biológicos como em aplicações laboratoriais e industriais. Por exemplo, vocês sabem (ou vão achar na internet) que o pH do sangue é tamponado... se vocês usarem esse exemplo, além de citá-lo, devem explicar o porquê de o sangue precisar ser tamponado (isso vocês também acham na internet e nos livros).

Nos objetivos, vocês obviamente devem descrever o objetivo da prática.

Na metodologia, vocês têm de descrever detalhadamente, desde o estudo dirigido até a prática, tudo o que vocês fizeram, as perguntas que responderam, os cálculos que tiveram de fazer (não precisa pôr os cálculos, precisa dizer que teve que calcular), a planilha que montaram, os gráficos, o que tiveram que fazer na prática...

Nos “resultados e discussão” vocês vão discutir os resultados da simulação e os da prática no laboratório explicando detalhadamente o porquê do comportamento diferente da solução tampão para a não tamponada... em outras palavras, vocês tem de explicar detalhada e convincentemente o comportamento da solução tampão e o porquê desse comportamento, em comparação com a solução não tamponada. Podem também falar sobre o que aconteceu hoje pela manhã, e talvez formular hipóteses sobre o que deu

errado vocês podem procurar como funciona o pHmetro pra tentar entender o que saiu errado).

Nas conclusões vocês podem falar sobre o que concluíram a respeito das soluções tampão e no que a prática como um todo foi boa ou ruim, o que vocês aprenderam, o que faltou, etc.”

ANEXO VI



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Curso Técnico em Química Química Básica II

Pós-teste

O tampão que nos propusemos a fazer na aula prática usava a concentração de 0,1 mol/L de ácido e de base conjugada.

- Que mudanças teríamos no comportamento do tampão se usássemos concentrações maiores de ácido e base conjugada?
- Explique esse comportamento com base em conceitos relativos a equilíbrio químico.