MÔNICA ELIZABETH CRAVEIRO THEODORO Proposta e avaliação de uma sequência didática para aulas prático-laboratoriais no ensino superior em química

MÔNICA ELIZABETH CRAVEIRO THEODORO

Proposta e avaliação de uma sequência didática para aulas prático-laboratoriais no ensino superior em química

Dissertação apresentada à Comissão do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Química

Orientador: Prof. Dr. Guilherme A. Marson

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Theodoro, Mônica Elizabeth Craveiro

Proposta e avaliação de uma sequência didática para aulas prático-laboratoriais no ensino superior em química. São Paulo, 2016.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson

Área de Concentração: Ensino de Química

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Ensino superior;

3. Experimentação; 4. Equilíbrio ácido-base.

USP/IF/SBI-059/2016

RESUMO

THEODORO, M. E. C. Proposta e avaliação de uma sequência didática para aulas prático-laboratoriais no ensino superior em química. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Este trabalho teve como objetivo propor e investigar a contribuição de uma sequência didática para aulas prático-laboratoriais no ensino superior em Química. A sequência didática proposta buscou desenvolver habilidades e competências relacionadas, principalmente, à análise e seleção de resultados experimentais e fundamentais para a formação do profissional químico, de acordo com as Diretrizes Curriculares para o Ensino Superior em Química (BRASIL, 2001). As atividades elaboradas nesta proposta buscaram promover habilidades cognitivas de alta ordem (HOCS – High ordem cognitive skills), para isso foram utilizadas estratégias que não são tradicionalmente empregadas em disciplinas experimentais no ensino superior, como a abordagem investigativa, por exemplo. A aplicação da proposta ocorreu no contexto de uma disciplina experimental obrigatória oferecida para estudantes do primeiro ano de cursos de Química (Licenciatura em Química e Bacharelado em Química – com ênfase em Química Ambiental) da Universidade de São Paulo (USP). O tema da proposta desenvolvida foi titulações ácido-base e o principal objeto de estudo foi a curva de titulação e sua interpretação. De forma geral, os estudantes, os docentes e os monitores da disciplina foram receptivos com a proposta e com os objetivos de estudo. Considerando que o trabalho desenvolvido no contexto da disciplina experimental foi pontual e a sequência didática elaborada neste estudo teve duração de apenas cinco aulas do programa, os resultados obtidos foram satisfatórios e responderam questões relacionadas à promoção das HOCS. Foi possível explorar as potencialidades de metodologias que não são tradicionalmente utilizadas no laboratório didático no ensino superior em Química.

Palavras-chave: Ensino superior, experimentação, equilíbrio ácido-base.

ABSTRACT

THEODORO, M. E. C. Proposal and evaluation of a didactic sequence for practical and laboratory classes in higher education in chemistry. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

This study aimed to propose and investigate the contribution of a didactic sequence for practical and laboratory classes in higher education in chemistry. The proposed didactic sequence sought to develop related skills and competences, especially the analysis and selection of experimental and fundamental results in the formation of the chemical professional, according to the Curriculum Guidelines for Higher Education in Chemistry (BRAZIL, 2001). The activities developed in this proposal sought to promote high order cognitive skills (HOCS), for it was used strategies that are not traditionally used in experimental disciplines in higher education, as the investigative activities, for example. The implementation of the proposal took place in the context of a mandatory experimental subject offered to students in the first year chemistry courses (Degree in Chemistry and Bachelor of Chemistry - with emphasis on Environmental Chemistry) from the University of São Paulo (USP). The theme of the proposal was developed acid-base titrations and the main object of study was the titration curve and its interpretation. In general, students, teachers and instructors of discipline were receptive to the proposal and the study objectives. Whereas the work undertaken in the context of experimental course was timely and the didactic sequence elaborated in this study lasted only five program classes, the results were satisfactory and answered questions related to the promotion of the HOCS. It was possible to exploit the potential of methodologies that are not traditionally used in teaching laboratory in higher education in chemistry.

Keywords: Higher education, experimentation, acid-base equilibria.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Atividades desenvolvidas e período de realização19
Quadro 2 – Programa do módulo experimental da disciplina QFL4020-2013/220
Quadro 3 – Categorias da taxonomia de Bloom para o domínio cognitivo40
Quadro 4 – Dimensão conhecimento na taxonomia revisada43
Quadro 5 – Dimensão processos cognitivos na taxonomia revisada44
Quadro 6 – "Descriptors for the laboratory instruction styles in Dolmin´s taxonomy" –
Descritores dos estilos de instrução de laboratório na taxonomia de Dolmin47
Quadro 7 – "Niveles de abertura según Priestley (1997)" – Níveis de abertura
segundo Priestley49
Quadro 8 – Indicadores ácido-base utilizados na sequência disática proposta56
Quadro 9 – Metodologia para a preparação das soluções com pH padronizados57
Quadro 10 – Escala utilizada na questão sobre conhecimentos prévios59
Quadro 11 – Escala utilizada na questão sobre utilização de softwares60
Quadro 12 – Descrição dos signos utilizados na classificação dos recursos
computacionais74
Quadro 13 – Resumo da sequência didática aplicada na disciplina QFL402079
Quadro 14 – Instrumentos de coleta de dados utilizados na aplicação da sequência
didática83
Quadro 15 – Categorias de respostas para a questão 03 da avaliação final102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – "Categorização atual da Taxonomia de Bloom proposta por Anderson
Knathwohl e Airasian no ano de 2001" (FERRAZ; BELHOT, 2010, p.427)45
Figura 2 – Os três níveis conceituais da química (JOHNSTONE, 2006, p.59)52
Figura 3 – Escala elaborada para o indicador azul de timol55
Figura 4 – Escala elaborada para o indicador azul de bromotimol56
Figura 5 – Escala elaborada para o indicador azul de bromofenol56
Figura 6 – Escala elaborada para o indicador vermelho de metila56
Figura 7 – Escala elaborada para o indicador fenolftaleína56
Figura 8 – Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,1 mol.L ⁻¹) e hidróxido de
sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada na planilha CurTiPot63
Figura 9 – Curvas esboçadas pelos alunos 05 e 08, respectivamente64
Figura 10 – Curva esboçada pelo aluno 0165
Figura 11 – Curvas esboçadas pelos alunos 02, 03 e 04, respectivamente65
Figura 12 – Curvas esboçadas pelos alunos 09 e 10, respectivamente66
Figura 13 – Curvas esboçadas pelos alunos 06, 07 e 11, respectivamente67
Figura 14 - Curva de titulação de 50 mL de ácido clorídrico (0,1 mol.L ⁻¹) e hidróxido
de sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada no CurTiPot68
Figura 15 – Curva de titulação de 50 mL de ácido clorídrico (0,05 mol.L ⁻¹) e hidróxido
de sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada no CurTiPot68
Figura 16 – Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,1 mol.L ⁻¹) e hidróxido de
sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada no CurTiPot68
Figura 17 - Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,05 mol.L ⁻¹) e hidróxido
de sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada no CurTiPot69
Figura 18 – Curva de titulação de 50 mL de ácido fosfórico (0,05 mol.L ⁻¹) e hidróxido
de sódio (0,1 mol.L ⁻¹) simulada no CurTiPot69
Figura 19 - Valores médios obtidos através das respostas da questão de auto-
avaliação do estudo prévio e da investigação prévia84
Figura 20 - Curva de titulação de 20 mL de solução de carbonato de sódio (0,1
mol.L-1) e ácido clorídrico (0,1 mol.L-1) simulada na planilha CurTiPot86

Figura 21 – Exemplos de curvas classificadas como retas (crescente e decrescente,
respectivamente) esboçadas pelos estudantes86
Figura 22 – Exemplos de curvas classificadas como parábolas (crescente e
decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes87
Figura 23 – Exemplos de outros tipos de curvas esboçadas pelos estudantes87
Figura 24 – Exemplos de curvas classificadas como sigmoides de uma inflexão
(crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes88
Figura 25 – Exemplos de curvas classificadas como sigmoides de duas inflexões
(crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes88
Figura 26 – Tendência das curvas esboçadas: percentual de respostas obtidas no
estudo prévio e na investigação prévia89
Figura 27 – Tipos de curvas esboçadas: percentual de respostas obtidas no estudo
prévio e na investigação prévia90
Figura 28 – Questão 01 da avaliação final100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos na primeira questão do estudo prévio	62
Tabela 2 – Perfil das curvas esboçadas no estudo prévio	67
Tabela 3 – Respostas obtidas na questão sobre a frequência de uso de	recursos
computacionais	75
Tabela 4 – Perfil das curvas esboçadas na investigação prévia	88
Tabela 5 - Perfil das respostas da questão 01 da avaliação final	101

SUMÁRIO

1	Introdução	.11
	1.1 Contexto da pesquisa	.18
	1.2 Objetivo geral e objetivos específicos	20
	1.3 <u>Organização do texto</u>	.21
2	Equilíbrio químico e titulação ácido-base	. 23
3	Ensino Superior em Química	.27
	3.1 A consolidação da Química como Ciência e a sua institucionalização	no
	Ensino Superior	.27
	3.2 Primeiros laboratórios didáticos para o ensino de Química	30
	3.3 O perfil, as habilidades e competências esperadas na formação do químico .	.31
	3.4 Características das aulas prático-laboratoriais no Ensino Superior	35
4	Aulas prático-laboratoriais no Ensino Superior: abordagens para o ensi	no
	experimental de Química sob a perspectiva do domínio cognitivo	.39
	4.1 Estilos de aulas prático-laboratoriais o desenvolvimento de HOCS	46
	4.2 Níveis de abertura de Priestley para as atividades experimentais e	as
	habilidades cognitivas desenvolvidas	48
5	As dimensões do conhecimento químico: o "triângulo" de Johnstone e	as
	potencialidades na utilização de softwares de simulação em aul	
	experimentais	.51

6	Desen	volvimento das escalas visuais de pH55
7	Estude	o prévio58
	7.1 <u>Res</u>	ultados e reflexões sobre o estudo prévio61
8	-	ncia didática proposta para aulas de laboratório de Química Geral no o Superior78
	8.1 <u>Rote</u>	eiros elaborados e utilizados na sequência proposta81
		liação das atividades realizadas: reflexões sobre a aplicação da proposta isciplina QFL402082
	8.2.1	Resultados coletados antes da aplicação da sequência didática: investigação prévia
	8.2.2	Resultados coletados durante a aplicação da sequência didática: relatórios, procedimentos, curvas e respostas obtidas nas atividades do LABIQ 1 e 2
	8.2.3	Resultados coletados após a aplicação da sequência didática: avaliação final
9	Consid	derações finais104
Α	PÊNDIC	E106
R	EFERÊN	NCIAS119

1 Introdução

Vivemos um período no qual o conhecimento acumulado ultrapassa nossos limites de compreensão, marcado pela multiplicidade de ideias e paradigmas que, quando combinados à realidade globalizada (em que vivemos) e a velocidade proporcionada pelos desenvolvimentos científicos e tecnológicos, nos leva questionar a função de cada indivíduo na sociedade e, concomitantemente, desta no desenvolvimento humano.

Marcado por períodos denominados na história como Antiguidade, Idade Média, Idade Moderna e Idade Contemporânea, o desenvolvimento da sociedade e sua forma de pensar, até os dias atuais, foi acompanhada por interesses de cunho político, econômico e social de cada período histórico e resultado cultural da sociedade que o compõe.

Desde a Antiguidade, com os gregos, as formas de pensar e dar significado eram importantes ferramentas para a compreensão do ser humano e da natureza e, consequentemente, tornavam-se referência para as inquietudes e projeções mentais daquela sociedade. Esse aspecto do pensamento grego contribui, ainda hoje, com uma extensa base teórica para a filosofia em geral.

Caracterizado pelo pensamento fundamentado no senso comum e na crença do divino (concepção difundida com a expansão do cristianismo na Europa), na Idade Média (séculos V à XV) as concepções de razão e lógica desenvolvidas na filosofia grega foram estagnadas. Entretanto, as tentativas de se estabelecer padrões de convivência entre a fé religiosa e a ciência, resultou no resgate das ideias de Platão e Aristóteles. Vale ressaltar que, nesse período, todo o conhecimento estava subordinado à Igreja e esta fundamentava suas explicações sobre o ser humano e sobre suas relações com a natureza à luz do divino.

Ainda durante a Idade Média (entre os séculos XII e XIII), ocorreu o que Maar (2004) denominou de uma "pequena revolução científica". Robert Grosseteste e seus alunos, que para o autor protagonizaram a "revolução" mencionada, propunham o abandono às obras comentadas de Aristóteles e uma nova postura quanto à natureza e à pesquisa científica. Defendiam que a Ciência inicia-se com a

observação dos fenômenos, mas cabe a ela descobrir as causas ou "agentes causais" que fundamentam o que foi observado, baseando-se em hipóteses que podem ser testadas (MAAR, 2004).

O pensamento aristotélico marcou presença por toda a Idade Média entre aqueles que se propunham exercitar o entendimento sobre os fenômenos da natureza. Esse exercício desenvolvia-se principalmente num plano além da concretude do mundo físico, estabelecido como estava na lógica, um poderoso instrumento de pensamento já conhecido dos gregos. (GIORDAN, 1999, p. 43)

As novas condições socioeconômicas da Europa, entre os séculos XIV e XVI, proporcionaram uma grande expansão cultural, período denominado por historiadores como Renascimento. Considerado como um movimento intelectual e artístico, o Renascimento representou uma nova visão de mundo para aquela sociedade que havia se formado após o desenvolvimento comercial e urbano que teve início com o fim da Idade Média (e marcado pela crise no sistema feudal). Em contraposição à estática estrutura social dos feudos (favorecida pela submissão aos desígnios divinos), a nova concepção tinha como elemento central o humanismo. Esta corrente filosófica valorizava o indivíduo e sua potencialidade de criação, baseando-se no antropocentrismo, ou seja, o ser humano em uma posição central para mediar todas as questões. Outras características fundamentais do Renascimento foram: a busca por uma representação da natureza compatível com a realidade (naturalismo), a valorização da razão (racionalismo) e a defesa do prazer individual (hedonismo).

Um dos grandes nomes desse período é Leonardo da Vinci (1452-1519), o reconhecido pintor produziu conhecimento em diversas áreas e, dentre suas contribuições, defendia o experimentalismo. O racionalismo e o empirismo deram subsídios para uma corrente de pensamento conhecida como Iluminismo (dominante na Europa no século XVIII). Uma das importantes publicações, no período que antecede essa corrente filosófica, é a da obra "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" de Isaac Newton (de 1687), um dos principais adeptos e impulsionadores do Iluminismo. A partir do século XVII, a experimentação tornou-se fundamental para a compreensão dos fenômenos naturais e, consequentemente, colaborou para a consolidação das ciências naturais. Para Giordan (1999), "na medida em que as leis formuladas deveriam passar pelo crivo das situações empíricas propostas, dentro de uma lógica seqüencial de formulação de hipóteses e verificação de consistência" (GIORDAN, 1999, p.43) ocorria uma ruptura com as práticas vigentes,

as quais estavam submetidas, ainda, à crença do divino e fundamentadas no senso comum.

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 (GIORDAN, 1999, p. 44).

As formas de pensamento mencionadas por Giordan (1999) referem-se às adotadas pelos que se pronunciavam em prol da Ciência, caracterizadas pela utilização da experimentação e da matemática como ferramentas de controle do conhecimento. Francis Bacon (1561-1626) propôs em 1620, em sua famosa publicação *Novum Organum*, um método para estudar os fenômenos naturais, que para Bacon dependia apenas da observação e da experimentação, e era regulada pelo raciocínio indutivo. O método descrito é conhecido como indução e fundamenta a chamada ciência indutivista, no qual parte-se de particularidades, contextualizadas pela experimentação, para chegar a enunciados gerais.

Contemporâneo à Bacon, René Descartes (1596–1650) buscava uma metodologia precisa para conduzir o pensamento humano. Em sua obra mais conhecida, *Discous de la methode* (de 1637), ele propôs uma forma quase matemática de racionalizar o conhecimento, no qual a observação devia ser substanciada pela demonstração experimental. Para Descartes, à experimentação cabia explorar a influência causal de um enunciado geral sobre um evento particular, ou seja, diferente de Bacon o qual concebia que a experimentação fornecia o acúmulo de observações necessárias para fortalecer o enunciado geral, Descartes propunha que a experimentação teria a função de confirmar ou questionar uma hipótese, fortalecendo um enunciado geral. Esta forma de pensar é conhecida como método dedutivo.

A prática aristotélica, a qual se pautava nos sentidos para a compreensão dos fenômenos, foi substituída pela precisão de medidas associadas à prática empírica. Nesse sentido, Galileu Galilei (1564-1642), um dos principais experimentalistas de seu tempo, introduziu a utilização de instrumentos de medida (por exemplo, a luneta) como forma de confirmação empírica. Ele associava à experimentação um papel de legitimadora da Ciência (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 terem contribuído para a estruturação do que ficou conhecido como método

científico, pelo qual a experiência é planificada com base num estratagema racional (GIORDAN, 1999, p.45)

Essa nova forma de pensar credita à razão a função de explicar racionalmente os fenômenos naturais e sociais, sendo a razão humana a luz capaz de esclarecer todas as questões da humanidade. No século XVIII, conhecido como século das Luzes, Immanuel Kant (1724-1804) desenvolveu importantes reflexões sobre as possibilidades e limitações da razão e sintetizou os métodos indutivos e dedutivos na forma de conceber o conhecimento. Dentre as linhas filosóficas que interpretaram o pensamento kantiano encontra-se o Positivismo, o qual foi fundamentado no século seguinte por Augusto Comte (1798-1895).

Para Comte, o pensamento humano podia ser compreendido em três fases de evolução, a primeira de cunho teológico, seguindo do metafísico e chegando ao positivo. Segundo ele, no estágio científico devem-se abandonar as referências das duas primeiras, não observáveis, e através da experimentação fortalecer as explicações positivas. Esse pensamento influenciou, consideravelmente, a sociedade nos séculos XIX e XX. Na educação, as ideias positivistas influenciaram (e ainda influenciam) práticas pedagógicas e, na área de ensino de ciências, especificamente, foi sustentada pela aplicação e "transposição cega" do método científico (ISKANDAR; LEAL, 2002).

A perspectiva positivista, associada à produtividade ansiada pelo capitalismo, favoreceu a fragmentação do conhecimento que, ainda hoje, é conservada nos currículos e planejamentos nas instituições de ensino. A Revolução Industrial (caracterizada por um conjunto de transformações socioeconômicas que resultaram na consolidação do capitalismo) impulsionou a fragmentação crescente das ciências em disciplinas especializadas com objetivos e metodologias bem definidas. Particularmente nas ciências exatas, a ideia racional de Ciência foi associada ao progresso técnico e produtividade durante o século XIX (MAAR, 2004).

Retomando a importância do empirismo no rompimento com o pensamento medieval, para Maar (2004) a experimentação foi fundamental, em particular, para a consolidação da Química como Ciência e sua institucionalização em universidades. E, no contexto do ensino de Química, a experimentação está intimamente relacionada com o trabalho do químico e muitas vezes ela é considerada a principal motivação na escolha pelo curso de química. Sato (2011) salienta que "esse interesse gerado e a curiosidade de conhecer, trabalhar e aprender como funciona a

sistemática do ambiente laboratorial são contribuições difíceis de serem substituídas por outras abordagens didáticas" (SATO, 2011, p.34)

Entretanto, nas últimas décadas, o pensamento positivista na educação tem sido questionado e, no ensino de ciências, as habilidades contempladas com o método científico (no qual a experimentação tem fim em si mesmo, funcionando como instrumento legitimador do conhecimento) na educação científica também foram questionadas. Segundo Giordan (1999), até o final da década de 60 os programas de educação científica estavam sob influência do pensamento lógico-positivista e comportamentalista, no qual a aplicação das etapas estabelecidas pelo método científico proporcionaria aos estudantes a aquisição do método e, intuitivamente, resultaria na compreensão do conhecimento subjacente.

A psicologia cognitivista contribuiu nesse contexto, e tem contribuído significativamente, nas concepções de aquisição e desenvolvimento conhecimento. A linearidade proposta pelo método científico foi reavaliada para a construção do pensamento científico, que por sua vez obteve uma compreensão psicológica e social de desenvolvimento (GIORDAN, 1999). A abordagem construtivista cuja base teórica encontra-se, principalmente, nas ideias de Jean Piaget (1896-1980) e Lev Vygotsky (1896-1934), apareceu em contraposição à abordagem positivista e, nessa nova concepção, o estudante deveria ser considerado o agente ativo na construção do seu conhecimento e a ideia de transmissão passiva do conhecimento (do professor - detentor do conhecimento para o estudante – desprovido e receptor passivo do conhecimento), favorecida pelo positivismo, foi questionada.

Com relação ao aspecto passivo associado aos estudantes no processo de ensino e aprendizagem de ciências, Cachapuz, Praia e Jorge (2004) entendem que a verdadeira questão do conhecimento está na diferenciação entre o que é observado e o que é compreendido. Nesse sentido, os autores diferenciam a informação (científica) do conhecimento (científico), e para eles a primeira tem sido cada vez mais oferecida (advindas de diferentes fontes, e eventualmente resolvido como a democratização ao seu acesso) em detrimento do segundo o qual é pessoal e socialmente construído. Para os autores, a informação é apenas uma condição necessária para o conhecimento.

Em uma direção oposta ao pensamento apresentado por Cachapuz, Praia e Jorge (2004), e particularmente influenciados modelo positivista, os cursos (e seus

currículos) em universidades brasileiras esteve (e de certo modo, ainda está) fragmentado e sobrecarregado de conteúdos informativos em detrimento dos formativos, "fazendo com que o estudante saia dos cursos de graduação com 'conhecimentos' já desatualizados e não suficientes para uma ação interativa e responsável na sociedade, seja como profissional, seja como cidadão" (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999).

No Brasil, as Diretrizes Curriculares buscam orientar o perfil, assim como as habilidades e competências almejadas, e foram elaboradas para todas as áreas do Ensino Superior, atendendo as questões apresentadas pela LDB (Lei 9.394/96) e pelo Edital nº 04/97 da Secretaria de Educação Superior do MEC (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999). Tais documentos, segundos os autores,

estabelecem que os currículos dos cursos superiores precisam ser revistos, considerando o fim da exigência de currículo mínimo e a necessidade de uma flexibilização curricular que, sem prejuízo de uma formação didática, científica e tecnológica sólida, avance também na direção de uma formação humanística que dê condições ao egresso de exercer a profissão em defesa da vida, do ambiente e do bem estar dos cidadãos (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p. 454).

A "nova" perspectiva de ensino, apresentada por tais documentos, foi detalhada através de uma série de habilidades e competências descritas pontualmente pelas Diretrizes Curriculares. Nas Diretrizes Curriculares para o Ensino Superior em Química, a descrição do perfil esperado para os formandos ressalta a importância de uma formação generalista e humanística, que propicie o pensamento crítico. Vale ressaltar, que a experimentação está presente na concepção sobre a formação dos profissionais dessa área, como é possível destacar na descrição do perfil para ambas as habilitações, licenciatura e bacharelado, apresentado pelas Diretrizes Curriculares para o Ensino Superior em Química.

O Bacharel em Química deve ter formação generalista, com domínio das **técnicas básicas de utilização de laboratórios e equipamentos**, com condições de atuar nos campos de atividades socioeconômicas que envolvam as transformações da matéria; direcionando essas transformações, controlando os seus produtos, interpretando criticamente as etapas, efeitos e resultados; aplicando abordagens criativas à solução dos problemas e desenvolvendo novas aplicações e tecnologias (BRASIL, 2001, p.4, grifo nosso).

O Licenciado em Química deve ter formação generalista, mas sólida e abrangente em conteúdos dos diversos campos da Química, preparação adequada à aplicação pedagógica do conhecimento e **experiências de Química** e de áreas afins na atuação profissional como educador na educação fundamental e média (BRASIL, 2001, p.4, grifo nosso).

Considerando que a experimentação é uma ferramenta importante para o

ensino de Química, existe real necessidade de propostas e estudos sobre atividades experimentais que colaborem para a promoção das habilidades e competências ansiadas para o ensino superior em Química.

Neste contexto, o estudo que será apresentado nesta dissertação teve como objetivo geral desenvolver e caracterizar uma sequencia de atividades experimentais para o ensino superior em Química. A proposição da sequência didática fundamentou-se no desenvolvimento das habilidades e competências pertinentes à formação do químico.

A elaboração e avaliação da proposta deste estudo foram fundamentadas na taxonomia de Bloom. Esta taxonomia distingue os tipos de aprendizagem através de domínios, sendo um deles o domínio cognitivo (responsável pela aquisição e produção de conhecimento). Nesta perspectiva, a proposta buscará desenvolver habilidades cognitivas de alta ordem e explorar as potencialidades da atividade experimental no Ensino Superior.

A sequência didática proposta neste trabalho incorporou diferentes recursos e metodologias difundidos na literatura e que não são, tradicionalmente, utilizados em aulas práticas laboratoriais. Dentre os recursos e metodologias utilizadas na concepção da proposta, pode-se destacar a utilização de software de simulação no contexto de aulas práticas laboratoriais.

A utilização de um software de simulação associado à atividade experimental tem sido cada vez mais comum no contexto educacional. Os softwares de simulação podem auxiliar na interpretação e discussão dos resultados experimentais, e o uso desta ferramenta educacional associado às aulas experimentais contribui para a compreensão de diferentes aspectos do conhecimento em Química. Alguns pesquisadores (Santos e Greca, 2005; Orlandi, Camargo e Neto, 2006; Wu, Krajcik e Soloway, 2001) apontam que o uso concomitante da experimentação e da utilização de softwares pode colaborar para a compreensão das diferentes dimensões conceituais referentes ao conhecimento químico (dimensão macroscópica, dimensão representacional e dimensão submicroscopica), definidas por Johnstone (1993). No caso da proposta que será apresentada neste trabalho, colocou-se em evidência a relação entre a utilização de um simulador no contexto de aulas experimentais, buscando uma contribuição na compreensão das dimensões conceituais definidas por Johnstone (1993).

Outra estratégia utilizada foi a utilização coletiva dos dados experimentais,

que teve como objetivo ampliar o conjunto de dados e criar uma situação na qual o estudante seria incapaz de estudar o fenômeno baseando-se apenas em seus próprios resultados. Neste caso, para construir seu conjunto de dados o estudante precisaria utilizar os dados obtidos por outros grupos de trabalho e, assim, obter todas as partes do objeto de estudo.

A fim de proporcionar que os grupos de trabalho obtivessem dados diferentes e complementares, foram desenvolvidas (pelos pesquisadores), e utilizadas na sequência didática, algumas escalas visuais de pH. Estas escalas possuem algumas limitações que serão apresentadas e discutidas posteriormente nesta dissertação.

Além disso, a sequência proposta buscou desenvolver a autonomia dos estudantes e promover, com a abordagem investigativa, maior grau de liberdade para o estudo do fenômeno. Na segunda prática proposta na sequência elaborada, os estudantes não foram pré-condicionados a um determinado procedimento experimental, foi oferecido apenas um sistema para ser estudado. Buscou-se incentivar, na segunda prática da sequência elaborada, que os estudantes levantassem suas hipóteses, projetassem um procedimento de estudo, realizassem testes e reelaborassem suas propostas, proporcionando, assim, um ambiente de investigação.

1.1 Contexto da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada no Instituto de Química (IQ-USP) da Universidade de São Paulo (USP), campus capital. Visto o interesse específico deste trabalho, a amostra selecionada contou com estudantes do primeiro ano dos cursos de Química oferecidos pela USP.

O estudo teve duas etapas principais, a primeira foi composta pelo desenvolvimento da sequencia didática e a segunda pela aplicação e avaliação da proposta elaborada. A primeira etapa foi realizada no primeiro semestre de 2013 e incluiu a seleção/desenvolvimento dos experimentos, dos questionários e ferramentas que seriam utilizadas. Além disso, nesta etapa da pesquisa foi realizado um estudo prévio com participação voluntária de 11 estudantes do primeiro ano do curso de bacharelado em Química - diurno.

Com a finalidade de promover a aplicação da proposta em uma situação real de ensino e aprendizagem no Ensino Superior em Química, a segunda etapa foi realizada dentro do contexto de uma disciplina obrigatória para dois cursos de Química da USP. A disciplina que acampou este trabalho, desde o projeto à sua aplicação, foi a disciplina Química Geral II - QFL4020, oferecida para estudantes do primeiro ano dos cursos de Licenciatura em Química e Bacharelado em Química – com ênfase em Química Ambiental. Esta etapa da pesquisa contou com a participação voluntária de 48 estudantes dos 56 estudantes que cursavam esta disciplina no segundo semestre de 2013.

Etapa	1	2	
Período de realização	Primeiro semestre de 2013	Segundo semestre de 2013	
Atividades desenvolvidas	- Elaboração da sequência didática - Estudo prévio	- Aplicação da proposta desenvolvida na disciplina QFL4020	

Fonte: própria

Quadro 1 - Atividades desenvolvidas e período de realização

A disciplina de Química Geral II, era segmentada em aulas teóricas, sob responsabilidade de um docente específico, e aulas práticas, sob responsabilidade de três docentes (e com a colaboração de monitores e técnicos de laboratório). A sequência didática proposta neste trabalho foi aplicada no período formal da disciplina, e contou com cinco aulas do programa das aulas práticas. Vale ressaltar que o orientador deste trabalho foi um dos docentes responsáveis pelo módulo experimental da disciplina durante o período de estudo e a pesquisadora foi monitora voluntária durante o mesmo período. Os demais docentes e monitores da disciplina foram receptivos com a proposta geral do estudo, assim como com as atividades sugeridas pelos responsáveis desta pesquisa.

As principais atividades deste trabalho foram identificadas como LABIQ 1 e 2 e a nomenclatura utilizada derivou do Laboratório Integrado de Química e Bioquímica (LABIQ), projeto institucional do IQ-USP que visa o desenvolvimento de ferramentas educacionais e metodológicas para o ensino experimental de Química (http://labiq.iq.usp.br/), e que teve grande importância na concepção geral desta pesquisa.

Para essas práticas, especificamente, a seleção dos experimentos, o planejamento, os testes necessários e a produção do material (roteiros e soluções),

assim como a discussão dos procedimentos e resultados junto aos estudantes, foram realizados pelos pesquisadores e colaboradores deste estudo.

Experimento	Data	Descrição
1	29/08	Equilíbrios ácido-base
2	12/09	Determinação do produto de solubilidade do AgBrO ₃
3	19/09 03/10	LABIQ 1
4	10/10 17/10 24/10	LABIQ 2
5	07/11	Determinação do Kps de hidróxido de bário octahidratado
6	14/11	Determinação da concentração de peróxido de hidrogênio em amostra de Vanish

Fonte: Programa do módulo experimental da disciplina QFL4020

Quadro 2 - Programa do módulo experimental da disciplina QFL4020 - 2013/2

Com a finalidade de inserir os experimentos LABIQ 1 e 2 no contexto das discussões previstas no programa oficial da disciplina, inicialmente foi realizado o levantamento dos conteúdos abordados pela disciplina QFL4020. O programa inicial da disciplina, para as aulas de laboratório, previa experimentos de titulação ácidobase. Visto a importância dessa técnica e sua relevante associação ao conceito de equilíbrio químico, o tema foi selecionado para a proposta deste trabalho.

No programa da disciplina, disponível online para os estudantes, são destacados conceitos relacionados aos experimentos do LABIQ 1 e 2, segue um recorte do programa referente aos conceitos abordados direta ou indiretamente na sequência didática proposta neste trabalho.

Conceito de equilíbrio, a constante de equilíbrio, equilíbrios heterogêneos, cálculos da constante de equilíbrio, aplicações, princípio de Le Châtelier, equilíbrios ácido-base, ácidos e bases de Bronsted-Lowry, autoionização da água, escala de pH, ácidos e bases fortes, ácidos fracos, bases fracas, relação entre Ka e Kb, hidrólise, ácidos e bases de Lewis, efeito do íon comum, soluções-tampão, titulações ácido-base, equilíbrios de solubilidade (https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=QFL4020&verdis=1)

1.2 Objetivo geral e objetivos específicos

O objetivo geral deste trabalho de pesquisa foi desenvolver e caracterizar uma sequência de atividades experimentais para o Ensino Superior em Química.

De acordo com o que foi apresentado na introdução e no contexto desta

pesquisa (sobre os recursos, metodologias e conteúdos desenvolvidos na sequência didática elaborada) foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o trabalho:

- Investigar a compreensão de estudantes (de cursos introdutórios de Química do Ensino Superior) sobre curvas de titulação;
- Avaliar a utilização de um simulador de curva de titulação como parte da proposta experimental, buscando caracterizar a contribuição deste recurso no desenvolvimento de processos cognitivos de alta ordem;
- Analisar a seleção dos dados experimentais realizada pelos estudantes, considerando o contexto proporcionado pela abordagem utilizada;
- Analisar as propostas experimentais de estudantes do primeiro ano do curso de Química frente um experimento de caráter investigativo;

1.3 Organização do texto

A dissertação da referida pesquisa foi estruturada em nove capítulos, sendo o primeiro esta introdução e o último as considerações finais. No Capítulo 2, são apresentadas as questões relacionadas ao conceito de equilíbrio químico e sua relação com a titulação ácido-base. A este capítulo cabe discorrer sobre a importância deste conceito dentro do campo das Ciências, assim como suas dificuldades e consequentes concepções alternativas, que muitas vezes dificultam o processo de ensino e aprendizagem.

O Capítulo 3 aborda a questão do Ensino Superior em Química, apresentando os aspectos históricos relacionados ao inicio do ensino desta Ciência em universidades, retoma as questões relacionadas à experimentação discutidas nesta introdução e situa as aulas prático-laboratoriais no que diz respeito à metodologia de ensino tradicionalmente utilizada.

No Capítulo 4 busca-se compreender a utilização de softwares de simulação em aulas experimentais como uma ferramenta de ensino e aprendizagem. O texto procura apresentar como este recurso pode contribuir para o ensino e aprendizagem, favorecendo ao estudante transitar, de maneira menos abstrata,

entre as dimensões conceituais do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e representacional), tal como é definido por Johnstone. Além disso, o capítulo encerra-se com a apresentação do software de simulação escolhido para a sequência didática proposta neste trabalho.

Retomando, especificamente, às atividades experimentais, o capítulo 5 propõe um olhar sob a perspectiva do domínio cognitivo e do desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem, ou seja, habilidades com maior complexidade cognitiva (formulação de hipóteses, julgamento crítico do conhecimento aprendido ou produzido, capacidade de comunicação de conhecimentos, entre outras).

Os capítulos 6 e 7 referem-se à primeira etapa desenvolvida neste estudo, no primeiro é apresentado a metodologia utilizada no desenvolvimento das escalas visuais de pH. No segundo, são apresentados os resultados obtidos no estudo prévio realizado que, de forma geral, contribuíram para a proposição da sequência didática para aulas experimentais de Química no Ensino Superior apresentada no capítulo 8.

2 Equilíbrio químico e titulação ácido-base

A compreensão sobre titulações ácido-base está intimamente associada à compreensão do conceito de equilíbrio químico, e este, por sua vez, é considerado um dos tópicos de maior complexidade e reconhecido na literatura como um dos conceitos que apresenta o maior grau de dificuldade no processo de ensino e de aprendizagem. Todavia, este é um conceito de grande importância uma vez que é fundamental para a compreensão de diversas transformações químicas. Além disso, tal conceito está elencado a demais competências no campo das ciências, como no estudo de Bioquímica, Cinética Química, entre outros. Uma das razões que resulta nas dificuldades no ensino e aprendizagem do conceito em questão está relacionada à grande quantidade de conhecimentos prévios e integrados à ele, como reações químicas, noções de cinética e termoquímica, estequiometria e estudo dos gases (ATKINS, 2006; MASKILL;CACHAPUZ, 1989).

Dentre as razões que resultam na dificuldade observada nos processos de ensino e aprendizagem de equilíbrio químico podemos destacar a influencia das ideias de natureza macroscópica sensorial, o que provêm às explicações relacionadas ao conceito analogias equivocadas que podem resultar em concepções alternativas (SOUZA; CARDOSO, 2008). Por exemplo, a clássica analogia da balança para explicitar o equilíbrio químico, a qual dificulta a compreensão da natureza dinâmica dos processos químicos em estado de equilíbrio. Neste caso, a compreensão da natureza dinâmica dos processos em equilíbrio químico é fundamental para o entendimento sobre reações ácido-base e, consequentemente, sobre titulações ácido-base. Uma vez que esta técnica é fundamentada nos processos de equilíbrio entre as espécies químicas envolvidas.

Para Raviolo e Garritz (2008), o estudo de Química, assim como as demais ciências, requer analogias, metáforas ou modelos para explicar fenômenos que não são observáveis. Entretanto, segundo os autores, apesar de contribuírem para a compreensão de conceitos abstratos, as analogias devem ser utilizadas com cautela, uma vez que podem promover o resultado inverso no processo de ensino e aprendizagem, resultando em obstáculos epistemológicos. Ainda assim, "as analogias constituem uma estratégia válida para o ensino do equilíbrio químico devido à complexidade e a abstração do conceito" (RAVIOLO; GARRITZ, 2008,

p.23). Para os autores a compreensão da natureza reversível e dinâmica do equilíbrio químico pode ser favorecida através da utilização de analogias.

De modo geral, o conceito de equilíbrio químico é abordado por um viés matemático, com um enfoque na solução de problemas algorítmicos em detrimento de uma compreensão cinético-molecular do sistema no estado de equilíbrio. Nessa perspectiva, a compreensão conceitual pode ser comprometida uma vez que a resolução de problemas aritméticos não necessariamente contribui para a argumentação sobre fenômenos naturais abordados nas disciplinas de Química (BERTOTTI, 2011). Nesse sentido, as curvas elaboradas a partir de titulações ácidobase são abordadas como resultado matemático em detrimento de uma compreensão cinético-molecular do sistema estudado.

Retomando o conceito de equilíbrio químico, é razoável a preocupação voltada às concepções alternativas descritas na literatura (CARRASCOSA, 2005). Carobin e Serrano (2007) realizaram uma revisão acerca das concepções alternativas referentes a esse conceito. Dentre as concepções alternativas que foram levantadas pelos autores, a utilização equivocada do Princípio de Le Chatelier pode ser considerada um dos principais obstáculos para a compreensão de equilíbrio ácido-base. Bertotti (2011) realizou um estudo acerca das dificuldades conceituais no aprendizado de equilíbrio químico envolvendo reações ácido-base e nesse estudo averiguou que quando os estudantes justificavam suas respostas, estas continham erros conceituais referentes ao uso inapropriado do Princípio de Le Chatelier.

Assim, como no caso de outros conceitos químicos, a utilização de analogias inapropriadas em livros didáticos cumpre papel importante na consolidação de conceitos alternativos sobre equilíbrio químico. Com esta temática em foco, Canzian e Maximiano (2010) traçaram um panorama relacionado à abrangência e a forma como o Princípio de Le Chatelier é formulado e discutido nos livros didáticos de Química do Ensino Médio. Para os autores, tal abordagem reflete o uso inapropriado de um principio generalista para discorrer sobre o comportamento de sistemas em equilíbrio químico. Vale ressaltar que ainda nos primeiros anos de cursos de graduação em Química essa abordagem ainda está enraizada nas concepções dos estudantes acerca do conceito de equilíbrio químico (BERTOTTI, 2011; CAZIAN; MAXIMIANO, 2010).

As formas como é introduzido o Princípio de Le Chatelier, "marcado de caráter

indutivo, vago, ambíguo, universal, sem fundamentação teórica. Em geral, não são discutidos exemplos que mostrem as suas limitações ou casos em que a aplicação literal e linear do princípio pode levar a predições incorretas" (CAZIAN; MAXIMIANO, 2010. p.117) refletem nas concepções alternativas referentes ao conceito encontradas na literatura, as quais indicam que o princípio de Le Chatelier equivale a uma lei científica válida para todas as reações químicas.

Além do conceito de equilíbrio químico, outros conhecimentos fundamentam a compreensão sobre as titulações ácido-base. Como, por exemplo, a compreensão sobre as reações entre ácidos e bases, além dos próprios conceitos de ácidos e de bases. Sobre reações entre ácidos e bases, Chagas (1999) afirma que as teorias ácido-base foram se consolidando através da evolução de uma teoria anteriormente aceita, procurando abranger cada vez mais os fenômenos conhecidos, e tornando a teoria antiga um caso particular da nova.

Apesar disso, Lopes (1993) salienta que a teoria ácido-base é um dos estudos que apresenta a maior proliferação de obstáculos substancialistas, muitos destes advindos da teoria de Arrhenius. Tal fato pode ser verificado em pesquisas acerca concepções alternativas sobre conceitos relacionados à teoria ácido-base (SILVA et al., 2008). Çetingül e Geban (2011) em estudos realizados na Universidade Técnica do Oriente Médio constataram que há resistência dos estudantes quando confrontados a respeito da teoria ácido-base. Os pesquisadores levantaram algumas concepções alternativas referentes ao tema de estudo e dentre as concepções elencadas destacam-se as que fazem referência à teoria de Arrhenius. Para os autores, "many of the misconceptios obseved in this study would likely to be found among chemistry students elsewhere" — "muitas das concepções alternativas observadas neste estudo seria provável de ser encontradas entre os estudantes de química em outros lugares" - (ÇETINGÜL; GEBAN, 2011, p.119, tradução nossa).

De fato, estudos realizados por outros pesquisadores apontam para equívocos conceituais semelhantes. Como é apresentado por Silva et al. (2008), estudo no qual foi realizado um levantamento das concepções alternativas entre calouros de química sobre as teorias ácido-base. Dentre as concepções elencadas nesse estudo, constam as advindas da teoria de Arrhenius, as quais fazem referência às propriedades ácidas e básicas como propriedades intrínsecas às substâncias, sendo respectivamente relacionadas ao próton (H⁺) e à hidroxila (OH⁻) na molécula ou agregado iônico. Além disso, há a referência à escala de pH como

parâmetro para distinção entre ácidos e bases.

Para Lopes (1993) "Melhor seria se o ensino das funções químicas fosse feito utilizando-se uma teoria mais abrangente como é a Teoria Ácido-Base de Bronsted-Lowry" (LOPES, 1993, p.328), uma vez que tal enfoque propicia compreensão da relação entre as espécies que reagem e entre o meio para definir se uma espécie se comporta como ácido ou base. Ocorre que o cerne das aplicações desta teoria ácido-base fundamenta-se justamente no equilíbrio da reação, como é o caso da neutralização parcial de ácidos e bases fracas e dos sistemas tampão. Portanto, o tema "ácidos e bases" pode ser uma via conveniente para discutir o conceito de equilíbrio e investigar concepções dos estudantes a respeito deste conceito, além de prover meios para discutir o tema ácidos e base em si.

Por exemplo, na perspectiva da mudança conceitual, a abordagem das teorias ácido-base pode servir como propósito de expor conceitos prévios sobre equilíbrio químico, abrindo margem para confrontá-los ao conceito cientificamente aceito e, potencialmente, superar barreiras de aprendizagem associadas aos dois conceitos. Nessa perspectiva, Mortimer (1996) salienta que há resistência pelos estudantes com relação à mudança conceitual, ou seja, à capacidade de adquirir novos conhecimentos ou ampliar conceitos já aprendidos. Ainda assim, para Lopes (1993) "É preciso cumprir o duplo e desafiador o trabalho de valorizar os conhecimentos prévios do aluno, ao mesmo tempo questioná-lo, desconstruindo os obstáculos epistemológicos que impedem o aprendizado" (LOPES, 1993, p.330).

3 A experimentação no Ensino Superior em Química

Este capítulo busca apresentar os objetivos acadêmicos e profissionalizantes relacionados ao ensino superior em química. Procurando compreender a construção dos valores associados à formação dos profissionais desta área (licenciados ou bacharéis em química), tal como definem as Diretrizes Curriculares para os cursos de Química (BRASIL, 2001), será apresentado inicialmente um recorte histórico sobre as contribuições que culminaram no ensino formal desta Ciência no Ensino Superior. O texto segue com um diálogo entre as Diretrizes Curriculares para os cursos de Química e o que se espera da formação destes profissionais.

Este capítulo pretende, ainda, estabelecer a importância das atividades experimentais no Ensino Superior em Química. Apresenta uma breve alusão ao contexto histórico no qual se consolidou os primeiros laboratórios didáticos em universidades e um diálogo entre as Diretrizes Curriculares para os cursos de Química e a experimentação, procurando estabelecer como a experimentação tem sido concebida no Ensino Superior em Química.

3.1 <u>A consolidação da Química como Ciência e a sua institucionalização no Ensino Superior</u>

O ensino formal de Química em universidades remonta ao século XVII, inicialmente vinculado aos cursos de medicina e farmácia, através da quimiatria (ou iatroquímica) e, mais tarde, da química aplicada, resultado das atividades tecnológicas, tais como a metalurgia. Para Maar (2004), a literatura referente à história da Ciência, especificamente à história da Química, pouco discute acerca da formação dos profissionais que deram início ao ensino formal de Química. Segundo o autor, esses profissionais, em geral, eram egressos dos cursos de medicina, farmácia, metalurgia ou outras áreas tecnológicas, das ciências naturais como um todo, além de cientistas amadores ou autodidatas que, como Paracelso (1493-1541), obtinham sua formação informalmente através do contato com diversos tipos de

pessoas, tais como sábios, bispos, mineiros, fundidores, soldados, alquimistas, entre outros. Havia, ainda, uma formação adicional obtida através do que eles chamavam na época de *peregrinatio academica* (viagem de estudos, em latim).

Ao final do século XVI e início do século XVII alguns eventos marcaram o que Maar (2004) assinala como indicativos de uma atividade química independente. Dentre elas o autor destaca a publicação da obra *Alquimia*, escrito por Andreas Libavius (1550-1616) em 1597. Libavius, médico de formação, lecionou, a partir de 1591, no Ginásio de Rothenburg a matéria "ciências naturais", considerada revolucionária para a época. Em seu livro, Libavius descreve a construção e organização de um laboratório de Química. Ao contrário do nome, a obra é considerada o primeiro livro-texto de Química, abordando técnicas e descrevendo as peculiaridades do trabalho do químico, assim como suas necessidades com relação à infraestrutura pertinente a laboratórios, tais como sala de destilação, de sublimação, depósitos, salas de repouso para os laboratoristas, entre outros.

O autor cita, também, a criação da primeira cátedra de Química em uma universidade. Trata-se da Universidade de Marburg, na qual uma cadeira de quimiatria foi criada em 1610 e concedida à Johannes Hartmann (1568-1631). Ainda assim, o ensino universitário de quimiatria estava submisso às necessidades científicas e tecnológicas básicas da medicina e da farmácia. Vale ressaltar que a concepção paracelsiana da quimiatria, na qual a Química está associada ao tratamento de doenças, à natureza dos processos fisiológicos e à utilização de técnicas e procedimentos alquímicos na preparação de remédios, incitou a valorização do caráter técnico no seu ensino. Hartmann, egresso de medicina da Universidade de Marburg, compactuava das ideias paracelsianas e, após ocupar a cadeira de quimiatria, elaborou normas de comportamento e de trabalho em laboratório, roteiros sobre aulas práticas de química médica, além dos textos reunidos no compendio Praxis chymiatrica. Outras universidades, aos poucos, seguiram o exemplo da Universidade de Marburg e inseriram quimiatria em seus cursos, principalmente nos cursos de medicina e farmácia. Para Aaron Ihde (apud MAAR, 2004), até 1800 o melhor lugar para se aprender Química era nos cursos de farmácia, visto que a formação profissional dos químicos anteriores a Lavoisier era predominantemente na farmácia, e alguns deles práticos sem formação acadêmica.

Segundo Jost Weyer (apud MAAR, 2004), o nascimento da Química moderna ocorreu por volta de 1600 com influência dos aspectos práticos da alquimia

empírica, que forneceu os materiais, os equipamentos e as técnicas para esta nova Ciência, da filosofia natural, que concedeu o enquadramento teórico necessário para a promoção da mesma, e das artes plásticas, compreendida na época como todo trabalho produzido pelo ser humano, e fornecia um amplo campo de trabalho para esta Ciência. Ainda assim, não havia professor universitário de química, que se dedicasse exclusivamente a esta Ciência, até o século XVIII.

Os conhecimentos alquímicos e suas técnicas, muitas delas ainda utilizadas, foram fundamentais na produção e manipulação de novos medicamentos, tornandose um conhecimento fundamental no campo da medicina e da farmácia. Diferente do que muitos acreditam a alquimia não foi uma precursora da Química, ou uma Química informal e medieval, mas os aspectos práticos da alquimia agregaram para o conjunto de conhecimento, que mais tarde seria a Química. Apesar de sua vasta contribuição e reconhecida importância, resultando na contratação de alquimistas por monarcas e outros, não há registros do ensino formal de alquimia nas universidades medievais. Além disso, havia uma contraposição entre a "cultura escolástica" e a "alquimia", sendo esta marginalizada e considerada excêntrica, principalmente pela Igreja. Embora houvesse uma estreita relação entre as universidades medievais e a Igreja Católica, havia um movimento nos cursos de medicina e farmácia para a utilização de técnicas alquimistas. (WEYER, 1992 apud MAAR, 2004).

Vale ressaltar que no século XVII houve uma reformulação dos estudos com ênfase na diferenciação e na especialização, marcado pela criação de disciplinas independentes como a Óptica, a Astronomia, e a Química. Para a Química, essa diferenciação e especialização resultaram em sua institucionalização acadêmica. "No século XVII também a ciência institucionalizou-se, com a criação das primeiras academias científicas modernas" (MAAR, 2004, p.45). Marcando esse período, que denominam de realismo pedagógico, têm-se a fundação da Universidade de Halle, em 1694, considerada como a primeira universidade moderna. Esse movimento foi caracterizado pelo abandono da autoridade eclesiástica e dos textos canônicos, buscando uma perspectiva objetiva e racional das disciplinas a serem lecionadas, tornando os currículos flexíveis e possibilitando aos professores liberdade de pesquisar e ensinar. Larroyo (1982, apud MAAR, 2004) afirma que as novas correntes filosóficas, decorrentes do Iluminismo, e as ciências naturais influenciaram a nova universidade, o que garantiu a livre-docência e livre-investigação.

3.2 Primeiros laboratórios didáticos para o ensino de Química

Em um cenário de conflitos e autoridade religiosa, entre os séculos XI e XII houve, segundo Maar (2004), uma "pequena revolução científica" iniciada por Robert Grosseteste (1170-1253) e continuada por seus alunos e seguidores, dentre eles Roger Bacon e Alberto Magno. Nesse período, as ideias aristotélicas, bastante difundidas na antiga Grécia, mas ignoradas após a ascensão do cristianismo na Europa, passaram influenciar muitos pensadores, como, por exemplo, São Thomás de Aguino.

Aristóteles reconhecia a importância da experiência e defendia que o conhecimento universal dependia da natureza factual, afirmando que "quem possua a noção sem a experiência, e conheça o universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento" (ARISTÓTELES, 1979 apud GIORDAN, 1999, p.43). O pensamento aristotélico foi importante durante a Idade Média, e as obras originais de Aristóteles foram retomadas e traduzidas para línguas latinas a partir do século XII (MAAR, 2004).

Roger Bacon (1220-1292), franciscano da universidade de Oxford, acreditava que apenas a lógica e a observação não eram suficientes para compreender a realidade, dando fundamental importância para a "experiência". Bacon enviou suas obras para Roma, em busca do apoio do Papa Clemente IV, que, por sua vez, mandou-o prender acusando-o de heresia (prática contrária às doutrinas da Igreja). Para Maar (2004), a partir de Grosseteste tem-se uma "remota origem do método experimental". A partir do século XVII, a experimentação tornou-se fundamental para a compreensão dos fenômenos naturais e, consequentemente, colaborou para a consolidação das ciências naturais, conforme o que foi apresentado na introdução desta dissertação.

A primeira ideia de laboratório foi descrita por Andreas Libavius, mencionado anteriormente, em sua obra Alquimia. Nesta obra, ele "descreve a construção, instalação e organização de um laboratório de química, incluindo as comodidades e necessidades que o trabalho dos químicos exige" (MAAR, 2004, p.41). A Universidade de Altdorf inaugurou, em 1683, o primeiro laboratório seguindo os preceitos de Libavius, que posteriormente serviu de modelo para a Universidade de Oxford.

A pressão consequente da revolução industrial e a necessidade de formar mais químicos treinados impulsionaram, no final do século XVIII, a expansão de laboratórios para o ensino de Química. Nesse contexto, o laboratório didático visava principalmente treinar e aprimorar técnicas experimentais e habilidades práticas, respondendo às necessidades daquela sociedade, formando alunos capacitados e com domínio laboratorial.

3.3 O perfil, as habilidades e competências esperadas na formação do químico

Como abordado, o ensino formal em universidades esteve atrelado aos interesses políticos, sociais e econômicos determinados por cada período histórico. Para Zucco, Pessine e Andrade (1999) vivemos, o que os autores destacam como, período pós-moderno, marcado "pela economia pós-industrial, pela compreensão do homem como um ser pluridimensional, pelo estabelecimento de novas concepções de limites, distâncias e tempo, pelo sentimento de responsabilidade em relação aos recursos naturais, pela busca de qualidade de vida" (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p. 454). Tais transformações na sociedade culminaram, nas últimas décadas, em um rápido avanço científico e tecnológico (também rapidamente difundido e absorvido pelos setores produtivos e pela sociedade em geral) que pode ser considerado como resultado da velocidade proporcionada pelos meios eletrônicos. O impacto da utilização de novas tecnologias pela sociedade é estudado por diversos sociólogos, dentre eles, por exemplo, Manuel Castells que destaca o aumento da produtividade na década de 1990 em função do avanço das tecnologias da informação e comunicação (CASTELLS, 2000).

Considerando, ainda, que as universidades são centros de formação de intelectuais, docentes, técnicos e tecnólogos, espera-se que estas contribuam significativamente para uma construção contínua do mundo e corresponda às expectativas da sociedade.

Verificado este novo momento histórico, esta nova complexidade vivencial, veloz e mutante, a universidade brasileira precisa repensar-se, redefinir-se, instrumentalizar-se para lidar com um novo homem de um novo mundo, com múltiplas oportunidades e riscos ainda maiores. Precisa, também, ser instrumento de ação e construção desse novo modelo de país (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p.454).

Vale ressaltar que as Instituições de Ensino Superior (IES) refletem o modelo e políticas educacionais adotadas pelo país no qual estão inseridas, e esse modelo é (ou deveria ser) pautado pelas necessidades da sociedade. Sendo assim, o tema é debatido em universidades e em outras instituições relacionadas ao ensino superior, e nas últimas décadas essas discussões destacaram, em sua maioria, a necessidade de mudanças na concepção dos currículos. Estes estavam, segundo os autores, atrelados fundamentalmente a conteúdos informativos em prejuízo dos formativos, fomentando profissionais com grande carga de "conhecimentos", porém desatualizados e que não são "suficientes para uma ação interativa e responsável na sociedade, seja como profissional, seja como cidadão" (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p. 454).

Em resposta a essa perspectiva, e em decorrência das mudanças incentivadas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9.394/96), as Diretrizes Curriculares para o ensino superior versam sobre uma formação humanística e geral do estudante, que possibilite a reflexão sobre temas como ética, responsabilidade e cidadania. Além da flexibilização das grades curriculares, que devem contribuir para uma formação interdisciplinar e incentivar a busca do próprio conhecimento, as universidades devem promover, através dos projetos políticospedagógicos de seus cursos e de uma mudança de postura institucional, que esse "novo" paradigma educacional seja eficaz.

"O estudante deve ter tempo e ser estimulado a buscar o conhecimento por si só, deve participar de projetos de pesquisa e grupos transdisciplinares de trabalhos, de discussões acadêmicas, de seminários, congressos e similares; deve realizar estágios, desenvolver práticas extensionistas, escrever, apresentar e defender seus achados" (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p.455)

Nas Diretrizes Curriculares para o curso de Química (BRASIL, 2001) o perfil desejado para os formandos, bacharéis e licenciados, é apresentado separadamente. A necessidade de uma formação generalista é destacada para ambos, e os cursos são diferenciados inicialmente em função das atividades exercidas por cada tipo de profissional.

De acordo com o perfil dos formandos descrito neste documento, o Bacharel em Química deve ter "domínio das técnicas básicas de utilização de laboratórios e equipamentos" e "condições de atuar nos campos de atividade socioeconômica que envolvam as transformações da matéria", "direcionando essas transformações, controlando seus produtos, interpretando criticamente as etapas, efeitos e

resultados", além de utilizar abordagens criativas para a solução de problemas e desenvolver novas aplicações e tecnologias. Para o Licenciado em Química, a formação deve ser sólida e abrangente, contemplando conteúdos dos diversos campos da Química. Além de promover sua "aplicação pedagógica do conhecimento e experiências de Química e de áreas afins na atuação profissional como educador na educação fundamental e média" (BRASIL, 2001).

As competências e habilidades almejadas para os formandos são elencadas no corpo do documento e agrupadas em função da formação pessoal; da compreensão da Química; da busca de informação, comunicação e expressão; e da profissão. Vale ressaltar, novamente, que o documento apresenta as competências e habilidades dos cursos de Bacharelado e de Licenciatura separadamente, incluindo na formação do Licenciado o ensino de Química e na do Bacharel, o trabalho de investigação científica, produção/controle de qualidade e a aplicação do conhecimento Químico.

Sobre o que se espera para a formação pessoal do formando em Química, o documento elenca em comum, para o curso de Licenciatura e Bacharelado, as seguintes habilidades e competências:

- Conhecimento sólido e abrangente da área de atuação e domínio das técnicas básicas de laboratório;
- Capacidade crítica para analisar o próprio conhecimento e de assimilar novos conhecimentos científicos;
- Capacidade de refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político;
- Ter formação humanística que lhe permita exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bemestar dos cidadãos;
- Ter interesse no auto-aperfeiçoamento contínuo, curiosidade e capacidade para estudos extracurriculares individuais ou em grupo, espírito investigativo, criatividade e iniciativa na busca de soluções para questões individuais e coletivas:
- Saber trabalhar em equipe;

Com relação à compreensão da Química, as habilidades e competências

elencadas em comum para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química são:

- Compreender os conceitos, leis e princípios da Química;
- Conhecer as propriedades físicas e químicas dos elementos e dos principais compostos químicos, assim como entender e prever o comportamento físico-químico e aspectos de reatividade, mecanismos e estabilidade;
- Reconhecer a Química como uma construção humana e compreender os aspectos históricos de sua produção e suas relações com os contextos culturais, socioeconômico e político;

Com relação à busca de informação e à comunicação e expressão, o documento aponta em comum as seguintes habilidades e competências:

- Saber identificar e fazer busca nas fontes de informações relevantes para a Química, inclusive as disponíveis nas modalidades eletrônica e remota, que possibilitem a contínua atualização técnica, científica, humanística;
- Ler, compreender e interpretar os textos científico-tecnológicos em idioma pátrio e estrangeiro (especialmente inglês e/ou espanhol);
- Saber interpretar e utilizar as diferentes formas de representação (tabelas, gráficos, símbolos, expressões, etc.);

As Diretrizes Curriculares destacam outras habilidades e competências almejadas para os profissionais formados em Química, porém cabe aqui apresentar uma visão geral sobre a formação de licenciados e bacharéis em Química. Visto que este trabalho tem como objetivo propor e avaliar uma sequencia de atividades experimentais para o Ensino Superior em Química (licenciatura e bacharelado).

O documento aponta o domínio de técnicas de laboratório como necessário para a formação do químico, mas não discorre especificamente sobre as aulas de laboratório e a importância da experimentação para a formação deste profissional. Entretanto algumas habilidades e competências apresentadas no documento podem ser exploradas em aulas de laboratório. Dentre elas destacam-se a capacidade crítica para analisar o próprio conhecimento; a assimilação de novos conhecimentos científicos; o trabalho em equipe; a compreensão dos conceitos, leis e princípios da Química; o conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos elementos e dos principais compostos químicos. Além das habilidades e competências

relacionadas à busca de informação, comunicação e expressão, tais como saber identificar e buscar fontes relevantes para a Química; ler, compreender e interpretar os textos científicos; e, também, saber interpretar e utilizar diferentes formas de representação.

3.4 Características das aulas prático-laboratoriais no Ensino Superior de Química

O ensino de Química em universidades teve início, como apresentado anteriormente, com o ensino de quimiatria nos cursos de medicina e farmácia. Inicialmente, o laboratório era a principal ferramenta de ensino de procedimentos e técnicas para o preparo de medicamentos. Alguns séculos depois, com revolução industrial ao final do século XVIII, o treinamento sistemático de químicos para trabalhar em indústrias, principalmente em análise e controle de qualidade, foi priorizado conforme a demanda da época (MAAR, 2004).

Retomando a citação de Zucco, Pessine e Andrade (1999), vivemos o período pós-moderno, marcado "pela economia pós-industrial, pela compreensão do homem como um ser pluridimensional, pelo estabelecimento de novas concepções de limites, distâncias e tempo" (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p. 454). E, consequentemente, a experimentação tem sido (ou deveria ser) concebida, neste novo contexto, sob uma nova perspectiva.

As aulas prático-laboratoriais (aulas experimentais que acontecem em laboratórios) possuem carga horária preestabelecida nos cursos de Química (licenciatura e bacharelado) e são obrigatórias de acordo com as recomendações nacionais para o Ensino Superior (BRASIL,2001). Como parte integrante do currículo, as aulas práticas laboratoriais devem possibilitar o desenvolvimento das habilidades e competências associadas à formação destes profissionais. Conforme abordado, as diretrizes curriculares para o ensino superior em Química apontam a necessidade do ensino prático laboratorial, mas não discorrem sobre as metodologias que podem ser utilizadas nesta modalidade de ensino para desenvolver as habilidades e competências desejadas para os profissionais desta área.

Nesse sentido, Borges (2002) identifica alguns dos objetivos associados aos laboratórios de ciências e aponta a verificação ou comprovação de leis e teorias científicas como um dos objetivos para o ensino experimental. Segundo o autor esse objetivo é enganoso, pois sugere que a preparação adequada da atividade resulta, consequentemente, em seu sucesso. Além disso, esta concepção favorece uma compreensão equivocada da relação entre a teoria e a prática na construção do conhecimento científico. O segundo objetivo apresentado pelo autor trata-se do ensino do método científico, o qual é questionado como fins didáticos. Além disso, "os cientistas utilizam métodos, mas isso não significa que haja um método científico que determine exatamente como fazer para produzir conhecimento" (BORGES, 2002, p. 300). Para o autor, o laboratório pode proporcionar que os estudantes desenvolvam e testem hipóteses, e que planejem e executem suas ações a fim de obter resultados confiáveis.

A aprendizagem e compreensão dos conceitos científicos e as habilidades práticas foram elencadas como os dois últimos objetivos para o laboratório de ciências apresentados por Borges (2002). Entretanto as concepções de ensino que fundamentam estes objetivos podem não necessariamente contribuir para eles sejam alcançados. Nesse sentido, o autor questiona a utilização de roteiros em práticas experimentais como garantia de que os objetivos da prática tenham sido alcançados, pois "o fato de um estudante realizar uma atividade adequadamente planejada não garante que ele aprenda aquilo que era pretendido" (BORGES, 2002, p.301).

Os roteiros buscam orientar a atividade que será desenvolvida no laboratório, no entanto, tradicionalmente, estes roteiros apresentam uma sequencia linear de execução do experimento, nos quais não há espaço para questionamentos e o objetivo se resume em executar corretamente todas as etapas propostas e, assim, obter o resultado esperado. Associado à utilização desse tipo de roteiro, podem-se destacar as aulas laboratoriais descritivo-reprodutivas as quais são muito disseminadas no Ensino Superior, seja público ou privado, favorecendo uma formação técnica e procedimental da Química e não estimulando o envolvimento ativo dos estudantes na construção do conhecimento (SATO, 2011).

Para Gil-Pérez e colaboradores (1999) este aspecto automatizado de experimentação resulta em uma visão distorcida e rasa da atividade científica, na qual o trabalho do cientista é desvalorizado e associa o conhecimento científico a

um corpo de verdades inquestionáveis. Chalmers (1993) ressalta que esse tipo de abordagem está vinculado a um "indutivismo ingênuo", no qual o conhecimento científico é resultado de um conjunto de observações cuidadosas que, através do método científico, consolidam-se em generalizações legitimamente válidas.

"os alunos acabam não compreendendo como ocorre o desenvolvimento do pensamento científico, uma vez que não formulam hipóteses, não buscam maneiras de solucionar questões, não analisam livremente os dados obtidos, estes, apenas seguem um roteiro, preenchendo as lacunas que lhes são propostas" (SATO, 2011, p.13).

Tradicionalmente, o roteiro experimental apresenta algumas características principais, tais como: uma apresentação sobre os conceitos envolvidos na prática, a definição dos objetivos conceituais e procedimentais (e em alguns casos, atitudinais) e um procedimento experimental, passo a passo, sobre a prática proposta. Em alguns casos, os roteiros apresentam caminhos metodológicos para a apresentação e interpretação dos resultados experimentais, tais como tabelas ou seções com lacunas em branco que devem ser utilizadas para reportar os dados obtidos. Há, ainda, roteiros com questões que orientam os estudantes antes e/ou após a realização de um experimento, como na proposição de um "pré-laboratório" e/ou na orientação da elaboração do relatório de uma prática.

Para Domin (1999), os processos cognitivos associados a este tipo de metodologia, em aulas experimentais, são de baixa ordem, desenvolvendo apenas o conhecimento, a compreensão e a aplicação dos conceitos envolvidos. As práticas expositivas, segundo o autor, referem-se às atividades nas quais não se atribuí importância para o planejamento, investigação, interpretação dos resultados e experimentos, e os estudantes se dedicam, quase que exclusivamente, em determinar se obtiveram o resultado esperado em detrimento do desenvolvimento e organização do experimento. O autor, ainda, prevê o roteiro como um facilitador da atividade no laboratório, o qual reduz a carga horária necessária para realizar a prática uma vez que o caminho metodológico é previamente oferecido e cabe aos estudantes seguir rigorosamente às etapas propostas para a execução "bem sucedida" do experimento.

Lunetta e Tamir (1979) também defendem que esse tipo de recurso não proporciona o desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem, Holfstein e Lunetta (1982) acrescentam que embora atividades experimentais tenham grande potencial na aprendizagem, tais potencialidades não são atingidas por esse método

de ensino. Uma vez que comparadas ao esforço e ao tempo investido por alunos, professores e técnicos, desde a elaboração até realização do experimento, as aulas laboratoriais proporcionam pouco efeito no desempenho educacional dos estudantes.

Sato (2011) destaca que os roteiros podem promover práticas com maior participação dos estudantes, envolvendo, ainda, processos cognitivos de alta ordem. A abordagem utilizada no laboratório didático pode variar de acordo com o professor ou a instituição de ensino, e, consequentemente, o roteiro não, necessariamente, segue as características tradicionalmente utilizadas. Nesse caso, pode não haver um roteiro, ou, ainda, este pode apresentar poucas informações sobre a prática, possibilitando o estudante construir seu próprio caminho metodológico, suas hipóteses e previsões de resultados.

Tendo em vista a formação esperada para o profissional em Química, as aulas de laboratório deveriam contribuir nesse sentido e incentivar o espírito investigativo nos estudantes, torná-los agentes ativos na construção do conhecimento, assim como favorecer a criatividade e a iniciativa para a resolução de problemas individuais e coletivos relacionados à Química.

4 Aulas prático-laboratoriais no Ensino Superior: abordagens para o ensino experimental de Química sob a perspectiva do domínio cognitivo

Desenvolver uma proposta de atividade experimental que comtemple todas as facetas da formação do profissional químico, considerando aqui apenas o perfil, as habilidades e as competências almejadas nos documentos oficiais, não é o objetivo deste trabalho. Essa tarefa não se resume a uma atividade, a uma disciplina ou às disciplinas experimentais, mas à estrutura dos cursos, à formação dos docentes do Ensino Superior e, de maneira mais ampla, às políticas públicas.

Algumas habilidades e competências podem ser desenvolvidas através da proposta apresentada nesse trabalho, e as potencialidades e questionamentos verificados na sua aplicação serão abordados em capítulos posteriores. A este capítulo cabe a fundamentação teórica que subsidiou a elaboração, aplicação e avaliação do produto deste trabalho.

A abordagem tradicionalmente utilizada em aulas laboratoriais, acompanhada de roteiro e orientações precisas sobre a atividade experimental, é questionada por muitos estudiosos e apesar de obrigatória no Ensino Superior em Química não têm alcançado o potencial educacional que o ensino experimental poderia promover, tanto na formação profissional quanto na formação pessoal do formando em Química. Alguns desses estudiosos, conforme apresentado no capítulo anterior, apontam que a metodologia tradicionalmente utilizada não promove o desenvolvimento de processos cognitivos de alta ordem.

Esta discussão remete à taxonomia desenvolvia por Benjamin Bloom e seus colaboradores, na qual os tipos de aprendizado podem ser compreendidos em três domínios, conhecidos como: domínio cognitivo, domínio psicomotor e domínio afetivo. O domínio cognitivo, como o próprio nome sugere, está relacionado com o desenvolvimento intelectual e a aquisição de conhecimento, já os domínios psicomotor e afetivo estão relacionados com as habilidades físicas e aos sentimentos, respectivamente (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Nível	Categoria	Descrição	Habilidades desenvolvidas
1	Conhecimento	Processos cognitivos de memorização do conhecimento adquirido	Lembrar e reconhecer informações e conteúdos, como fatos, datas, teorias, modelos, procedimentos, entre outros.
2	Compreensão	Processos cognitivos de significação do conhecimento adquirido	Compreender e dar significado às informações e aos conteúdos adquiridos no nível anterior.
3	Aplicação	Processos cognitivos de abstração e aplicação do conhecimento adquirido	Utilizar as informações e os conteúdos adquiridos em novos contextos. Por exemplo, valer-se de uma lei ou teoria para compreender um objeto de estudo.
4	Análise	Processos cognitivos de hierarquização e organização do conhecimento adquirido	Reconhecer a estrutura do objeto de estudo como um todo e identificar as partes que o compõem. Organizar a informação adquirida respeitando e identificando as inter-relações existentes.
5	Síntese	Processos cognitivos de reorganização do conhecimento adquirido	Reorganizar o conhecimento adquirido e promover novas interpretações. Por exemplo, elaborar uma proposta de pesquisa.
6	Avaliação	Processos cognitivos de validação e arguição do conhecimento adquirido	Julgar o valor do material. Ser capaz de identificar ou desenvolver critérios e métodos para avaliar o conhecimento adquirido. Por exemplo, julgar a relevância ou pertinência de um projeto de pesquisa.

Fonte: adaptado de Ferraz e Belhot (2010)

Quadro 3 - Categorias da taxonomia de Bloom para o domínio cognitivo

O domínio cognitivo é hierarquizado de acordo com a complexidade do processo cognitivo realizado, além disso, existe uma relação de dependência entre os níveis taxonômicos (para atingir um nível superior é necessário ter domínio do nível inferior). Por exemplo, a categoria de menor nível do domínio cognitivo é o conhecimento, a qual compreende os processos cognitivos de memorização, o próximo nível deste domínio é a compreensão, ao qual cabe a significação das informações obtidas no domínio anterior. Dessa forma, só é possível ter acesso ao nível superior quando se tem domínio do primeiro, pois para dar significado a uma

informação é necessário primeiramente obter a informação. O quadro 2 apresenta as categorias definidas pela taxonomia de Bloom para o domínio cognitivo.

Existem subdivisões das categorias definidas por Bloom e seus colaboradores como, por exemplo, no nível 1 (referente ao conhecimento), o qual apresenta as seguintes subcategorias:

- Conhecimento específico: Relacionado a terminologias, tendências e sequências;
- Conhecimento de formas e significados (especificidades do conteúdo): relacionado com convenções, classificações e categorias, critérios e metodologia;
- Conhecimento universal e abstração (de um determinado campo de conhecimento): relacionado com princípios, generalizações, teorias e estruturas.

Essas subcategorias têm como objetivo facilitar o direcionamento e a definição dos objetivos instrucionais, além disso, elas esclarecem os limites entre as categorias propostas para o domínio cognitivo. Para Bloom *et al.* (1956 apud FERRAZ; BELHOT, 2010) a taxonomia pode ser concebida como uma ferramenta que propõe a padronização da linguagem utilizada por personas relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem, como docentes, coordenadores e, até mesmo, discentes, facilitando a comunicação acerca dos conteúdos, das habilidades, das competências e do grau de instrução desejados.

Para os elaboradores, a taxonomia pode auxiliar na determinação dos objetivos e currículos de cursos, uma vez que a partir dela é possível definir as necessidades e o perfil do curso, assim como dos docentes e discentes envolvidos. Esta ferramenta pode, ainda, favorecer a adequação dos objetivos educacionais, de uma proposta de atividade ou de uma forma de avaliação em um curso ou currículo. Os desenvolvedores da taxonomia acrescentam que a partir desta classificação torna-se possível definir um panorama de possibilidades educacionais comparado às metodologias e recursos existentes antes dela ter sido proposta (FERRAZ; BELHOT, 2010)

A popularidade desta taxonomia pode ser atribuída aos aspectos mencionados, mas ela tem sido utilizada, prioritariamente, "para a classificação de objetivos curriculares e para descrever o resultado de aprendizagem em termos de conteúdo e discussão do que deve ser realizado com o conteúdo assimilado"

(DRISCOLL, 2000 apud FERRAZ; BELHOT, 2010, p.424).

Para Bloom et al. (1956), a ideia era desenvolver uma ferramenta capaz de diferenciar as características dos processos mentais, principalmente os considerados superiores quanto ao nível de conhecimento e grau de abstração. Algumas décadas depois, a Taxonomia de Bloom (como é conhecida) foi revista e outros conceitos, recursos e teorias foram incorporados a ela. Conhecida como Taxonomia de Bloom "revisada", esta releitura da taxonomia buscou considerar os avanços educacionais e tecnológicos ocorridos desde sua primeira versão e contou com a participação um dos colaboradores (David Krathwohl) da taxonomia original. Além disso, no trabalho de revisão foi possível identificar, através de publicações dos pares, o sucesso na utilização da ferramenta em situações de ensino e aprendizagem.

Para Krathwohl (2002 apud FERRAZ; BELHOT, 2010), pesquisador envolvido na elaboração da taxonomia em 1956 e supervisor da revisão publicada em 2001, os objetivos educacionais apresentados aos discentes nem sempre são acompanhados de uma metodologia que as subsidie, ou seja, discrimina-se o que deve ser aprendido, mas não é especificado o que o discente deve fazer com este conhecimento. Krathwohl identificou algumas particularidades na definição de objetivos gerais e específicos de disciplinas e cursos, as quais apontavam uma necessidade de mudança na taxonomia original.

É possível encontrar comandos como "relembrar a teoria ácido-base de Brönsted-Lowry", por exemplo, nos objetivos de uma atividade experimental. Neste caso, o aluno deverá (re)lembrar uma teoria, ou seja, realizar uma ação prevista no roteiro ou na orientação do docente. Para Krathwohl (2002 apud FERRAZ; BELHOT, 2010), existe uma relação linguística neste comando, a qual é estabelecida através da relação direta entre o verbo (ação) e o substantivo (conteúdo) empregados. Partindo desta perspectiva, no exemplo mencionado a ação solicitada é a de "relembrar" e o conteúdo refere-se à "teoria ácido-base de Brönsted-Lowry". Para os pesquisadores envolvidos com a "nova" taxonomia, a ação e o conteúdo (verbo e substantivo) pertencem a diferentes dimensões do domínio cognitivo, e essa discussão resultou em um modelo bidimensional para a taxonomia, na qual o verbo indica a dimensão referente aos aspectos cognitivos (Dimensão Processos Cognitivos), ou seja, o "como" e o substantivo traduz o "o que" e é a base para a dimensão referente ao conhecimento (Dimensão Conhecimento) (FERRAZ;

BELHOT, 2010).

Na realidade a revisão proporcionou uma nova maneira de interpretar a Taxonomia de Bloom, uma vez que não ocorreram mudanças composição hierárquica da taxonomia e as seis categorias propostas originalmente foram mantidas. Entretanto, a percepção sobre o domínio cognitivo separado pelas dimensões conhecimento e processo cognitivo amplia a compreensão sobre o domínio cognitivo.

Tipo de conhecimento	Descrição	Exemplos				
Conhecimento efetivo ou factual	Relacionado ao conteúdo básico apoiado em fatores que não precisam ser compreendidos ou combinados, apenas reproduzidos como apresentados.	Terminologias, detalhes, elementos específicos, entre outros.				
Conhecimento conceitual	Relacionado à inter-relação dos elementos básicos em um contexto mais elaborado, apoiados em fatores que precisam ser compreendidos ou combinados.	Classificações, categorizações, princípios, generalizações, teorias, modelos e estruturas.				
Conhecimento procedural	Relacionado ao conhecimento de "como realizar alguma coisa" utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas. Nesse momento, o conhecimento abstrato começa a ser estimulado, mas dentro de um contexto particular.	Conteúdos específicos, habilidades, algoritmos, técnicas específicas, métodos, critérios e percepção de como e quando usar um procedimento específico.				
Conhecimento metacognitivo	Relacionado ao reconhecimento da cognição em geral e da consciência da amplitude e profundidade de conhecimento adquirido de um determinado conteúdo.	Autoconhecimento e estratégias de organização do conhecimento.				

Fonte: adaptado de Ferraz e Belhot (2010)

Quadro 4 - Dimensão conhecimento na taxonomia revisada

Tipos de processos cognitivos	Descrição							
Lembrar (conhecimento*)	Reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos.							
Entender	Estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente							
(compreensão)	adquirido e dar significado ao novo conhecimento.							
Aplicar (aplicação)	Aplicação de um conhecimento em um novo contexto, como executar um procedimento em uma situação específica							
Analisar (análise)	Dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre as partes.							
Avaliar (avaliação)	Realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia.							
Criar (síntese)	Criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos.							

^{*} nomenclatura da Taxonomia de Bloom original

Fonte: adaptado de Ferraz e Belhot (2010)

Quadro 5 - Dimensão processos cognitivos na taxonomia revisada

A visão bidimensional dada à taxonomia, na distinção das dimensões do domínio cognitivo, diferenciou o conhecimento dos processos cognitivos. Dessa forma, as subcategorias do nível conhecimento podem ser consideradas como os tipos de conhecimento da Dimensão Conhecimento. Além disso, foi adicionado mais um tipo de conhecimento, o metacognitivo. "O conceito de metacognição abre espaço para que alunos transitem livremente pelas subcategorias com o objetivo de melhorar seu autoaprendizado" (FERRAZ; BELHOT, 2010, p.427). Nesta releitura da taxonomia, os conhecimentos efetivo ou factual, conceitual, procedural e metacognitivo podem ser desenvolvidos de acordo com os níveis de complexidade do domínio cognitivo em uma perspectiva bidimensional.

A utilização dos verbos, na nova nomenclatura, para designar os tipos de processos cognitivos é uma das mudanças observadas na revisão da taxonomia, compreendendo o processo cognitivo como uma ação (verbo) do domínio cognitivo. A ideia hierárquica, estabelecida pela complexidade conceitual e pelo grau de abstração associado a cada tipo de processo cognitivo, foi mantida. Porém, a

revisão da taxonomia propõe certa flexibilidade entre as categorias, uma vez que alguns conteúdos podem ser assimilados mais facilmente partindo de estímulos de categorias mais complexas. As categorias avaliação e síntese foram reordenadas, uma vez que nesta concepção a capacidade de criar é mais complexa comparada à habilidade de avaliar.

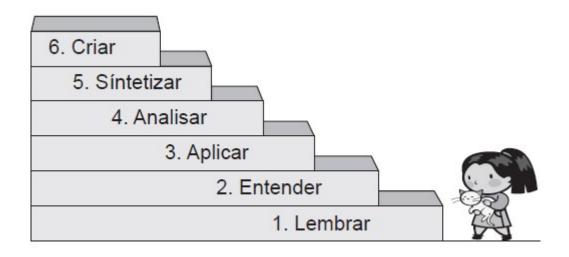


Figura 1 – "Categorização atual da Taxonomia de Bloom proposta por Anderson, Krathwohl e Airasian, no ano de 2001" (FERRAZ; BELHOT, 2010, p.427)

Para Zoller, Dori e Lubezky (2002), as habilidades cognitivas podem ser compreendidas em duas categorias: as de alta ordem (HOCS – higher order cognitive skills) e as de baixa ordem (LOCS – lower order cognitive skills). As HOCS estão relacionadas ao desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo, ou seja, relacionado às habilidades desenvolvidas nos últimos níveis da Taxonomia de Bloom. Enquanto as LOCS caracterizam-se por reconhecer informações e aplicar o conhecimento ou algoritmos assimilados na resolução de exercícios, por exemplo. Neste caso, tratam-se das habilidades desenvolvidas nos primeiros níveis da Taxonomia de Bloom.

Espera-se que o profissional químico tenha profundidade nos conhecimentos científicos e desenvolva habilidades importantes para sua formação. Nesse sentido, Zoller, Dori e Lubeszky (2002) ressaltam que, assim como nas salas de aula de Química, o laboratório deve proporcionar o desenvolvimento de HOCS. Entretanto, os pesquisadores verificaram que entre estudantes universitários há, ainda, uma predisposição ao tratamento algorítmico, o qual está atrelado às LOCS. No caso, essa característica foi associada à preferência (dos estudantes) na resolução de

questões do tipo algébrica, nas quais a aplicação uma fórmula, por exemplo, basta para resolver a questão proposta.

4.1 Estilos de aulas prático-laboratoriais e o desenvolvimento de HOCS

Com relação às aulas laboratoriais, Dolmin (1999), em sua revisão, identificou quatro estilos de instrução no laboratório, os quais se distinguem quanto aos resultados (que podem ser predeterminados ou indeterminados), à abordagem (que pode ser dedutiva ou indutiva) e ao procedimento experimental (que pode ser oferecido ao estudante ou elaborado por ele). Para Dolmin (1999), as instruções no laboratório podem ser classificadas nos quatro estilos que seguem: expositivo, investigativo (livre investigação), por descoberta (investigação guiada) e baseado em problemas.

Segundo Dolmin (2007) essas categorias muitas vezes são resumidas em duas abordagens de aulas de laboratórios, a abordagem tradicional (caracterizada pelo estilo expositivo) e a não-tradicional (caracterizada pelos demais estilos), que segundo o autor deriva de um olhar simplista acerca de uma característica superficial, em comum, dos demais estilos, ou seja, o fato de não serem tradicionalmente utilizados.

Atividades realizadas no estilo expositivo, segundo o autor, fomentam o desenvolvimento de LOCS, como a aquisição, o reconhecimento e a aplicação de teorias, mas pouco contribuem para o desenvolvimento de HOCS, como acontece na formulação de hipóteses, planejamento, comparação, julgamento, entre outras habilidades relacionadas aos últimos três níveis do domínio cognitivo (análise, síntese e avaliação) (DOLMIN, 1999). Este estilo é o mais utilizado e difundido no ensino, e também o mais criticado, isso explica a classificação criticada por Dolmin (2007) acerca das abordagens tradicional e não-tradicional comumente utilizada.

O estilo investigativo é caracterizado por Dolmin (1999) através de resultados indeterminados. Esse estilo de abordagem no laboratório pode contribuir para o desenvolvimento das HOCS, como na formulação de hipóteses, planejamento, julgamentos, ou seja, habilidades dos níveis mais complexos da Taxonomia de Bloom, uma vez que os alunos precisam elaborar seus procedimentos. Algumas das

críticas apresentadas por Dolmin (1999) à este estilo referem-se à visão de que a investigação científica se assemelha e possui as mesmas potencialidades da atividade realizada por um estudante despreparado cognitivamente e à carga horária que demanda esse tipo de abordagem.

O estilo por descoberta difere-se do estilo investigativo por disponibilizar o procedimento e ter seu resultado pré-determinado (podendo ser pré-determinados apenas para o professor, mas também para os estudantes). Esse estilo é criticado por Hodson (1996 apud DOMIN, 1999), pois para ele o aprendiz é incapaz de descobrir algo que ele não esteja preparado conceitualmente para descobrir. Além disso, não é possível garantir que um grupo de alunos descubra o mesmo princípio ou que eles obtenham o mesmo resultado, podendo, ainda, não obter o próprio resultado pré-determinado.

O último estilo definido por Dolmin (1999) refere-se ao estilo baseado em problemas. Este, por sua vez, caracteriza-se por resultados pré-determinados, como nos estilos expositivo e por descoberta, mas assemelha-se ao estilo investigativo com relação à elaboração dos procedimentos pelos estudantes.

	Descritor									
Estilo	Resultados	Abordagem	Procedimento							
Expositivo	Pré-determinados	Dedutiva	Dado							
Investigativo	Indeterminados	Indutiva	Elaborado pelo estudante							
Descoberta	Pré-determinados	Indutiva	Dado							
Baseado em problemas	Pré-determinados	Dedutiva	Elaborado pelo estudante							

Fonte: DOLMIN, 2007, p. 142 (tradução nossa)

Quadro 6 – "Descriptors for the laboratory instruction styles in Domin's taxonomy" – Descritores dos estilos de instrução de laboratório na taxonomia de Dolmin.

Para Dolmin (1999), a abordagem adotada no laboratório de ciências pode ser indutiva ou dedutiva. Nesse sentido, o autor explicita que na abordagem indutiva os dados são recolhidos e os princípios gerais são derivados da análise do fenômeno específico observado. Por outro lado, na abordagem dedutiva a atividade se destina a promover o desenvolvimento conceitual de algo aprendido anteriormente. No estilo expositivo e no baseado em problemas, segundo Dolmin (1999), a abordagem utilizada é a dedutiva e diferenciam-se quanto à proposição do procedimento experimental.

Ainda assim, os estilos em que a elaboração do procedimento é realizada

pelos estudantes (investigativo e baseado em problemas) desenvolvem habilidades que são características das HOCS, como a proposição de hipóteses. Enquanto os estilos em que o procedimento é previamente oferecido ao estudante (expositivo e descoberta) não proporcionam o desenvolvimento das mesmas habilidades.

4.2 <u>Níveis de abertura de Priestley para as atividades experimentais e as habilidades</u> cognitivas desenvolvidas

Priestley (1997 apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2006) definiu sete níveis de abertura para atividades práticas laboratoriais e relacionou-os aos níveis de complexidade dos processos cognitivos definidos pela taxonomia de Bloom. O quadro 7 descreve as atividades desenvolvidas no laboratório para cada nível e relaciona os processos cognitivos que são desenvolvidos em cada nível.

De acordo com os níveis de abertura proposto por Priestley (1997 apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2006) quanto maior o nível de abertura da atividade desenvolvida no laboratório, maior será a complexidade do processo cognitivo associado à atividade proposta. Para o autor, os níveis de abertura estão diretamente relacionados à proposição do procedimento experimental. Nesse sentido, atividades que promovem a elaboração do procedimento pelos estudantes proporcionam maior desenvolvimento das habilidades cognitivas, ou seja, favorecem o desenvolvimento de HOCS.

Na sequência didática elaborada neste estudo foram propostas duas práticas experimentais (LABIQ 1 e 2) que, juntas, compuseram cinco aulas do programa da disciplina QFL4020 (conforme mencionado na Introdução). Buscou-se evoluir gradativamente o nível de abertura das atividades propostas, com a finalidade de preparar os estudantes para um nível de maior abertura.

Nível	Nome	Descrição das atividades no laboratório	Processo cognitivo requerido
1	Hermeticamente fechado	Todos os procedimentos são oferecidos aos alunos. Os estudantes anotam os dados em lacunas reservadas na folha de atividades do laboratório. São incluídas tabelas com dados.	Conhecimento
2	Muito fechado	Todos os procedimentos são dados aos estudantes. São incluídas tabelas de dados.	Conhecimento
3	Fechado	Todos os procedimentos são oferecidos aos estudantes.	Conhecimento e compreensão
4	Entreaberto	São oferecidos todos os procedimentos aos estudantes e algumas perguntas ou conclusões são abertas.	Compreensão e aplicação
5	Ligeiramente aberto	São oferecidos quase todos os procedimentos aos estudantes e algumas perguntas ou conclusões são abertas.	Aplicação
6	Aberto	Os estudantes desenvolvem seus próprios procedimentos. É oferecida uma lista com os materiais. Muitas perguntas e conclusões são abertas.	Aplicação e síntese
7	Muito aberto	Aos estudantes é indicado um problema que eles precisam resolver (ou que eles mesmos o propõem). Os estudantes desenvolvem os procedimentos e tiram suas próprias conclusões.	Síntese e avaliação

Fonte: VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2006, p. 60 (tradução nossa)

Quadro 7 – "Niveles de abertura según Priestley (1997)" – Níveis de abertura segundo Priestley

A sequência didática iniciou (LABIQ 1) com uma abordagem de nível 5 (ligeiramente aberto), uma vez que foram oferecidos quase todos os procedimentos necessários e as questões (realizadas verbalmente e propostas nos materiais disponibilizados) procuraram mediar a discussão dos estudantes. Durante as aulas da primeira prática (aulas 1 e 2) buscou-se, principalmente, o desenvolvimento da habilidade cognitiva de aplicação.

A segunda atividade da sequência (LABIQ 2) pode ser considerada entre os níveis 6 e 7 de abertura. Esta atividade teve duração de três aulas e promoveu a elaboração de todo o procedimento pelos estudantes, possibilitando-os testarem suas hipóteses e elaborarem um novo procedimento (caso julgassem conveniente).

Por se tratar de uma atividade que está inserida em um contexto específico (proposto pela sequência como um todo), os materiais já eram conhecidos pelos estudantes, pois eles os utilizaram na atividade LABIQ 1.

5 As dimensões do conhecimento químico: o "triângulo" de Johnstone e as potencialidades na utilização de softwares de simulação em aulas experimentais

A Química pode ser compreendida como o estudo do comportamento das substâncias e suas transformações (Atkins, 2006), para Souza e Cardoso (2008), a compreensão de ciências requer "processos de teorização, construção e reconstrução de modelos que possibilitem a interpretação da natureza e a elaboração de explicações" (SOUZA; CARDOSO, 2008. p.51), e a partir disso torna-se possível manipular e realizar previsões acerca de fenômenos observáveis. Para os autores, a aprendizagem, especificamente no estudo da Química, requer além da observação dos fenômenos naturais, mas, também, a compreensão e manipulação mental do comportamento cinético-molecular, além da apropriação da linguagem utilizada para expressar tais fenômenos.

Na concepção de Johnstone (1993), o conhecimento químico pode ser compreendido através de três dimensões conceituais (macroscópica, submicroscópica e representacional). Para Wu, Krajcik e Soloway (2001) à dimensão macroscópica cabe os aspectos observáveis, a dimensão submicroscópica remete a explicação do arranjo e movimento das moléculas, átomos e partículas subatômicas e a dimensão representacional é compreendida pelos símbolos, números, fórmulas, equações e estruturas presentes na linguagem utilizada no campo das ciências.

Sob esta perspectiva, a compreensão dos fenômenos de estudo, particularmente em Química, está associada à compreensão e articulação das três dimensões conceituais. Para alguns autores (Locatelli, 2011; Santos e Greca, 2005), a habilidade de visualização do fenômeno e a aprendizagem de conceitos científicos pode ser potencializado em função da articulação das três dimensões de compreensão. O "triângulo", como é conhecido, que representa as três dimensões conceituais definidas por Johnstone (1993), é apresentado na figura a seguir.

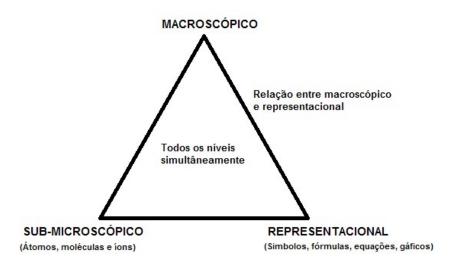


Figura 2 - Os três níveis conceituais da química (JOHNSTONE, 2006, p. 59, tradução nossa)

Nesse sentido, Johnstone (2006) afirma que existe um ponto no interior do "triângulo", o qual representa as três dimensões de compreensão simultaneamente. Por outro lado, tal compreensão, segundo o autor, pode ser simples para professores e químicos, mas de difícil compreensão para estudantes.

Para Souza e Cardoso (2008) a manipulação mental que garante o trânsito entre as três dimensões representacionais muitas vezes deixa de ser exercitada, chegando a ser desconsiderada no âmbito do ensino e aprendizagem de Química. Para os autores, isso reflete em uma aprendizagem mecânica embasada na memorização em detrimento da compreensão do fenômeno estudado, tornando o conhecimento um privilégio para os poucos que exercitam sua imaginação.

Sob esta perspectiva, Ferreira e Justi (2008) ressaltam que a compreensão de fenômenos químicos requer, além da repetição e/ou aplicação de conhecimentos previamente memorizados, a elaboração de hipóteses que está diretamente relacionado à criatividade e aos conhecimentos prévios. Esse processo, para as autoras, culmina na elaboração de representações mediadas pelas interpretações pessoais do individuo acerca do assunto estudado e é reconhecido como o modelo explicativo elaborado pelo mesmo. Segundo as autoras, a elaboração de modelos permite que o alunado visualize conceitos abstratos, além de que, a criação desses construtos mentais possibilita que o individuo explore seu objeto de estudo e teste seu próprio modelo, a fim de desenvolver conhecimentos mais flexíveis e abrangentes.

Gilbert (2007) salienta, ainda, que compreender as três dimensões

representacionais, tais como definidas por Johnstone (1993), e transitar mentalmente entre elas, envolve habilidades visuais que são essenciais para a compreensão de ciências. Alguns autores apontam que muitos problemas conceituais provêm de dificuldades relacionadas às representações. Dentre eles, Wu, Krajcik e Soloway (2001) destacam que operar com representações internas e externas é trivial para desenvolver o raciocínio visuoespacial, compreender a natureza dinâmica e interativa da química e principalmente adquirir a habilidade de transitar entre o bidimensional e o tridimensional.

Nesse contexto, ferramentas multimídia podem contribuir para a visualização, assim como para adquirir habilidades representacionais. Algumas pesquisas (Santos e Greca, 2005; Orlandi, Camargo e Neto, 2006; Wu, Krajcik e Soloway, 2001) apontam para a utilização de softwares como facilitadores da aprendizagem conceitual, bem como auxiliares na visualização da dinâmica dos processos químicos no nível molecular.

Dentre as ferramentas multimídia que podem ser utilizadas no contexto de aulas experimentais, destacam-se os softwares de simulação. Um simulador é um recurso didático que pode proporcionar aos estudantes a manipulação de variáveis, tal como por ser realizado em um experimento convencional. Schuck e Serrano (2004) utilizaram uma versão virtual de um experimento para iniciar a discussão de conceitos fundamentais de mecânica quântica em uma disciplina de graduação. Sendo assim, a utilização de simulações computacionais, se realizada em um contexto coerente, pode contribuir para a aprendizagem de um determinado conceito.

Retomando o tema abordado (equilíbrio químico e titulações ácido-base) na sequencia didática proposta neste estudo, dentre os principais softwares que envolvem o conceito de equilíbrio químico pode-se destacar o Le Chat 2.0, o qual envolve manipulação de variáveis e observação simultânea dos níveis microscópico e simbólico de uma reação química até esta atingir o estado de equilíbrio químico. Entretanto, a limitação apontada por Orlandi, Camargo e Neto (2006) em um estudo sobre a utilização desse software no processo de ensino e de aprendizagem do conceito de equilíbrio químico está relacionada à ausência de uma abordagem para a representação macroscópica. Para os autores esse nível de compreensão deve ser explorado seja utilizando outro software complementar ou em uma aula prática conjuntamente.

Vale ressaltar que, assim como há uma predisposição do tratamento algorítmico no estudo de equilíbrio químico em diversos materiais didáticos, grande parte dos softwares educacionais possui como principal funcionalidade calcular constantes de equilíbrio e de valores de concentração de reagentes e produtos, como é o caso dos seguintes softwares descritos por Montagna et al. (2011): MINEQL+ 4.62, REACT3, ChemEQL5, Visual MINTEQ6, JESS7, AquaSoftSolution8. Os autores ressaltam que o desenvolvimento destes softwares seria mais produtivo se articulados com projetos de pesquisa no âmbito educacional, uma vez que tal condição pode favorecer a obtenção de recursos educacionais de real valia para professores e estudantes.

Portanto, as discussões sobre a disponibilidade e o uso de softwares envolvendo equilíbrio químico indicam a relevância quanto a caracterização de sua utilização como instrumento de aprendizagem. Tendo em vista a temática dos experimentos propostos neste trabalho (LABIQ 1 e 2), foi selecionado um software de simulação de curvas de titulação (CurTiPot) e este simulador foi testado em uma atividade anterior à aplicação da sequência proposta, no estudo prévio.

O CurTiPot – pH e Curvas de Titulação Potenciométrica é um "programa grátis (freeware) para simulação e análise de curvas de titulação potenciométrica, cálculos de pH e equilíbrios ácido-base") desenvolvido pelo professor Dr. Ivano G. R. Gutz e disponível no endereço eletrônico: www.iq.usp.br/gutz/Curtipot.html.

O CurTiPot pode ser considerado de fácil utilização quando consideramos os procedimentos de instalação. Isso porque não há necessidade de instalação ou desistalação, visto que se trata de um arquivo .xls ou .xlsm que pode ser utilizado como uma planilha do ExcelTM, habilitando as respectivas macros, no laboratório, na sala de aula, em casa ou em qualquer lugar. Vale ressaltar que o requisito mínimo para o bom funcionamento da ferramenta é o Microsoft ExcelTM 12 (2007) ou mais recente, com compatibilidade com Microsoft Windows Vista ou mais recente e, com algumas exceções, com Microsoft Office for MAC com Excel 2008 em diante.

Após baixar e abrir o documento, o usuário conta com abas de acesso para uma calculadora de pH, um simulador de curva de titulação, entre outros recursos. Para este estudo, utilizamos apenas o simulador de curvas de titulação.

6 Desenvolvimento das escalas visuais de pH

Nos laboratórios de Química Geral é comum encontrar fitas de indicador universal, as quais são utilizadas em aulas experimentais e indicam, através de cores, o pH (aproximado) de uma solução. Os laboratórios nos quais a disciplina QFL4020 aconteceu, tinham tais fitas e sua respectiva tabela de cores em todas bancadas. Os estudantes puderam utilizar as fitas comerciais nas duas práticas propostas (LABIQ 1 e 2). Além do indicador universal, os estudantes tiveram acesso a outros cinco indicadores ácido-base.

Para esta proposta foram desenvolvidas cinco escalas visuais de pH, as quais diferenciam-se das usualmente encontradas nos laboratórios de Química Geral por proporcionarem identificar variações de pH inferiores a 2. Estas escalas foram pensadas e desenvolvidas pela pesquisadora em conjunto com os alunos de pósgraduação do IQ-USP Leila C. Teruya e Gustavo N. Cruz, sob orientação do professor Dr. Guilherme A. Marson. Com a finalidade de identificar ligeiras mudanças na coloração dos indicadores utilizados, as soluções utilizadas para produção das escalas foram preparadas e padronizadas com pequenas variações de pH e, após a adição dos indicadores, foram fotografadas em alta-qualidade. Vale ressaltar que apesar das diferenças de tonalidades obtidas nas escalas elaboradas, para alguns valores de pH a mudança de cor não é significativa.

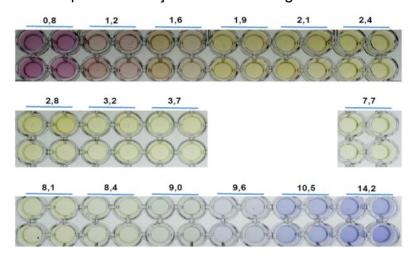
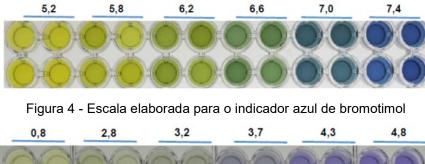


Figura 3 - Escala elaborada para o indicador azul de timol



0,8 2,8 3,2 3,7 4,3 4,8

Figura 5 - Escala elaborada para o indicador azul de bromofenol

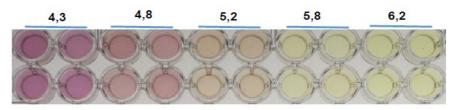


Figura 6 - Escala elaborada para o indicador vermelho de metila

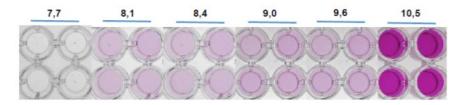


Figura 7 - Escala elaborada para o indicador fenolftaleína

Indicador	Faixas de Viragem					
Azul de Timol	1,2-2,8 e 8,0-9,6					
Azul de Bromofenol	3,0-4,6					
Vermelho de Metila	4,8-6,0					
Azul de Bromotimol	6,0-7,6					
Fenolftaleína	8,2-10,0					

Quadro 8 - Indicadores ácido-base utilizados na sequência didática proposta

As imagens foram organizadas e formatadas para se adequarem ao aspecto formal da disciplina, e entregues aos estudantes na primeira aula da sequência didática. Os indicadores foram escolhidos buscando contemplar diversos valores da escala de pH, conforme é apresentado no quadro 8.

рН	х	Método utilizado									
1,0	67,0										
1,2	42,5	25 mL de solução de cloreto de potássio (KCl) com concentração de 0,2 mol.L ⁻¹ e									
1,6	16,2	adição de x mL de solução de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 0,2 mol.L ⁻¹									
2,0	6,5										
2,4	42,2										
2,8	28,9	50 mL de solução de hidrogenoftalato de potássio (C ₈ H₅KO₄) com concentração de 0,1									
3,2	15,7	mol.L ⁻¹ e adição de x mL de solução de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 0,1									
3,6	6,3	mol.L ⁻¹									
4,0	0,1										
4,4	6,6	50 mL de solução de hidrogenoftalato de potássio (C ₈ H ₅ KO ₄) com concentração de 0,1									
4,8	16,5	mol.L ⁻¹ e adição de x mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração									
5,2	28,8	de 0,1 mol.L ⁻¹									
5,6	38,8										
6,0	5,6										
6,4	11,6	50 mL de solução de dihidrogenofosfato de potássio (KH ₂ PO ₄) com concentração de 0,1									
6,8	22,4	mol.L ⁻¹ e adição de x mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração									
7,2	34,7	de 0,1 mol.L ⁻¹									
7,6	42,4										
8,0	46,1										
8,2	18,8	50 mL de solução de tetraborato de sódio - bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O) com concentração									
8,4	16,6	de 0,025 mol.L ⁻¹ e adição de x mL de solução de ácido clorídrico (HCl) com									
8,8	9,6	concentração de 0,1 mol.L ⁻¹									
9,2	0,9	50 mL de solução de tetraborato de sódio - bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O) com concentração									
9,6	23,3	de 0,025 mol.L ⁻¹ e adição de x mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) com									
		concentração de 0,1 mol.L ⁻¹									
10,0	10,7	50 mL de solução de bicarbonato de sódio (NaHCO ₃) com concentração de 0,05 mol.L ⁻¹									
10,2	13,8	e adição de x mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 0,1 mol.L ⁻¹									
10,6	19,1										
12.0	66.0	25 mL de solução de cloreto de potássio (KCI) com concentração de 0,2 mol.L ⁻¹ e									
13,0	66,0	adição de x mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 0,2 mol.L ⁻¹									
		IIIUI.L									

Quadro 9 - Metodologia para a preparação das soluções com pH padronizados

7 Estudo prévio

O estudo prévio foi realizado no primeiro semestre de 2013 e foram convidados para participar da pesquisa estudantes do primeiro ano do curso de Bacharelado em Química – diurno da USP. O convite foi divulgado via e-mail institucional e a atividade contou com a participação voluntária de 11 estudantes. A atividade foi realizada na sala multimeios do IQ-USP no dia 04 de abril de 2013 e teve 3 horas de duração.

Essa etapa da pesquisa possibilitou uma visão geral sobre a utilização do simulador selecionado como recurso didático, além de outras observações relacionadas ao estudo. A atividade realizada contou inicialmente com os esclarecidos necessários sobre os objetivos de pesquisa para os estudantes voluntários, assim como a não vinculação a qualquer disciplina do curso, deixando claro que os registros desta atividade seriam utilizados exclusivamente como dados de pesquisa.

Por se tratar de um simulador de curvas de titulação, foram selecionados alguns conceitos relacionados direta ou indiretamente ao tema principal (titulações ácido-base) e foi solicitado aos estudantes que classificassem os mesmos de acordo com a escala oferecida na primeira parte do questionário aplicado. Esta escala foi elaborada no formato Likert (Likert, 1932), buscando uma classificação referente à dificuldade associada pelos estudantes aos conceitos destacados.

Os conceitos elencados foram: Equilíbrio Químico; Ácidos de Arrhenius; Ácidos de Brönsted-Lowry; Soluções e molaridade; pH; Constante de ionização, Grau de ionização; pKa; Sistemas tampão; Cálculos estequiométricos e Funções matemáticas.

Esta etapa da atividade resultou em um quadro geral sobre a percepção dos estudantes relacionada ao próprio conhecimento, e foi realizada apriori para não sofrer influência das demais questões que compuseram o questionário. A escala elaborada e oferecida aos estudantes, para esta questão, contou com valores de zero à cinco, signos que deveriam ser associados aos conceitos elencados de acordo com a percepção dos estudantes. O quadro 10 descreve a escala utilizada pelos estudantes na primeira parte do questionário.

Valor	Descrição
0	Completamente desconhecido
1	Muito fácil: consigo resolver problemas complicados e explicar para outras pessoas.
2	Fácil: consigo resolver problemas e, em alguns casos, explicar para outras pessoas.
3	Difícil: consigo resolver problemas simples, mas não me arisco a explicar para outras
	pessoas.
4	Muito difícil: resolvo problemas com muita dificuldade
5	Impossível: Não consigo resolver nenhum problema, mesmo com ajuda de outra pessoa.

Fonte: própria autora

Quadro 10 - Escala utilizada na questão sobre conhecimentos prévios

A primeira parte do questionário pode ser considerada uma "auto avaliação", ou seja, está relacionado ao autoconhecimento (metacognição), uma vez que reflete a percepção dos estudantes quanto ao próprio conhecimento. Após todos os estudantes concluírem a primeira parte, foi proposto que resolvessem a questão 1 do questionário. Nesta questão o estudante deveria esboçar uma curva de titulação de 50,00 mL de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) com hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹). Foi oferecido como dado o valor aproximado de ka (~ 1.10⁻⁵).

Quando todos os estudantes já haviam respondido à primeira questão, a pesquisadora apresentou (verbalmente) a ferramenta que seria utilizada, o simulador CurTiPot, e passou instruções passo a passo sobre o preenchimento dos campos obrigatórios, como a concentração do titulante e do tilulado, volume do titulado, número de hidrogênios ionizáveis, entre outros. Para esta atividade, os estudantes utilizaram a aba da planilha referente ao simulador de curva de titulação e foi solicitado que os estudantes realizassem a simulação de cinco curvas, todas utilizando como titulante uma solução de hidróxido de sódio com concentração de 0.1 mol.L⁻¹.

As curvas que deveriam ser simuladas pelos estudantes correspondiam à titulação de duas soluções de ácido clorídrico (0,1 mol.L⁻¹ e 1 mol.L⁻¹), de duas soluções de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹ e 1 mol.L⁻¹) e de uma solução de ácido fosfórico (0,1 mol.L⁻¹). Após a observação e discussão em grupo sobre as curvas simuladas, foi proposto que os estudantes respondessem as seguintes questões:

- Questão 2- Por que as curvas de titulação não são uma reta?
- Questão 3- Como a quantidade de ácido interfere na curva de titulação?
- Questão 4- Como a força do ácido interfere na curva de titulação?
- Questão 5- Como o número de hidrogênios ionizáveis interfere na curva de titulação?

Após todos os estudantes concluírem, individualmente, as questões sobre as

curvas obtidas, eles foram apresentados a outras duas questões utilizando escalas no formato Likert (1932). A primeira sobre utilização de softwares em geral, buscando estabelecer quais são as formas de utilização de novas tecnologias no cotidiano acadêmico destes estudantes.

Valor	Descrição							
0	Nunca usei							
1	Utilizado apenas uma vez ou raramente							
5	Utilizado frequentemente							

Fonte: própria autora

Quadro 11 - Escala utilizada na questão sobre utilização de softwares

As possibilidades de utilização de novas tecnologias foram elencadas e os estudantes deveriam associar valores de zero à cinco de acordo com seus hábitos, conforme descrito no quadro 11. Foram elencados os seguintes recursos:

- Softwares educacionais sobre humanidades;
- Softwares educacionais sobre ciências;
- Softwares educacionais sobre química;
- Simuladores de propriedades químicas, na forma de gráficos;
- Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando experimentos;
- Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando moléculas;
- Busca no Google, para estudar química;
- Busca no Youtube, para estudar química.

Para finalizar a atividade, foi solicitado aos voluntários que avaliassem a utilização da planilha e a atividade de forma geral. Para essa etapa, novamente, foi utilizado uma escala no formato Likert na qual os estudantes deveriam associar os termos: DF – discordo fortemente; D – discordo; C – concordo; e CF – concordo fortemente às seguintes afirmações:

- O software curtipot é de fácil utilização;
- Eu gostaria de usar o software curtipot para estudar;
- A interface gráfica do curtipot é clara;
- Meus conhecimentos prévios foram suficientes para realizar esta atividade;
- Eu seria capaz de usar o curtipot sem instruções prévias sobre o seu funcionamento;

- O uso de softwares educacionais facilita a visualização de conceitos;
- Esta atividade foi difícil;
- Dos conceitos envolvidos nesta atividade, equilíbrio químico está entre os mais importantes;
- A atividade é muito diferente das quais normamente participo nas aulas;
- Os gráficos presentes no curtipot são fáceis de analisar;
- Se eu fosse professor, gostaria de usar recursos como o curtipot com meus alunos.

Os resultados obtidos nesta etapa propiciaram maior apropriação do software escolhido pelos pesquisadores. Esta etapa resultou na elaboração de um roteiro de utilização do simulador contido na planilha CurTiPot.

7.1 Resultados e reflexões sobre o estudo prévio

Os resultados obtidos no estudo prévio serão apresentados na mesma ordem em que esta atividade foi aplicada e que foi descrita anteriormente. A primeira questão, a qual abordou a apropriação dos conhecimentos relacionados ao tema de interesse, proporcionou identificar os conceitos considerados difíceis e fáceis pelos estudantes, de acordo com a escala oferecida nesta questão e com a percepção dos estudantes referente ao próprio conhecimento.

Quando a questão foi elaborada a sugestão de associação do signo 0 à conceitos desconhecidos foi espontânea e previsível, visto o significado matemático deste signo. Entretanto um conceito desconhecido resulta na inabilidade de se resolver um problema, o que é similar ao resultado prático de um conceito considerado "impossível" (associação do signo 5), no qual o indivíduo se julga incapaz de resolver um problema. Esta analogia não pode ser aplicada para o signo 1 ("muito fácil"), no qual o aluno se julga capaz de resolver um problema sem qualquer dificuldade. Sendo assim, o signo zero (associados aos conceitos considerados desconhecidos) será substituído pelo valor seis para os cálculos realizados. A tabela 1 indica os signos associados pelos estudantes e um valor médio para cada um dos conceitos elencados.

Tabela 1 – Resultados obtidos na primeira questão do estudo prévio

Conceitos		Aluno								Mádia		
		02	03	04	05	06	07	80	09	10	11	Média
Cálculos estequiométricos	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1,6
Equilíbrio Químico	3	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1,7
Soluções e molaridade	2	1	3	2	1	2	3	2	1	1	1	1,7
pH	2	1	2	3	1	1	3	2	2	2	1	1,8
Ácidos de Arrhenius	3	1	2	2	1	2	2	3	1	1	3	1,9
Funções matemáticas	2	2	2	1	3	2	2	4	2	2	1	2,1
Grau de ionização (alfa)	3	1	1	3	3	2	3	2	6	3	1	2,5
Constante de ionização	3	1	3	3	2	1	3	2	6	3	2	2,6
рКа	3	2	1	4	3	3	4	2	6	3	1	2,9
Ácidos de Bronsted-Lowry	4	2	2	6	2	2	3	3	2	6	3	3,2
Sistemas tampão		3	1	4	3	3	3	4	6	4	2	3,3
Média		1,5	1,9	2,9	2,0	1,9	2,7	2,5	3,2	2,5	1,5	2,3

Fonte: própria autora

A tabela foi organizada através das médias obtidas, para cada conceito, de forma crescente. É possível verificar uma tendência do grupo na classificação dos conceitos, para a maioria dos conceitos o signo associado por cada indivíduo variou em uma unidade. Essa tendência torna possível uma primeira categorização:

- Conceitos considerados fáceis pelos estudantes (signos associados variando entre 1 e 2 na maioria, com média de no máximo 2): cálculos estequiométricos, equilíbrio químico, soluções e molaridade, pH e ácidos de Arrhenius.
- Conceitos considerados difíceis ou desconhecidos pelos estudantes (signos associados variando entre 1 e 6, com média acima de 2): funções matemáticas, grau de ionização, constante de ionização, pKa, ácidos de Bronsted-Lowry e sistemas tampão.

Apesar de não ser necessariamente compatível com o real conhecimento do estudante, o que foi observado nas respostas das questões seguintes do estudo prévio, as respostas obtidas nesta questão podem ser relacionadas, de certa forma, às habilidades cognitivas de alta e baixa ordem (HOCS e LOCS). Isso pode ser justificado devido o grau de complexidade conferido pelos estudantes aos conceitos elencados, uma vez que para eles os conceitos de cálculos estequiométricos, equilíbrio químico, soluções e molaridade, pH e ácidos de Arrhenius são considerados mais fáceis, e estes conceitos por sua vez são tradicionalmente

abordados de forma direta, algorítmica e trivial, desenvolvendo habilidades dos primeiros níveis da taxonomia de Bloom (como o conhecimento, a compreensão e a aplicação).

Por outro lado, os estudantes consideraram os conceitos de funções matemáticas, grau de ionização, constante de ionização, pKa, ácidos de Bronsted-Lowry e sistemas tampão como conceitos mais difíceis. Isso pode estar relacionado com a utilização de recursos algébricos considerados mais difíceis para os estudantes ou, efetivamente, com a complexidade associada ao próprio conceito. O primeiro argumento está associado à mesma perspectiva apesentada por Bertotti (2011), na qual o ensino de equilíbrio químico é prioritariamente algébrico, valorizando a resolução de cálculos de concentrações e afins.

A segunda parte do questionário (questão 1) foi realizada antes da utilização do simulador, como mencionado anteriormente, e solicitava que o estudante esboçasse uma curva de titulação de 50,00 mL de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) com hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹), tendo como dado o valor aproximado de Ka (Ka ~ 1.10⁻⁵).

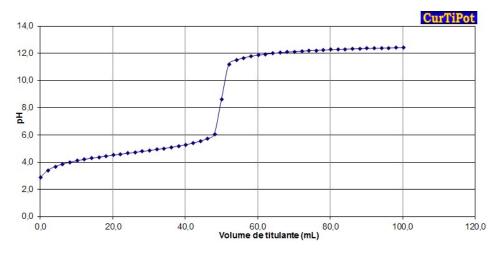


Figura 8 - Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

As curvas de titulação desse tipo são denominadas curvas sigmoides, na quais o valor do pH (-log [H₃O⁺]) aumenta ou diminui em função do volume do titulante adicionado. Em uma curva de titulação desse tipo, o ponto final pode ser identificado a partir do ponto de inflexão da curva sigmóide e é identificado no gráfico através da região na qual a variação do pH é mais acentuada.

Dentre as curvas esboçadas pelos estudantes, foram identificadas curvas sigmoides, porém também foram identificados outros tipos de curvas, como retas e

parábolas. A maioria das curvas esboçadas apresentou tendência crescente, com exceção dos alunos 05 e 08, os quais apresentaram uma curva com uma região crescente e outra constante e uma curva semelhante à sigmoide e decrescente, respectivamente.

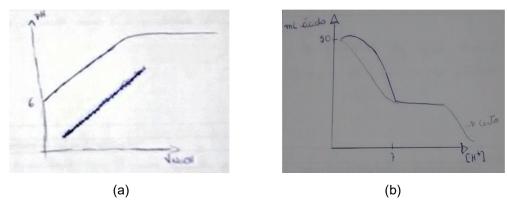


Figura 9 - Curvas esboçadas pelos alunos 05 e 08, respectivamente.

Vale ressaltar que o aluno 05 esboçou uma curva referente ao gráfico do pH em função do volume de hidróxido de sódio adicionado e o aluno 08 apresentou uma curva referente ao gráfico do volume de ácido em função da concentração do íon hidrônio ([H⁺]). Nos esboços feitos pelos estudantes, da curva obtida na titulação do ácido acético com hidróxido de sódio, é possível verificar que o aluno 05 compreendeu que se trata da adição de uma base e, portanto, há o aumento do valor do pH. Além disso, o estudante reconheceu que em uma titulação o pH varia de acordo com a adição do titulante, no caso a solução de hidróxido de sódio. Entretanto, através do gráfico esboçado pelo estudante pode-se interpretar que este considera que o pH aumenta à medida em que há acréscimos de base e após uma determinada quantidade do titulante, o pH permanece constante.

O aluno 08, por outro lado, apesar de apresentar certa similaridade à curva sigmoide (a qual representa uma curva de titulação), proporciona uma interpretação de que a concentração do íon hidrônio aumenta na medida em que o volume de ácido diminui. Além disso, é perceptível a compreensão equivocada sobre o pH, uma vez que o aluno indica o número 7 no centro da escala apresentada no eixo x (referente à [H⁺]), possivelmente buscando identificar o ponto de equivalência da referida titulação.

Na primeira parte do questionário, o aluno 05 indicou como conceitos mais difíceis o pKa e sistema tampão e o aluno 08 indicou funções matemáticas, ácidos de Arrhenius, ácidos de Brönsted-Lowry e sistema tampão como conceitos com

maior dificuldade. Ambos apresentaram médias entre 2 e 3, identificando a maior parte dos conceitos como fáceis, o que pode ser observado na tabela 1.

Outra curva que se aproxima da curva sigmoide foi esboçada pelo aluno 01, entretanto a representação da curva apresenta um equívoco quanto ao ponto de equivalência.

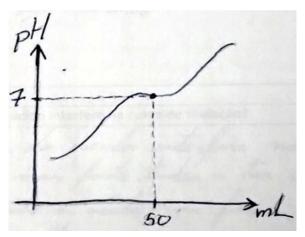


Figura 10 - Curva esboçada pelo aluno 01.

Como é possível identificar na curva esboçada pelo aluno 01, ele identificou o ponto de equivalência no pH 7 e indicou um valor para o volume de titulante adicionado (subentende-se que seja da solução de hidróxido de sódio). Para o estudante na medida em que há a adição de base o pH aumenta (de maneira intensa) até um determinado volume de base. A partir desse volume (um pouco menos que 50 mL) o pH se mantém constante, mesmo com a adição de base. Após uma determinada quantidade de titulante, o pH aumenta novamente.

O aluno 01 indicou os conceitos de equilíbrio químico, ácidos de Arrhenius, grau de ionização, constante de ionização, pKa, ácidos de Brönsted-Lowry e sistema tampão como os conceitos mais difíceis (associação dos signos 3 e 4), e teve média de 2,7 na primeira parte do questionário, conforme foi apresentado na tabela 1.

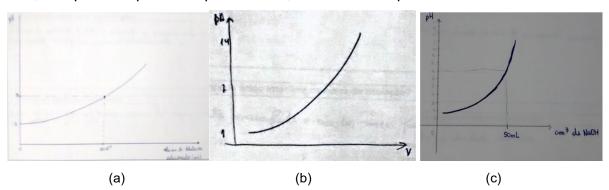


Figura 11 - Curvas esboçadas pelos alunos 02, 03 e 04, respectivamente.

Como é possível observar na figura 11, os alunos 02, 03 e 04 esboçaram parábolas para representar uma curva de titulação. Os três estudantes identificaram o pH 7 como referência para o ponto de equivalência e os alunos 02 e 04 indicaram, ainda, o respectivo valor do volume de base adicionado. É possível interpretar que para estes estudantes o pH aumenta exponencialmente à medida em que há acréscimos de hidróxido de sódio à solução titulada.

O aluno 02 obteve média de 1,5 na primeira parte do questionário, o que indica que ele considera fáceis quase todos os conceitos relacionados com titulação. Ele relacionou o conceito de solução tampão como o mais difícil dentre os conceitos apresentados. O aluno 03 obteve média de 1,9 e julgou os conceitos de constante de ionização, solução e molaridade como os mais difíceis. O aluno 04 obteve média de 2,9 e associou certa dificuldade aos conceitos de pH, grau de ionização, constante de ionização, pKa e sistema tampão. Este estudante afirmou desconhecer o conceito de ácidos e bases de Brönsted-Lowry.

Os alunos 09 e 10 apresentaram gráficos de uma função do primeiro grau (X=nY), no qual o valor do pH da solução aumenta linearmente em função do volume de hidróxido de sódio adicionado. Estes alunos desconsideraram qualquer aspecto da reação de neutralização, como se houvesse uma relação direta entre o aumento do volume de hidróxido de sódio na solução e o aumento do pH. Além disso, para estes alunos a solução inicial possui pH = 0.

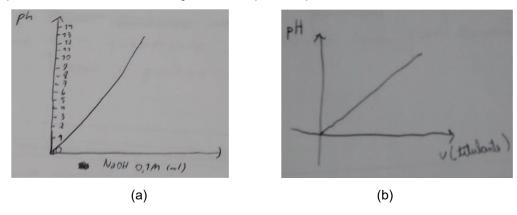


Figura 12 - Curvas esboçadas pelos alunos 09 e 10, respectivamente.

Estes estudantes apresentaram médias de 3,2 e 2,5, respectivamente, na primeira parte do questionário. O aluno 09 considerou a maior parte dos conceitos como fáceis, porém afirmou desconhecer completamente os conceitos de grau de ionização, constante de ionização, pKa e sistema tampão, isto justifica a média acima de 3 obtida nessa parte. O aluno 10 considerou como difíceis os mesmos

conceitos destacados como desconhecidos pelo aluno 09, e indicou o conceito de ácidos e bases de Brönsted-Lowry como desconhecido.

Finalmente, os alunos 06, 07 e 11 esboçaram curvas sigmoides e buscaram identificar o ponto de equivalência da titulação, conforme apresentado na figura 13.

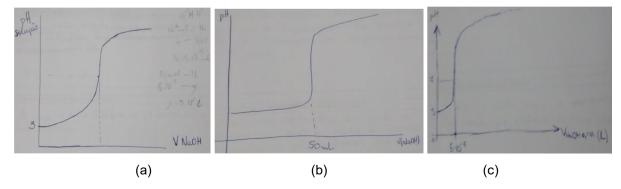


Figura 13 - Curvas esboçadas pelos alunos 06, 07 e 11, respectivamente.

Os alunos 06 e 11 classificaram a maior parte dos conceitos como fáceis, sendo que para o aluno 06 os conceitos mais difíceis são pKa e sistema tampão e para o aluno 11 são os conceitos de ácidos de Arrhenius e ácidos de Brönsted-Lowry. O aluno 07 apresentou média de 2,7 na primeira parte do questionário, e classificou como mais difíceis os conceitos de soluções e molaridade, pH, grau de ionização, constante de ionização, pKa, ácidos de Brönsted-Lowry e sistema tampão.

Tendência da curva Tipo de curva **Total** Crescente Decrescente Constante Sigmoide 4 (36,4%) 1 (9,1%) 5 (45,5%) 2 (18,2%) 3 (27,3%) Reta 1 (9,1%) Parábola 3 (27,3%) 3 (27,3%) 1 (9,1%) 1 (9,1%) 11 (100%) Total 9 (81,8%)

Tabela 2 – Perfil das curvas esboçadas no estudo prévio

Fonte: própria autora.

Como mencionado anteriormente, após os estudantes esboçarem suas curvas, a pesquisadora apresentou a ferramenta e os instruiu sobre a utilização da planilha CurTiPot, para simulações de curvas de titulação. Foi solicitado aos estudantes que eles simulassem cinco curvas de titulação. As figuras a seguir representam as simulações feitas na planilha CurTiPot para as titulações solicitadas nesta parte do questionário.

¹ número de estudantes que esboçaram esse tipo de curva

² valor em porcentagem (n = 11)

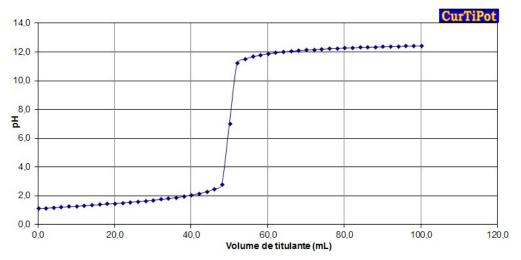


Figura 14 - Curva de titulação de 50 mL de ácido clorídrico (0,1 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

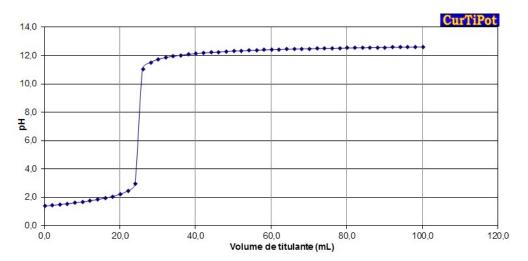


Figura 15 - Curva de titulação de 50 mL de ácido clorídrico (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

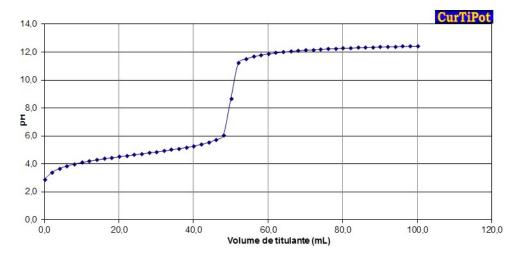


Figura 16 - Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

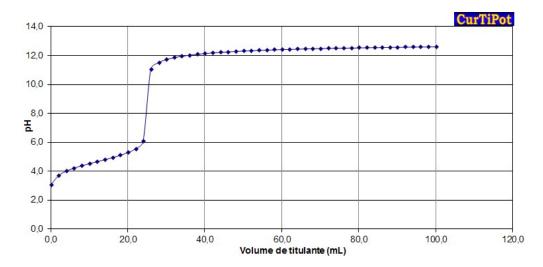


Figura 17 - Curva de titulação de 50 mL de ácido acético (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

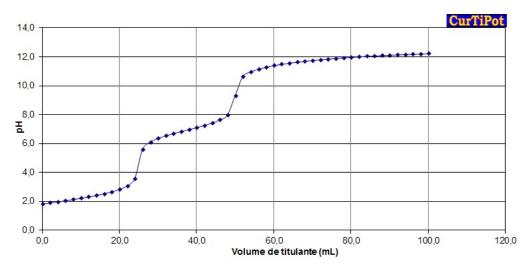


Figura 18 - Curva de titulação de 50 mL de ácido fosfórico (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

Após a utilização da planilha os estudantes responderam algumas perguntas sobre as curvas. As questões foram numeradas de 2 à 5, conforme mencionado anteriormente. A questão 2 abordou o tipo de curva obtida, questionando por que as curvas de titulação não são uma reta. Nesta questão os alunos 09 e 10, os quais esboçaram inicialmente uma reta para representar a curva de titulação do ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) com hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹), apresentaram as seguintes respostas:

Aluno 09 – "Porque o pH não muda de forma constante."

Aluno 10 – "Pois o pH não varia de forma constante."

Após realizarem as simulações, estes alunos foram capazes de identificar que

a variação do pH em função da adição de hidróxido de sódio não é linear, o que representa um avanço com relação ao esboço apresentado na questão 1. O aluno 01 apresentou um argumento parecido nesta questão, mas ele indica a reação química como justificativa para tal comportamento.

Aluno 01 – "As curvas não são uma reta porque o pH varia de acordo com a reação entre o titulante e o titulado, que não ocorre de maneira constante."

Outros estudantes apresentaram este argumento como resposta à questão 2, com algumas variações nos termos utilizados:

- **Aluno 03** "Porque os valores não constituem função 1º grau."
- **Aluno 04** "Porque a titulação não ocorre de maneira constante e uniforme. Há períodos de maior e menor aceleração."
- **Aluno 05** "Porque a escala de pH cresce exponencialmente, não de forma linear."
 - Aluno 08 "Porque elas não representam uma função constante."

De acordo com as respostas dos estudantes, é possível verificar que há um apelo às definições das funções matemáticas. Entretanto, o argumento utilizado pelos estudantes carece de fundamentação sobre os aspectos relacionados à reação química que ocorre durante a titulação.

Os alunos 02, 06, 07 e 11 buscaram fundamentar suas respostas utilizando conceitos específicos, como pH, ionização, concentração das espécies e ponto de equivalência.

- **Aluno 02** "Porque o pH é definido como -log [H⁺], e gráficos de logaritmos não são retas."
- **Aluno 06** "Porque a curva de titulação depende de vários fatores, como a concentração e o volume do titulante e do titulado."
 - **Aluno 07** "Porque a ionização e o "consumo" de H⁺ não é linear."
- **Aluno 11** "Em uma titulação tem a viragem do pH, que é quando a quantidade de H⁺ do ácido se iguala à quantidade de OH⁻ da base adicionada, e a próxima gota de base tem excesso de OH⁻."

Os alunos 06, 07 e 11 apresentaram esboços de curvas sigmoides na questão

1 e o aluno 02 apresentou uma espécie de parábola para representar a curva de titulação solicitada nesta questão. Vale ressaltar que na curva apresentada pelo aluno 02 havia referência ao pH inicial e ao ponto de equivalência.

As questões seguintes buscaram estabelecer relações entre a curva de titulação e suas variáveis, como a quantidade de ácido, força do ácido e número de hidrogênios ionizáveis no ácido. Tais aspectos estão relacionados à dimensão submicroscópica, ou seja, relacionados ao comportamento químico das substâncias que participam da titulação. A questão 3 apresentou a seguinte pergunta: "Como a quantidade de ácido interfere na curva de titulação?". Nesta questão os estudantes associaram imediatamente a concentração do ácido e a relação estequiométrica da neutralização. Seguem as respostas obtidas nesta questão:

Aluno 01 – "A quantidade de ácido interfere na quantidade de base necessária para alcançar o ponto de 'viragem' da titulação."

Aluno 02 – "O aumento da quantidade de ácido, sem o aumento da quantidade de base em mesma proporção, impede a total neutralização da solução."

Aluno 05 – "Quanto maior o volume de ácido, maior é a quantidade da base necessária para titular."

Aluno 06 – "A quantidade do ácido interfere no momento que a base é neutralizada."

Aluno 08 – "Da quantidade do ácido depende a quantidade de base necessária para que ele seja titulado."

Aluno 10 – "Maior quantidade exige maior quantidade de base, e o pH demora mais para aumentar."

Aluno 11 – "Aumenta a quantidade de H[†] para ser neutralizado."

O aluno 04 associou a quantidade de ácido ao pH inicial e os alunos 07 e 09 transpuseram o que foi observado nas simulações, os três estudantes apontaram observações obtidas através das curvas simuladas como resposta para esta questão. Nestes casos, os estudantes indicaram que a quantidade de ácido modifica a curva, mas não fizeram referência ao comportamento das espécies químicas durante a titulação.

Aluno 04 – "Em seu início, a que pH iniciará a curva."

Aluno 07 – "O ponto de viragem acontece antes se a quantidade é menor. A característica curva é alterada, ela só é 'comprimida' proporcionalmente a quantidade de ácido."

Aluno 09 – "Uma maior quantidade de ácido torna o gráfico maior, mantendo sua forma."

O aluno 3 buscou fazer referência à reação química, mas segundo ele a quantidade de ácido está relacionada com a eficiência da neutralização:

Aluno 03 – "Neutraliza com mais eficiência a solução."

A questão 4 apresentou a seguinte pergunta: "Como a força do ácido interfere na curva de titulação?" e os alunos 04, 07 e 09 apresentaram, novamente, uma transposição do que foi observado nas curvas simuladas como resposta:

Aluno 04 – "Em sua velocidade, curvatura."

Aluno 07 – "Ácidos mais fortes tem um ponto de viragem mais definido e "drástico", pulando várias faixas de pH. Enquanto os ácidos fracos tem uma certa linearização, a mudança é mais gradativa."

Aluno 09 – "Um ácido mais forte faz com que as mudanças no gráfico sejam mais bruscas."

O aluno 03 associou a força do ácido à ionização, mas não comentou sobre a curva de titulação. A resposta fornecida por este estudante à questão anterior também não fez referência à curva.

Aluno 03 – "Quanto mais forte o ácido, mais facilmente ele é ionizado."

Alguns estudantes associaram a força do ácido à variação do pH da solução durante a titulação, seguem as respostas que apresentaram esta associação:

Aluno 01 – "A força do ácido interfere no pH de "viragem", ou seja, ácidos mais fortes tendem a ter um pH de "viragem" mais baixo, enquanto os ácidos mais fracos tendem a ter um pH de "viragem" mais altos."

Aluno 02 – "Quanto mais forte o ácido, mais brusca é a mudança de pH durante a neutralização."

Aluno 10 – "Ácidos mais fortes tem pH crescendo mais rapidamente."

Os alunos 05 e 06 também indicam alterações no valor do pH devido à força

do ácido.

Aluno 05 – "A curva tem ponto de equivalência com pH maior quando o ácido é mais forte."

Aluno 06 – "A força do ácido interfere no pH inicial até o ponto de viragem."

O aluno 08 respondeu esta pergunta fazendo referência à estequiometria da reação de neutralização, e o aluno 11 relacionou a força do ácido à ionização. Seguem suas respostas:

Aluno 08 – "Quanto mais forte o ácido, maior a quantidade de titulante para que seja neutralizado."

Aluno 11 – "Quanto mais forte o ácido, maior a quantidade de H⁺ liberada por quantidade de ácido liberado."

Na questão 5 a pergunta apresentada foi: "Como o número de hidrogênios ionizáveis interfere na curva de titulação?", e os estudantes apresentaram respostas, na maioria, fundamentadas na observação das curvas obtidas pelos simulador. Seguem as respostas obtidas nesta questão:

- **Aluno 01** "O número de hidrogênios interfere na quantidades de pontos de "viragem" presentes na curva de titulação."
- **Aluno 02** "O aumento de hidrogênios ionizáveis leva a um aumento nas neutralizações."
 - **Aluno 03** "A curva apresenta maiores oscilações."
- **Aluno 04** "Quanto maior o número de hidrogênios ionizáveis, mais "períodos", "curvas", haverá no gráfico."
- **Aluno 05** "Quanto maior o número de hidrogênios, maior o volume de base necessária, portanto, a curva fica mais extensa."
- **Aluno 06** "O número de hidrogênios ionizáveis interfere na posição da curva, deslocando-a para cima ou para baixo conforme a quantidade de hidrogênios ionizáveis."
- **Aluno 07** "Quanto maior o número de hidrogênios ionizáveis, mais a curva se aproxima de uma reta. Não há uma mudança tão drástica de pH como nos casos em que há apenas 1 H⁺."

Aluno 08 – "O número de hidrogênios ionizáveis interfere no tamanho da curva do volume do titulante."

Aluno 09 – "Mais hidrogênios ionizáveis fazem com que o gráfico apresente mais curvas na forma de 'S'."

Aluno 10 – "O número de hidrogênios ionizáveis é igual ao número de retas ascendentes na curva de titulação."

Aluno 11 – "Mais H⁺ por molécula de ácido."

De forma geral os estudantes apresentaram dificuldade para esboçar a curva solicitada na questão 1 e, também, para fundamentar as respostas nas questões 2 à 5. Apesar dos estudantes classificarem, de modo geral, os conceitos relacionados à titulação ácido-base como fáceis, ou seja, eles julgam-se capazes de resolver problemas envolvendo tais conceitos, o que foi observado nas respostas obtidas foi que estes estudantes apresentaram algumas deficiências quanto à compreensão destes conceitos.

Após responderem às questões de 2 a 5, foi solicitado que os estudantes classificassem a utilização de recursos computacionais, relacionando-os à frequência de uso. Foram listados oito tipos de recursos computacionais, sendo: (1) Softwares educacionais sobre humanidades; (2) softwares educacionais sobre ciências; (3) Softwares educacionais sobre química; (4) Simuladores de propriedades químicas, na forma de gráficos; (5) Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando experimentos; (6) Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando moléculas; (7) Busca no Google, para estudar química; (8) Busca no Youtube, para estudar química. A escala proposta, no formato Likert (Likert, 1932), sugeriu a seguinte classificação:

Signo	Descrição
0	Nunca usei
1	Utilizado apenas uma vez ou raramente
5	Utilizado frequentemente

Fonte: Própria autora

Quadro 12 – Descrição dos signos utilizados na classificação dos recursos computacionais.

As respostas obtidas nesta questão foram organizadas na tabela 2 e foi possível verificar que estes estudantes utilizam com maior frequência a ferramenta de busca do Google para auxiliá-los em seus estudos em Química, seguindo da

utilização de vídeos hospedados no YouTube.

Quanto a utilização de softwares educacionais os estudantes indicaram menor frequência de uso para este recurso comparado à utilização da ferramenta de busca do Google e dos vídeos hospedados no YouTube. Por se tratar de estudantes do primeiro ano do curso de Química, a baixa incidência para a utilização de softwares educacionais de humanidades (apenas dois estudantes indicaram alguma frequência de uso) já era esperada, por outro lado estes estudantes indicaram que utilizam com maior frequência os softwares educacionais de Ciências comparados aos de Química.

Quanto à utilização de simuladores de propriedades químicas, os estudantes indicaram maior frequência de uso para aqueles que utilizam animações na representação de moléculas, seguindo dos que representam experimentos e, com menor incidência, os que representam as propriedades químicas na forma de gráficos.

Tabela 3 – Respostas obtidas na questão sobre a frequência de uso de recursos computacionais.

Recurso computacional		Aluno						- Média				
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	Weula
Softwares educacionais sobre humanidades	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Softwares educacionais sobre ciências	2	2	5	2	1	2	3	4	0	2	3	2,4
Softwares educacionais sobre química	2	0	3	0	2	2	0	4	0	3	3	1,7
Simuladores de propriedades químicas, na forma de gráficos.	1	0	0	0	3	3	2	3	0	0	2	1,3
Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando experimentos.	2	3	0	2	0	4	0	4	0	1	1	1,5
Simuladores de propriedades químicas, na forma de animações representando moléculas.	3	3	0	2	0	4	3	5	3	0	2	2,3
Busca no Google, para estudar química	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5	4,7
Busca no Youtube, para estudar química	2	0	5	5	4	2	4	4	5	5	3	3,5

Fonte: Própria autora

Para finalizar a atividade, foi solicitado aos participantes que avaliassem a utilização da planilha CurTiPot e a atividade realizada. Nesta questão os estudantes deveriam associar os termos: DF – discordo fortemente; D – discordo; C – concordo; e CF – concordo fortemente às afirmações apresentadas. As afirmações apresentadas nesta questão estavam relacionadas diretamente com a utilização da

planilha CurTiPot e os estudantes apresentaram, na maioria, respostas semelhantes sobre as afirmações elencadas.

Um exemplo segue com: "O uso de softwares educacionais facilita a visualização de conceitos", na qual a maioria dos estudantes (73%) indicou concordar fortemente com a afirmação e os demais (27%) indicaram concordar. O mesmo foi observado nas respostas obtidas sobre as afirmações: "Os gráficos presentes no CurTiPot são fáceis de analisar" e "Se eu fosse professor, gostaria de usar recursos como o CurTiPot com meus alunos", nas quais a maioria dos estudantes (73%) indicou concordar com as mesmas e os demais (27%) indicaram concordar fortemente. Outra afirmação que obteve um conjunto homogêneo nas respostas apresentadas foi: "Eu gostaria de usar o CurTiPot para estudar", na qual a maioria dos estudantes (64%) indicou concordar e os outros (16%) indicaram concordar fortemente.

Durante a atividade os estudantes estavam confortáveis com a utilização da planilha, não apresentaram dificuldades para utilizar a ferramenta e de acordo com as respostas obtidas sobre as quatro afirmações apresentadas, os estudantes apreciaram a utilização do simulador e consideraram positiva sua utilização como um recurso de ensino e aprendizagem.

Especificamente sobre a planilha CurTiPot, foram elencadas duas afirmações: "A interface gráfica do CurTiPot é clara" e "Eu seria incapaz de usar o CurTiPot sem instruções prévias sobre seu funcionamento". De certa forma uma afirmação complementa a outra, uma vez que a interface deve propiciar que o usuário utilize a ferramenta da melhor maneira, explorando suas potencialidades. Vale ressaltar que a planilha CurTiPot não foi desenvolvida como um recurso didático especificamente, nesta pesquisa esta ferramenta foi inserida no contexto de uma sequência didática. Sendo assim, no estudo prévio buscou-se explorar suas potencialidades e limitações quando esta ferramenta é inserida em um contexto de ensino e aprendizagem.

Na primeira afirmativa, sobre a interface gráfica, a maioria dos estudantes (64%) indicou concordar com a mesma, porém três estudantes (27%) indicaram discordar desta afirmativa e um estudante (9%), ainda, concordou fortemente. Sobre a segunda afirmação, a maioria dos estudantes (55%) discordou de ser incapaz de utilizar a planilha sem instruções prévias e um estudante (9%) indicou discordar fortemente desta afirmativa, entretanto três (27%) estudantes concordaram com a

afirmação e um estudante (9%) concordou fortemente. Como mencionado anteriormente, as respostas se complementam e foi possível verificar que alguns estudantes apesar de concordarem com a afirmação que diz que a interface gráfica do simulador é clara, ou seja, de fácil utilização os mesmos também concordaram com a segunda afirmação que diz que seriam incapazes de utilizar a ferramenta sem instrução prévia.

Sobre a atividade, os estudantes não a consideraram uma atividade difícil, apenas um estudante (9%) indicou concordar com a afirmação: "Esta atividade foi difícil", a maioria dos estudantes (73%) indicou discordar fortemente desta afirmação e os demais (18%) discordaram. A maioria dos estudantes (82%) concordou com a afirmação: "A atividade é muito diferente daquelas das quais normalmente participo nas aulas" e dois estudantes (16%) discordaram da mesma. Sobre os conceitos envolvidos na atividade, a maioria dos estudantes (55%) concordou com a afirmação: "Meus conhecimentos prévios foram suficientes para realizar esta atividade", um estudante (9%) concordou fortemente e os demais (36%) discordaram desta afirmativa. Especificamente sobre o conceito de equilíbrio químico, foi elencada a seguinte afirmação: "Dos conceitos envolvidos nesta atividade, equilíbrio químico está entre os mais importantes". A maioria dos estudantes (64%) indicou concordar com esta afirmativa, um estudante (9%) indicou concordar fortemente, enquanto dois estudantes (16%) discordaram e um estudante (9%) discordou fortemente da mesma.

No final da atividade alguns estudantes expressaram verbalmente e, alguns, deixaram comentários no final das folhas de resposta do questionário aplicado, e de modo geral os estudantes apreciaram a atividade e, quanto ao simulador, eles apresentaram algumas dificuldades com a interface e a entrada de dados na planilha. O estudo prévio contribuiu de maneira significativa para a elaboração da sequência didática de forma geral, mas principalmente para a elaboração da segunda aula da sequência proposta e que será apresentada no próximo capítulo. Seguem dois depoimentos de alunos que participaram do estudo prévio:

Aluno 7 - "É preciso um conhecimento mínimo de titulação para utilizar e entender o programa e uma instrução, mesmo que simples. Um simples tutorial."

Aluno 10 - "CurTiPot é útil, fácil de usar, versátil. Mas numa primeira vista pode assustar."

8 Sequência didática proposta para aulas de laboratório de Química Geral no Ensino Superior

Como citado anteriormente, um dos objetivos deste trabalho foi propor uma sequencia didática para aulas de laboratório de Química no Ensino Superior. A proposta foi desenvolvida, conforme mencionado na introdução, dentro do contexto da disciplina de Química Geral II, buscando atender simultaneamente à ementa da disciplina e aos objetivos desta pesquisa. O conceito de equilíbrio químico foi adotado como plano de fundo para esse estudo e titulação ácido-base foi o tema principal da proposta, a qual foi aplicada no módulo experimental da disciplina de Química Geral II.

A elaboração da sequência didática contou com métodos que não são tradicionalmente empregados na disciplina em questão, tais como a utilização de software de simulação, utilização coletiva dos dados gerados no laboratório, valorização da seleção e interpretação de dados experimentais, utilização de escalas visuais de indicadores ácido-base, entre outros.

A sequência didática desenvolvida nessa pesquisa foi elaborada com o intuito de reunir um conjunto de atividades, que associado ao planejamento das práticas experimentais buscou contribuir para a aprendizagem de conceitos, além de possibilitar o desenvolvimento de habilidades e competências relacionadas à formação de estudantes no ensino superior e compôs parte dos resultados obtidos nessa pesquisa.

Os experimentos apresentados na sequencia didática proposta foram inseridos, como já mencionado, no contexto da disciplina de Química Geral II e considerados formalmente na sua avaliação. Sendo assim, os experimentos propostos neste estudo compuseram parte do programa da disciplina e, consequentemente, parte da avaliação formal da mesma. As disciplinas experimentais, também denominadas aulas de laboratório, possuem uma característica similar entre si: a utilização das avaliações independentes dos relatórios para a composição da avaliação final da disciplina. Sendo assim, é fundamental que para cada prática o aluno entregue o respectivo relatório, e esse material é utilizado como ferramenta de avaliação em disciplinas experimentais.

Utilizando o vínculo, tradicionalmente estabelecido, à entrega de material

após a realização de uma prática, é possível identificar na sequência didática, elaborada nesse trabalho, duas práticas experimentais, uma vez que as atividades propostas proporcionaram a entrega de dois relatórios. A proposição e organização das atividades foram realizadas em função dos conteúdos e das formalidades exigidas pela própria disciplina. Mas, a seleção dos experimentos e da metodologia utilizada, em cada momento da aplicação da proposta, resultou dos objetivos de investigação contidos no presente estudo.

Prática	Aula	Descrição	Local
1	1	Realização dos experimentos da prática 1	Laboratório de Química Geral
LABIQ 1	2	Tratamento dos resultados experimentais	Laboratório de Multimídia
2	3	Apresentação do problema da prática 2	Laboratório de Química Geral
LABIQ 2	4	Desenvolvimento do procedimento experimental	Laboratório de Química Geral
LADIQ 2	5	Realização dos experimentos da prática 2	Laboratório de Química Geral

Fonte: própria autora

Quadro 13 - Resumo da sequência didática aplicada na disciplina QFL4020

A sequência didática elaborada propôs duas práticas experimentais e teve duração de cinco aulas do programa da disciplina. A primeira parte (aula 1) da prática 1 foi realizada no laboratório de Química Geral e contou com a realização de dois experimentos de titulação ácido-base. Os experimentos foram realizados mediante a apresentação prévia de um roteiro, ou seja, com a descrição completa do procedimento experimental, apresentando poucas discrepâncias com o método tradicionalmente utilizado na disciplina.

Para a realização das titulações propostas nesta prática, os grupos receberam o indicador universal e um dos cinco indicadores específicos: azul de Timol, azul de Bromofenol, vermelho de Metila, azul de Bromotimol ou Fenolftaleína. Vale ressaltar que os grupos receberam indicadores específicos distintos, e, devido essa organização, os resultados obtidos pelos grupos foram diferentes e se complementavam. No final desta aula, os estudantes foram orientados a enviar seus resultados, via e-mail, para os monitores da disciplina, os quais compilaram e organizaram todos os dados obtidos pela turma em um arquivo .xls.

A segunda parte da prática (aula 2) foi realizada no laboratório de multimídia e buscou dialogar os dados obtidos experimentalmente com as respectivas curvas de titulação obtidas através de um simulador. Esta etapa buscou intensificar as discussões levantadas acerca do tratamento e interpretação dos resultados experimentais. A discussão nesta aula versou sobre seleção e análise de dados, a qual levou em consideração a compilação dos dados da turma, a utilização de

diferentes indicadores ácido-base entre os grupos, assim como as limitações de medida consequentes dos intervalos de mudança de cor de cada indicador, além das condições do experimento e, também, o diálogo entre os dados experimentais com as previsões teóricas obtidas através de um software de simulação.

Nesta aula (aula 2) foi disponibilizado aos estudantes um roteiro para a utilização do software e um questionário, o qual levantou questões sobre a seleção e análise dos dados obtidos experimentalmente e através do simulador. Após esta aula, os alunos foram orientados para a elaboração dos relatórios, os quais deveriam manter o formato tradicionalmente utilizado na disciplina, com introdução, objetivos, procedimento experimental, resultados e discussão, conclusão e referenciais teóricos. A prática 2 também versou sobre o estudo do comportamento ácido e básico de soluções e curvas de titulação, mas, nesta prática, os estudantes foram submetidos à algumas características da abordagem investigativa.

Na primeira aula da prática 2 (aula 3) os estudantes tiveram o primeiro contato com as soluções que iriam estudar nesta prática. Foram distribuídas, entre os grupos, amostras de água do mar sintética, refrigerante diet, isotônico, entre outros, e foi solicitado que os estudantes propusessem um procedimento para estudar as características ácidas e básicas destas amostras. Nesta aula os estudantes puderam realizar pequenos testes, dialogar com professores e monitores da disciplina e, também, discutir suas propostas com os outros grupos de alunos que compunham a disciplina. Nesta aula foram entregues, pelos estudantes, o relatório da prática 1 e uma cópia da primeira versão da proposta experimental sugerida por cada grupo de alunos referente ao problema apresentado na prática 2.

Na segunda aula da prática 2 (aula 4), os relatórios, já corrigidos, da prática 1 foram discutidos e entregues aos estudantes, que puderam refazer e entregar novamente para a uma segunda avaliação. Nesta discussão foram priorizadas as questões relacionadas com os resultados experimentais, assim como com as interpretações dos estudantes acerca dos mesmos, com a seleção e a apresentação destes e, também, com as formas de representação e compreensão do fenômeno estudado.

Na aula anterior (aula 3), os estudantes foram orientados a pesquisar sobre as características da solução que lhes foi entregue e discutir sobre o procedimento inicialmente proposto. Nesta aula (aula 4), os estudantes puderam testar as demais hipóteses a respeito da solução recebida e desenvolver seus procedimentos de

acordo com os testes e discussões realizadas durante a aula. Tais discussões foram mediadas pelos professores e monitores, e buscaram promover reflexões acerca dos resultados que poderiam ser obtidos a partir dos procedimentos propostos. Além disso, buscou-se questionar os estudantes se os procedimentos propostos seriam suficientes para descrever o comportamento observado.

Na terceira aula da prática 2 (aula 5), os alunos efetivamente realizaram o experimento proposto para a prática, como seria feito, tradicionalmente, em uma aula experimental, mas utilizaram seus próprios procedimentos experimentais. Estes procedimentos foram elaborados ao longo das duas aulas que antecederam esta aula, e foram construídos a partir de testes, discussões e pesquisa. Para essa prática, que se distinguiu das demais principalmente pela construção do procedimento experimental, foi solicitado que os estudantes redigissem o "relatório" no formato de artigo científico, utilizando o formato da revista Química Nova como referência.

Vale ressaltar que a primeira parte da prática 1 não apresentou muitas diferenças na metodologia utilizada em relação às outras práticas realizadas anteriormente na disciplina, uma vez que fez uso do roteiro tradicionalmente disponibilizado em aulas experimentais e priorizou a observação do fenômeno. A segunda parte da prática buscou potencializar a discussão dos resultados experimentais incluindo uma aula de tratamento dos dados experimentais, realizada no laboratório de multimídia, e utilizando um software de simulação de curvas de titulação como um recurso para intensificar a discussão sobre os resultados obtidos. Além disso, na aula de tratamento dos dados foi possível mediar a discussão realizada pelos estudantes acerca da seleção e da interpretação dos dados obtidos no laboratório. A prática 1 buscou preparar os alunos para as discussões que seriam abordadas na prática 2, e nesta última houveram mudanças mais intensas quanto à metodologia aplicada, aproximando-a do método investigativo.

8.1 Roteiros elaborados e utilizados na sequência proposta

Os roteiros elaborados e utilizados na sequência didática proposta neste estudo fazem parte dos resultados deste trabalho, uma vez que um dos objetivos foi

a proposta da sequência didática para aulas prático-laboratoriais. Vale ressaltar que foram fornecidos roteiros apenas para as atividades da prática 1 (LABIQ 1) da sequência didática. As orientações sobre a prática 2 (LABIQ 2) ocorreram verbalmente e os estudantes deveriam propor seus procedimentos experimentais.

O texto (na íntegra) elaborado e utilizado nos roteiros fornecidos aos estudantes durante o período de aplicação da proposta está anexado ao apêndice deste trabalho. Os roteiros foram elaborados com a finalidade de disponibilizar aos estudantes orientações (escritas) sobre as atividades desenvolvidas na prática LABIQ 1. Sendo assim, o texto foi redigido mantendo-se o modo verbal adequado para esse tipo de comunicação¹.

8.2 Avaliação das atividades realizadas: reflexões sobre a aplicação da proposta na disciplina QFL4020

No início da primeira aula, da sequência didática proposta neste estudo, os estudantes responderam ao questionário que foi elaborado utilizando como referência o estudo prévio, descrito no capítulo anterior. Este questionário buscou investigar os conhecimentos prévios sobre o tema titulação ácido-base.

A primeira parte desta investigação prévia contou com a classificação dos conceitos relacionados com titulações ácido-base. Para responder esta questão, os estudantes utilizaram a mesma escala fornecida no estudo prévio, na qual eles deveriam associar um signo de acordo com o que julgam compreender acerca dos conceitos elencados. O único conceito que foi excluído da lista utilizada anteriormente, no estudo prévio, foi sistema tampão, uma vez que a prática LABIQ 2 explora, especificamente, esse tipo de sistema químico.

A segunda parte do questionário manteve a proposta realizada no estudo prévio, solicitando que os estudantes esboçassem uma curva de titulação. Neste caso, foi solicitado que os estudantes esboçassem uma curva de titulação de 20 mL de solução de carbonato de sódio (0,1 mol.L⁻¹) com ácido clorídrico (0,1 mol.L⁻¹).

_

¹"O imperativo é o modo verbal pelo qual se expressa uma ordem, pedido, desejo, súplica, conselho, sugestão, recomendação, solicitação, orientação, alerta ou aviso" (disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modo_imperativo)

Na segunda aula da sequência didática proposta, os estudantes foram orientados para a utilização do simulador e a discussão sobre os resultados obtidos foi incentivada. No final do roteiro disponibilizado para os estudantes foram propostas seis questões sobre seleção e análise de dados. Os estudantes enviaram suas curvas (simulada e experimental) e respostas por e-mail aos pesquisadores.

Todos os estudantes entregaram uma versão impressa de seus relatórios, referentes às práticas do LABIQ 1 e 2, como instrumento formal de avaliação da disciplina. Tais relatórios foram corrigidos pelos pesquisadores responsáveis por este estudo, sob a supervisão dos docentes responsáveis pela disciplina, e devolvidos aos estudantes, uma vez que se trata de um documento oficial da disciplina. Tendo em vista os objetivos desta pesquisa, foi solicitado que os estudantes enviassem uma cópia de seus relatórios para o e-mail dos pesquisadores.

Após a realização das cinco aulas previstas na sequência didática, os estudantes responderam quatro questões envolvendo o conceito de equilíbrio químico. Este questionário foi desenvolvido por Montagna e Torres (2013) e disponibilizado para os pesquisadores deste estudo. O quadro a seguir apresenta um resumo sobre a coleta de dados realizada durante a aplicação da sequência didática na disciplina QFL4020.

Atividade	Investigação prévia	LABIQ 1	LABIQ 2	Avaliação final
Instrumento(s) de coleta de	Questionário	Questionário de tratamento dos dados	Propostas de procedimento experimental	Questionário
dados		Relatórios e relatórios refeitos	Relatórios	

Quadro 14 – Instrumentos de coleta de dados utilizados na aplicação da sequência didática

8.2.1 Resultados coletados antes da aplicação da sequência didática: investigação prévia

Como mencionado anteriormente, a investigação prévia foi elaborada a partir do questionário utilizado no estudo prévio (aplicado no primeiro semestre de 2013 e descrito no capítulo sete). No formato de questionário, a investigação prévia propôs duas questões. A primeira questão buscou verificar o quanto os estudantes julgam

compreender ou sentem-se confortáveis com alguns conceitos relacionados à titulação ácido-base. A segunda questão solicitou que os estudantes esboçassem uma curva de titulação de 20,00 mL de solução de carbonato de sódio (0,10 mol.L⁻¹) com ácido clorídrico (0,10 mol.L⁻¹).

Na primeira questão foi solicitado que os estudantes classificassem cada um dos conceitos apresentados baseados em suas percepções e julgamentos. Os conceitos elencados foram: Equilíbrio Químico; Ácidos de Arrhenius; Ácidos de Brönsted-Lowry; Soluções e molaridade; pH; Constante de ionização, Grau de ionização; pKa; Cálculos estequiométricos e Funções matemáticas. Nesta questão os estudantes deveriam associar signos de zero à cinco para cada um dos conceitos, sendo um para conceitos considerados "muito fáceis" e cinco para conceitos considerados "impossíveis". Os conceitos considerados "desconhecidos" deveriam ser associados ao signo zero. Esta escala foi descrita no capítulo sete e a descrição de cada signo foi apresentada no quadro 10 (ver pág. 59). Novamente, com a finalidade de obter um valor médio para cada um dos conceitos elencados, foi utilizado o valor seis para os conceitos considerados "desconhecidos".

Os resultados observados nesta questão da investigação prévia foram similares aos resultados obtidos no estudo prévio. De acordo com as respostas obtidas na investigação prévia, os conceitos de "cálculos estequiométricos", "ácidos de Arrhenius", "soluções e molaridade", "equilíbrio químico" e "pH" continuaram no grupo dos conceitos considerados mais fáceis pelos estudantes e os conceitos de "constante de ionização", "pKa", "grau de ionização" continuaram no grupo de conceitos considerados mais difíceis.

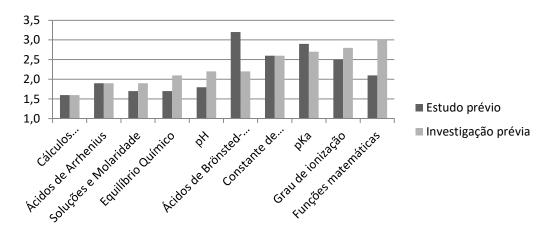


Figura 19 – Valores médios obtidos através das respostas da questão de auto-avaliação do estudo prévio e da investigação prévia

No caso dos conceitos de "ácidos de Brönsted-Lowry" e "funções matemáticas" foi observado que os estudantes do primeiro e do segundo grupo, estudo prévio e investigação prévia, respectivamente, apresentaram percepções distintas para cada um dos conceitos. No estudo prévio os estudantes apontaram o conceito de "ácidos de Brönsted-Lowry" como o de maior dificuldade (média de 3,2), enquanto os estudantes da disciplina QFL4020 consideraram este conceito como outros do grupo dos conceitos considerados mais fáceis, como pH (média de 2,2 para ambos). Por outro lado, os estudantes da disciplina QFL4020 consideraram o conceito de "funções matemáticas" como o de maior dificuldade (média de 3,0) enquanto os estudantes que participaram do estudo prévio julgaram este conceito como fácil (média de 2,1).

Sobre o conceito de "funções matemáticas", vale ressaltar que o estudo prévio foi realizado no primeiro semestre de 2013 e a investigação prévia (parte da sequência proposta) foi realizada no segundo semestre. Esse fator é importante na interpretação dos dados obtidos, uma vez que no primeiro semestre a referência sobre funções matemáticas, para a maioria dos estudantes, refere-se aos conhecimentos necessários para o ingresso no ensino superior, enquanto os estudantes do segundo semestre foram expostos e/ou cursaram disciplinas específicas da matemática, como cálculo.

Apesar de não refletir, necessariamente, o que foi observado nas respostas obtidas na segunda questão, o conceito de "ácidos de Brönsted-Lowry" foi considerado pelo segundo grupo de alunos como um dos conceitos mais fáceis (média de 2,2) enquanto para o primeiro grupo este conceito foi considerado como um dos conceitos mais difíceis (média de 3,2). Os estudantes do segundo semestre foram expostos à determinada carga horária de disciplinas específicas da química e o tema equilíbrio químico havia sido abordado nas aulas teóricas (da disciplina QFL4020) que antecederam a realização das atividades.

A segunda parte da investigação prévia solicitou o esboço da curva de titulação de 20,00 mL de solução de carbonato de sódio $(0,10 \text{ mol.L}^{-1})$ com ácido clorídrico $(0,10 \text{ mol.L}^{-1})$, para esta questão foi disponibilizado os valores das duas constantes de ionização do ácido carbônico $(Ka_1 = 4,4 \times 10^{-7}; Ka_2 = 4,8 \times 10^{-11})$.

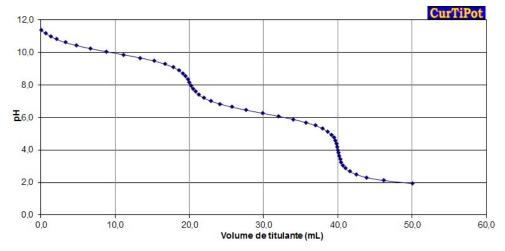


Figura 20 - Curva de titulação de 20 mL de solução de carbonato de sódio (0,1 mol.L⁻¹) e ácido clorídrico (0,1 mol.L⁻¹) simulada na planilha CurTiPot.

Dentre as curvas esboçadas pelos estudantes, foram identificadas curvas sigmoides (características da titulação ácido-base), porém também foram identificados outros tipos de curvas, como retas e parábolas. As respostas apresentadas foram classificadas de acordo com o tipo de curva que foi esboçado pelos estudantes. As respostas em branco foram contabilizadas e as demais foram classificadas em quatro tipos de curvas: retas, parábolas, sigmoides e outras (logarítmicas, trigonométricas, etc.). Seguem os exemplos para cada tipo de curva classificada nas respostas da investigação prévia.

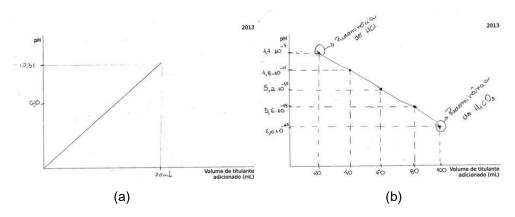


Figura 21 – Exemplos de curvas classificadas como retas (crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes.

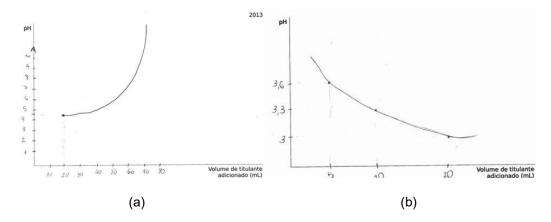


Figura 22 – Exemplos de curvas classificadas como parábolas (crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes.

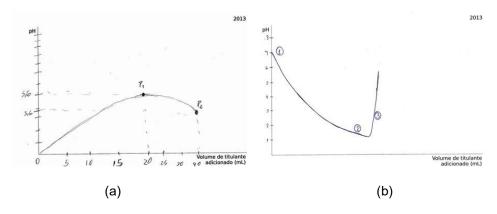


Figura 23 – Exemplos de outros tipos de curvas esboçadas pelos estudantes.

Os estudantes que esboçaram as curvas sigmoides para representar a titulação da solução de carbonato de sódio com ácido clorídrico apresentaram variações em suas respostas com relação à tendência da curva (crescente ou decrescente), o que também foi observado nas outras categorias, e, também, apresentaram variação quanto o número de inflexões nas curvas esboçadas.

Por se tratar de uma titulação de uma base com um ácido, o valor do pH diminuirá no decorrer da titulação (acréscimos de ácido), porém alguns estudantes (31%) esboçaram curvas crescentes. Quanto ao número de inflexões, dos estudantes (38%) que apresentaram este tipo de curva a maioria (26%) esboçou curvas com uma inflexão e os demais (12%) esboçaram curvas com duas inflexões.

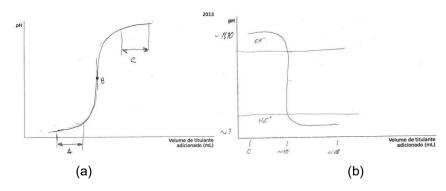


Figura 24 – Exemplos de curvas classificadas como sigmoides de uma inflexão (crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes.

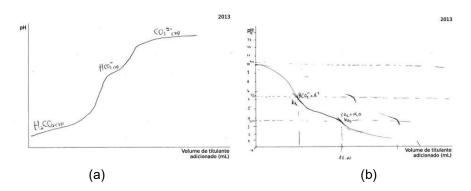


Figura 25 – Exemplos de curvas classificadas como sigmoides de duas inflexões (crescente e decrescente, respectivamente) esboçadas pelos estudantes.

As respostas obtidas nesta parte da investigação prévia foram organizadas de acordo as categorias estabelecidas após a análise prévia das curvas esboçadas pelos estudantes. Foi possível verificar os tipos de curvas apresentados pelos estudantes e categorizá-los em função do tipo e da tendência das curvas. Os resultados obtidos nesta questão foram organizados na tabela três a seguir.

Tabela 4 – Perfil das curvas esboçadas na investigação prévia

Tipo de curva		Total			
ripo de curva	Decrescente	Crescente	Constante	Alternada	IOlai
Sigmoide com duas inflexões	3 ¹ (7%) ²	2 (5%)	-	-	5 (12%)
Sigmoide com uma inflexão	5 (12%)	6 (14%)	-	-	11 (26%)
Reta	2 (5%)	2 (5%)	1 (2%)	-	5 (12%)
Parábola	5 (12%)	3 (7%)	-	-	8 (19%)
Outras	2 (5%)	-	-	2 (5%)	4 (10%)
Resposta em branco	-	-	-	-	9 (21%)
Total	17 (41%)	13 (31%)	1 (2%)	2 (5%)	42 (100%)

¹ número de estudantes que esboçaram esse tipo de curva

Fonte: própria autora

² valor em porcentagem (n = 42)

As respostas obtidas nesta parte da investigação prévia se aproximaram das respostas obtidas no estudo prévio (realizado previamente com outro grupo de estudantes). Vale ressaltar que a curva solicitada na questão similar do estudo prévio tratava-se da titulação de um ácido monoprótico (ácido acético) com uma base forte (hidróxido de sódio) e a curva solicitada na investigação prévia tratava-se da titulação de carbonato de sódio (base conjugada do ácido carbônico, o qual é um ácido diprótico) com um ácido forte (ácido clorídrico).

Quanto à tendência das curvas, a primeira delas deveria apresentar tendência crescente, pois representa a titulação de um ácido com uma base e a segunda deveria apresentar tendência decrescente, pois representa o oposto, a titulação de uma base com um ácido. Apesar do conceito de pH ter sido indicado, pelos estudantes que responderam à investigação prévia, como um conceito fácil (média de 2,2), um número significativo de estudantes (38%) esboçaram curvas com tendência inadequada para a titulação que representavam.

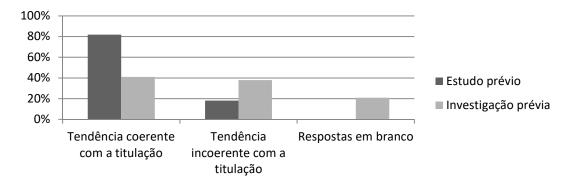


Figura 26 – Tendência das curvas esboçadas: percentual de respostas obtidas no estudo prévio e na investigação prévia

Vale ressaltar que a curva solicitada na investigação prévia pode ser diferenciada da curva solicitada no estudo prévio a partir de duas características principais: tendência e número de inflexões, uma vez que a primeira representa a titulação de uma base com um ácido e a segunda representa o inverso e a primeira representa a titulação de uma espécie monoprótica e a segunda representa a titulação de uma espécie diprótica. Nesse sentido é possível relacionar as curvas utilizadas como exemplos para representar titulações ácido-base ilustradas nos materiais instrucionais, as quais representam, na maioria, titulações de ácidos monopróticos com uma base (curvas sigmoides crescentes com uma inflexão).

Esta relação com os materiais instrucionais pode ajudar compreender a

diferença observada nos resultados obtidos no estudo prévio e na investigação prévia, uma vez que no primeiro foi solicitado o esboço de uma curva tipicamente ilustrada em materiais instrucionais e na segunda foi solicitado uma curva pouco comum nos materiais instrucionais. Isso pode indicar que a reprodução de imagens reconhecidas parece prevalecer sobre a criação de imagens relacionadas à solicitação proposta na atividade. É razoável sugerir que uma parte significativa destes estudantes tem uma compreensão essencialmente qualitativa da reação química, associando imagens de curvas com tipos de reação, sem que haja uma relação conceitual entre o equilíbrio ácido-base e a sua representação na forma de uma curva. É provável que, a despeito do fato da grande maioria das abordagens de ensino destes conceitos privilegiarem quase que exclusivamente o tratamento matemático, tais estudantes não tenham de fato compreendido o equilíbrio químico e associado o tratamento matemático formal com conceitos, como a reversibilidade do equilíbrio, que podem ser expressos na curva de titulação. Os resultados podem indicar, portanto, que não há um trânsito na dimensão simbólica do conceito, apesar da ênfase dada a esta dimensão, como evidencia Bertotti (2011).

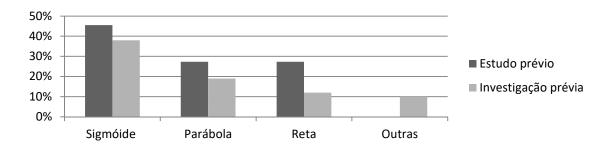


Figura 27 – Tipos de curvas esboçadas: percentual de respostas obtidas no estudo prévio e na investigação prévia

Quanto ao tipo de curvas esboçadas, foram observadas outras possibilidades de categorias para as curvas representadas pelos estudantes que responderam à investigação prévia. A distribuição dos tipos de curvas esboçadas foi semelhante ao que foi observado no estudo prévio, a maioria dos estudantes esboçaram curvas típicas de titulação (curva sigmoide). Um número significativo de estudantes esboçou curvas do tipo sigmoide, entretanto a maioria deles (26%) representaram curvas sigmoides com apenas uma inflexão, características de espécies monopróticas e comumente ilustradas nos materiais instrucionais.

8.2.2 Resultados coletados durante a aplicação da sequência didática: relatórios, procedimentos, curvas e respostas obtidas nas atividades do LABIQ 1 e 2

Como mencionado anteriormente, durante a aplicação da proposta foram coletados alguns dados de pesquisa. A primeira coleta de dados aconteceu durante a segunda aula da prática LABIQ 1, na qual os estudantes utilizaram o simulador de curvas de titulação e no final da atividade responderam um questionário que procurou mediar e levantar pontos de discussão relacionados ao tratamento dos resultados experimentais

A primeira pergunta do questionário buscou levantar quais estratégias os estudantes utilizariam para a seleção dos dados obtidos pela turma no laboratório.

Visto que os dados da turma foram compilados e encontram-se em uma única planilha, nota-se que para um mesmo valor de pH têm-se mais de um valor de volume adicionado de titulante. Como você selecionará estes dados? (Questão 01 – Atividade de tratamento dos dados LABIQ 1)

As respostas obtidas neste questionário foram analisadas e classificadas de acordo com seus conteúdos. Nesta questão os estudantes apontaram duas estratégias possíveis para a seleção dos dados: a utilização de recursos estatísticos (como média e desvio padrão) e a comparação entre as curvas obtidas experimentalmente e através do simulador. A maioria dos estudantes (49%) utilizou recursos estatísticos como estratégia para a seleção dos dados e 33% dos estudantes sugeriram a comparação entre as curvas obtidas experimentalmente e através do simulador.

"A partir do gráfico obtido pela simulação realizada, pode-se fazer uma comparação, sabendo, então, quais dados são mais verossímeis. Desta forma, pode-se selecionar os melhores para utilizar na análise" (Alunos 01 e 02 – comparação com a curva simulada)

"Nos basearemos na tendência que a maior parte dos pontos apresentarem para um dado valor de pH e volume. Assim, se 30 dados apresentarem pH=X e apenas dois apresentarem pH=Y, estes últimos serão desconsiderados" (Alunos 26 e 27 – recurso estatístico)

Dois estudantes apresentaram as duas estratégias mais recorrentes (comparação entre as curvas e recurso estatístico), porém indicaram a comparação entre as curvas como a estratégia mais eficiente para a seleção dos dados.

"Caso não tivéssemos em mãos o Curtipot, a melhor forma de selecionar os dados obtidos seria através do uso de desvio padrão. Com isso seriam eliminados aproximadamente 30% dos pontos e poderíamos perceber quais valores foram mais recorrentes. Já com o "software" em mãos, é mais fácil

comparar os valores obtidos experimentalmente com os valores ideais calculados teoricamente" (Alunos 16 e 42 – comparação com a curva simulada)

Com exceção de dois estudantes (4%), que recorreram aos aspectos relacionados à reação química, relacionando o valor do pH com a adição do ácido, os demais buscaram fundamentar suas respostas utilizando a curva simulada como parâmetro de comparação ou através da utilização de recursos estatísticos.

"Analisando a tabela de dados, observa-se valores muito discrepantes em relação aos demais. Analisando o gráfico alguns valores de pH não fazem sentido pois conforme ocorre a adição do ácido o valor do pH tende a ficar menor, o que não ocorre em alguns pontos observados, onde nos mesmos apresentam valores de pH maiores do que outros com um maior volume de ácido adicionado" (Alunos 20 e 31 — recurso estatístico e referência à reação química)

Os outros estudantes (14%) não indicaram uma estratégia para a seleção dos dados ou recorreram para a utilização total dos dados.

"Os dados serão selecionados de acordo com critérios não definidos ainda" (Alunos 34 e 36 – não apresentaram uma estratégia)

"Utilizamos todos os dados obtidos nos laboratórios, pois acreditamos que em um primeiro momento isso seria mais apropriado para representar a realidade da experimentação" (Alunos 30, 32 e 37 – utilização de todos dos dados)

A primeira questão buscou questionar a seleção dos dados de uma forma mais ampla, os estudantes poderiam estabelecer diversas relações com os resultados obtidos. Entretanto, os estudantes mencionaram principalmente duas estratégias para a seleção dos dados e apenas dois estudantes expuseram argumentos relacionados com o sistema químico. Além disso, nenhum estudante mencionou a limitação da técnica, a qual produziu uma grande quantidade de pontos não representativos na curva. Tais pontos refletem a limitação de cada indicador ácido-base utilizado, por exemplo, o indicador azul de bromotimol apresenta variação de cor e tonalidade entre os valores de pH 5,2 e 7,4 (ver figura 4 - pág. 56). Sendo assim, em uma titulação de um ácido (titulado) com uma base (titulante), a coloração do sistema permanecerá na mesma cor e tonalidade, mesmo com a adição de base, até atingir pH 5,2. A partir deste valor de pH ocorre uma variação na tonalidade e na coloração do sistema, até atingir o pH 7,4. Após este valor, mesmo com adições de base, o sistema permanecerá com a mesma tonalidade, portanto a leitura do pH com esta técnica limita-se ao intervalo de mudança de cor de cada indicador utilizado e isso não foi mencionado por nenhum estudante.

Na segunda pergunta foi questionado, especificamente, sobre a exclusão de

dados e foram propostas duas estratégias: tratamento estatístico dos resultados experimentais e a comparação com os resultados teóricos. Desta forma, pode-se inferir que as respostas obtidas na primeira questão sofreram influência desta última.

Algum ponto será excluído? Qual e por quê? O(s) ponto(s) excluído(s) será(ão) o(s) que está(ão) fora do desvio padrão do conjunto pontos experimentais, ou fora do conjunto de pontos teóricos? (Questão 02 – Atividade de tratamento dos dados LABIQ 1)

A maioria das respostas obtidas nesta questão manteve a estratégia apontada na resposta anterior, porém nesta questão os estudantes desenvolveram a escolha realizada e, alguns, indicaram outros fatores que poderiam influenciar na seleção dos dados, como a limitação da metodologia utilizada.

"Selecionaremos os dados onde há maior densidade de pontos no gráfico. Os demais pontos podem ser desconsiderados, pois estão fora do desvio padrão do conjunto de pontos" (Alunos 03, 43 e 45 – resposta da questão 01)

"Sim, poderemos excluir os pontos fora do desvio padrão do conjunto de dados dos pontos experimentais. Podemos excluir tais pontos, pois os indicadores utilizados nos experimentos eram diferentes entre as equipes, no caso da titulação de Na₂CO₃. No caso da titulação do NaOH, podemos excluir os pontos de antes e depois da viragem do indicador" (Alunos 03, 43 e 45 – resposta da questão 02)

"Vários pontos serão excluídos, devido à sua discrepância com os outros valores obtidos, que eram maioria e eram iguais. Tais pontos a serem excluídos serão os que estão fora do desvio padrão do conjunto de pontos experimentais. Tal exclusão ocorre devido à limitação do indicador de pH utilizado" (Alunos 05 e 54 – resposta da questão 02)

Em alguns casos foi observado que a estratégia proposta inicialmente foi modificada quando os estudantes foram questionados de outra forma. Por exemplo, os alunos 35 e 44 inicialmente propuseram a exclusão de valores que divergiam da curva simulada. Na segunda questão, os mesmos estudantes propuseram o tratamento estatístico e posterior comparação entre as curvas.

"Comparando a curva simulada no curtipot, que representa uma situação ideal, com a curva obtida através dos dados experimentais, os pontos desta última curva que forem muito discrepantes em relação aos pontos da primeira curva podem ser descartados pra efeitos de comparação" (Alunos 35 e 44 – resposta da questão 01)

"Os pontos que serão excluídos são aqueles que estão fora do desvio padrão do conjunto de pontos experimentais, porque são esses pontos que alteram o comportamento da curva obtida com os dados experimentais. Com a exclusão de tais pontos talvez seja possível obter uma aproximação maior da curva ideal, simulada no curtipot" (Alunos 35 e 44 — resposta da questão 02)

Na terceira pergunta foram questionadas, especificamente, as diferenças observadas nas curvas obtidas experimentalmente e através do simulador.

Por que a curva experimental apresenta discrepância com relação à curva teórica? Quais são tais discrepâncias? E como você explicaria essas diferenças observadas? (Questão 03 – Atividade de tratamento dos dados LABIQ 1)

Na terceira pergunta foram questionadas, especificamente, as diferenças observadas nas curvas obtidas experimentalmente e através do simulador. De forma geral, os estudantes atribuíram as discrepâncias observadas ao método utilizado. Os estudantes foram capazes de reconhecer as limitações da metodologia utilizada e, mediado pela utilização do simulador, foi possível estabelecer uma discussão entre dados empíricos e teóricos.

"A curva teórica foi calculada com base nos conceitos de ácidos e bases e traduz uma forma idealizada da reação. A curva experimental foi medida com o auxílio de indicadores de pH, que dependem do observador, tornando as medidas menos precisas e exatas, e traduzem uma forma mais real do experimento" (Alunos 12 e 25 – resposta da questão 03)

"Podemos perceber discrepâncias entre as curvas obtidas experimentalmente e as curvas teóricas. Boa parte dessa discrepância pode ser atribuída ao fator subjetivo de avaliação do pH pela visualização das cores. Percebe-se em geral concordância interna da dupla ao relacionar a cor visualizada com o pH indicado na tabela, pois a curva segue um formato coerente, porem a discrepância está nos valores" (Alunos 16 e 42 – resposta da questão 03)

"A curva teórica não leva em consideração a temperatura do laboratório quando o experimento foi realizado, o que pode alterar o equilíbrio do meio. A visualização da cor pode variar também dependendo da interpretação de cada grupo" (Alunos 20 e 31 – resposta da questão 03)

Na quarta questão os estudantes deveriam utilizar seus conhecimentos químicos para julgar, sobre o sistema estudado, qual das curvas obtidas seria mais representativa.

Qual curva é mais representativa? A curva experimental ou a teórica? Justifique utilizando seus conhecimentos químicos. (Questão 04 – Atividade de tratamento dos dados LABIQ 1)

Na quarta questão, praticamente, metade dos estudantes (26 de 51 estudantes) relacionou a representatividade das curvas com os resultados obtidos através do experimento, de acordo com estes estudantes, apesar das limitações do método, os resultados obtidos experimentalmente representam de maneira mais eficiente o sistema estudado no laboratório. Para o restante da turma (25 de 51 estudantes), as limitações proporcionadas pelo método experimental distanciaram os resultados experimentais dos teóricos e, para estes estudantes, a curva teórica representa de maneira mais eficiente o sistema estudado.

"A curva experimental poderia ser considerada mais representativa pelo fato de ser obtida através de uma situação real, dependendo desta forma da sensibilidade e da maior precisão na execução do experimento. Porém, sem

os dados teóricos não seria possível verificar a compatibilidade entre as curvas" (Alunos 04 e 53 – resposta da questão 04)

"Apesar de apresentar possíveis erros experimentais, a curva obtida através de experimentos é mais representativa do que a teórica. Isso se deve especialmente ao fato de que no dia-a-dia o processo está sujeito a erros (técnicos e de interpretação), além de possíveis contaminações dos reagentes e da vidraria. Na teórica, nada disso é levado em conta. O que a torna menos condizente com a realidade do processo" (Alunos 01 e 02 – resposta da questão 04)

"A teórica, pois esta leva em consideração as mudanças sutis de pH que não são perceptíveis a olho nu através de indicadores nos experimentos realizados" (Alunos 13 e 48 – resposta da questão 04)

"A curva teórica, pois baseia-se em métodos mais precisos e exatos quando comparados aos obtidos experimentalmente. A curva teórica leva em consideração a variação gradativa do pH enquanto a curva experimental demonstrou um comportamento constante no início e no final da titulação" (Alunos 06 e 28 – resposta da questão 04)

Finalizando a atividade, a quinta questão buscou dar ênfase na discussão, especificamente, sobre os valores de pH coletados fora do intervalo de mudança de cor dos indicadores utilizados. Nesta questão os estudantes deveriam argumentar se estes pontos da curva, que foram obtidos fora da faixa de viragem de cada indicador, são representativos, ou seja, se representam adequadamente o sistema estudado.

Os pontos coletados antes e depois da faixa de viragem do indicador específico são representativos? Podem ser considerados na construção do gráfico? Explique. (Questão 05 – Atividade de tratamento dos dados LABIQ 1)

A maioria dos estudantes (47%) argumentou que os pontos da curva que foram obtidos fora da faixa de viragem de cada indicador não são representativos, ou seja, não representam adequadamente o sistema estudado. A maioria destes estudantes explicitaram a limitação, na mudança de cor em função da variação do pH, associada a cada indicador.

"O indicador específico não é sensível às variações de pH antes ou após o ponto de viragem, pois apresenta uma mesma coloração para todos os pontos anteriores ou posteriores. Esses pontos não precisam ser considerados na análise do gráfico, pois se mantém constantes em nossa análise, havendo variação significativa apenas no intervalo de viragem" (Alunos 38 e 40 – resposta da questão 05)

"Estes pontos precisam ser considerados para a composição dos gráficos, pois fazem parte do experimento e devido a isso alterariam o resultado. Apesar disso, estes pontos não são representativos para obtenção do resultado final esperado, pelo fato de serem praticamente o mesmo valor antes e depois da faixa de viragem" (Alunos 04 e 53 – resposta da questão 05)

Por outro lado, alguns estudantes, do grupo que consideraram os pontos da curva que foram obtidos fora da faixa de viragem de cada indicador como não representativos do sistema de estudo, utilizaram explicações com certas

incoerências. Por exemplo, os alunos 10 e 51 consideraram que os pontos coletados fora da faixa de viragem do indicador não eram representativos. Porém, a explicação oferecida apresentou uma sobreposição entre os conceitos de faixa de mudança de cor do indicador ácido-base e ponto de equivalência da titulação.

"Os pontos coletados antes e depois da faixa de viragem não são representativos, já que em uma titulação o interessante é saber o ponto de viragem, sendo esse o ponto usado para calcular as concentrações necessárias. Um fato interessante é que os pontos da curva experimental na faixa de viragem estão bem mais próximos da curva teórica" (Alunos 10 e 51 – resposta da questão 05)

Quatro estudantes (8%) indicaram que a representatividade dos pontos obtidos fora da faixa de viragem dependeria, para dois deles, do indicador utilizado ou, para os outros dois estudantes, das espécies químicas envolvidas na titulação.

"No caso de ácido e base fortes como HCl e NaOH, os pontos coletados antes e depois são cruciais para a determinação do ponto de viragem, uma vez que se neutralizam e mantêm a faixa de pH constante até que a mínima diferença de concentração entre hidróxidos e hidrônios impacte no valor de pH. No caso de ácidos polipróticos como o carbonato de sódio, os pontos não são tão representativos devido ao efeito tamponante da solução" (Alunos 13 e 48 – resposta da questão 05)

Após a realização da atividade de tratamento dos resultados experimentais, os estudantes elaboraram um relatório referente à prática LABIQ 1. Após as discussões levantadas nas duas aulas que compuseram a prática LABIQ 1, os estudantes foram capazes de relacionar resultados obtidos experimentalmente com resultados obtidos através de um simulador. Esta prática levantou muitas questões para discussão, como, por exemplo, a representatividade dos pontos obtidos na curva experimental, com e sem o tratamento dos dados.

Nesta prática os estudantes deveriam explicar os resultados obtidos levando em consideração diferentes parâmetros de análise. A partir dos relatórios redigidos pelos estudantes foi possível verificar que a discussão acerca dos resultados obtidos, na prática LABIQ 1, foi mais intensa que na discussão dos relatórios anteriores. Os estudantes foram capazes de identificar as limitações na metodologia proposta e, de forma geral, também foram capazes de desenvolver habilidades cognitivas mais elevadas, como avaliar e criar. A prática LABIQ 1 proporcionou diferentes momentos de reflexão acerca dos resultados obtidos e situações diferenciadas de aprendizagem em aulas prático-laboratoriais.

Como mencionado anteriormente, a prática LABIQ 1 contou com dois sistemas de estudo. O primeiro sistema de estudo foi o da titulação de uma solução

padronizada de ácido clorídrico (0,0940 mol.L⁻¹) com uma solução padronizada de hidróxido de sódio (0,1041 mol.L⁻¹), utilizando o indicador universal para a identificação das variações de pH. De forma geral, os estudantes não apresentaram dificuldades com a análise dos resultados obtidos nesta etapa da prática LABIQ 1. Os estudantes foram capazes de utilizar seus conhecimentos para avaliar o conjunto de dados obtidos e discutir seus dados frente à curva obtida através do simulador.

"No tratamento de dados desta curva, foram desconsiderados os dados que fugiam ao desvio padrão do conjunto de pontos analisado. Analisando a sobreposição das curvas, pode-se dizer que o ponto de viragem pode ser bem determinado, uma vez que as curvas coincidiram e atenderam ao volume de titulante esperado para o ponto de viragem (cerca de 25ml), já que a reação aconteceu na proporção de 1:1 e partiu-se de 25,0ml de solução de hidróxido de sódio. Vale destacar a discrepância entre os dados experimentais e teóricos obtidos no início e no final da titulação, onde o pH experimental pareceu ser constante, em desacordo com o valor teórico. Isto deve-se ao método experimental empregado para a determinação do valor de pH, que utilizou uma comparação colorimétrica visual entre o sistema analisado e uma escala pré-definida para o indicador, o que não permitiu observar mudança discreta de pH, já que a mudança de cor do indicador universal aqui utilizado não é perceptível nos intervalos inicial e final. Dessa forma, não se pode dizer que uma ou outra curva está errada, mas que a segunda possui um erro devido ao método utilizado, que limitou o estudo da variação de pH." (Alunos 06 e 28 - trecho do relatório da prática LABIQ 1)

"É possível notar que os dados gerados pela simulação e pelo experimento são condizentes, os pontos de viragem estão em posições relativamente próximas. Contudo existem pontos na dispersão que fogem a tendência geral, para que esses não comprometam os pontos gerados pela média devem ser eliminados pelo critério do desvio padrão da média [...] Por fim é possível notar que os pontos em dispersão tendem a uma reta em torno dos pHs 10,0 e 2,0; enquanto a reta simulada mantém uma forma sinuosa. O pH aparentemente constante nos extremos da dispersão é uma característica de uma das limitações experimentais enfrentadas em laboratório, as capacidades do indicador utilizado. O indicador universal não consegue fornecer parâmetro para que sejam feitas medidas nos extremos de pH; portanto esse pontos indicam uma adição de volume, mas não são uma medida confiável do pH. Portanto podem ser eliminados também." (Alunos 14 e 49 – trecho do relatório da prática LABIQ 1)

"Observa-se também maior discrepância nos pontos que estão contidos antes e depois da faixa de viragem do indicador específico. Isso deve-se ao fato de que os valores de pH mínimos e máximos dos indicadores utilizados tinham amplitude menor do que os experimentais, não permitindo a medição de pH maior que 10,5 ou menor que 2,8." (Alunos 24, 29 e 47 - trecho do relatório da prática LABIQ 1)

O segundo sistema de estudo proposto na prática LABIQ 1 gerou maior dificuldade para o tratamento do resultados experimentais, pois sugeriu a titulação de uma solução de carbonato de sódio de concentração desconhecida com uma solução padronizada de ácido clorídrico (0,0940 mol.L⁻¹). Neste caso, os estudantes deveriam, inicialmente, descobrir (calcular) a concentração da solução de carbonato de sódio, a partir dos resultados experimentais, e o valor obtido deveria ser utilizado

para a realização da simulação do CurTiPot.

Vale relembrar que nesta prática os estudantes utilizaram um dos indicadores específicos descritos no capítulo seis desta dissertação. Logo, os resultados obtidos por cada grupo foram limitados de acordo com o indicador utilizado. Os monitores da disciplina QFL4020 organizaram os resultados obtidos por todos os grupos em um arquilo .xls que foi disponibilizado aos estudantes na segunda aula da prática LABIQ 1 (aula de tratamento dos dados).

Por se tratar de uma solução de concentração desconhecida, tradicionalmente em uma aula de laboratório pretende-se calcular corretamente o valor da concentração da solução estudada. No entanto, a prática LABIQ 1 não buscou validar o valor obtido pelos estudantes, fornecendo, por exemplo, o valor real da concentração da solução utilizada na prática. A primeira prática da sequência proposta buscou provocar uma discussão mais intensa sobre o tratamento dos dados, na qual os estudantes deveriam analisar e avaliar os resultados obtidos, assim como a metodologia utilizada.

Como foi possível verificar nas respostas obtidas no questionário aplicado na aula de tratamento de dados, inicialmente os estudantes tiveram dificuldades para relacionar os diferentes parâmetros relacionados ao sistema de estudo. Na análise dos relatórios, no entanto, foi possível verificar que alguns estudantes foram capazes de compreender o sistema de estudo de maneira mais ampla, relacionando outros parâmetros, como valores de pKa encontrados na literatura pertinente.

"Para realizar a o estudo dos dados do carbonato de sódio foi gerada uma curva pelo CurTiPot usando uma concentração estimada para o titulado, baseada nos dados ainda não tratados. Tratando-se de um ácido fraco diprótico o ponto de equivalência da titulação é dado pelo salto na curva que corresponde a segunda protonação do ácido fraco; na curva simulada o referido salto se dá em torno de 30mL de titulante [...] Foi então gerado o gráfico 3 que apresenta os dados brutos obtidos pelas equipes durante o experimento em contraste com a curva teórica. Pelos mesmos motivos do conjunto de dados anterior este também precisa receber tratamento [...] Estudando as regiões do gráfico final onde a derivada da curva seria zero, é possível determinar que os valores de pKa obtidos para a base conjugada. Para o primeiro potencial foi encontrado pKa₁ de 10,6 e para o segundo foi encontrado pKa₂ com o valor de 6,9. Confrontando os dados obtidos com a literatura se tem que pKa₁ é de 10,32 e pKa₂ é de 6,6. Portanto, mesmo tendo que lidar com desvios experimentais e indicadores de pH com faixas limitadas, os resultados obtidos a partir do conjunto de dados coletados pelas equipes, uma vez tratado, se mostraram bastante próximos aos contidos no handbook." (Alunos 14 e 49 - trecho do relatório da prática LABIQ 1)

"Já a curva de titulação teórica do carbonato de sódio foi estimada, visto que a concentração inicial deste composto não era conhecida, desta forma analisou-se o gráfico dos dados experimentais brutos obtidos no

experimento, buscando encontrar uma linha de tendência, a qual pudesse demonstrar o volume utilizado para neutralizar a base carbonato [...] Sabendo que o ponto estequiométrico final de uma titulação deste tipo dáse no segundo ponto de inflexão da curva, pode-se dizer que o volume de titulante utilizado para neutralizar a base conjugada proveniente do sal utilizado foi de cerca de 29ml, desde que seja atribuído à curva experimental, seu segundo ponto de inflexão no intervalo entre 25ml e 32ml [...] No tratamento de dados, foram excluídos os pontos que não faziam parte do intervalo de viragem dos indicadores utilizados, uma vez que esses pontos são incertos, pois os indicadores apresentam coloração constante fora do seu intervalo de viragem. Também foram excluídos os pontos que fugiram ao desvio padrão do conjunto analisado [...] Analisando o gráfico pode-se estimar os valores de pKa da base conjugada titulada, valores, os quais, podem ser 10,5 e 6,6, respectivamente para pKa₁ e pKa₂. Para isso foi observada a região em que a derivada da curva seria zero, regiões correspondentes às quedas suaves da curva. A fim de confirmar a razoabilidade dos resultados, fez-se uma comparação dos valores experimentalmente com dados retirados de fontes bibliográficas." (Alunos 06 e 28 - trecho do relatório da prática LABIQ 1)

Na prática LABIQ 2, como mencionado anteriormente, foram distribuídas, entre os grupos, amostras de água do mar sintética, refrigerante diet, isotônico, entre outros, e foi solicitado que os estudantes propusessem um procedimento para estudar as características ácidas e básicas destas amostras. Não foi mencionado aos estudantes que se tratavam de soluções tampão e não foi oferecida nenhuma orientação acerca das amostras e sobre o procedimento experimental. Os docentes e monitores da disciplina, incluindo os pesquisadores envolvidos neste estudo, mediaram as discussões dos grupos e orientaram que os estudantes utilizassem os conhecimentos e procedimentos desenvolvidos na disciplina como um todo.

Foi possível verificar durante a primeira aula da prática LABIQ 2 que os estudantes foram capazes de transferir os conhecimentos e procedimentos desenvolvidos na prática LABIQ 1. De modo geral, os estudantes propuseram, em seus procedimentos, titulações das amostras com soluções, de concentração conhecida, de ácido clorídrico e hidróxido de sódio. Os estudantes sugeriram a utilização dos indicadores específicos, fornecidos na prática LABIQ 1, para identificar variações de pH inferiores às obtidas através do indicador universal. Além disso, os estudantes utilizaram o simulador CurTiPot como ferramenta de análise dos resultados experimentais.

Os alunos 14 e 49, por exemplo, analisaram uma amostra de refrigerante light de limão e foram capazes de identificar o objetivo do experimento, propor um procedimento de estudo e discutir seus resultados experimentais.

"Cada vez mais se faz o consumo de refrigerante light no Brasil e no mundo. No caso de um refrigerande light sabor limão, o principal acidulante é o ácido cítrico. O ácido cítrico é um ácido fraco, triprótico em que ocorre a seguinte eação em contato com hidróxido de sódio: $H_3C_6H_5O_{7(aq)}+3$ NaOH $_{(aq)}\to3$ H $_2O_{(l)}+$ Na $_3C_6H_5O_{7(aq)}$. O experimento tinha como objetivo determinar a concentração de ácido cítrico em um refrigerante light comercial e observar algumas das propriedades do equilíbrio químico envolvido em um sistema complexo de reagentes [...] A observação dos dados brutos deixa clara a necessidade de aplicar o tratamento de erros aos dados obtidos, principalmente a fim de eliminar pontos indevidos gerados fora do intervalo de viragem do indicador. Também nota-se que a concentração da amostra titulada é ligeiramente menor do que a gerada pela simulação." (Alunos 14 e 49 – trecho do relatório da prática LABIQ 2)

8.2.3 Resultados coletados após a aplicação da sequência didática: avaliação final

Como mencionado anteriormente, o questionário de avaliação final tinha quatro questões e foi entregue aos estudantes após a realização das atividades do LABIQ 1 e 2. As questões apresentadas neste questionário versaram sobre equilíbrio químico. Na primeira questão do questionário foi dada uma representação de um sistema fora do equilíbrio e foi questionado se o sistema estava em equilíbrio químico. Caso a resposta fosse negativa, pedia-se que o estudante representasse, utilizando os símbolos pré-definidos na questão, o sistema no estado de equilíbrio químico.

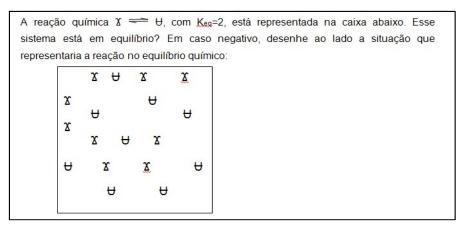


Figura 28 – Questão 01 da avaliação final

Na classificação dessa questão, inicialmente foram utilizadas duas categorias: se o estudante respondeu que estava ou não estava em equilíbrio. Para a categoria de respostas "está em equilíbrio", não houve representação posterior. Para as respostas "não está em equilíbrio", deveria conter na resposta uma representação do sistema em equilíbrio. Para as respostas "não está em equilíbrio" foi necessário classificar as representações, as quais foram avaliadas seguindo os seguintes

critérios: se a representação indicava a proporção correta ou incorreta das espécies em equilíbrio e se a representação indicava a quantidade correta ou incorreta das espécies em equilíbrio.

A maioria dos estudantes (92%) foi capaz de identificar que o sistema estava fora de equilíbrio químico, porém apenas seis (12%) estudantes foram capazes de representar corretamente a proporção e a quantidade de espécies do sistema apresentado e outros oito estudantes (16%) foram capazes de representar o sistema com a proporção correta de espécies, porém apresentaram as quantidades das espécies inadequadamente, a maioria (55%) indicou uma representação incorreta e outros quatro estudantes (8%) não apresentaram representação do sistema em equilíbrio.

	Respostas	Número de ocorrências			
"Em equilíbrio"		4 ¹ (8,2%) ²			
	Sem representação	4 (8,2%)			
	Representação incorreta	27 (55,1%)			
"Fora do	Representação com proporção correta e	0 (16 20/.)	45 (01 8%)		
equilíbrio"	quantidade de espécies incorreta	8 (16,3%)	45 (91,8%)		
	Representação com proporção e	6 (12 2%)			
	quantidade das espécies corretas	6 (12,2%)			
Total		49 (100	l%)		

Tabela 5 – Perfil das respostas da questão 01 da avaliação final

Fonte: própria autora.

A segunda questão foi do tipo "verdadeiro ou falso" e foram apresentadas quatro afirmações, as quais os estudantes deveriam julgar se eram verdadeiras ou falsas. Nesta questão foi contabilizado o número de acertos de cada estudante, seguem as afirmações elencadas nesta questão:

- Uma vez atingido o equilíbrio químico, não há mais nenhuma reação química ocorrendo;
- Na reação da questão anterior, no equilíbrio químico,
 ^ˆ
 continua se transformando em θ, e vice-versa;
- Na reação química $\Box + \Theta = \Box$, no equilíbrio químico, \Box se transforma em \Box e Θ ;
- O equilíbrio químico é alcançado quando deixa de haver reação química.

¹ número de estudantes que indicaram a resposta correspondente

² valor em porcentagem (n = 49)

Nesta questão, os estudantes obtiveram um ótimo desempenho sendo que 45 (92%) identificaram corretamente todas as afirmações, três estudantes identificaram corretamente três (6%) das quatro afirmações e apenas um (2%) estudante deixou esta questão em branco.

A terceira questão versou sobre a constante de equilíbrio, e uma reação hipotética foi dada. No entanto, o simbolismo utilizado contou com números no lugar de letras. Para exemplificar, segue o enunciado da questão: "Dada a reação química 2 + 1 4 + 5, qual o valor da constante de equilíbrio?"

A análise das respostas dessa questão delineou três categorias possíveis, a primeira seria a resposta correta, na qual o estudante entende os números como símbolos e os deixam indicados no cálculo. A segunda categoria compreende os estudantes que resolvem as operações de multiplicação e divisão, utilizando os números como valores de concentração. A terceira categoria compreende os estudantes que resolveram a operação, mas realizaram incorretamente o cálculo da constante de equilíbrio, pois utilizaram a operação de soma no quociente e no dividendo do cálculo da constante de equilíbrio. Seguem os exemplos das categorias estabelecidas para as respostas desta questão:

Resolução correta	Resolução incorreta por multiplicação	Resolução incorreta por soma
K _{eq} = <u>[4] . [5]</u> [2]. [1]	K _{eq} = <u>4 . 5</u> = 10 2. 1	$K_{eq} = \underline{(4+5)} = 3$ $(2+1)$

Quadro 15 – Categorias de respostas para a questão 03 da avaliação final

Nesta questão, dezesseis (33%) estudantes apresentaram a resolução correta, porém 33 estudantes (67%) responderam incorretamente esta questão. Dos estudantes que responderam incorretamente esta questão, a maioria (59%) utilizaram os números (empregados como símbolos nesta questão) como valores de concentração e calcularam a constante de equilíbrio a partir da operação correta:

A quarta questão do questionário propôs um problema e as respostas dos estudantes foram classificadas como correta ou incorreta. Para as respostas corretas foi considerado, ainda, se a resposta oferecia uma justificativa adequada ou não. Para exemplificar, a seguir é apresentado o enunciado da questão:

Uma solução aquosa contém 0,1 mol de um ácido carboxílico, cujo pKa é 4,5. Foi mergulhado nesta solução um frasco contendo água. As paredes do frasco são feitas de um material que internaliza irreversivelmente moléculas sem carga. Depois de muito tempo, quantos mols do ácido se encontrarão dentro do frasco? (Questão 04 - avaliação final)

Era esperado que o estudante identificasse que se tratava de uma situação de equilíbrio ácido-base, no qual a formação da espécie não ionizada é favorecida uma vez que há a internalização de moléculas sem carga pela parede do frasco inserido no sistema. Nesta questão, a maioria dos estudantes (51%) apresentou respostas incorretas e cinco estudantes (10%) deixaram esta questão sem resposta. Dos estudantes que acertaram esta questão (19 estudantes - 38%), apenas sete deles (14%) foram capazes de justificar corretamente suas respostas, enquanto os demais (24%) não justificaram suas respostas ou deixaram a resposta sem justificativa.

9 Considerações finais

De acordo com o que foi apresentado nesta dissertação, este trabalho se propôs desenvolver uma sequência didática para aulas experimentais no ensino superior em Química capaz de propiciar aos estudantes o desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem e outras habilidades e competências esperadas na formação destes profissionais. Neste trabalho buscou-se valorizar habilidades e competências relacionadas, principalmente, à etapa de tratamento e análise dos resultados experimentais. Os conceitos relacionados ao tema de estudo, equilíbrio químico ácido-base, foram avaliados neste trabalho buscando responder às expectativas relacionadas à evolução dos processos cognitivos que subsidiam as atividades prático-laboratoriais.

Foi possível verificar, durante a aplicação da sequência proposta, que, de forma geral, os estudantes estão adaptados ao tipo de prática laboratorial à qual estão expostos, que de acordo com Sato (2011) é caracterizada pela utilização de procedimentos rígidos e, consequentemente, roteiros com reproduzidos mecanicamente pelos estudantes com o objetivo principal, ou o único, de obter o resultado esperado. As características descritas por Sato (2011), referentes às aulas prático-laboratoriais tradicionalmente desenvolvidas no ensino superior em Química, podem ser classificadas de acordo com os níveis de abertura de Priestley como de níveis um a três. A estes níveis cabe o desenvolvimento de habilidades cognitivas de baixa ordem, como conhecimento e compreensão, não propiciando aos estudantes situações que promovam desenvolvimento e aplicação de habilidades cognitivas de graus mais elevados, como a aplicação, a análise e a avaliação, por exemplo. (ver quadro 7, pág. 49)

Foi possível verificar a partir dos resultados obtidos no estudo prévio e na investigação prévia que os estudantes que participaram das duas etapas do estudo (estudo prévio e aplicação da proposta) possuem uma compreensão algorítmica sobre o equilíbrio químico ácido-base, e, como foi possível observar através das curvas de titulação esboçadas, na maioria dos casos eles apresentam dificuldades com esta interpretação. A partir dos resultados obtidos, durante a aplicação da

sequência didática na disciplina QFL 4020, foi possível verificar que os estudantes intensificaram suas discussões relacionadas com a curva de titulação e, para estes estudantes, a interpretação sobre a curva de titulação foi acrescida de outros conhecimentos, possibilitando o desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem. A abertura, de acordo com a classificação de Priestley, das atividades propostas possibilitou um ambiente de discussão e tomadas de decisão que contribuiu para os objetivos deste estudo.

A abordagem utilizada na sequência proposta permitiu a discussão e reflexão sobre diversos aspectos da atividade experimental, mas particularmente na forma como os estudantes fundamentam suas respostas relacionadas à seleção dos resultados experimentais, além da relação entre os dados empíricos e a curva de titulação obtida através de um software de simulação.

APÊNDICE

Roteiro experimental LABIQ 1

Objetivos

Experimentação: aperfeiçoar as técnicas experimentais relacionadas as vidrarias volumétricas e à quantificação de soluções; Ilustrar o processo de utilizar experimentos exploratórios para determinar condições ótimas de aquisição de dados; Registrar dados experimentais; Compor conjuntos de dados provenientes de grupos de trabalho diferentes, de modo a obter um conjunto unificado de dados; Tratar dados de forma quantitativa, utilizando-se a construção de gráficos; Interpretar dados experimentais com o auxílio de ferramentas computacionais de simulação; Reportar e analisar resultados, escrevendo em linguagem acadêmica e propondo explicações embasadas em conceitos químicos; Explorar as limitações e as potencialidades de resultados experimentais; Identificar pontos a melhorar num experimento e propor modificações na metodologia experimental face aos resultados obtidos.

Conceitos Químicos: Estudar os aspectos quantitativos do equilíbrio químico, sobretudo a reversibilidade de reações e a interpretação dos conceitos de estequiometria e fim de reações químicas.

Cronograma do experimento

Este experimento é divido em duas atividades, conforme o quadro abaixo:

	Etapa 1: Aquisição de dados	Etapa 2: Análise de dados		
Data	19/09/13	03/10/13		
Local	Lab. B1 T	Sala Multimeios B1 S		
Descrição	Titulação de bases fortes e fracas com HCl tendo escalas de pH com diferentes indicadores.	Tratamento de dados da turma toda utilizando ferramentas computacionais de simulação e análise de curvas.		
Entregas na data do Lab.	Dados de cada dupla em papel. Guardar uma via.	Pré-relatório em papel. Guardar uma via.		
Entrega pós Lab.	Dados da dupla em planilha eletrônica (xls). Enviar para gamarson@iq.usp.br até 23/09/13.	Relatório completo. Entregar até 10/10/13.		

Etapa 1 – Aquisição de dados

Tarefa pré-laboratório

Leia atentamente as instruções abaixo. Recobre conceitos relacionados ao equilíbrio ácido-base, em especial em sistemas aquosos descritos quantitativamente em termos da escala de pH e explicados pela teoria de Brönsted-Lowry. Recobre conceitos sobre o princípio da utilização de indicadores visuais para determinação do pH e para a determinação volumétrica da concentração de soluções.

Procedimento experimental

1.Curva de titulação de uma base forte com ácido forte

<u>A – Identificação aproximada do intervalo de viragem</u>

Com o auxílio de uma pipeta, transfira 25,0 mL da solução ~0,1 mol L-1 de NaOH para um erlenmeyer (anote a concentração exata da base padronizada). Adicione à solução de NaOH cerca de 10 gotas de indicador universal, e titule com a solução ~0,1 mol L-1 de HCl (anote a concentração exata do ácido padronizado). A titulação deve ser feita com incrementos de 1,0 mL. A cada incremento o valor do pH deve ser determinado por comparação visual com a escala de cores do indicador fornecida. Organize os dados numa tabela de volume de titulante adicionado e pH obtido por comparação visual. Identifique qual intervalo de volume adicionado ocorre a neutralização.

<u>B – Identificação gota a gota do intervalo de viragem</u>

Repita a titulação executada em A. Ao aproximar-se do volume em que ocorre a neutralização (c.a. de 1,0 mL a menos), realize adições de uma gota de titulante por vez até cerca de 1,0 mL além do ponto de viragem. O valor de pH após a adição de cada gota deve ser determinado, e anotado numa tabela de volume de titulante e pH determinado por comparação.

2. Determinação da concentração de uma solução de carbonato de sódio com ácido forte e análise de sua curva de titulação

Esta etapa do experimento é semelhante à primeira parte, porém, cada dupla de estudantes realizará o experimento com apenas um dos indicadores seguintes:

Indicador	Faixas de Viragem			
Azul de Timol	1,2-2,8 e 8,0-9,6			
Azul de Bromofenol	3,0-4,6			
Vermelho de Metila	4,8-6,0			
Azul de Bromotimol	6,0-7,6			
Fenolftaleína	8,2-10,0			

Os resultados obtidos por todos os grupos deverão ser reunidos e utilizados para a análise dos resultados. Portanto, o resultado de cada dupla é fundamental para o sucesso do experimento.

<u>C – Identificação aproximada do intervalo de viragem</u>

Transfira 20,0 mL da solução de Na2CO3 de concentração desconhecida para um erlenmeyer. Em seguida, adicione cerca de 10 gotas do indicador disponível para o grupo. Cada dupla será designada a usar apenas um indicador. Titule a solução de carbonato de sódio com a solução ~0,1 mol L-1 de HCl (anote a concentração exata do ácido padronizado). A titulação deve ser feita com incrementos de 1,0 mL, e o(s) intervalo(s) de volume onde ocorre variação de coloração do indicador deve(m) ser determinado(s). Anote numa tabela os valores de volume adicionado e o pH determinado por comparação visual. Determine qual(is) o(s) intervalo(s) de volume de titulante correspondentes ao intervalo de viragem do indicador usado pelo grupo.

D – Identificação gota a gota do intervalo de viragem.

Repita a titulação executada em C. Adicione cerca de 10 gotas do mesmo indicador utilizado na titulação anterior, e titule novamente com a solução ~0,1 mol L-1 de HCl. Nesta segunda titulação, os incrementos devem ser feitos gota a gota, no intervalo de volume correspondente a 1,0 mL antes e 1,0 mL depois do volume onde foi observada variação de coloração. Por comparação visual com a escala de pH fornecida para o indicador utilizado, determine o volume de ácido gasto ao se atingir cada valor de pH presente na escala. Tente determinar o maior número de pontos possível. Os valores obtidos deverão ser preenchidos em uma tabela fornecida. Todos os grupos deverão compartilhar seus dados, que serão utilizados na atividade de tratamento de dados a ser realizada na etapa de análise dos resultados.

Referências bibliográficas

- 1. T. L. Brown, H. E. LeMay Jr., B. E. Bursten, J. L. Burdge, "Química a Ciência Central", 9o edição, Pearson-Prentice Hall, 2005.
- 2. J. C. Kotz, P. M. Treichel "Química Geral e Reações Químicas", Tradução da 6a edição Americana, Cengage Learning, 2009.
- 3. CRC handbook of chemistry and physics : a ready-reference book of chemical and physical data. 89th ed. editor-in-chief, David R. Lide, Boca Raton, London : CRC, 2008.

Experimento 3 – Curvas de titulação – Dados experir						entais Data: / /			
Nome:				N USP:					
Nome:									
		te:				Solução T	itulada:	20	
				_					
vol, mL	pН	vol, mL	рН	vol, mL	рН	vol, mL	рН	vol, mL	pH

2.5	15		150					1 2	
200		- 1						120 20	
	100	S 12							
	26		- 32		è				
	15		150					1	
	19								
	100			-		-			
	33		. 33						

Modelo de ficha disponibilizada para o registro dos resultados experimentais

Roteiro de utilização do simulador e questionário de orientação para o tratamento dos dados da prática LABIQ 1

Etapa 2 – Tratamento dos dados

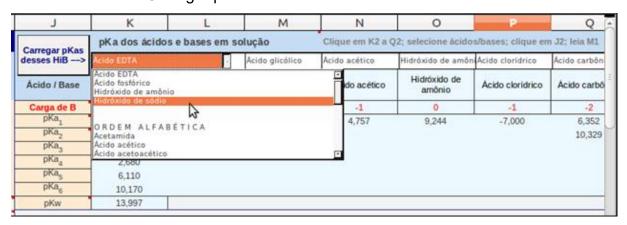
O tratamento de dados proposto nessa atividade deverá ser realizado para os conjuntos de dados das duas titulações realizadas na aula passada. Lembre-se de realizar a Parte I e a Parte II com os dados obtidos nas duas titulações. Os dados encontram-se na planilha QFL4020 Labiq1 Nome Nome.xls.

Parte I – Simulação da Curva - curva teórica (CurTiPot)

Você fará uma simulação da curva de titulação utilizando a ferramenta CurTiPot, que é uma planilha no Excel distribuída gratuitamente para uso pessoal, educacional e não comercial. Não é necessário instalar ou desinstalar o CurTiPot. Simplesmente inicie o programa Excel, abra o arquivo curtipot.xls ou curtipot.xlsm, tal como qualquer planilha e habilite as macros pré-programadas. O arquivo curtipot.xls ou curtipot.xlsm pode ser baixado pelo site do Instituto de Química através do endereço eletrônico: http://www2.iq.usp.br/docente/qutz/Curtipot.html

Método para a entrada de dados no CurTiPot

1. Para selecionar outros ácidos ou bases, selecione o ícone em K2, L2, M2, N2, O2, P2 ou Q2 e escolha o ácido ou base necessário para gerar a curva desejada. E selecione o ícone "Carregar pKas desse HiB -->".



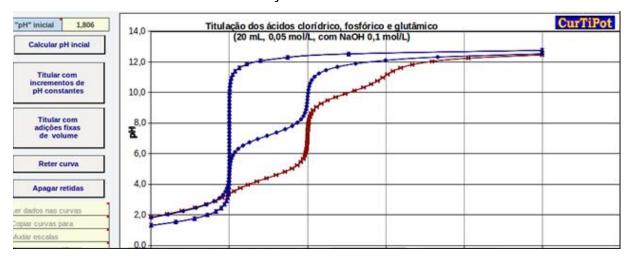
Campo para a seleção de ácidos e bases no simulador da planilha CurTiPot

- 2. Insira na planilha os dados correspondentes ao seu experimento:
- 2.1 Concentração da amostra titulada (mol.L⁻¹)
- 2.2 Concentração do titulante utilizado (mol.L⁻¹)
- 2.3 Volume da solução titulada (mL)
- 2.4 Número de adições realizadas (sugestão: mantenha 50 adições)

CurTiPo	t Tit	ulador V	irtual – Si	mulador o	de curvas		< leia instr	uções
Composição	ão da amostra	hipotética	(titulado) e d	lo titulante (concentraçõe	es em mol/L)		e e
Titulado Espécie	Ácido EDTA	Ácido fosfórico	Ácido I- glutâmico	Ácido acético	Hidróxido de amônio	Ácido clorídrico	Ácido carbônico	
[B]								
[HB]								
[H ₂ B]	i i							
[H,B]	i	0,05						
[H ₄ B]								
[H ₄ B]								
[H, B]								ΣΣ
Σ[H,B]	0	0,05	0	0	0	0	0	5,000E-02
Σ[H]	0	0,15	0	0	0	0	0	1,500E-01
Titulante	Ácido forte	Base forte	Ác. carbônico	Volumes de titulado / titulante (mL)				
[B]	1	0,1			Titulado	Agua	Soma	
[HB]	1				Adicionado	adicionada	(Vol inicial)	
[H _z B]	1			ΣΣ	20	0	20,00	Simulaçã
Σ[H,B]	0	0,1	0	1,00E-01	Vol. bureta	Nº de adições		S pH=
Σ[H]	0	0	0	0,00E+00	50,00	50		S Vol=

Campo para inserção dos dados no simulador da planilha CurTiPot

3. Selecione o ícone "Titular com adições fixas de volume"



Campo destinado à curva de titulação simulada pela planilha CurTiPot

4. Copiar os dados gerados pelo simulador e transportá-los para a Planilha QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.xls

39	V adic.	"рН"	V adic. "pH" [H]	•
40	(mL)	simulado	com "erro" simulado (não use) com "erro"	
41	0,000	1,806	1,563E-02	1
42	2,157	2,020	9,540E-03	
43	4,096	2,235	5,822E-03	
44	5,754	2,449	3,553E-03	1
45	7,077	2,664	2,168E-03	
46	8,061	2,878	1,323E-03	1 1
47	8,749	3,093	8,073E-04	. 1
48	9,210	3,307	4,927E-04	1
49	9,508	3,522	3,006E-04	1
50	9,697	3,736	1,835E-04	
51	9,817	3,951	1,120E-04	
52 53	9,894	4,165	6,832E-05	1
53	9,944	4,380	4,169E-05	1
54	9,982	4,594	2,544E-05	1
55	10,014	4,809	1,552E-05	
56	10,050	5,023	9,474E-06	9
57	10,098	5,238	5,781E-06	9
58	10,170	5,452	3,528E-06	9
59	10,282	5,667	2,153E-06	9
60	10,457	5,881	1,314E-06	9
61	10,730	6,096	8,017E-07	9
62	11,144	6,310	4,892E-07	9
63	11,748	6,525	2,985E-07	
64	12,577	6,739	1,822E-07	
65	13,626	6,954	1,112E-07	
66	14,824	7,168	6,784E-08	
67	16,044	7,383	4,140E-08	
68	17,146	7,598	2,526E-08	
69	18,041	7,812	1,542E-08	7
70	18,706	8,027	9,408E-09	
71	19,169	8,241	5,741E-09	7
72	19,478	8,456	3,503E-09	7
73	19,677	8,670	2,138E-09	7
74	19,804	8,885	1,305E-09	7
75	19,886	9,099	7,961E-10	
4 (4)	CurTiPot	Simulador	Distribuição Analise I Analise II Arahicos	Con

Campo destinado aos dados obtidos pelo simulador da planilha CurTiPot

Parte II – Comparação entre as curvas experimental e simulada

Neste momento você utilizará a planilha QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.xls para fazer um comparativo entre as curvas experimental e a simulada no CurTiPot.xls.

Antes de iniciar salve a planilha utilizando a entrada QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.xls mas substituindo o final pelo nome dos integrantes da dupla. Lembre-se que esta planilha faz parte da atividade e deve ser devidamente identificada.

Método de entrada de dados para a elaboração do gráfico comparativo

- 1. Selecione as colunas que contém os dados experimentais.
- 2. Selecione o ícone para gerar um gráfico de dispersão.
- Clique com o botão direito do mouse sobre o gráfico e selecione a opção "selecionar dados".
- 4. Uma caixa de diálogo será aberta e você deverá selecionar a opção "adicionar série".
- 5. Você deverá adicionar os valores nas coordenadas x e y. Lembre-se que a coordenada x refere-se aos valores de volume de titulante adicionado e a coordenada y aos respectivos valores de pH. Para adicioná-los basta clicar no ícone à direita da linha de cada coordenada e selecionar os valores com o mouse.
- 6. Clique em "OK"
- 7. Observe se no gráfico constam duas curvas em cores distintas. Se estiver tudo certo, prossiga. Em caso negativo, repita a operação desde a instrução
- 1. Caso ainda esteja com problema, peça auxílio à um dos monitores.
- 8. Selecione os pontos da segunda curva gerada e clique em "alterar tipo de gráfico". Selecione o gráfico de dispersão com linha.

Parte III - Seleção e análise dos dados

- 1. Visto que os dados da turma foram compilados e encontram-se em uma única planilha, nota-se que para um mesmo valor de pH têm-se mais de um valor de volume adicionado de titulante. Como você selecionará estes dados?
- 2. Será realizado algum tipo de média com os valores obtidos? Qual tipo?
- 3. Algum ponto será excluído? Qual e por quê? O(s) ponto(s) excluído(s) será(ão) o(s) que está(ão) fora do desvio padrão do conjunto pontos experimentais, ou fora do conjunto de pontos teóricos?
- 4. Porque a curva experimental apresenta discrepância com relação à curva teórica? Quais são tais discrepâncias? E como você explicaria essas diferenças observadas?
- 5. Qual curva é mais representativa? A curva experimental ou a teórica? Justifique utilizando seus conhecimentos químicos.
- 6. Os pontos coletados antes e depois da faixa de viragem do indicador específico são representativos? Podem ser considerados na construção do

gráfico? Explique.

Responda as questões da parte III no próprio arquivo, não se esqueça de identificá-lo mantendo a entrada QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.doc, mas substituindo o final com o nome da dupla. No final da atividade envie os arquivos QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.xls e QFL4020_Labiq1_Nome_Nome.doc para o e-mail: gustavo.ncruz88@gmail.com.

Orientações para a elaboração do relatório da prática LABIQ 1

Estrutura do relatório

O cerne deste relatório é o tratamento e análise de dados experimentais. O relatório deve contemplar os seguintes itens: Titulo, Autores, Objetivos do experimento, Materiais e métodos empregados. Além dos métodos experimentais, devem ser incluídos e descritos os recursos computacionais de simulação utilizados no tratamento e análise dos dados.

Resultados e discussão

Os resultados devem ser apresentados de modo que se possa compreender quais dados foram obtidos, e como os dados brutos foram tratados. Ou seja, caso tenha havido seleção de pontos dentre o total de pontos obtidos, os critérios devem ser indicados e o conjunto de dados obtidos a partir dos dados brutos deve ser apresentado. Lance mão das diversas formas de apresentar resultados (gráficos, tabelas, etc) de modo a contemplar os objetivos propostos na atividade. A compilação de dados não precisa ficar restrita aos dados originais e aqueles resultantes do seu tratamento. Podem ser incluídos conjuntos de dados calculados a partir dos dados originais. Por exemplo, ao comparar os dados experimentais com os dados simulados, além de mostrar gráficos sobrepostos, os valores de pKa estimados a partir dos gráficos podem ser apresentados numa tabela que também inclua os dados da literatura para fins de referência. Esta tabela é um exemplo de organização de novos dados obtidos a partir dos dados originais, e cumpre a função de facilitar a comparação de resultados e, consequentemente, melhorar a qualidade da discussão. Ao final da apresentação dos resultados, é importante que tenhamos

uma descrição dos dados, apontando para tendências e fatores relevantes que possam ser extraídos diretamente do exame dos dados.

Na discussão, esta descrição e estas tendências devem ser qualificadas, isto é, devem ser discutidas em termos do seu valor como informação experimental, e das suas implicações para propor correlações, explicações e eventuais hipóteses que contribuam para com os objetivos do experimento. Na trama de argumentos na discussão, os resultados e suas tendências são como os fios de uma rede, os quais precisam ser amarrados com argumentos. Tais argumentos provêm essencialmente de duas fontes: conceitos químicos relacionados aos dados e a proposição do experimento, e resultados presentes na literatura. Note que, ao embasar proposições, correlações e explicações em conceitos e dados da literatura, estabelece-se uma conexão entre o experimento realizado e o conhecimento existente. Uma conexão entre o trabalho pontual de um grupo de indivíduos e o produto compilado do trabalho da comunidade científica a qual aquele grupo está vinculado. Este é o cerne dos meios pelos quais é possível ao conhecimento científico modificar-se e renovar-se a luz de novas informações sobre novos e velhos questionamentos. Neste experimento, se faz um simulacro deste processo.

Linguagem e fontes de informação

Para que o exposto acima se efetue, especial atenção deve ser dada à linguagem. No caso, o cuidado do grupo com a linguagem será fundamental para o sucesso no relatório. Grosso modo, podemos considerar que a linguagem impacta aqui pelo menos quatro pontos:

- 1. A estrutura do relatório.
- 2. A apresentação das informações em todas as partes do relatório (metodologia, resultados, etc.)
- 3. A construção de argumentos e articulação entre as informações apresentadas, os conceitos químicos e as informações extraídas da literatura.
- 4. A correta citação de informações externas utilizadas no texto

Aprender a comunicar-se por meio da linguagem científica é um objetivo importante na formação de ensino superior em carreiras científicas e tecnológicas. É já conhecido que o processo deve se iniciar já nas disciplinas introdutórias. Por esta razão este roteiro trata destas questões e por esta mesma razão é mandatório que vocês o tomem como parâmetro trabalhos científicos publicados como referencia de

linguagem científica e modelo para este relatório. Tais exemplos são facilmente acessíveis, por exemplo, a partir do periódico Química Nova. Escrito em língua portuguesa, a Química Nova é uma publicação da Sociedade Brasileira de Química e pode ser acessada gratuitamente a partir do seguinte endereço: http://quimicanova.sbq.org.br/.

Navegar manualmente no site como quem percorre a prateleira de uma biblioteca pode tomar tempo que o grupo não tem. Alternativamente, pode ser usado o motor de busca do Google para buscar artigos com uma palavra chave e só no formato pdf. Basta colocar a seguinte expressão de busca na caixa de busca do Google: titulação site:quimicanova.sbq.org.br type: pdf.

No caso, o Google fará uma busca pela palavra "titulação" no site "quimicanova.sbq.org.br" e retornará apenas links para arquivos tipo "pdf". Escolhas acertadas de palavras de busca podem facilitar muito o trabalho do grupo e resultar no tratamento de dados e discussão mais substanciosos. Além de potencializar as oportunidades de aprendizagem neste experimento. Ensinar e aprender são as ações principais do processo educativo. Esta atividade não poderá atingir os objetivos de quem ensina sem a contrapartida de quem aprende.

Considerações pontuais sobre o formato e a apresentação de um texto científico

Tabelas e gráficos e figuras precisam ser numerados sequencialmente para fácil referência a eles no texto. Inclua nestes elementos também título e legenda, mesmo que pareçam "auto-expelicativos". Esses elementos devem ser uma unidade que possa veicular informação independente do texto, isto é, mesmo quando tirados de contexto, devem conter informações suficientes para o exame mínimo de suas informações.

Evite textos com muita redundância e parágrafos longos. Diferentemente de um texto didático ou de um texto de divulgação científica para o público leigo, um artigo científico é destinado a especialistas, portanto, não é necessário despender grandes esforços explicando aspectos básicos dos conceitos envolvidos. Devemos lembrar que o modelo de texto para o relatório é o artigo científico e não o livro didático de ensino superior. A qualidade do argumento se constrói na forma como os dados são explorados e na clareza como são discutidos. Estes quesitos são distintos no artigo em relação ao texto didático.

Esforce-se em ser sintético e ater-se ao mínimo necessário para passar o seu recado. Isto é um dos objetivos mais difíceis de atingir, pois é andar no fio da navalha entre o texto omisso e superficial e o texto prolixo e repleto de informações desnecessárias ("encher linguiça"). Não há uma forma de desenvolver esta habilidade senão produzindo textos e aperfeiçoando o estilo diante de críticas.

Valorize seus argumentos com citações apropriadas. A citação cumpre papel central no arcabouço de ideias dos textos acadêmicos. No caso de textos científicos, são as citações que nos permitem delinear o ponto de partida de um trabalho, creditar um método experimental adotado, embasar premissas e conclusões acerca dos resultados obtidos.

A rigor, a credibilidade de afirmações presentes na discussão de dados experimentais precisa estar pautada em informações extraídas dos próprios dados ou informações reportadas na literatura científica. Dizer, por exemplo que "bolhas observadas ao final da titulação indicam a formação de CO²" tem o devido valor se forem acompanhadas de informações químicas sobre o ácido carbônico as quais sejam consistes com outras informações experimentais do próprio trabalho ou de outro trabalho presente na literatura. Naturalmente, incluem-se aqui publicações que reúnem dados experimentais, como os Handbooks, cujos autores compilam na literatura informações sobre as propriedades químicas e físicas dos compostos. A credibilidade dos dados de um Handbook ilustra bem o princípio da importância das citações. Todos os dados contem notas indicando sua procedência, permitindo a quem os consulte rastrear os dados até sua origem experimental.

Do ponto de vista da forma, as referencias podem ser citadas em qualquer local do texto e remetidas à seção pertinente ao final do texto. Há também citações de trechos inteiros, os quais devem ser colocados entre aspas, com a indicação do autor e da página na publicação referenciada. No exemplo recomendado, a revista Química Nova, é possível encontrar na seção "informações para autores", na página da revista, quais são os formatos para referencias aceitos, os quais podem ser vistos nos artigos da revista.

Questões a discutir no relatório

Este experimento abre margem para discutir pelo menos os seguintes pontos: Qual a melhor forma de examinar os dados? Gráficos ou tabelas? É possível e pertinente usar todo o conjunto de pontos? Por quê? Haveria algum princípio que poderíamos adotar para identificar dados inapropriados? O método baseia-se em estimar o pH por comparação visual da cor de indicadores ácido-base. O que se pode dizer sobre a precisão deste método quando usado para titulação de soluções de concentração desconhecida? E o que se pode dizer sobre utilizá-lo para a construção de curvas de titulação? Que informações podem ser extraídas de uma curva de titulação? Há diferenças no comportamento do sistema NaOH x HCl e no sistema Na₂CO₃ x HCl?

Na proposta de tratamento utiliza-se um software que simula curvas de titulação. A simulação baseia-se em funções matemáticas e parâmetros. No caso de simulações de curvas de titulação, em que funções matemáticas e quais parâmetros são utilizados? Estas funções seriam elaboradas a partir da teoria ou teriam sido deduzidas a partir de dados experimentais?

Há diferenças entre as curvas simuladas e as experimentais? Em que medida poderia ser explicada estas diferenças? A presença ou não destas diferenças invalida ou desqualifica os dados experimentais? Invalida ou desqualifica a simulação? Quais seriam as origens de eventuais discrepâncias entre dados experimentais e dados simulados no caso específico deste experimento?

Ao endereçar tais pontos, deve se ter em mente que estes não são os únicos pontos possíveis nem os únicos pertinentes. Adicionalmente, para que a discussão assuma forma mais madura, os pontos acima não podem ser tomados como uma lista de exercícios a ser respondida pontualmente e de forma estanque. Tampouco indicam uma ordem necessariamente a ser seguida.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P. W. **Princípios de química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BERTOTTI, M. Dificuldades conceituais no aprendizado de equilíbrios químicos envolvendo reações ácido-base. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1836 1839, 2011.
- BLOOM, B.S.; ENGELHART, M.D.; FURST, E.J.; HILL, W.H.; KRATHWOHL, D.R. (1956). **Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I**: The Cognitive Domain. New York: David McKay Co Inc.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Física**, v. 19, n.3, p. 291-313, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Diretrizes curriculares nacionais para os cursos de química.** Brasília, 2001. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf Acesso em: outubro de 2015.
- CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. Da educação em Ciência às orientações para o ensino das Ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.
- CANZIAN, R.; MAXIMIANO, F. A. Principio de Le Chatelier: O que tem sido apresentado em livros didáticos? **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p. 107 119, 2010.
- CAROBIN, C.; SERRANO, A. Uma revisão das concepções alternativas em Equilíbrio Químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação. **Acta Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 131-143, 2007.
- CARRASCOSA, J. El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Analisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. **Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 2, n. 2, p. 183-208, 2005.
- CASTELLS, M. A Sociedade em Rede. Vol. 1. São Paulo: Paz e Terra, 2000.
- ÇETİNGÜL, İ.; GEBAN, Ö. Using conceptual change texts with analogies for misconceptions in acids and bases. **H. U. Journal of Education**, v. 41, p. 112 123, 2011.
- CHAGAS, A. P. Teorias ácido-base do século XX. **Química Nova na Escola**, n. 9, maio/1999.
- CHALMERS, A. F. O que é Ciência afinal? Tradução Raul Filker. São Paulo: Editora

Brasiliense, 1993.

DOLMIN, D. S. A review of laboratory instruction styles. **Journal of Chemistry Education**, v. 76, n. 4, p. 543-547, 1999.

DOLMIN, D. S. Students' perceptions of when conceptual development occurs during laboratory instruction. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 2, p. 140-152, 2007.

FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para a definição de objetivos instrucionais. **Gestão e Produção**, v.17, n.2, p. 421-431, 2010.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o "Fazer Ciência". **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 32 – 36, maio/ 2008.

GILBERT, J. K. Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In: Gilbert, J. K. (ed.) **Visualization in Science Education**. Holland: Springer, 2007. p. 9 – 28.

GIL-PÉREZ, D.; FURIO MAS, C.; VALDES, P.; SALINAS, J.; MARTINEZ-TORREGROSA, J.; GUISASOLA, J.; GONZALEZ, E.; DUMAS-CARRE, A.; GOFFARD, M.; CARVALHO, A. M. P. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 2, p. 311-20, 1999.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 43-49, 1999.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. **Review of Educational Research**, v.52, p.201-217, 1982.

ISKANDAR, J. I.; LEAL, M. R. Sobre positivismo e educação. **Revista Diálogo Educacional**, v. 3, n.7, p. 89-94, 2002.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research in Glasgow in perspective. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 7, n. 2, p. 49 - 63, 2006.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Arch. Psychol.**, v. 140, p. 5-55, 1932.

LOCATELLI, S. W. **Análise da manifestação de elementos de metavisualização na aprendizagem de Química**. 2011. 155f. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

LOPES, A. R. C. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao

- Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, p. 309 334, 1993.
- LUNETTA, V. N.; TAMIR, P. Matching lab activities with teaching goals. **The Science Teacher**, v.46, p. 22-24, 1979.
- MAAR, J. H. Aspectos históricos do ensino superior de química. **Scientiae Studia**, v.2, n.1, p. 33-84, 2004.
- MASKILL, R.; CACHAPUZ, A. F. C. Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. 1, p. 57-69, 1989. MONTAGNA, E.; MOULATLET, A. C. B.; TORRES, B. B.; MARSON G. A. Análise de aplicativos educacionais sobre equilíbrio químico. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas/SP, 2011.
- MONTAGNA, E.; TORRES, B. B. Atividade sobre equilíbrio químico. Comunicação pessoal recebida por correio eletrônico, em setembro de 2013.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, 1996.
- ORLANDI, C.C.; CAMARGO, M.; NETO, A. S. A. Avaliação e aplicação de simulação computacional no ensino de equilíbrio químico. **Acta Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 79-84, 2006.
- RAVIOLO, A.; GARRITZ, A. Analogias no ensino de equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 13 25, fevereiro/ 2008.
- SANTOS, F. M. T. e 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**, v. 4, n. 1, 2005.
- SATO, M. S. **A aula de laboratório no ensino superior de Química**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Instituto de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- SCHUCK, A. F.; SERRANO, A. Um exemplo do uso de experimentos virtuais objetivando a introdução de conceitos de mecânica quântica na disciplina de estrutura da matéria. In: IX Encontro nacional de pesquisa em ensino de física. Jaboticatubas/MG, 2004.
- SILVA, S. M.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. Concepções alternativas de calouros de química para as teorias ácido-base. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. Curitiba/PR. 2008. Disponível em: http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0483-1.pdf. Acesso em: 19/01/13.
- SOUZA, K. A. 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, p. 51 56, fevereiro/ 2008.

VALVERDE, G. J.; JIMÉNEZ, R. L.; VIZA, A. L. La atención a la diversidade em las prácticas de laboratório de Quimica: los niveles de abertura. **Enseñanza de las Ciências**, v. 24, n. 1, p.59-70, 2006.

WU, H.K.; KRAJCIK, J.S. e SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7, p. 821-842, 2001.

ZOLLER, U.; DORI, Y.J.; LUBEZKY, A. Algorithmic, LOCS and HOCS (Chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. **International Journal of Science Education**, v. 24, p. 185-203, 2002.

ZUCCO, C.; PESSINE, F. B. T.; ANDRADE, J. B. Diretrizes curriculares para os cursos de Química. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 452-461, 1999.