

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE QUÍMICA

Programa de Pós-Graduação em Química

YURI BARROS DE ARAUJO

**Simuladores de experimentos baseados em vídeos:
investigação de concepções sobre equilíbrio
químico usando um simulador de titulações ácido-
base**

Versão corrigida da Dissertação defendida

São Paulo

Data do Depósito na SPG:

28/07/2022

YURI BARROS DE ARAUJO

**Simuladores de experimentos baseados em vídeos:
investigação de concepções sobre equilíbrio
químico usando um simulador de titulações ácido-
base**

*Dissertação apresentada ao Instituto de
Química da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em Química.*

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson.

São Paulo

2022

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 elaborada eletronicamente pelo autor, utilizando o programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP e adaptado para a Divisão de Biblioteca e Documentação do Conjunto das Químicas da USP

Bibliotecária responsável pela orientação de catalogação da publicação:
Marlene Aparecida Vieira - CRB - 8/5562

A658s Araujo, Yuri Barros de
Simuladores de experimentos baseados em vídeos:
investigação de concepções sobre equilíbrio químico
usando um simulador de titulações ácido-base / Yuri
Barros de Araujo. - São Paulo, 2022.
257 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto de Química da
Universidade de São Paulo. Departamento de Química
Fundamental.

Orientador: Marson, Guilherme Andrade

1. Simulação. 2. Competência Representacional. 3.
Perfil Conceitual. 4. Equilíbrio Químico. 5.
Titulação. I. T. II. Marson, Guilherme Andrade,
orientador.



Universidade de São Paulo
Instituto de Química

"Simuladores de experimentos baseados em vídeos: investigação de concepções sobre equilíbrio química usando um simulador de titulações ácido-base"

YURI BARROS DE ARAUJO

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências - no Programa de Química.

APROVADO(A) POR:

Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson
(Orientador e Presidente)

Prof. Dr. Agnaldo Arroio
FE - USP

Prof. Dr. Alfredo Luis Martins Lameirao Mateus (por videoconferência)
UFMG

SÃO PAULO
16 de dezembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o prof. Dr. Guilherme Andrade Marson, que com certeza foi o principal responsável por fazer este projeto acontecer. Foram inúmeras reuniões semanais, horas de discussões e muito trabalho árduo para chegar na versão final onde tudo se encaixou. Mais que sua orientação, sempre ofereceu sua amizade e é alguém que respeito e admiro muito, além de ter contribuído para o meu crescimento científico e intelectual.

Aos professores doutores Flávio Maron Vichi, Gianluca Camillo Azzellini, Hermi Felinto de Brito, Liane Marcia Rossi, Renato Sanches Freire, Paola Corio, Cassiana Seimi Nomura, Fernando R Ornellas, Marcia L.A. Temperini, Denise Freitas Siqueira Petri, Koiti Araki, Vera Regina Leopoldo Constantino, Breno Pannia Esposito e Pedro Vidinha, que gentilmente cederam espaços em suas aulas para aplicação das atividades. Ao César Guizzo, técnico e fotógrafo que sempre esteve disponível para auxiliar nas gravações dos vídeos.

À minha mãe, avó, avô e tias, que me ensinaram valores e agora retribuo com essa busca pelo título de mestre para aprimorar a minha carreira acadêmica, o primeiro da família a almejar essa obtenção e ser motivo de orgulho, ainda mais dada a nossa origem simples, com certeza é uma realização e conquista que todos fazem parte.

Aos meus amigos, colegas de trabalho e do grupo de estudos, especialmente à Lígia D'Ávila Bozzi, Camilla Peroni e Heloisa Cruz, que demonstraram total apoio para fazer isso acontecer. Num contexto pandêmico e com dois empregos, essa dissertação com certeza foi um grande desafio, mas que com a ajuda de todos, foi possível executar de maneira bem mais leve.

RESUMO

Araujo, Y.B. **Simuladores de experimentos baseados em vídeos: investigação de concepções sobre equilíbrio químico usando um simulador de titulações ácido-base**. 2022. 257p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Com o objetivo de enunciar uma abordagem inovadora experimental para o ensino remoto de ciências, foram desenvolvidas simulações baseadas em vídeo. Desde a última década, o uso de vídeos para ensinar procedimentos laboratoriais tem sido impulsionado pela divulgação de gravações de alta qualidade feitas com celulares e veiculadas por meio de mídias sociais. Em contraste, para simuladores de experimentos, o princípio central permanece inalterado: renderização visual de cenários calculados a partir de dados dos usuários. Em relação ao seu papel educacional, vídeos e simuladores são muitas vezes considerados recursos complementares. A interface de um vídeo educacional típico é, muitas vezes, limitada ao controle de *play-pause* e da linha do tempo. Para superar essa limitação, foi criada uma estratégia simples, mas eficaz, para fazer e usar esses vídeos: a simulação, pois assim permite leitura de dados do vídeo, composta por diferentes representações em um único experimento científico, admitindo a visualização dinâmica de centenas de resultados experimentais. Usando essa estratégia, foram gravados vídeos de experimentos típicos de titulação ácido-base, em condições normais de laboratório, para tratar do conceito de equilíbrio químico. Esses vídeos foram incorporados em diferentes recursos educacionais usados na forma de atividades: apresentação dos conceitos, um estudo de caso, um simulador com planilha e um cenário de tomada de decisão. Todos apoiados em níveis crescentes de competência representacional, utilizando representações com base na teoria da aprendizagem multimídia. Os recursos foram testados em aula-atividade remota com 102 alunos de graduação. Os resultados foram tratados de forma agrupada do ponto de vista de perfis conceituais, e mostram que a atividade embora considerada trabalhosa e conceitualmente difícil, foi apreciada como útil e inovadora pelos estudantes.

Palavras-chave: Competência Representacional. Equilíbrio Químico. Perfil Conceitual. Simulação. Titulação.

ABSTRACT

Araujo, Y. B. **Video-based experiment simulators: investigation of conceptions about chemical equilibrium using an acid-base titration simulator**. 2022. 257p. Master Thesis – Graduate Program in Chemistry. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

In order to enunciate an innovative experimental approach to remote science teaching, video-based simulations were developed. Over the past decade, the use of videos to teach laboratory procedures has been boosted by the dissemination of high-quality recordings made with cell phones and broadcast through social media. In contrast, for experiment simulators, the core principle remains unchanged: visual rendering of scenarios calculated from user data. Regarding their educational role, videos and simulators are often considered complementary resources. The interface of a typical educational video is often limited to play-pause and timeline control. To overcome this limitation, a simple but effective strategy was created to make and use these videos: simulation, as it allows reading data from the video, composed of different representations in a single scientific experiment, allowing the dynamic visualization of hundreds of experimental results. Using this strategy, videos of typical acid-base titration experiments were recorded under normal laboratory conditions to address the concept of chemical equilibrium. These videos were incorporated into different educational resources used in the form of activities: presentation of concepts, a case study, a simulator with a spreadsheet, and a decision-making scenario. All supported by increasing levels of representational competence, using representations based on multimedia learning theory. The resources were tested in a remote activity class with 102 undergraduate students. The results were treated in a grouped way from the point of view of conceptual profiles, and show that the activity, although considered laborious and conceptually difficult, was appreciated as useful and innovative by the students.

Keywords: Representational Competence. Chemical Equilibrium. Conceptual Profile. Simulation. Titration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moléculas em equilíbrio estático representadas por uma balança	25
Figura 2 – Curva de titulação utilizada na simulação durante a atividade	38
Figura 3 – Triângulo de Johnstone	47
Figura 4 – Captura de tela do simulador com escala de cores.....	58
Figura 5 – Captura de tela do simulador com pHmetro	58
Figura 6 – Montagem experimental	59
Figura 7 – Momento da gravação da tomada da bureta	60
Figura 8 – Telas do simulador CurTiPot	79
Figura 9 – Gráfico de distribuição de respostas na questão 1 do pré-teste.....	81
Figura 10 – Gráfico relacionando o grau de certeza dos estudantes às respostas dadas na questão 1 do pré-teste.....	82
Figura 11 – Exemplo de justificativa correta para quem marcou “FALSO” e assinalou h)	82
Figura 12 – Gráfico de distribuição de respostas na questão 2 do pré-teste.....	83
Figura 13 – Exemplo de um esboço satisfatório para a questão 2	84
Figura 14 – Exemplos de esboços insatisfatórios para a questão 2.....	84
Figura 15 – Distribuição de respostas para a questão 1 do questionário	86
Figura 16 – Distribuição de respostas para a questão 2 do questionário	87
Figura 17 – Distribuição de respostas para a questão 3 do questionário	88
Figura 18 – Distribuição de respostas para a questão 4 do questionário	89
Figura 19 – Distribuição de respostas para a revisão da questão 1 do pré-teste	90
Figura 20 – Distribuição de respostas para a revisão da questão 2 do pré-teste.....	91
Figura 21 – Distribuição de respostas para a questão “Desafio” do pós-teste	92
Figura 22 – Dendograma dos grupos de estudantes por análise hierárquica de <i>clusters</i>	95
Figura 23 – Gráfico dos resultados do pré-teste.....	95
Figura 24 – Gráfico dos resultados do pós-teste (revisão do pré-teste)	96
Figura 25 – Gráfico dos resultados do pós-teste (questões)	96
Figura 26 – Gráfico dos resultados do pós-teste (questão “desafio”).....	97
Figura 27 – Gráficos com os resultados das avaliações dos estudantes	99
Figura 28 – Curva de titulação empregada nas questões	104

Figura 29 – Proporção de acertos e erros para A1Q01	104
Figura 30 – Proporção de acertos e erros para A1Q02	106
Figura 31 – Proporção de acertos e erros para A1Q03	107
Figura 32 – Proporção de acertos e erros para A1Q04	108
Figura 33 – Proporção de acertos e erros para A1Q05	109
Figura 34 – Proporção de acertos e erros para A1Q06	110
Figura 35 – Proporção de acertos e erros para A1Q07	111
Figura 36 – Proporção de acertos e erros para A1Q08	112
Figura 37 – Proporção de acertos e erros para A1Q09	112
Figura 38 – Proporção do tipo de concepção para A1Q10	114
Figura 39 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q01, Q04 e Q07	117
Figura 40 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q02, Q05 e Q08	117
Figura 41 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q03, Q06 e Q09	118
Figura 42 – Perfil de respostas para leitura direta e localização na curva do Grupo 1 de questões (Q01, Q04 e Q07)	119
Figura 43 – Perfil de respostas para o conceito químico de estequiometria do Grupo 2 de questões (Q02, Q05 e Q08)	119
Figura 44 – Perfil de respostas para o conceito químico de reversibilidade do Grupo 3 de questões (Q03, Q06 e Q09)	120
Figura 45 – Formulário embutido na planilha guia da atividade de simulação	126
Figura 46 – Exemplo de curva de titulação gerada por um estudante em comparação ao CurTiPot	127
Figura 47 – Escolhas totais do grupo de participantes	128
Figura 48 – Porcentagem de estudantes que escolheram cada um dos ácidos por curso	128
Figura 49 – Perfil de escolha do ácido da Atividade 2 relacionada à indicação de perfil conceitual indicado na questão 10 da Atividade 1	132
Figura 50 – Fluxograma representando a "navegação" na curva de titulação	135
Figura 51 – Curva de titulação anotada para opção relacionada ao equilíbrio dinâmico	136
Figura 52 – Curva de titulação anotada para opção relacionada ao equilíbrio estático	

.....	137
Figura 53 – Perfil de escolhas relacionadas ao conceito operante de equilíbrio quanto à reversibilidade na região do ponto estequiométrico da curva de titulação - resultados absolutos totais	139
Figura 54 – Agrupamento de respostas quanto ao perfil conceitual predominante	140
Figura 55 – Distribuição das respostas ao problema proposto no estudo de caso da Atividade 2.....	141
Figura 56 – Agrupamento das ocorrências em subgrupos para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos Conceitos para todos os estudantes	144
Figura 57 – Correlações entre agrupamento das ocorrências em subgrupos para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos Conceitos	145
Figura 58 – Ocorrência das categorias consolidadas para Dificuldade (Fácil) e Familiaridade (Familiar), discriminadas e normalizadas por grupo de estudantes ..	146
Figura 59 – Grau de concordância dos indivíduos a respeito de uma curva de titulação com base na simulação realizada por meio de vídeo – resultados gerais	148
Figura 60 – Percepção de diferentes turmas sobre as representações visuais da Curva de Titulação e do Gráfico de Composição do Sistema	150
Figura 61 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre o papel da simulação por meio de vídeos, quanto aos aspectos representacionais.....	152
Figura 62 – Percepção geral e de diferentes turmas quanto ao interesse	153
Figura 63 – Percepção geral e de diferentes turmas quanto à contribuição para formação das atividades envolvendo o simulador.....	154
Figura 64 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre a proposta de ensino..	155
Figura 65 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre as orientações e as interações nas atividades.....	156
Figura 66 – Percepção geral e de diferentes turmas ao acesso e uso da tecnologia	157
Figura 67 – Resultados gerais e de diferentes turmas para a apreciação global do módulo com simuladores	158
Figura 68 – Pré-teste: questão 1 – texto	168
Figura 69 – Pré-teste: questão 1 – alternativas.....	169
Figura 70 – Pré-teste: questão 2 – esboço da curva.....	169
Figura 71 – Tela inicial do CurTiPot	170
Figura 72 – Aba “Simulador”.....	170

Figura 73 – Instrução como deletar dados iniciais.....	171
Figura 74 – Seleção do ácido.....	172
Figura 75 – Concentrações do titulado e do titulante	172
Figura 76 – Dados de volume e número de adições	172
Figura 77 – Como gerar o gráfico.....	173
Figura 78 – Gráfico com a curva de titulação	173
Figura 79 – Captura da tela inicial da atividade inicial.....	179
Figura 80 – Captura de tela da apresentação do experimento.....	179
Figura 81 – Captura de tela da apresentação dos componentes do simulador.....	180
Figura 82 – Captura de tela da apresentação da torneira	180
Figura 83 – Captura de tela da apresentação da escala	181
Figura 84 – Captura de tela da apresentação do béquer	181
Figura 85 – Captura de tela da apresentação da bureta indicando o volume	182
Figura 86 – Captura de tela das etapas do experimento.....	182
Figura 87 – Captura de tela da leitura direta do volume de NaOH da bureta.....	183
Figura 88 – Captura de tela da comparação de cores com a escala de pH.....	183
Figura 89 – Captura de tela do ponto da curva no momento indicado do vídeo.....	184
Figura 90 – Captura de tela da composição do sistema no momento indicado do vídeo	184
Figura 91 – Captura de tela da instrução para responder as questões seguintes..	185
Figura 92 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 1	185
Figura 93 – Captura de tela da Questão 1	186
Figura 94 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 1	186
Figura 95 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 2.....	187
Figura 96 – Captura de tela da Questão 2	187
Figura 97 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 2	188
Figura 98 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 3.....	188
Figura 99 – Captura de tela da Questão 3	189
Figura 100 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 3	189
Figura 101 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 4.....	190
Figura 102 – Captura de tela da Questão 4	190
Figura 103 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 4	191
Figura 104 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 5.....	191
Figura 105 – Captura de tela da Questão 5	192

Figura 106 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 5	192
Figura 107 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 6	193
Figura 108 – Captura de tela da Questão 6	193
Figura 109 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 6	194
Figura 110 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 7	194
Figura 111 – Captura de tela da Questão 7	195
Figura 112 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 7	195
Figura 113 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 8	196
Figura 114 – Captura de tela da Questão 8	196
Figura 115 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 8	197
Figura 116 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 9	197
Figura 117 – Captura de tela da Questão 9	198
Figura 118 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 9	198
Figura 119 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 10	199
Figura 120 – Captura de tela da resposta com <i>feedback</i> para a Questão 10	199
Figura 121 – Captura da tela de finalização das questões	200
Figura 122 – Captura de tela dos créditos do vídeo	200
Figura 123 – Captura de tela da submissão das respostas	201
Figura 124 – Captura da tela inicial da apresentação do caso	202
Figura 125 – Captura de tela da apresentação do caso: <i>slide</i> 1	202
Figura 126 – Captura de tela da apresentação do caso: <i>slide</i> 2	203
Figura 127 – Captura de tela da apresentação do caso: <i>slide</i> 3	203
Figura 128 – Captura de tela da apresentação do caso: <i>slide</i> 4	204
Figura 129 – Captura de tela dos equipamentos do <i>slide</i> 4: parte 1	204
Figura 130 – Captura de tela dos equipamentos do <i>slide</i> 4: parte 2	205
Figura 131 – Captura de tela dos reagentes disponíveis do <i>slide</i> 4	205
Figura 132 – Captura de tela da apresentação do caso: <i>slide</i> 5	206
Figura 133 – Captura de tela da primeira questão do caso: <i>slide</i> 6	206
Figura 134 – Captura de tela da resposta correta para a primeira questão do caso: <i>slide</i> 6	207
Figura 135 – Captura de tela: “O que é o pKa?” <i>slide</i> 7	207
Figura 136 – Captura de tela: “O que é o pKa?” <i>slide</i> 8	208
Figura 137 – Captura de tela “Como podemos determinar o pKa?” <i>slide</i> 9	208
Figura 138 – Captura de tela da segunda questão do caso: <i>slide</i> 10	209

Figura 139 – Captura de tela da resposta correta para a segunda questão do caso: <i>slide 10</i>	209
Figura 140 – Captura de tela da apresentação dos experimentos: <i>slide 11</i>	210
Figura 141 – Captura de tela dos experimentos 1 e 2: <i>slide 12</i>	210
Figura 142 – Captura de tela “O que se espera do experimento?” <i>slide 13</i>	211
Figura 143 – Captura de tela da apresentação das curvas dos colegas: <i>slide 14</i> ..	211
Figura 144 – Captura de tela dos pKas dos ácidos no <i>slide 14</i>	212
Figura 145 – Captura de tela da escala do indicador no <i>slide 14</i>	212
Figura 146 – Captura de tela da curva A (primeira colega) no <i>slide 14</i>	213
Figura 147 – Captura de tela da curva B (segundo colega) no <i>slide 14</i>	213
Figura 148 – Captura de tela da curva C (terceira colega) no <i>slide 14</i>	214
Figura 149 – Captura de tela da curva D (quarta colega) no <i>slide 14</i>	214
Figura 150 – Captura de tela da curva E (quinto colega) no <i>slide 14</i>	215
Figura 151 – Captura de tela da curva F (sexto colega) no <i>slide 14</i>	215
Figura 152 – Captura de tela da terceira questão do caso: <i>slide 15</i>	216
Figura 153 – Captura de tela da resposta correta para a terceira questão do caso: <i>slide 15</i>	216
Figura 154 – Captura de tela da questão <i>drag and drop</i> para revisão das curvas e dos valores de pKa: <i>slide 16</i>	217
Figura 155 – Captura de tela da resposta correta para a questão <i>drag and drop</i> para revisão das curvas e dos valores de pKa: <i>slide 16</i>	217
Figura 156 – Captura da tela final do segundo módulo da atividade: <i>slide 17</i>	218
Figura 157 – Captura da tela inicial da atividade com experimentos e laudo técnico	219
Figura 158 – Captura de tela da parte A do roteiro dos experimentos	219
Figura 159 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 1.....	220
Figura 160 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 2.....	221
Figura 161 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 3.....	221
Figura 162 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 4.....	222
Figura 163 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 5.....	223
Figura 164 – Captura de tela da parte C do roteiro dos experimentos	224
Figura 165 – Captura de tela da parte D do roteiro dos experimentos	225
Figura 166 – Captura de tela da aba “1. Identificação” da atividade	226
Figura 167 – Captura de tela da aba “2. Experimento exploratório” da atividade...	226

Figura 168 – Captura de tela da aba “3. Experimento preciso” da atividade	227
Figura 169 – Captura de tela da aba “4. Tratamento” da atividade	227
Figura 170 – Captura de tela da aba “Curva modelo” da atividade	228
Figura 171 – Captura de tela da aba “Propriedades dos ácidos” da atividade	228
Figura 172 – Captura de tela da aba “Curva da discussão com colegas” da atividade	229
Figura 173 – Captura de tela da aba “O que é pKa” da atividade: parte 1	229
Figura 174 – Captura de tela da aba “O que é pKa” da atividade: parte 2	230
Figura 175 – Captura de tela do laudo pericial a ser preenchido após experimentos	230
Figura 176 – Captura da tela inicial da Atividade 3: Entendendo os conceitos	231
Figura 177 – Captura de tela com as instruções do experimento da Atividade 3... ..	231
Figura 178 – Captura de tela com a apresentação das escolhas para a Atividade 3	232
Figura 179 – Captura de tela com a apresentação dos componentes do simulador	232
Figura 180 – Captura de tela da apresentação da torneira	233
Figura 181 – Captura de tela da apresentação da escala	233
Figura 182 – Captura de tela da apresentação do béquer	234
Figura 183 – Captura de tela do primeiro momento de escolha da atividade.....	234
Figura 184 – Captura de tela da situação atual no primeiro momento de escolha da atividade.....	235
Figura 185 – Captura de tela da situação desejada no primeiro momento de escolha da atividade.....	235
Figura 186 – Captura de tela da resposta esperada para o primeiro momento de escolha da atividade: tornar o meio mais alcalino	236
Figura 187 – Captura de tela do segundo momento de escolha da atividade	236
Figura 188 – Captura de tela da situação atual no segundo momento de escolha da atividade.....	237
Figura 189 – Captura de tela da situação desejada no segundo momento de escolha da atividade.....	237
Figura 190 – Captura de tela da resposta esperada para o segundo momento de escolha da atividade: tornar o meio mais alcalino	238
Figura 191 – Captura de tela do terceiro momento de escolha da atividade.....	238

Figura 192 – Captura de tela da situação atual no terceiro momento de escolha da atividade.....	239
Figura 193 – Captura de tela da situação desejada no terceiro momento de escolha da atividade.....	239
Figura 194 – Captura de tela da resposta esperada para o terceiro momento de escolha da atividade: tornar o meio mais ácido.....	240
Figura 195 – Captura de tela da finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico.....	240
Figura 196 – Captura de tela do percurso realizado pelo ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico	241
Figura 197 – Captura de tela da resposta alternativa para o terceiro momento de escolha da atividade: não é possível.....	241
Figura 198 – Captura de tela da finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico irreversível	242
Figura 199 – Captura de tela da situação atual na curva de titulação após finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico irreversível.....	242
Figura 200 – Captura de tela do percurso realizado pelo ponto de vista de equilíbrio químico irreversível	243
Figura 201 – Captura de tela da questão em que o estudante deve justificar seu percurso	243
Figura 202 – Captura de tela da resposta esperada sob um ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico para a questão em que o estudante deve justificar seu percurso	244
Figura 203 – Captura de tela com instrução para submeter resposta e finalizar a atividade.....	244
Figura 204 – Captura da tela inicial da atividade final	245
Figura 205 – Captura de tela do questionário da atividade final no <i>Google Forms</i>	246
Figura 206 – Captura de tela das questões sobre a dificuldade dos conceitos apresentados nas atividades.....	247
Figura 207 – Captura de tela das questões sobre a familiaridade com os conceitos apresentados nas atividades.....	248
Figura 208 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a uma curva de titulação	249
Figura 209 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a	

um gráfico de composição das espécies do sistema	250
Figura 210 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a simulação realizada a partir dos vídeos	251
Figura 211 – Captura de tela do interesse dos estudantes por cada atividade	252
Figura 212 – Captura de tela da contribuição de cada atividade para a formação dos estudantes.....	253
Figura 213 – Captura de tela da percepção dos estudantes ao realizarem a atividade	254
Figura 214 – Captura de tela a respeito da apreciação dos estudantes pela atividade e seus recursos didáticos	255
Figura 215 – Captura de tela sobre o dispositivo em que a atividade foi realizada	256
Figura 216 – Captura de tela sobre a dificuldade da atividade.....	256
Figura 217 – Captura de tela sobre a disponibilidade dos estudantes em fornecer uma entrevista e escrever comentários e outras informações que julguem pertinentes .	256

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações gerais das situações de ensino durante o módulo	66
Quadro 2 – Principais atividades da sequência didática.....	75
Quadro 3 – Exemplos de resultados para o pré-teste	84
Quadro 4 – Exemplos de resultados para a questão 1 do pós-teste	86
Quadro 5 – Exemplos de resultados para a questão 2 do pós-teste	87
Quadro 6 – Exemplos de resultados para a questão 3 do pós-teste	88
Quadro 7 – Exemplos de resultados para a questão 4 do pós-teste	90
Quadro 8 – Exemplos de resultados para a questão “Desafio” do pós-teste.....	92
Quadro 9 – Percepção da atividade pelos estudantes	98
Quadro 10 – Características gerais da atividade precedente à simulação	122
Quadro 11 – Elementos presentes na planilha para a simulação.....	123
Quadro 12 – Repertório representacional na Atividade 2	124
Quadro 13 – Resultados Gerais para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos conceitos	143
Quadro 14 – Dados coletados a respeito da simulação realizada a partir dos vídeos, questionando o entendimento de uma curva de titulação	147
Quadro 15 – Percepção dos estudantes sobre o papel da simulação por meio de vídeos quanto aos aspectos representacionais.....	151
Quadro 16 – Resultados gerais para a percepção dos estudantes quanto ao interesse ao realizar as atividades.....	153
Quadro 17 – Resultados gerais para a percepção dos estudantes quanto a contribuição para a formação	154
Quadro 18 – Percepção dos estudantes quanto à proposta de ensino	155
Quadro 19 – Percepção dos estudantes quanto às orientações e interações.....	156
Quadro 20 – Percepção dos estudantes quanto ao acesso e uso da tecnologia ...	157
Quadro 21 – Apreciação global do módulo desenvolvido com os simuladores	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVA	Ambiente virtual de aprendizagem
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
DSLR	<i>Digital single-lens reflex</i>
H5P	<i>HTML-5-Package</i>
LIGEA	Licenciatura em geociências e educação ambiental
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 RELEVÂNCIA CURRICULAR DO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO	23
1.2 PROBLEMAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM RELACIONADOS AO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO	23
1.2.1 Os simuladores baseados em vídeos	27
2 PERGUNTA DE PESQUISA	30
3 OBJETIVOS DO PROJETO	31
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4 HIPÓTESES DA PESQUISA	32
4.1 EM RELAÇÃO AO SIMULADOR	32
4.2 EM RELAÇÃO AO ESTUDO DO PAPEL DO SIMULADOR	32
5 REFERENCIAL TEÓRICO	33
5.1 MODELOS DE APRENDIZAGEM: MUDANÇA CONCEITUAL E PERFIL CONCEITUAL	33
5.2 UMA PROPOSTA DE PERFIL CONCEITUAL PARA O CASO DA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE	36
5.2.1 Elenco de conceitos em “titulação ácido-base de Arrhenius”	37
5.2.2 Aspectos elementares da evolução histórica do conceito de reversibilidade de reações químicas	38
5.2.3 Perfil conceitual proposto	41
5.3 COMPETÊNCIA REPRESENTACIONAL	43
5.3.1 Uso dos simuladores com vídeos	48
5.3.1.1 Simuladores com vídeos - considerações gerais e experiência prévia do grupo de pesquisa.....	50
6 ABORDAGENS METODOLÓGICAS	53
6.1 SIMULADORES NO ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA: CONTRIBUIÇÕES DA LITERATURA	53
6.2 SIMULADORES DE TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE: CONTRIBUIÇÕES DE UM ESTUDO PRÉVIO.....	55
6.2.1 Produção dos vídeos adequados para a proposta de simulação deste trabalho	56

6.2.1.1 Seleção dos experimentos para a simulação baseada em vídeo	56
6.2.1.2 Decidir o que mostrar na simulação baseada em vídeo	57
6.2.1.3 Montagem experimental.....	58
6.2.1.4 Montagem do <i>setup</i> da gravação.....	59
6.2.1.5 Execução e gravação do experimento	60
6.2.1.6 Edição e sincronização do vídeo.....	61
6.2.1.7 Disponibilização do vídeo em plataformas online	62
6.2.1.8 Criar uma simulação de experimento simples com o vídeo	62
6.3 INVESTIGAÇÃO DO PAPEL DOS SIMULADORES NO ENSINO.....	63
6.3.1 Considerações sobre ética em pesquisa envolvendo seres humanos .	65
6.3.2 Situação de ensino	63
6.3.3 Atividades de ensino	67
6.3.3.1 Atividade inicial	67
6.3.3.2 O ácido em Pindaiatuba: o caso	68
6.3.3.3 O ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico	71
6.3.3.4 Entendendo os conceitos.....	72
6.3.3.5 Atividade final.....	73
6.4 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS.....	73
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
7.1 ESTUDOS PRÉVIOS COM SIMULADOR DE CURVAS DE TITULAÇÃO.....	74
7.1.1 Abordagem metodológica para o estudo.....	74
7.1.2 Situação de ensino e coleta de dados.....	74
7.1.2.1 Atividade Pré-simulação	75
7.1.2.2 Atividade de simulação	78
7.1.2.3 Análise dos dados simulados.....	79
7.1.2.4 Conexão com conceitos prévios	80
7.1.2.5 Conclusão da atividade.....	80
7.1.2.6 Análise dos resultados.....	80
7.1.3 Resultados gerais da atividade do estudo prévio.....	81
7.1.3.1 Pré-teste	81
7.1.3.2 Questionário.....	85
7.1.3.3 Revisão do pré-teste	90
7.1.3.4 Desafio.....	91
7.1.3.5 Conclusões parciais da atividade.....	93

7.1.3.6 Resultados e discussão	94
7.1.3.7 Percepção dos estudantes.....	97
7.1.3.8 Conclusões da atividade	99
7.2 ESTUDOS UTILIZANDO SIMULADORES BASEADOS EM VÍDEO.....	101
7.2.1 Atividade 1	103
7.2.1.1 Resultados individuais para cada questão da Atividade 1	104
7.2.1.2 Análise integrada da Atividade 1	114
7.2.1.3 Conclusões parciais para os dados obtidos na Atividade 1	120
7.2.2 Atividade 2	121
7.2.2.1 Análise dos resultados obtidos para a atividade de simulação	128
7.2.2.2 Análise integrada dos resultados das Atividades 1 e 2	132
7.2.2.3 Conclusões parciais para os dados obtidos na Atividade 2	133
7.2.3 Atividade 3	134
7.2.3.1 Apresentação e análise dos resultados da Atividade 3.....	138
7.2.4 Percepção dos estudantes	142
7.2.4.1 Percepções quanto aos conceitos envolvidos: dificuldade e familiaridade	143
7.2.4.2 Percepções quanto as representações visuais da Curva de Titulação e do Gráfico de Composição do Sistema	147
7.2.4.3 Percepções quanto ao papel do simulador por meio de vídeos quanto a aspectos representacionais e conceituais	151
7.2.4.4 Percepções quanto ao interesse e as contribuições formativas das atividades na situação de ensino	153
7.2.4.5 Percepções referentes à proposta de ensino adotada.....	155
7.2.4.6 Percepções referentes às orientações e interações	156
7.2.4.7 Percepções referentes ao acesso e uso da tecnologia	157
7.2.4.8 Apreciação global do módulo desenvolvido com os simuladores	158
7.2.4.9 Conclusões parciais para os resultados de percepção dos estudantes sobre as atividades com o simulador	159
8. CONCLUSÕES	160
9. REFERÊNCIAS.....	162
APÊNDICE A – Estudos Prévios	168
APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	177
APÊNDICE C – Atividade Inicial	179

APÊNDICE D – O Ácido em Pindaiatuba: O Caso	202
APÊNDICE E – O Ácido em Pindaiatuba: Experimentos e Laudo Técnico	219
APÊNDICE F – Entendendo os Conceitos.....	231
APÊNDICE G – Percepção dos Estudantes	245

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA CURRICULAR DO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO

Os conceitos relacionados ao equilíbrio são centrais na química e em outras ciências, pois exercem um importante papel nos currículos de educação básica e ensino superior. No caso de ensino superior, é possível elencar disciplinas como química geral, química analítica e bioquímica experimental, ao constatar em ementas dessas disciplinas a presença de conteúdos relacionados diretamente ao conceito de equilíbrio. Nos casos associados ao conteúdo dedicado aos métodos titulométricos, destaca-se a titulação de sistemas ácido-base de Arrhenius.

Há muitos estudos na literatura que indicam a importância deste conceito, como Quílez e Sanjosé (1996), Brown, LeMay e Bursten (2005), Kotz, Treichel e Weaver (2010), Raviolo e Aznar (2003), Raviolo (2007), entre outros. Este conceito está centrado na compreensão de transformações químicas envolvendo fenômenos cotidianos, leis químicas, reversibilidade das reações e, principalmente, atrelado ao fato de estar diretamente relacionado a conhecimentos prévios, como o de reações químicas e algumas noções de estequiometria, cinética e termoquímica (2000 apud CAROBIN; SERRANO, 2007).

1.2 PROBLEMAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM RELACIONADOS AO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO

É sabido que equilíbrio químico é um conceito considerado difícil de ensinar e aprender em todos os níveis educacionais (CAROBIN; SERRANO, 2007).

Dentre os obstáculos de aprendizagem para o ensino destacam-se as chamadas concepções alternativas. Viennot (1979) relata que crianças, adolescentes e até estudantes universitários apresentam ideias alternativas sobre os conceitos científicos. Tais ideias se manifestam quando solicitamos aos estudantes explicações tanto para os fenômenos observados no cotidiano quanto num contexto de ensino.

Pozo e Crespo (2009), indicam que a compreensão de conceitos fundamentais da ciência é difícil, o que motiva constantes esforços em aprimorar estratégias e recursos didáticos para o ensino:

O principal problema que essa compreensão enfrenta é a presença entre os alunos de fortes concepções alternativas aos conceitos científicos que lhes são ensinados, as quais são muito difíceis de modificar e, em alguns casos, sobrevivem a longos anos de instrução científica. [...] algumas delas sobrevivem, de alguma forma ou de outra, inclusive entre os próprios especialistas na área. (POZO; CRESPO, 2009, p. 76).

Especificamente no conteúdo de equilíbrio químico, Carobin e Serrano (2007) fazem um levantamento bibliográfico das principais concepções alternativas por parte dos estudantes em conteúdos como:

- Reversibilidade: incorreta interpretação da dupla seta; dificuldades de compreensão sobre o que ocorre com as velocidades direta e inversa quando o sistema se aproxima do equilíbrio; após a reação direta se completar, inicia a reação inversa.
- Equilíbrio químico dinâmico: o equilíbrio químico não é dinâmico, mas estático; no equilíbrio, as concentrações não se mantêm constantes, mas variam constantemente, assim como a reação oscila entre reagentes e produtos.
- Visualização de sistemas em equilíbrio compartimentalizados: reagentes e produtos compartimentalizados; sistemas abertos para gases.
- Analogia molar: as concentrações de equilíbrio são iguais aos coeficientes estequiométricos da equação; no equilíbrio, as concentrações de reagentes e produtos são iguais.
- Aproximação do equilíbrio químico: a taxa de reação, tanto direta quanto inversa, aumenta à medida que o equilíbrio é atingido; após a reação ter iniciado, a taxa de reação direta aumenta com o tempo e, a taxa de reação inversa diminui, até que o equilíbrio é alcançado.
- Aplicação do Princípio de Le Chatelier em sistemas em equilíbrio químico: um aumento na concentração de reagentes faz a taxa da reação inversa diminuir; o sistema, quando alterado por um aumento na concentração de reagentes, provoca um aumento na velocidade direta e conseqüentemente um aumento na concentração dos produtos; um aumento na temperatura faz a taxa da reação direta diminuir; se a temperatura é diminuída em uma reação exotérmica, a taxa de reação direta aumenta; se a temperatura tende a aumentar, as velocidades direta e inversa também aumentam; uma redução do volume faz a taxa de reação inversa diminuir; o efeito de catalisadores sobre o equilíbrio químico.

Como indicado acima, a depender da abordagem, o Princípio de Le Chatelier é um dos assuntos propício para a gênese de concepções equivocadas, as quais podem se espalhar para os casos em que o equilíbrio químico seja associado a outros conceitos. Silva et al. (2008) apontam este caso para a teoria de Arrhenius, uma vez que o equilíbrio de ionização de ácidos é considerado central para explicar as propriedades ácidas e básicas intrínsecas às substâncias. Há também os problemas de ensino e aprendizagem relacionados ao próton (H^+) e à hidroxila (OH^-) em meio

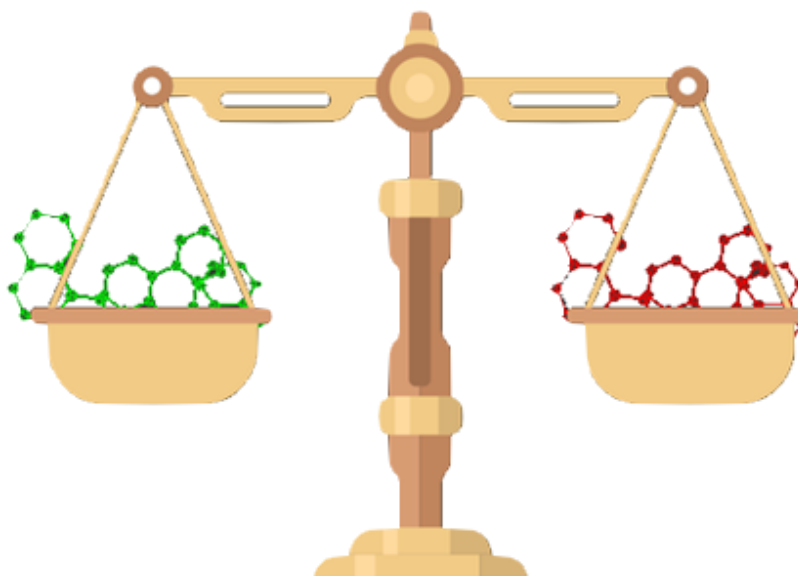
aquoso, e à compreensão da relação da escala de pH com o comportamento ácido e básico das substâncias, descrito em termos do equilíbrio de autoionização da água.

Admite-se que os conceitos alternativos se originem das tentativas dos alunos realizarem interpretações a partir de conhecimentos idiossincráticos, resultantes das experiências prévias que trazem de suas interações com o mundo material e cultural, as quais se amalgamam com informações aprendidas no percurso escolar. Resulta deste processo um sistema de ideias e concepções em que conceitos científicos são ressignificados em bases conceituais diferentes da formulação científica, seja nos aspectos epistemológicos, seja nos ontológicos (POZO; CRESPO, 2009).

Esse sistema alternativo pode influenciar no processo de aprendizagem, provendo pontos de radicação distintos daqueles previstos para os novos conceitos aprendidos na escola. Inclusive, Mortimer (1996) destaca que fatores importantes para a aprendizagem dos conceitos científicos são também relevantes para a formação deste sistema alternativo de ideias, tais quais: 1) a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; 2) as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem; 3) as analogias têm papel fundamental nos processos de construção de significados e na mediação envolvido na incorporação de novas ideias ao sistema de ideias existentes.

No tocante às analogias, destacam-se problemas com representações visuais do equilíbrio químico (RAVILOLO; AZNAR, 2003) como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Moléculas em equilíbrio estático representadas por uma balança



Fonte: Adaptado de Tecnológico de Monterrey (2020)

A interpretação literal da Figura 1 pode ser assim erroneamente enunciada: "*o equilíbrio químico é um processo estático determinado pela razão dos pesos moleculares de reagentes e produtos. Como o número de átomos se mantém, trata-se de um processo em que a quantidade de reagentes e produtos no equilíbrio deve ser a mesma*".

A Figura 1 é um caso limite do uso de analogias inapropriadas. Porém, sua contribuição potencial para a formação de concepções alternativas sobre equilíbrio químico, como aquelas apontadas anteriormente, deve ainda ser ponderada em função das concepções que norteiam a situação de ensino na qual os estudantes entrariam em contato com a analogia da balança.

No plano da organização do ensino de ciências, admite-se que muitos dos problemas de ensino e aprendizagem dos conceitos científicos resultam em concepções de aprendizagem centralizadas na memorização. É comum em tais abordagens que conceitos sejam ensinados como fatos, e que muito do ensino se dedique a regras mnemônicas empregadas na resolução de exercícios visando a alcançar bons scores em exames paramétricos (SOUZA; CARDOSO, 2008).

A ênfase em conteúdos factuais e enunciações não favorece a explicitação das concepções dos estudantes sobre os conceitos científicos. Assim, via de regra, tais abordagens em muito dificultam a percepção do professor sobre o que de fato o estudante aprendeu sobre os conceitos científicos. É já conhecido que as concepções alternativas passam ao largo do processo de ensino, podendo inclusive, imbricar-se mais profundamente no sistema de ideias dos estudantes e em seu repertório de explicações sobre o mundo. Então, em tais abordagens dedicadas a memorização, o uso de recursos didáticos em que se empreguem analogias inapropriadas como a Figura 1, em muito favorece a formulação e incorporação de concepções alternativas como aquelas indicadas para o conceito de equilíbrio químico.

Em contraponto, é sabido que a compreensão efetiva de conceitos e fenômenos químicos é mais favorecida em abordagens investigativas que envolvam o questionamento e a análise de fatos, o levantamento de hipóteses, a elaboração de modelos, e a integração de ideias novas aos conhecimentos prévios. Segundo Justi (2008), a elaboração de modelos permite que o aluno visualize conceitos abstratos, explore o objeto de estudo e teste seu próprio modelo. Neste processo, seriam favorecidos o desenvolvimento de estruturas conceituais mais abrangentes e flexíveis (FERREIRA; JUSTI, 2008). Adicionalmente, criam-se nesta abordagem muitas

oportunidades para explicitar conceitos alternativos, possibilitando assim seu encaminhamento.

Feitas estas considerações, como nos aponta Lopes (1993), o caso das titulações envolvendo reações ácido-base se mostra um contexto propício a ser explorado para a proposição de abordagens investigativas para o ensino do conceito de equilíbrios ácido-base de Arrhenius. Em especial, destaca-se para este fim que a curva de titulação pode ser um elemento central nestas propostas. Em sua construção, as curvas de titulação resultam de dados experimentais que expressam as propriedades dos equilíbrios reversíveis. Em sua interpretação articulam as questões conceituais com os aspectos fenomenológicos do experimento com reações ácido-base de origem.

Dentre estas propostas investigativas, interessa-nos neste trabalho aquelas que empregam a simulação de experimentos e, pelo exposto, e em particular, a simulação baseada em registro em vídeo de experimentos de titulação ácido-base.

1.2.1 Os simuladores baseados em vídeos

Autores como Wu, Krajcik e Soloway (2001) apontam que há muitos problemas de aprendizagem provenientes de dificuldades relacionadas à interpretação de conceitos a partir de representações visuais estáticas presentes em recursos didáticos, sobretudo no caso dos conceitos que dependem da visualização de processos dinâmicos. Este é justamente o caso dos equilíbrios químicos, e se manifesta no caso das titulações ácido-base.

Os autores apontam que recursos digitais interativos multimídias podem contribuir para a visualização, seja por facilitar a interpretação das representações visuais, seja por criar oportunidades para o desenvolvimento das habilidades cognitivas associadas à esta interpretação. Segundo os autores, é o caso, por exemplo, da habilidade representacional de transitar entre o bidimensional e o tridimensional. Dentre esses recursos digitais, destacam-se os simuladores de experimentos que proporcionem a manipulação de variáveis do processo simulado (SCHUCK; SERRANO, 2004).

No ensino de ciências, as simulações foram propostas há mais de três décadas como ferramentas úteis para melhorar a compreensão conceitual dos estudantes e desenvolvimento de suas capacidades científicas. Algumas vantagens incluem representar processos que contemplam diversos conteúdos da área de ciências

(movimento, fotossíntese, configurações atômicas, titulação, etc.), e simular "experimentos virtuais" que sejam difíceis de executar no laboratório por serem muito longos, custosos, perigosos ou envolverem questões éticas, como o uso de animais (HSU; THOMAS, 2002; SCALISE et al., 2011).

O uso de simulações no desenvolvimento do conhecimento foi comparado até com a introdução do microscópio e do telescópio, sendo um acréscimo muito significativo no campo da ciência (HUMPHREYS, 2004). Isso atraiu a atenção de alguns autores que apontaram que simulações computacionais não só constituem uma nova ferramenta, mas uma nova forma de produção científica (GALISON, 1996; WINSBERG, 1999).

O aspecto epistemológico dessa nova forma de produção científica tem recebido crescente atenção. Há novas questões epistemológicas que são levantadas nas simulações e afetam pontos considerados fundamentais para a compreensão da natureza da ciência, como a análise e interpretação de dados, a construção de hipóteses e previsões, e a diversidade de métodos científicos (OSBORNE et al., 2003). O uso de simulações investigado em estudos com viés epistemológico, indicam que sejam muito mais que uma ferramenta de cálculo, mas sim uma nova forma de produção científica, pois contemplam as noções clássicas e as recentes, como, por exemplo: a modificação do papel das equações; a divisão clássica entre teoria científica e métodos empíricos; a previsão como um objetivo autossuficiente em algumas áreas da ciência; e a necessidade de assumir posições mais pragmáticas em relação à confiabilidade (GRECA; SEOANE; ARRIASSECQ, 2014).

Snir, Smith e Raz (2003) defendem a ideia que, no ensino, as simulações devem ser aplicadas no contexto investigativo, para que favoreçam aos alunos entender melhor o que são, e como são usadas, na ciência. Os autores indicam que, assim fazendo-o, os alunos poderiam vivenciar processos que, ainda que de forma mais simples e estruturada, guardariam semelhança com os processos do desenvolvimento científico. Smetana e Bell (2012) corroboram com a importância da simulação ao dizerem que esta é tão eficiente, se não mais, do que outras práticas mais tradicionais para promover aprendizado sobre conceitos, mudança conceitual e desenvolvimento de habilidades procedimentais, visto que já existem diversas propostas para resolver problemas envolvendo experimentos e métodos tradicionais.

É razoável supor, portanto, que simulações computacionais interativas possam contribuir com a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico no contexto da

titulação ácido-base. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver simuladores baseados em vídeos e estudar o papel desses simuladores no ensino de equilíbrio químico no contexto ácido-base de Arrhenius, em estudantes de anos iniciais do ensino superior. Aqui entende-se o termo “simulador” não apenas como uma ferramenta multimídia capaz de prever cenários alterando variáveis, mas especificamente para o caso de interagir com diversas representações durante a reprodução de vídeos que sejam adequados para realizar tais simulações.

2 PERGUNTA DE PESQUISA

Em que medida o uso de um simulador de experimentos baseado em vídeos contribui para a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico?

3 OBJETIVOS DO PROJETO

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver simulações baseadas em vídeos interativos sobre o tema ácidos e bases e estudar o papel dessas simulações no ensino de equilíbrio químico em reações ácido-base de Arrhenius para estudantes de anos iniciais no ensino superior com o objetivo de melhorar o ensino.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Criar um vídeo que seja adequado para fazer a simulação;
- (ii) Desenvolver atividades de simulação que utilizem esse vídeo;
- (iii) Criar uma situação de ensino em que possa ser estudada a pergunta de pesquisa ao integrar as atividades desenvolvidas no percurso formativo da graduação e desenvolver uma sequência didática para testar o material;
- (iv) Desenvolver uma abordagem metodológica para estudar o papel da simulação no ensino-aprendizagem.

4 HIPÓTESES DA PESQUISA

Conforme indicado na introdução, estudos como os de Wu, Krajcik e Soloway (2001) afirmam que o uso de simuladores pode contribuir para a aprendizagem. Adicionalmente, Smetana e Bell (2012) reportam que o uso de simuladores por meio de vídeo também poderia contribuir para a aprendizagem do aspecto dinâmico dos equilíbrios ácido-base de Arrhenius.

4.1 EM RELAÇÃO AO SIMULADOR

Em relação **ao simulador**, partimos dos seguintes pressupostos:

- i. Primeiro, que é possível desenvolver um simulador que, se usado num contexto favorável, contribui para criar oportunidades para a aprendizagem do conceito de equilíbrios dinâmicos no contexto das reações ácido-base de Arrhenius (SMETANA; BELL, 2012).
- ii. Segundo, que tal simulador pode ser desenvolvido segundo os princípios da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia de Mayer (2009).

4.2 EM RELAÇÃO AO ESTUDO DO PAPEL DO SIMULADOR

Em relação **ao estudo do papel do simulador** partimos dos seguintes pressupostos:

- i. Primeiro, que a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico é favorecida por abordagens de ensino que favoreçam a articulação das representações deste conceito, apoiando-nos nas ideias de dimensões representacionais de Johnstone (1993), e de competência representacional de Kozma e Russell (2005).
- ii. Segundo, que a aprendizagem deste conceito pode ser caracterizada pela análise das concepções de equilíbrio químico que os estudantes aparentam empregar. Especificamente, incidindo sobre a reversibilidade das reações.

Assim, neste trabalho assumimos que, ao propor atividades de ensino que integrem as representações do conceito de equilíbrio químico por meio de um simulador baseado em vídeos, são criadas condições favoráveis para seu aprendizado, caracterizado pela mobilização conceitual dos estudantes sobre a reversibilidade de reações químicas. Escolhemos para o estudo o caso das titulações envolvendo ácidos e bases de Arrhenius.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo em vista os pressupostos deste trabalho, é conveniente discutir, em primeiro plano, algumas concepções conhecidas sobre o processo de aprendizagem. Em especial, interessa-nos o que ocorre quando há a aprendizagem de um conceito científico e como este processo acomoda inconsistências entre as concepções associadas ao senso comum, e àquelas propostas pela ciência. Em especial, destaca-se aqui a discussão sobre os modelos para aprendizagem baseados no perfil conceitual.

Então, um perfil conceitual para o conceito de reversibilidade de reações químicas é proposto e, a partir dele, são articuladas diferentes concepções para conceitos fundamentais relacionados ao caso particular das titulações ácido-base segundo Arrhenius.

Em seguida, são apresentadas e discutidas as diferentes representações de conceitos químicos envolvidos, tendo como base o caso das titulações ácido-base, e como condutor o conceito de competência representacional.

Finalmente, os princípios que embasaram o desenvolvimento do simulador por meio de vídeos são tratados à luz da teoria da aprendizagem multimídia.

5.1 MODELOS DE APRENDIZAGEM: MUDANÇA CONCEITUAL E PERFIL CONCEITUAL

Pozo e Crespo (2009) apontam que existem diferenças relevantes entre o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico de estudantes. O modo como conteúdos científicos são ensinados evoca nos alunos diferentes atitudes na sua aprendizagem, interferindo profundamente na forma como eles se apropriam, seja no plano conceitual, seja no plano prático. O fato de os alunos não reterem os conceitos pode ser entendido como consequência da dificuldade dos alunos em entender a evolução do conhecimento cotidiano para o conhecimento científico como forma de compreender o mundo, não somente como uma memorização de conceitos. O ensino de ciências em seu âmbito tradicional pode ser ineficaz em transformar essas concepções alternativas em conceitos científicos, porque muitas vezes não se propõe a tal (POZO; CRESPO, 2009).

Para alguns autores como Caravita e Hallden (1994) as duas formas de conhecimento, cotidiano e científico, são independentes e podem coexistir, sem a necessidade de haver uma substituição, mas sim uma otimização em determinados

contextos. Uma possível compatibilidade entre eles pode ser vista em posturas teóricas de aprendizagem associativa ou construtiva. Porém, em meados da década de 90, as pesquisas sobre o ensino de ciências se baseiam nas concepções alternativas, que assumem que a mente do estudante e do cientista são, de certa forma, incompatíveis. Por conta disso, para que os alunos aprendam teorias científicas, seria preciso que os mesmos alterassem seu pensamento e sua interpretação, pois, ao assimilar os conteúdos com suas próprias interpretações alternativas, incorreriam em erros conceituais (MORTIMER, 1996).

Assim sendo, para alcançar a mudança conceitual, fazer-se iam necessários alguns passos que vão desde a insatisfação dos alunos com suas próprias concepções, até a disponibilidade de novas concepções inteligíveis, que as mesmas parecessem interessantes para uso e, por fim, que se mostrasse mais produtiva e tivesse resultados mais visíveis que suas concepções alternativas anteriores (POZO; CRESPO, 2009). Porém, para Duit (1999), não há nenhum estudo que comprove a total exclusão das concepções alternativas dos alunos e sim uma flexibilidade maior para novos conceitos, mas mantendo as concepções anteriores. Já na perspectiva de Pozo e Crespo (2009), a incompatibilidade entre os conhecimentos não estaria nas ideias errôneas e enraizadas dos alunos, mas sim nos princípios epistemológicos, ontológicos e conceituais nos quais essas ideias e interpretações estariam sustentadas. Para a otimização da mudança conceitual e superação da incompatibilidade entre teorias cotidianas e científicas, seria necessário modificar essas estruturas.

A ideia de que seria necessária a substituição do conhecimento cotidiano pelo conhecimento científico poderia ser uma das principais causas do fracasso, pois seria uma ideia errônea propor o abandono de um conhecimento em detrimento de outro. A mudança conceitual não deveria implicar na substituição, mas sim em adquirir diferentes tipos de conhecimentos e, desse modo, conseguiria gerar interpretações e resultados para diversos tipos de tarefas, estudos e situações (POZO; CRESPO, 2009).

Uma alternativa às limitações do modelo de mudança conceitual na premissa de incompatibilidade da coexistência de concepções científicas e não científicas é o modelo de **perfil conceitual**.

Pessoas com diferentes trajetórias têm distintos modos de representar a realidade e seus contextos. Essa ideia radica em parte no conceito de 'perfil

epistemológico', proposto por Gaston Bachelard na década de 1940. O autor afirma que a limitação de doutrinas filosóficas não é suficiente para abarcar todas as formas de pensamento para explicar conceitos. Pode-se interpretar a noção de perfil epistemológico como uma escala graduada, em que, segundo Bachelard (1984, apud VILAS BÔAS, 2018), permite elucidar diversos pontos nas questões filosóficas científicas e derrubar a confusão de argumentos.

A coexistência de diferentes tipos de realidades e interpretações de conceitos já foi compartilhada por outros estudiosos. Schutz (1967, apud MORTIMER, 1996) por exemplo, dialoga sobre um mundo não homogêneo com diversas regiões e diferentes formas de se entender experiências. Além disso, Berger e Luckmann (1967, apud MORTIMER, 1996) afirmam que dessas diferentes regiões, uma delas se destaca por ser a realidade por excelência, a vida cotidiana, que marca sua presença e é usada como uma forma de interpretar objetivamente e subjetivamente todas as outras realidades e conhecimentos científicos ou não, mesmo com essa mudança radical de pensamento.

O perfil epistemológico de cada pessoa seria distinto, por vários motivos, como questões culturais, pessoais e experiências subjetivas. Para Wertsch (1991, apud MORTIMER, 1996) conceitos mais complexos adquiridos ao longo da vida não necessariamente excluíam conceitos anteriores, sendo assim, haveria uma heterogeneidade que permite comportar diversos conceitos num só indivíduo, possibilitando distintas formas de pensamento.

Mortimer (1996) começa a adentrar a noção de perfil conceitual, onde é importante ressaltar suas similaridades com a noção de perfil epistemológico. Suas visões são compartilhadas, porém, há diferenças entre a noção filosófica de Bachelard e esta. A distinção entre características ontológicas e epistemológicas das zonas de perfis é um dos pontos importantes a serem ressaltados, conforme a zona de perfil é mudada, epistemológica e ontologicamente serão diferentes.

Um outro aspecto é a possibilidade de o estudante conhecer seu próprio perfil. Isso preveniria, em princípio, que o estudante usasse conceitos anteriores e não adequados em situações novas, já que generalizar conceitos anteriormente aprendidos poderia levar ao erro em interpretar situações familiares ou que estão numa mesma zona de perfil. O conhecimento de seu perfil poderia ainda privilegiar mediadores e linguagens sociais mais adequadas para determinada situação.

A última característica a ser ressaltada é que na noção de perfil conceitual não

utiliza escolas filosóficas de pensamento, utilizando compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos em si. Assim, cada indivíduo possuiria um perfil diferente, porém, aqueles que estão inseridos numa mesma cultura poderiam compartilhar formas de pensamento comuns.

Em suma, o perfil conceitual comporta a noção da mudança e aprendizado de ideias e novos conceitos, porém levando em conta a permanência de ideias prévias que estudantes tiveram ao longo do processo de aprendizado de ciências. A cultura cotidiana está presente na vida de todos e, portanto, faz parte da interpretação conceitual (MORTIMER, 1996).

5.2 UMA PROPOSTA DE PERFIL CONCEITUAL PARA O CASO DA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE

A titulação é um método experimental central no repertório químico. A variante explorando a reatividade de sistemas ácidos e bases em meio aquoso reúne, assim, dois centros de interesse na química, em que aspectos metodológicos e teóricos próprios da química são articulados no mesmo experimento. Não por acaso, exemplos de titulação ácido-base constam nas ementas de disciplinas introdutórias de química, e na grade curricular de cursos do ensino superior de diversas áreas do saber.

Aprender os princípios da técnica, para além do procedimento em si, e interpretar os resultados à luz das propriedades químicas (reatividade) dos compostos envolvidos, envolve integrar um grande conjunto de conceitos, tais quais: fim de reação, reversibilidade, relações quantitativas entre número de hidrogênios ionizáveis e a curva de titulação, interpretação da curva, o significado de pK_a , entre outros.

Seguindo os princípios adotados por Mortimer para a constituição de um perfil conceitual para os conceitos de massa e de calor e temperatura, proporemos aqui um perfil conceitual que organize os conceitos envolvidos numa titulação. Dentre estes, tendo em vista que a abordagem de Arrhenius é baseada no equilíbrio reversível da ionização de ácidos próticos em meio aquoso, elegemos o conceito de reversibilidade como conceito central no perfil, e, a partir deste, serão derivadas concepções para os demais conceitos relacionados ao caso específico da titulação.

Primeiramente, serão identificados e descritos o conjunto de conceitos para as titulações ácido-base, tendo em vista os objetivos deste estudo e o nível educacional a que se destina o simulador objeto deste trabalho.

Em seguida, será apresentada uma brevíssima análise da evolução histórica

dos conceitos de reversibilidade de reações e de suas relações com teorias de ácidos e bases.

Finalmente, o perfil será apresentado tendo em vista as análises anteriores, definindo-se seus elementos, e apresentando-se interpretações dos conceitos identificados na primeira etapa para cada elemento do perfil.

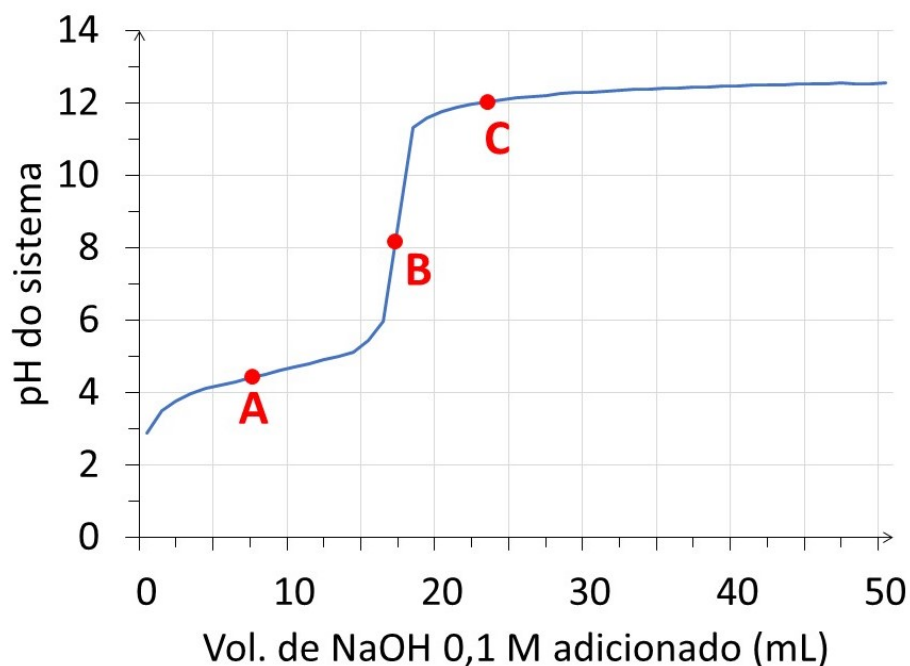
5.2.1 Elenco de conceitos em "titulações ácido-base de Arrhenius"

A escolha dos conceitos é norteada pela importância da teoria ácido-base de Arrhenius, pois, além de englobar muitas reações conhecidas, estimulou a ampliação de diversas linhas de pesquisa, inclusive apoiou o desenvolvimento científico da química analítica, como a aplicação da lei de ação das massas a equilíbrios iônicos, o efeito tampão, o primeiro estudo quantitativo de um indicador e o conceito de pH (CHAGAS, 1999). No caso do conceito de pKa, embora tenha sido proposto após a teoria protônica de Brønsted-Lowry, usaremos aqui por ser compatível com o caso particular dos sistemas aquosos de Arrhenius.

O perfil conceitual pode ser elaborado a partir de algumas reflexões. É preciso determinar o conjunto de conceitos representados pelo conceito principal pelo qual se deseja traçar o perfil e os conceitos que conectam esse perfil com o contexto desse conceito principal. No caso deste trabalho, o conceito principal é a reversibilidade e o contexto é a titulação. Para conectá-los, são precisos outros conceitos, tais quais: ponto de equivalência, perturbação por adição de reagentes, pH, força de ácidos e número de prótons ionizáveis do ácido.

Considera-se aqui que, para os objetivos deste trabalho, a curva de titulação é a representação conceitual mais conveniente para discutir e articular tanto os conceitos referentes ao experimento em si, quanto a reatividade dos sistemas ácido-base explorados. Inclusive, consideramos que a curva é o elemento central na integração das representações visuais envolvidas, discutidas mais adiante. A Figura 2 apresenta uma das curvas de titulação exposta aos estudantes durante a atividade. Nela, destacamos três pontos de interesse: região de tamponamento (A), ponto de equivalência (B) e excesso de reagente titulante (C).

Figura 2 – Curva de titulação utilizada na simulação durante a atividade



Ao observar a Figura 2, os três pontos demarcam regiões importantes conceitualmente: o ponto A representa a região de tamponamento, o ponto B representa o ponto de viragem e o ponto C representa o momento após a viragem. A curva em si já representa um equilíbrio ácido-base, com interpretação de uma escala de pH e reversibilidade, onde está ocorrendo uma reação de neutralização ao reagirmos um ácido com uma base. Essa curva permite articular os demais conceitos expostos, como a ideia de pKa (A), ponto de inflexão (equivalência) e "fim de reação" no ponto B e excesso de reagentes no ponto C.

Além disso, do ponto de vista processual, a curva de titulação é uma representação que medeia as etapas de aquisição de dados experimentais e sua interpretação conceitual, sendo assim de grande valia para o propósito da simulação de experimentos.

5.2.2 Aspectos elementares da evolução histórica do conceito de reversibilidade de reações químicas

Para as finalidades desse trabalho, considera-se que a evolução histórica do conceito de reversibilidade pode ser dividida em três concepções fundamentais: concepção estequiométrica, onde a reversibilidade não se aplica, apenas refere-se às leis ponderais (Lavoisier e Proust); o equilíbrio estático caracterizado por Berthollet; e o equilíbrio dinâmico, em que se aplica o princípio de Le Chatelier.

O conceito de equilíbrio químico evolui de ideias sobre afinidade química no século XVIII e início do XIX para uma noção mecânica de equilíbrio (Berthollet). As relações termodinâmicas que conhecemos foram afirmadas efetivamente a partir dos trabalhos de G. N. Lewis, no início do século XX, que culminaram na publicação de um livro sobre Físico-Química em 1923. No caso do equilíbrio, o conceito mais geral é a reação química. A partir deste conceito mais geral, os sistemas em equilíbrio se tornam um caso particular na compreensão dos processos químicos, o qual, se contrapõem, as abordagens estáticas ou unidirecionais do conceito de reação (reação irreversível).

Segundo Lindauer (1962), a ideia de afinidade química foi introduzida em algum momento durante o século XIII por Albertus Magnus, baseando-se em postulados anteriores de Hipócrates apontando que a ação química é o resultado da semelhança entre os reagentes. Durante o período da alquimia até o século XVIII, foram elaboradas tabelas de afinidade, mas só em 1775 um cientista sueco, Torbern Bergman, publica um artigo a respeito de seus estudos sobre afinidade química “Ensaio Sobre Atrações Eletivas”, apontando que as combinações químicas dependiam unicamente da natureza das substâncias. Sua teoria foi muito importante para as reações de deslocamento, e foi muito aceita na época. Dois anos após, C. F. Wenzel publica um artigo que complementa Bergman, relatando que além da natureza da substância, também devemos considerar suas quantidades, porém essa teoria não foi tão aceita.

Em 1799, C. L. Berthollet, em viagem com o exército de Napoleão por terras egípcias, observou a formação de carbonato de sódio nas margens de um lago, porém, a teoria das afinidades eletivas conhecida até então, explicava o contrário, pois essa grande quantidade de carbonato de sódio era exatamente o oposto ao esperado. Com essa observação, Berthollet comprovou que a direção de uma reação química dependia de fatores além das afinidades; entre esses fatores, temos a solubilidade e a quantidade de substância. Berthollet também foi o primeiro cientista a surgir com o termo “equilíbrio”, porém, em seus postulados, esse termo foi usado unicamente para denotar um equilíbrio de forças químicas, da mesma forma como era usado em mecânica. Algumas outras ideias foram propostas, como a lei da composição variável, mas foram rejeitadas por conta da lei das proporções definidas, de Proust.

Durante o século XIX, o efeito da ação das massas foi ampliado e discutido por muitos cientistas, como Ludwig Wilhelmy, Gladstone, M. Berthelot e Pean de St. Giles.

Os experimentos realizados neste período constituem um marco importante no desenvolvimento do conceito de equilíbrio químico, pois deste ponto em diante, a ação das massas foi reconhecida e aceita como um fator importante no resultado de reações químicas.

Em 1864, C. M. Guldberg e P. Waage introduziram o termo “massa ativa”, que se refere essencialmente ao mesmo termo atual “concentração”. Eles aplicaram suas ideias em reações incompletas, onde afirmaram que as forças químicas são proporcionais ao produto da massa ativa dos reagentes, e o estado de equilíbrio resulta de uma igualdade das forças exercidas pelas reações opostas, ou seja, as reações direta e inversa. A influência da mecânica newtoniana aparece ao longo deste estudo inicial sobre equilíbrio químico, e a ideia de que as combinações químicas são o resultado de forças atrativas mútuas agindo entre os reagentes está implícito no termo afinidade. Embora fosse bem conhecido que a velocidade está relacionada com a força, não parece ter havido nenhuma tentativa significativa antes de 1865 para relacionar a velocidade das reações químicas com as afinidades dos reagentes.

As forças químicas implícitas na lei da ação das massas, e, portanto, os coeficientes de afinidade relacionados, não foram diretamente mensuráveis. W. Ostwald, em 1877, apontou que a razão desses coeficientes de afinidade, (o que se considera como constante de equilíbrio) pode ser calculada facilmente a partir das massas ativas presentes em condições de equilíbrio. M. Berthelot e J. Thomsen consideraram o calor desenvolvido por reações químicas como uma medida das afinidades químicas. Suas contribuições dividem-se em dois métodos: estático e dinâmico. No método estático, a força a ser medida está ligada a uma força conhecida e variável. Na condição de equilíbrio, as duas forças são iguais em magnitude, e a quantidade de força desconhecida é determinada diretamente pela observação da quantidade de força conhecida. As reações químicas, no entanto, não são passíveis de medição. No método dinâmico, a força pode ser calculada a partir da quantidade de trabalho realizado.

Tanto Berthelot quanto Thomsen postulavam que o calor desenvolvido por uma reação química era devido à operação das forças químicas e, portanto, esse calor de reação deve ser uma medida da afinidade química. Thomsen salientou ainda que a lei de Hess seguiu como consequência da lei da conservação da energia, e que o calor de reação é o resultado da diferença de energia em um sistema químico antes e depois de uma reação. Thomsen fez um grande trabalho experimental sobre os efeitos térmicos, mas seus interesses se concentravam mais na afinidade química do que no

equilíbrio químico. Esses dois cientistas são agora considerados os fundadores da termoquímica, mas também devem ser lembrados como importantes contribuintes para o desenvolvimento do conceito de equilíbrio químico.

Em 1884 J. G. van't Hoff faz uma publicação com grandes contribuições para o equilíbrio químico, que vão desde a inovação da dupla seta até sua conhecida equação, que descreve a variação da constante de equilíbrio em função da temperatura. Além disso, van't Hoff trabalhou com o conceito de lei da ação das massas de forma independente em relação aos estudos de Guldberg e Waage apoiado em um eixo diferente: com base nas velocidades das reações direta e inversa, e não pela concepção de forças opostas como era conhecido antes. Deste modo, van't Hoff postulou exatamente a explicação da natureza dinâmica do equilíbrio químico.

Em 1923, G. N. Lewis e M. Randall publicaram sua agora clássica "Termodinâmica", que foi amplamente responsável pela vasta aplicação da termodinâmica para o estudo de reações químicas e equilíbrio químico, além da introdução do conceito de energia livre de Gibbs. Lewis definiu a condição de equilíbrio como o estado de um sistema no qual a fugacidade e, portanto, a atividade relacionada de uma dada substância é a mesma em cada fase ou parte do sistema. Os conceitos de atividade e fugacidade foram concebidos para levar em conta o fato de que a ação de massa geralmente não varia linearmente com a concentração, como era assumido anteriormente (LINDAUER, 1962).

5.2.3 Perfil conceitual proposto

O pressuposto central para a preposição de um perfil conceitual segundo Mortimer, é que é possível propor, com certa parcimônia, e guardadas as singularidades de um caso e de outro, um paralelo entre a evolução histórica das teorias científicas para os conceitos e a evolução das concepções dos estudantes sobre estes conceitos no processo de ensino e aprendizagem.

A escolha dos conceitos é feita em função dos objetivos educacionais ou de pesquisa. É através da análise do percurso formativo e dos problemas de ensino e aprendizagem conhecidos que é possível delinear um escopo conceitual para o tema. Define-se no escopo quais os conceitos principais e quais os casos mais particulares de aplicação deste conceito. No caso do assunto titulação de ácidos em meio aquoso, o conceito principal é reação química, e o caso de aplicação são os equilíbrios ácido-base em meio aquoso.

O primeiro passo é estabelecer, no conjunto de conceitos, uma estrutura em

que se identifiquem os conceitos mais gerais e os mais específicos. Deste modo, identificam-se para um conceito ou mesmo para um fenômeno de interesse, os conceitos e princípios que o relacionem aos marcos teóricos da área do saber. Para tanto, deve se buscar em fontes relacionadas ao desenvolvimento histórico dos conceitos lançando mão das informações disponíveis na literatura tanto de trabalhos com foco no desenvolvimento histórico em si, quanto nos trabalhos de filosofia da química (ou de outras ciências). As informações de interesse devem representar as estruturas epistêmicas para o conceito (MORTIMER, 1996).

Ao contrário dos modelos históricos que preveem que há uma evolução contínua, no caso da reversibilidade é possível aplicar em diferentes momentos utilizando diferentes abordagens simultaneamente, visto que as leis ponderais continuam sendo válidas, e no caso da titulação são usadas para empregar um método analítico. Os métodos experimentais utilizados na titulação assumem um rendimento total da reação, e esse tipo de visão é suficiente para a ideia de equilíbrio estático, por exemplo.

Se esses conceitos que estão situados em diferentes momentos na história da química são válidos com suas devidas limitações em diferentes situações quando se aplica no caso da titulação, é possível admitir que para o conceito de reversibilidade as premissas utilizadas por Mortimer para fazer o perfil de massa, calor e temperatura também podem ser usadas para o caso de reversibilidade. Na hipótese de Mortimer, a característica fundamental de um conceito para traçar um perfil conceitual é que existem diferentes concepções desse conceito do ponto de vista histórico que podem ser utilizados sem entender que foram ultrapassadas por outro. Como a evolução histórica do princípio de reversibilidade segue o mesmo padrão: apresentando três contornos, os quais podem ser empregados em situações diferentes, também é possível pensar no perfil conceitual para reversibilidade.

Assim, tomando o conjunto de conceitos identificados para as titulações, e a breve análise da evolução histórica sobre reversibilidade e reações químicas, propõe-se um perfil conceitual composto de três elementos:

- Um que não leva em consideração a reversibilidade, denominado estequiométrico;
- Um segundo chamado de equilíbrio estático;
- E o terceiro levando em conta a reversibilidade denominado equilíbrio dinâmico.

Segundo o perfil conceitual estequiométrico, a curva de titulação de um ácido contra uma base apresenta a variação da composição do sistema na medida em que é adicionado um dos reagentes. A escala de pH mostra qual a quantidade de ácido que ainda não reagiu até o ponto de equivalência. Após esse ponto, está mais relacionado ao excesso de hidróxido adicionado. O ponto de equivalência indica o final da titulação e é o ponto onde todo o ácido foi consumido, ou, se há algum ácido remanescente, este é desprezível. Além disso, não há diferença entre ácidos fracos e fortes neste perfil.

Do ponto de vista do equilíbrio estático, a curva de titulação mostra a variação da composição do sistema quando é adicionado um dos reagentes em que a reação prossegue após o ponto de equivalência e ocorre apenas o acúmulo do excesso de um dos reagentes. A curva de titulação representa um processo unidirecional determinado pela adição de base. Se perturbado pela adição de mais ácido, o sistema consome o restante de hidróxido existente, mas o ácido não é regenerado, ou seja, qualquer ácido após o ponto de equivalência é considerado excesso. Neste perfil, há diferença entre ácidos fortes e fracos, porém, isto não interfere no rendimento da reação, resultando apenas em diferenças no perfil da curva e no pH final atingido. Mantém neste elemento do perfil a ideia de fim de reação.

Já do ponto de vista do equilíbrio dinâmico, ou seja, reversível, a curva de titulação mostra a composição do sistema ácido-base na medida em que é adicionado um dos reagentes. Para os ácidos fracos, a curva representa a perturbação e reestabelecimento de um novo ponto de equilíbrio dado para razões distintas entre reagentes e produtos, a cada adição de base. No caso de ácidos fortes, a curva representa apenas o consumo dos reagentes, já que, neste caso, prevalece o equilíbrio de autoionização da água.

5.3 COMPETÊNCIA REPRESENTACIONAL

A ciência se vale de um vasto repertório de representações visuais para expressar e comunicar conceitos. Essas representações são usadas para exibir dados, organizar informações complexas e promover uma compreensão compartilhada dos fenômenos científicos, apontando as competências representacionais como um caminho de descrever como uma pessoa usa uma variedade de percepções da realidade para fazer sentido e buscar a compreensão de conceitos científicos (DANIEL et al., 2018).

Dentro da ciência, há muitas formas de comunicação visual, como gráficos, tabelas, modelos, diagramas e simulações, e para aqueles que ensinam, compreender estas formas de visualizações está se tornando cada vez mais crítico para ajudar os que aprendem a utilizarem-nas de forma efetiva e, para isso, é necessário compreender melhor o papel destas representações. Gilbert (2005) relata que representações são ferramentas úteis que organizam informações complexas, exibem dados e elaboram tópicos complexos de maneiras que tornam a informação mais fácil de compreender, facilitando a comunicação de conceitos científicos abstratos que, quando escritos em longos textos, pode levar a equívocos.

Daniel et al. (2018) relatam a existência de dois tipos principais de representações: as externas (aquelas visualmente perceptíveis) e as internas (aquelas que permanecem no raciocínio). As classificações das imagens e representações verbais construídas por estudantes, ou seja, as externas, podem ser usadas como ferramentas para ajudar a retratar as representações internas. Então, entender a natureza e o papel das representações externas, principalmente em áreas da ciência, torna-se um componente significativo do intelecto dentro desse domínio para assimilação e aprendizagem. Assim sendo, uma estrutura que captura e explica a aprendizagem científica através de visualizações desenvolvidas por experiências externas é a competência representacional.

Gilbert (2005) aponta que as representações podem ser expressas através de cinco formas externas: concretas, verbais, simbólicas, visuais e gestuais, nas quais acarretam a compreensão de conceitos científicos ao representar o processo de fluência dentro destas. Essas visualizações podem melhorar a aprendizagem a partir de textos, facilitar a resolução de problemas e simplificar conexões entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios (COOK, 2006). Porém, estas representações devem ser compreendidas com precisão, pois em certos casos as exibições visuais podem ser enganosas e criar dificuldades adicionais quanto à interpretação, como quando estudantes usam reproduções literais de um fenômeno (ANDERSON; LEINHARDT, 2002).

Assim, seja pela sua relevância na construção do conhecimento científico, seja pelos desafios de ensino e aprendizagem a elas associados, às múltiplas formas de representação de conceitos científicos tem um papel central no ensino de ciências. É razoável considerar, portanto, que um objetivo de ensino e aprendizagem importante é o desenvolvimento das habilidades envolvidas na atribuição de significados a estas

representações.

A partir de seus estudos etnográficos com químicos aprendizes e especialistas, em suas proposições originais, Kozma e Russell definiram que competência representacional é uma maneira de descrever como uma pessoa usa uma variedade de percepções da realidade para dar sentido e comunicar a compreensão através de visualizações externas (KOZMA; RUSSELL, 2005). Em seus estudos, os autores propuseram uma escala que leva em conta o seguinte conjunto de habilidades:

- Usar representações para descrever fenômenos químicos observáveis em termos de processos moleculares subjacentes.
- Criar ou selecionar uma representação e explicar por que ela é apropriada para uma finalidade específica.
- Usar palavras para identificar e analisar recursos de uma representação particular (como um pico em um gráfico de coordenadas) e padrões de recursos (como o comportamento de moléculas em uma animação).
- Descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de maneiras diferentes e explicar como uma representação pode dizer algo diferente ou algo que não pode ser explicado com outra.
- Fazer conexões através de diferentes representações, transitar por recursos de um tipo de representação para os de outro e explicar a relação entre eles.
- Assumir a posição epistemológica sobre o que as representações exprimem, mas sabendo que são distintas dos fenômenos observados.
- Usar representações e suas características em situações sociais como evidência para apoiar alegações, fazer inferências e fazer previsões sobre fenômenos químicos observáveis.

Kozma e Russell (2005) assumem que a aquisição dessas habilidades segue uma trajetória de desenvolvimento pessoal, complementado por interações com recursos materiais e sociais no ambiente, a qual incorpora uma noção *vygotskiana* de aprendizagem.

Os autores propuseram cinco níveis de competência representacional, que variam desde o uso de representações mais simples, com uso simbólico, sintático e semântico de representações, até um uso especializado de representações para fins reflexivos e retóricos, sendo eles:

Nível 1: Representação como descrição (a representação é isomórfica do fenômeno em um determinado momento apenas com base em suas características físicas).

Nível 2: Primeiras habilidades simbólicas (a representação tem como base suas características físicas, mas também inclui alguns elementos simbólicos, como o uso de setas para representar noções dinâmicas).

Nível 3: Uso sintático de representações formais (a representação do fenômeno tem como base as características físicas observadas ou processos subjacentes não observados, mesmo que possam não ser cientificamente precisos, a pessoa é capaz de usar corretamente representações formais, mas se concentra na sintaxe de uso, ao invés do significado da representação).

Nível 4: Uso semântico das representações formais (a representação do fenômeno físico, processos subjacentes e não observáveis é feita corretamente onde a pessoa é capaz de usar um sistema formal de representação, símbolos, baseado em regras sintáticas e em um significado relativo a algum fenômeno físico, fazendo conexões entre duas representações diferentes ou transformando uma representação em outra com base no significado e em suas características para explicar um fenômeno, resolver um problema ou fazer uma previsão).

Nível 5: Uso retórico e reflexivo das representações (o indivíduo é capaz de explicar um fenômeno físico utilizando uma ou mais representações para apontar a relação entre propriedades físicas e processos subjacentes, podendo selecionar ou construir a representação mais apropriada para uma situação específica e explicar detalhadamente por que essa representação é mais apropriada que outra).

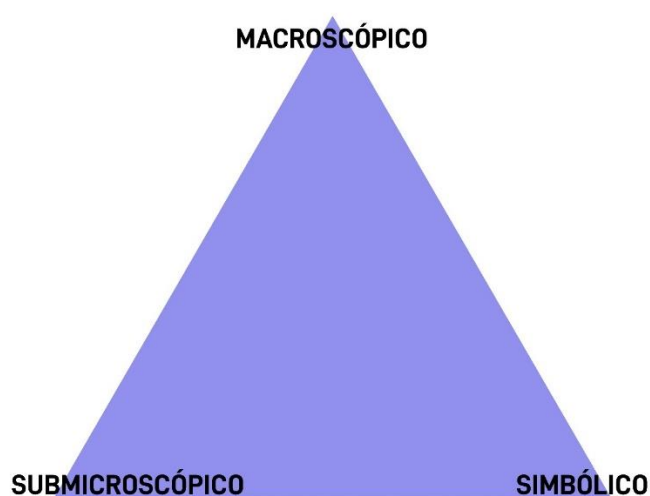
A hipótese de alguns autores é que, ao desenvolver sua competência representacional, o aprendiz pode transitar mais facilmente entre representações externas e internas, o que é acompanhado de avanços no desempenho de tarefas visuais, de memória e de resolução de problemas (BOTZER; REINER, 2005).

A competência representacional poderia, então, ser investigada como um resultado, condição, ou estágio de desenvolvimento, relacionado à compreensão de um corpo conceitual, por meio do estudo das interações dos aprendizes com o repertório representacional associado ao corpo conceitual (CLEMENT et al., 2005). Um alto nível de competência representacional não é alcançado repentinamente, visto que os alunos carregam com si muitas concepções sobre diferentes tópicos que podem influenciar sua compreensão de como internalizar, interpretar e interagir com visualizações externas, além de outros aspectos a serem considerados, como o tipo de conteúdo e a dificuldade da tarefa (MEIR et al., 2007).

No caso da química, o conhecimento químico organizado em um modelo triplo

é encontrado nos primeiros trabalhos de Johnstone (1982). A organização inicial de Johnstone continha três dimensões: descritiva e funcional, representacional e explicativa. Mas, posteriormente, foi reformulado e acabou se tornando o que ficou conhecido como triângulo de Johnstone, um modelo contendo três dimensões: macroscópica, submicroscópica e simbólica ou representacional, conforme mostra a Figura 3 (JOHNSTONE, 1991). Em vários de seus trabalhos é enfatizada a igualdade das três dimensões, mas acompanhada do conhecimento de que todos os indivíduos não precisam usar todas elas.

Figura 3 – Triângulo de Johnstone



Fonte: Johnstone (1991) com tradução do autor

Maroo e Johnson (2018) consideram este modelo triplo como sendo uma ferramenta válida para discutir acerca da competência representacional ao levar em conta as alegações de Johnstone, considerando a dimensão macroscópica como algo visível (parte “observável” através dos sentidos, descrita pelas propriedades como cor, densidade, odor, etc.); dimensão submicroscópica como algo não visível (seria a explicação dos fenômenos observados na primeira dimensão ao utilizar-se conceitos mais abstratos, como átomos, moléculas, íons, ligações químicas, etc.); e dimensão simbólica que seriam ferramentas utilizadas para explicar as dimensões macroscópicas e submicroscópicas (representação das substâncias e transformações químicas por meio de equações e símbolos convencionados pela comunidade científica). Com isso, os autores complementam ao determinar que as linhas conectando as três dimensões de conhecimento no triângulo são as mais elevadas conexões que os indivíduos podem fazer de um ponto a outro e, ainda, indivíduos que estão no mais alto nível de competência representacional são capazes de conectar os

três pontos de conhecimento e explorar o centro do triângulo quando possível.

Assim, aplicando as ideias de Kozma e Russell à proposição de Alex Johnstone, podemos considerar que a integração entre as dimensões representacionais dos conceitos químicos será acompanhada do desenvolvimento da competência representacional. O repertório representacional envolvido será discutido no contexto da seção Resultados e Discussão.

5.3.1 Uso dos simuladores com vídeos

Alguns professores podem não estar bem preparados para a receptividade das oportunidades ou pelo menos cientes dessas novas abordagens e ferramentas de aprendizado quanto ao benefício que podem promover em seu ensino (WAIGHT et al., 2013). Por isso, de Jong e van Joolingen (1998) e Rutten, van Joolingen e Veen (2012) ressaltam a importância da orientação por parte dos professores para que as simulações sejam mais eficazes, já que os efeitos das simulações computacionais no ensino de ciências são causados pela interação entre a simulação, a natureza do conteúdo, o aluno e o professor.

Sabendo disso, é coerente relacionar a simulação como uma nova abordagem e ferramenta de aprendizagem e de competência representacional, conceito já definido por Kozma e Russell (2005) que beneficiaria ensinando e aprendendo, ao adicionar um desenvolvimento que permite que os professores e alunos se envolvam em mais significativas reflexões, promovendo as visualizações como um caminho para a compreensão científica, acarretando até mesmo estratégias instrucionais para a sala de aula. Os alunos também devem ser expostos e orientados para facilitar a interpretação de modelos baseados em computador, sendo evidenciados a níveis submicroscópicos e simbólicos de compreensão, à medida que os professores tentam implementar abordagens inovadoras e estes as refinem com base em seu conhecimento e experiência, para então ajudar a entender os mecanismos precisos através dos quais as ferramentas são implementadas e apropriadas, abordando as múltiplas camadas de conhecimento (WAIGHT et al., 2013).

As simulações tornam possível trabalhar com múltiplas representações, ao mesmo tempo, e na mesma tela, permitindo a integração de várias formas de representação. Com relação a essa característica representacional, as simulações permitem a visualização de processos em nível microscópico, como, por exemplo, em química, possibilitando o desenvolvimento do pensamento em nível molecular e, ao

mesmo tempo, permitindo sua visualização em nível microscópico e o estabelecimento de relações com observações macroscópicas (ÖZMEN; DEMIRÇIOĞLU; COLL, 2007; LIU; ANDRE; GREENBOWE, 2008).

Nestas simulações, os estudantes manipulam variáveis; observam resultados; e analisam tabelas, gráficos e equações para identificar e descrever os dados (CONFREY; DOERR, 1994). Usado desta forma, permite a exploração de questões como “o que acontece se...?”, ao modificar os parâmetros (DOERR, 1997). Porém, ainda é necessário um desenvolvimento cauteloso e estudado, pois caso o contrário pode levar os estudantes a cometerem equívocos, por exemplo, se entenderem animações e imagens de conceitos abstratos de maneira literal. Dependendo dos valores atribuídos a essas mesmas variáveis, a simulação poderia, portanto, gerar modelos que não representassem processos reais. Por isso a importância de um maior estudo das questões epistemológicas sobre simulações educacionais, não se centrando fundamentalmente apenas nos aspectos cognitivos associados ao seu uso. (GRECA; SEOANE; ARRIASSECQ, 2014).

Partindo-se deste pressuposto epistemológico e pensando em todas as vantagens ao se utilizar a simulação no ensino de ciências, Freitas et al. (2013) apontam especificamente as dificuldades por parte dos alunos quanto ao ensino de química, já que estes a encaram de forma maçante. Para isto, Silva et al. (2012) sugerem os simuladores baseados em vídeo como uma alternativa para superar estas dificuldades. O uso efetivo do vídeo como uma ferramenta educacional é aprimorado quando os instrutores consideram três elementos: como gerenciar a carga cognitiva do vídeo; como maximizar o engajamento do aluno com o vídeo; e como promover a aprendizagem ativa do vídeo (BRAME, 2016).

A mesma autora (BRAME, 2016) sugere alguns passos dentro dos três elementos para formar uma base sólida para desenvolver e usar o vídeo como uma ferramenta educacional efetiva, sendo alguns deles:

- Para carga cognitiva: destacar informações importantes; combinar modalidades diferentes usando canais auditivos e visuais para transmitir informações relevantes; fazer vídeos de curta duração (no máximo 6 minutos); não usar música ou complexos planos de fundo.
- Para engajamento estudantil: manter vídeos breves; usar linguagem de conversação; falar relativamente rápido e com entusiasmo; criar um pacote de vídeos para enfatizar a relevância do assunto e explicar com situações cotidianas.

- Para aprendizagem ativa: criar questões interativas com o vídeo; usar recursos interativos que dão o controle aos alunos; usar questões guiadas.

Em boa medida, estas recomendações são consonantes com a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia proposta por Richard Mayer. Segundo Mayer (2005), as pessoas aprofundam mais os seus conhecimentos a partir de imagens e palavras do que apenas de palavras isoladas, pois caso um professor utilize apenas palavras, os alunos terão maior dificuldade em recordar o que foi dito pouco tempo após a informação ter sido transmitida. Naturalmente que adicionar imagens a palavras não garantem a aprendizagem, mas sim que a apresentação multimídia seja apropriada e pensada ao público a que se dirige, de acordo com o processo cognitivo de cada indivíduo conforme fatores cognitivos, ambientais, de estilos de aprendizagem e do uso de recursos que compõem o processo de ensino-aprendizagem. A aprendizagem multimídia de Mayer (2005) assenta-se em três pressupostos:

1. *O pressuposto do canal duplo*, no qual o ser humano possui canais de processamento de informação separados (visual/pictórico e auditivo/verbal);
2. *O pressuposto da capacidade limitada* (limitação no processamento de informação em cada um dos canais);
3. *O pressuposto de aprendizagem ativa* no qual a aprendizagem requer um conjunto coordenado de processos cognitivos essenciais em ambos os canais.

O trabalho central da aprendizagem multimídia ocorre na memória de curto prazo, que é usada temporariamente para manter e manipular o conhecimento na consciência ativamente. A memória de longo prazo corresponde ao conhecimento prévio do aluno. Esta memória pode conter grandes quantidades de conhecimento por longos períodos, mas para que este continue ativo, deve ser trazida de volta para a memória de curto prazo (MAYER, 2009).

5.3.1.1 Simuladores com vídeos - considerações gerais e experiência prévia do grupo de pesquisa

Via de regra, simuladores tradicionais baseiam-se em calculadores de concentrações do sistema titulado em diferentes pontos do andamento da titulação. Os cálculos são efetuados sempre a partir de modelos conhecidos sobre o fenômeno simulado, e, assim, definem os limites de exploração conceitual nestes *softwares*. Nos mais simples, apenas uma representação numérica é apresentada. Nos mais

sofisticados, outras representações visuais podem ser empregadas. Quanto aos modos de interação, na maior parte dos casos não há simulação do processo de obtenção dos dados experimentais em si. Quando este recurso é oferecido, normalmente os dados são calculados e atribuído um fator aleatório que simula desvios de dados experimentais. Tais dados podem então ser empregados como parâmetros para geração de imagens estáticas ou animações que representam os fenômenos simulados.

Em contraponto, nos simuladores baseados em vídeo, as representações calculadas são substituídas por registros do fenômeno simulado. Isto traz implicações importantes:

- O número de casos simulados é muito menor, uma vez que cada caso depende de um registro;
- A integração entre a dimensão fenomenológica e as demais é direta, uma vez que não requer a interpretação de elementos pictóricos ou gráficos;
- A percepção de elementos tridimensionais da cena é real, como numa fotografia;
- A tomada de dados ocorre a partir de leituras no vídeo, e não da geração de dados calculados;
- O tempo no processo simulado assume outros sentidos. No caso do uso de vídeo, a linha do tempo passa a ser o principal elemento conector entre os conceitos relacionados ao fenômeno simulado e sua representação, tomando o lugar da calculadora baseada em modelos teóricos;
- O enquadramento da cena experimental simulada, considerando três abordagens: plano distante, apresentando todos os elementos experimentais, visão segmentada dos elementos, não simultânea; e visão simultânea dos elementos. Os simuladores por meio de vídeos podem empregar as três abordagens.

Tendo em vista estas considerações, os aportes do presente estudo e as experiências prévias do grupo de pesquisa com este tipo de simulação, permite definir três tipos de vídeos, cada qual relacionado a um tipo de simulação:

Simulação simples de cenários: neste caso, as possibilidades de simulação são editadas em sequência na mesma linha de tempo. Por meio de uma interface interativa, o vídeo é anotado e inclui uma navegação que permite saltos na linha do

tempo até o ponto de exibição do fenômeno desejado. Este simulador foi empregado para o fenômeno de fototropismo, em que 9 condições experimentais foram exploradas para a interpretação qualitativa (MACEDO, 2018).

Simulação de cenários com leitura de dados na tela: nestes simuladores o mesmo princípio do caso anterior é aplicado. Porém, em cada caso, é possível fazer uma leitura de dados experimentais. Ressalta-se aqui uma questão fundamental no caso dos simuladores em vídeo: o que de fato foi simulado, se o registro é de um experimento que ocorreu, e se a leitura dos dados na tela também ocorre. Considera-se aqui que parte dos procedimentos experimentais de aquisição de dados são simulados, mas não as informações experimentais em si. Este simulador foi empregado para experimentos de pilhas de Daniell, sendo criados 64 vídeos diferentes, com exploração mediada por interface adjunta ao vídeo, e não sobre o vídeo como no caso anterior (BOZZI, 2018).

Simulador de cenários com leitura em tela em diferentes modos de exploração do vídeo. Este é o caso do presente trabalho. A partir do modelo anterior, cada titulação possui um vídeo dedicado, a navegação é adjunta ao vídeo e, adicionalmente, diferentes modos de uso do vídeo foram considerados e serão discutidos na seção Resultados e Discussão.

6 ABORDAGENS METODOLÓGICAS

O percurso metodológico para o desenvolvimento e estudo do papel educacional do simulador objeto deste trabalho partiu do levantamento de abordagens descritas na literatura, bem como de evidências empíricas obtidas em um estudo prévio realizado com o simulador de curvas de titulação CurTiPot (GUTZ, 2020). Os estudos prévios estão descritos em seção própria no capítulo dedicado aos Resultados e Discussão, atendo-se aqui apenas a indicar suas contribuições. A partir destes elementos, foi possível estabelecer metodologias para desenvolver o simulador baseado em vídeos, inseri-lo em atividades de ensino, e testar suas potencialidades numa situação de ensino.

6.1 SIMULADORES NO ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA: CONTRIBUIÇÕES DA LITERATURA

No ensino de ciências, os experimentos de laboratório são componentes curriculares comuns nos sistemas de ensino básico e superior. Entre os muitos objetivos de aprendizagem que podem ser alcançados por meio de atividades experimentais, estão aprender habilidades de laboratório, desenvolver o raciocínio crítico e compreender os princípios elementares do conhecimento científico.

No entanto, os educadores de ciências podem enfrentar várias limitações ao adotar experimentos como parte de seu plano de aula. Dependendo do tempo, recursos, infraestrutura e pessoal disponível, mesmo experimentos simples podem não ser viáveis. Essas questões podem aumentar em complexidade com a desigualdade social e cultural. Por fim, deve-se considerar as restrições relacionadas ao contexto, como as impostas pela pandemia do COVID-19. Seja como estratégias para contornar e mitigar esses obstáculos, seja como atividades complementares aos experimentos, as simulações são ativos valiosos no repertório didático do educador de ciências.

Para o ensino de química, nos últimos vinte anos, simuladores bem elaborados foram construídos e disponibilizados em repositórios completos (CARPENTER; MOORE; PERKINS, 2016). Do campo da pesquisa em educação científica, é possível destacar o progresso no ensino e aprendizagem, especialmente a crescente disponibilidade de *softwares* com recursos multimídia interativos para criar laboratórios virtuais realistas que geram dados experimentais simulados com precisão (SANGER; GREENBOWE, 2010).

Desde a última década, o uso de vídeos para ensinar procedimentos laboratoriais tem sido impulsionado pela disseminação de gravações de alta qualidade feitas com telefones celulares (BENEDICT; PENCE, 2012). Efetivamente, a crescente relação qualidade/custo das câmeras de telefones celulares inspirou a comunidade educacional a relatar atividades de ensino usando esses dispositivos como substitutos práticos e econômicos para equipamentos de laboratório (KUNTZLEMAN; JACOBSON, 2016). Em contraste, para simuladores de computador, além dos avanços de interface e gráficos, o princípio central permanece inalterado: renderização visual de cenários calculados a partir dos dados obtidos pelos usuários.

Em relação às suas funções educacionais, vídeos e simuladores são frequentemente considerados recursos complementares para alcançar objetivos educacionais, tais como: visualizar e ilustrar procedimentos técnicos de laboratório, projetar experimentos, análise de dados, modelagem, entre outros. Em ambos os casos, como em qualquer recurso educacional, os resultados de aprendizagem esperados de vídeos e simuladores são intrinsecamente influenciados pela abordagem metodológica que organiza o ambiente de aprendizagem (GRECA; SEOANE; ARRIASSECQ, 2014). Nesse sentido, a interface do usuário é um recurso crítico a ser considerado.

A interface de simuladores baseados em vídeo permite a visualização dinâmica de centenas de resultados experimentais (MAYER, 2014). No entanto, criar um simulador de alta qualidade, com gráficos realistas e amplas possibilidades de cálculos, requer uma equipe de programação dedicada ou uma curva de aprendizado bastante íngreme para o professor de ciências. Ambas as condições se somam aos desafios relevantes ao professor, seja como limitação orçamentária ou de carga horária.

Produzir um vídeo real para o ensino de ciências é mais simples, barato e rápido do que fazer seu equivalente em um simulador. No entanto, a interface de um vídeo educacional típico é, muitas vezes, confinada ao comando *play-pause* e *timeline*. Esses recursos, além da duração do vídeo, são particularmente relevantes para fins de ensino. Os alunos podem ajustar a carga de informações fornecida no formato de vídeo pausando ou assistindo novamente a partes mais complexas, mas muitas vezes esses recursos podem ser insuficientes. Contudo, mesmo vídeos premiados, muito bem planejados e com curadoria, muitas vezes se concentram apenas em ilustrar reações químicas que não podem ser realizadas no laboratório

comum da escola. Até certo ponto, esses limites podem ser superados com o recurso de gravação de vídeo 3D e anotações no vídeo. Ainda assim, o primeiro requer investimentos financeiros em dispositivos de gravação específicos e experiência em edição de vídeo, e o segundo envolve acesso e treinamento para operar ferramentas de anotação de vídeo sob medida (CRESSWELL et al., 2019).

6.2 SIMULADORES DE TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE: CONTRIBUIÇÕES DE UM ESTUDO PRÉVIO

O estudo detalhado está descrito no capítulo Resultados e Discussão. Em resumo, o estudo envolveu 43 alunos do segundo semestre do curso de química de uma disciplina introdutória de química analítica do Instituto de Química da USP e teve uma duração aproximada de 150 minutos. A atividade foi dividida em etapas: pré-teste, familiarização com o simulador, simulação de titulações e pós-teste. O registro de produção dos alunos foi interpretado e categorizado por meio de escalas semiquantitativas relacionadas à correção conceitual e ao grau de desenvolvimento da competência representacional.

Apresentou-se uma proposta de abordagem acerca de equilíbrios químicos baseada na simulação de experimentos de titulação ácido-base. Esse conceito foi escolhido por ser considerado difícil de ensinar e aprender, o que pode ser atribuído à sua natureza conceitual e à forma como é tratado no ensino. A hipótese de trabalho foi que o uso do simulador computacional é um recurso conveniente para proporcionar oportunidades de aprendizagem que envolvam a articulação de diferentes modos representacionais ao conceito de equilíbrio químico, o que favoreceria o desenvolvimento da competência representacional.

Aliados as informações reportadas na literatura, os resultados obtidos neste estudo forneceram insumos para um estudo mais abrangente, agora inserindo vídeos interativos no simulador. Ademais, os estudos prévios indicam ser válida a premissa de que a aprendizagem do equilíbrio ácido-base no contexto da titulação está relacionada à competência representacional de estudantes ao interpretar as curvas de titulação. Ou seja, indicam ser possível apoiar este estudo na relação entre a articulação do repertório representacional do conteúdo titulação, e a aprendizagem dos conceitos do equilíbrio químico ácido-base de Arrhenius.

No plano da produção de atividades com os simuladores, os estudos prévios indicam também a centralidade das curvas de titulação como representações a serem

exploradas como elementos articuladores entre os registros em vídeo do experimento e sua associação com os conceitos componentes do perfil conceitual proposto.

Assim, a partir destas informações, foram propostas as abordagens para produção de vídeos, inserção em atividades, e estudo do papel educacional em situações de ensino envolvendo um maior número de estudantes.

6.2.1 Produção dos vídeos adequados para a proposta de simulação deste trabalho

A produção dos vídeos utilizados neste trabalho pode ser resumida nas seguintes etapas:

1. Seleção dos experimentos para a simulação baseada em vídeo;
2. Decidir o que mostrar na simulação baseada em vídeo;
3. Montagem experimental;
4. Montagem do *setup* da gravação;
5. Execução e gravação do experimento;
6. Edição e sincronização do vídeo;
7. Disponibilização do vídeo em plataformas online
8. Exemplo: como criar uma simulação de experimento simples com os vídeos.

6.2.1.1 Seleção dos experimentos para a simulação baseada em vídeo

Neste caso, a principal motivação para usar simulações de titulação foi fornecer alternativas *online* para experimentos que não podem ser realizados presencialmente. Assim, dados simulados foram utilizados para subsidiar a discussão sobre os seguintes conceitos: curva de titulação, escala de pH, estequiometria, reversibilidade de reações químicas, ionização e equilíbrio ácido-base de Arrhenius, pontos finais de reação e titulação. Deste modo, foi estipulado que dados simulados adequados poderiam ser gerados a partir de vídeos mostrando titulações de quatro ácidos de Arrhenius representativos (acético, clorídrico, sulfúrico e fosfórico) *versus* hidróxido de sódio, uma base forte de Arrhenius. Para cada ácido foram selecionados dois experimentos: com e sem eletrodo medidor de pH. No primeiro caso, o pH do sistema de reação é estimado por comparação visual com uma escala de referência, e no segundo, por leituras diretas do medidor de pH (pHmetro). O extrato de repolho roxo foi utilizado como indicador visual por ser uma alternativa barata, sustentável e não tóxica aos indicadores sintéticos. Além disso, fornece mudanças de cor visualmente

atraentes em toda a escala de pH (SILVA et al., 2009).

6.2.1.2 Decidir o que mostrar na simulação baseada em vídeo

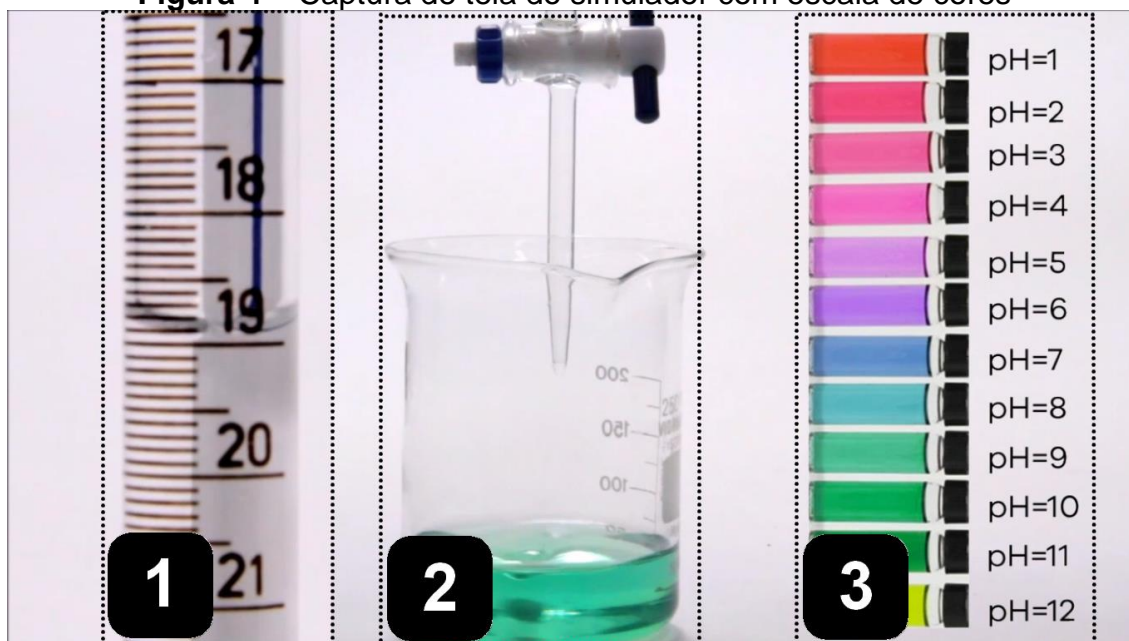
Uma vez definido o experimento, antes de filmar os vídeos, é necessário traduzir os parâmetros educacionais em orientações para a montagem das filmagens. Como as diretrizes técnicas para experimentos de filmagem já estão bem documentadas, como apontado por Vachon (2018), a discussão aqui se concentrará na justificativa para a produção de mídia para simulações baseadas em vídeo.

Ao gravar vídeos educativos de técnicas experimentais, estabelece-se um compromisso entre para onde se deve olhar durante o experimento e o que se deve aprender assistindo a essas tomadas. No caso do vídeo tradicional destinado a descrever procedimentos e ilustrar conceitos, esse compromisso é alcançado alternando os enquadramentos das câmeras ao longo da linha do tempo do vídeo. Assim, ao ajustar a duração da cena e o enquadramento da câmera, os objetivos educacionais são traduzidos em elementos da linguagem do vídeo e, ainda, em especificações de filmagem.

Diferentemente do vídeo típico, as simulações baseadas em vídeo mostram simultaneamente todos os pontos aos quais o especialista presta atenção durante a realização de um experimento. Assim, em simulações baseadas em vídeo, os objetivos educacionais são traduzidos em especificações de filmagem apenas por ajustes de enquadramento da câmera. Seguindo esse princípio, os enquadramentos de câmera compõem os elementos do repertório representacional do vídeo. Estes são integrados pela sincronicidade na linha do tempo e pelo recurso intrínseco de reprodução/pausa de qualquer *player* de vídeo (MAYER, 2014).

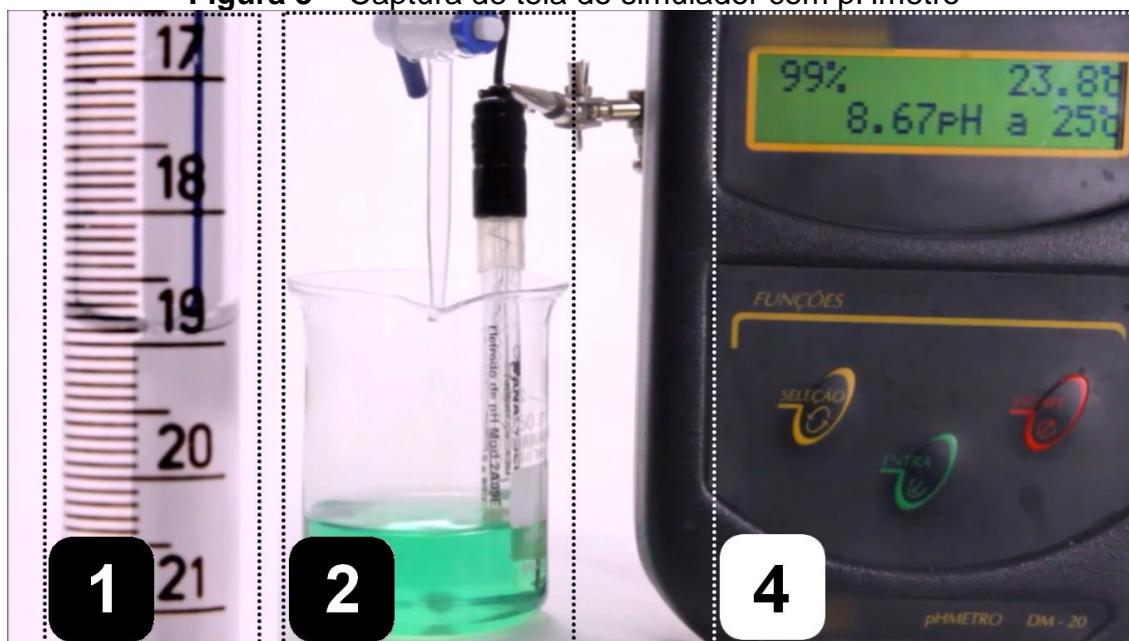
No caso particular do ensino dos princípios químicos das titulações ácido-base, os elementos escolhidos para a composição do vídeo e seus respectivos enquadramentos de câmera podem ser vistos nas Figuras 4 e 5, em que é possível observar o menisco descendo pela bureta (1 nas figuras), o recipiente de reação (2 nas figuras), mostrando o sistema de reação em um béquer e a ponta da bureta e o aparelho de medição de pH (escala visual - 3 na Figura 4 ou pHmetro - 4 na Figura 5).

Figura 4 – Captura de tela do simulador com escala de cores



A composição do vídeo e seus respectivos enquadramentos de câmera no caso da medição de pH por comparação visual: o menisco descendo pela bureta (1), o recipiente de reação (2) mostrando o sistema de reação em um béquer e a ponta da bureta, a medição de pH (escala visual - 3).

Figura 5 – Captura de tela do simulador com pHmetro



A composição do vídeo e seus respectivos enquadramentos de câmera no caso da medição de pH por pHmetro: o menisco descendo pela bureta (1), o recipiente de reação (2) mostrando o sistema de reação em um béquer e a ponta da bureta, o aparelho de medição de pH (4).

6.2.1.3 Montagem experimental

A montagem experimental para realizar as titulações ácido-base foi elaborada da seguinte maneira:

- Recipiente de reação: um béquer de 250 mL, em vez de um erlenmeyer, pois o béquer fornece uma visão clara das mudanças visuais do sistema (ou seja, cor da

solução) enquanto mostra a ponta da bureta durante o experimento, além de permitir usar o mesmo tipo de recipiente para ambos os tipos de experimentos (com e sem o medidor de pH);

- Bureta: uma bureta de 50 mL presa em sua parte superior com uma garra, e esta presa a um suporte universal;
- Agitação: um agitador magnético plano foi colocado sob uma folha de papel branco. Embora não seja obrigatório, essa configuração melhorou a qualidade do vídeo e eliminou elementos visuais irrelevantes;
- Medições de pH: foi utilizado um pHmetro com uma tela grande para facilitar a visualização das medidas mostradas no visor;
- Fiação: evitou-se mostrar fios desnecessários na cena. Foi empregado um suporte de solda com garras para manter os fios fora de vista.

Essa montagem está mostrada na Figura 6.

Figura 6 – Montagem experimental



Aparato experimental empregado na produção dos vídeos: montagem da bureta (à esquerda) e arranjo para o sistema reacional e o pHmetro. O agitador magnético foi mantido sob o fundo de papel (região pontilhada esvanecida).

6.2.1.4 Montagem do *setup* da gravação

Foram realizadas gravações de tomadas independentes para cada enquadramento da câmera, facilitando assim o trabalho de edição. Para as captações foram usadas as seguintes condições:

- Câmera: a filmagem foi gravada com uma câmera DSLR (*digital single-lens reflex*) equipada com lente 18-55 mm acoplada a um tripé (filmagem de reação) ou de mão (filmagem do menisco da bureta);
- Cenário: foi utilizado papel liso, opaco e branco;
- Iluminação: deve-se encontrar um equilíbrio entre clareza e evitar o reflexo das vidrarias. No laboratório, foram utilizadas três lâmpadas fluorescentes compactas de 60 *watts* equipadas com difusores de tecido suave, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Momento da gravação da tomada da bureta



Condições empregadas na captação das imagens do vídeo.

6.2.1.5 Execução e gravação do experimento

Com exceção do extrato de repolho roxo, todas as soluções foram preparadas a partir de reagentes concentrados de grau analítico seguindo recomendações de segurança e padronização. Essas soluções foram preparadas da seguinte forma: Soluções ácidas: 1 L de soluções 0,1 mol/L de cada ácido foram preparados na hora a partir da diluição direta dos reagentes concentrados em água destilada, utilizando

balões volumétricos de 1000 mL. Foram utilizadas as seguintes quantidades: ácido acético (6,0 mL), ácido clorídrico (8,5 mL), ácido sulfúrico (5,3 mL) e ácido fosfórico (11,5 mL);

Solução de hidróxido de sódio: 1 L de solução foi preparada dissolvendo 0,4 g de lentilhas de NaOH de grau analítico em 1 L de água destilada. Antes do uso, esta solução foi padronizada com hidrogenoftalato de potássio de grau analítico, resultando em uma concentração real de 0,0996 mol/L;

Solução indicadora de extrato de repolho roxo: foi preparada cortando pedaços de folhas de um repolho roxo de tamanho médio (~800 g), transferindo para um liquidificador de cozinha de 2 L, adicionando água quente (~70°C) suficiente para cobrir a massa vegetal e agitado por 5 minutos. A mistura passou por uma peneira grossa de cozinha e o filtrado foi retirado e transferido para um filtro de café para obter ~400 mL de uma solução transparente púrpura escura; (SILVA et al., 2009).

Titulações: A bureta de 50 mL foi completada com a solução padronizada de NaOH 0,1 mol/L. Foi adicionado 10 mL do extrato de repolho roxo ao béquer, que estava sobre o agitador magnético (o agitador pode estar sob o papel branco). Além disso, foi adicionada também ao béquer 15 mL da solução ácida, 30 mL de água destilada para aumentar o volume e a barra magnética. A torneira da bureta então foi aberta, dando início à titulação. O fluxo de gotejamento foi ajustado para um tempo total de titulação (até esgotar o volume total da bureta) de cerca de 5 minutos. No caso das simulações, considera-se a precisão nominal da bureta de 0,05 mL.

6.2.1.6 Edição e sincronização do vídeo

Foi utilizado o *software* de edição de vídeo gratuito *Lightworks* versão 14.5.0. Durante a gravação, como foram realizadas diferentes tomadas, e a cada 5 segundos era falado o volume da bureta para facilitar a sincronização dos vídeos da bureta e do sistema reacional. Na edição foi adotada a mesma composição para todos os vídeos: béquer, bureta e medidor de pH. Foi realizada uma correção de cores de modo a tornar o fundo o menos perceptível possível, além de borrar a marca do medidor de pH. Para os experimentos sem o pHmetro, foi empregada uma imagem de uma escala de cores de pH na área vazia deixada na filmagem. Esta imagem foi editada antecipadamente no *software* gratuito de edição de imagens *PhotoFiltre Studio* versão 6.5.3. Por fim, a faixa de áudio foi removida para minimizar a carga cognitiva do vídeo e este foi exportado no formato mp4.

6.2.1.7 Disponibilização do vídeo em plataformas *online*

Os vídeos estão disponíveis nas plataformas *YouTube* e e-Aulas USP e podem ser acessados nos seguintes endereços:

YouTube:

1. Ácido acético (escala de pH semiquantitativa): <https://youtu.be/FSTstqDeuHQ>
2. Ácido clorídrico (escala de pH semiquantitativa): <https://youtu.be/7bKycJ8LWjU>
3. Ácido clorídrico (medidor de pH quantitativo): <https://youtu.be/srD-h8tzfow>
4. Ácido sulfúrico (escala de pH semiquantitativa): <https://youtu.be/3xX8UOsO1Mg>
5. Ácido sulfúrico (medidor de pH quantitativo): <https://youtu.be/INlxb8z-qOo>

e-Aulas:

1. Ácido acético (escala de pH semiquantitativa):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23923>
2. Ácido acético (medidor quantitativo de pH):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23924>
3. Ácido sulfúrico (escala de pH semiquantitativa):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23933>
4. Ácido sulfúrico (medidor de pH quantitativo):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23935>
5. Ácido fosfórico (escala de pH semiquantitativa):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23936>
6. Ácido fosfórico (medidor quantitativo de pH):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23937>
7. Ácido clorídrico (escala de pH semiquantitativa):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23925>
8. Ácido clorídrico (medidor de pH quantitativo):
<https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=23926>

6.2.1.8 Criar uma simulação de experimento simples com o vídeo

A forma mais simples de se utilizar simuladores como vídeos como estes é associando seu uso com uma planilha eletrônica. A planilha cumpre a função de um roteiro de aula para os alunos.

Foi criado um arquivo de planilhas composto por quatro abas com células pré-formatadas: “Identificação”, “Experimento exploratório” (*link* para o vídeo em escala

visual); “Experimento preciso” (*link* para o vídeo do medidor de pH) e “Tratamento” (contendo um gráfico pré-formatado para análise dos dados). As planilhas dos experimentos contêm o *link* para o vídeo e um intervalo de células para anotar as leituras de dados da tela. A planilha de tratamento de dados contém um gráfico relacionado a esses intervalos de células. Imagens desta planilha podem ser visualizadas no Apêndice E;

Uma cópia da planilha pode então ser distribuída aos alunos, e estes são instruídos a abrir o vídeo e a planilha em janelas separadas, dispostas lado a lado.

O experimento é simulado simplesmente reproduzindo e pausando o vídeo para leitura de dados e anotações na planilha. Os dados preenchidos no intervalo pré-formatado das abas de experimentos são já transportados para a o gráfico na aba dedicada à análise de dados.

Opcionalmente, o simulador pode ainda ser usado com anotações em papel e, ainda em atividades com moderação do tipo exposição dialogada.

6.3 INVESTIGAÇÃO DO PAPEL DOS SIMULADORES NO ENSINO

Retomando as premissas norteadoras deste trabalho, o papel dos simuladores baseados em vídeos foi investigado tendo como foco o conceito de reversibilidade de reações químicas, explorando as titulações em sistema ácido-base de Arrhenius.

A abordagem investigativa consiste em criar atividades com os vídeos produzidos em que os elementos do perfil conceitual para reversibilidade sejam mobilizados, sendo que cada atividade seja dedicada a um problema relacionado às titulações ácido-base.

As atividades comportam no seu curso questões em diversas modalidades (múltipla escolha, dissertativas, etc.) as quais se prestam aos objetivos instrucionais de ensino e à coleta de dados para a pesquisa.

Com alguma variação para cada caso discutido nas seções seguintes, de modo geral, nestas atividades, foram incluídos as seguintes seções e conteúdos:

- a) Apresentação do repertório representacional envolvido na atividade, o que inclui, normalmente: a curva de titulação, a escala de leitura da bureta, a ponta da bureta, o sistema reacional, uma escala de indicador de pH ou a leitura de um pHmetro.
- b) Questões relacionadas à articulação das representações nos níveis menos complexos de competência representacional, distribuídas nas três fases da

titulação.

- c) Questões envolvendo o elemento "estequiometria" do perfil conceitual, distribuídas nas três fases da titulação.
- d) Questões envolvendo o elemento "equilíbrio estático do perfil conceitual, distribuídas nas três fases da titulação.
- e) Questões envolvendo o elemento "equilíbrio dinâmico" do perfil conceitual, distribuídas nas três fases da titulação.
- f) Solicitação para o estudante indicar qual dos elementos do perfil melhor explica as respostas dadas para a atividade realizada.

Seguindo este princípio geral, com alguma variação, foram então criadas as seguintes atividades:

1. "Atividade inicial": dedicada à apresentação do processo de titulação, em que o vídeo cumpre a função de registro do experimento e organizador do percurso conceitual. Neste caso, o tempo do vídeo se relaciona com a adição de titulante (abscissa da curva de titulação). Esta atividade cumpre na pesquisa a função de recolher informações prévias dos estudantes sobre o corpo conceitual deste trabalho. Ao propô-la, considerou-se que, dado seu caráter mais descritivo, mobilizasse o perfil conceitual sobre reversibilidade de modo associado aos níveis de competência representacional mais simples.

2. "O ácido em Pindaiatuba: o caso" e "O ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico": dedicadas à resolução de uma amostra problema, em que o vídeo cumpre a função de simular o experimento realizado no laboratório, contextualizado num estudo de caso. Foi empregado o vídeo na forma do simulador simples com apoio de planilha eletrônica, como descrito anteriormente. Neste caso, o tempo do vídeo representa papel duplo, sendo a dimensão do andamento da reação e da adição de titulante. Esta atividade cumpre na pesquisa a função de formalizar conceitos mais complexos sobre propriedades químicas de ácidos fortes e fracos (número de hidrogênios ionizáveis e pK_a) e sua representação nas curvas de titulação obtidas por simulação. Portanto, pressupõem-se que mobilizem o perfil conceitual em níveis de competência representacional mais desafiadores. Sendo o caso típico de aplicação dos vídeos como simuladores, esta atividade serviu como organizadora das demais, sendo a referência para a atividade precedente e a atividade seguinte.

3. "Entendendo os conceitos": dispõe a projeção de cenários sobre o processo de titulação, em que o vídeo cumpre a função de organizar as possibilidades

de perturbação do equilíbrio por meio da adição de ácido. Neste caso, o tempo do vídeo deixa de representar a duração do processo, aproximando-se mais a um fio sobre o qual se trafega no ponto de equilíbrio e sua relação com a composição do sistema. Esta atividade cumpre na pesquisa a função de oferecer informações sobre mudanças nos padrões de mobilização do perfil conceitual de reversibilidade. Considera-se que apresenta um caso em que seja fosse possível verificar diferenças entre o elemento do perfil praticado ao resolver as tarefas e o elemento declarado.

No seu todo, esta estratégia objetiva compõe um panorama de diferentes utilizações do vídeo que suscitem distintos modos de mobilização do perfil conceitual de reversibilidade, e de níveis de competência representacional.

4. Finalmente, em "Percepção dos estudantes" foram registradas por meio de formulários eletrônicos informações sobre a percepção dos participantes da pesquisa acerca da dificuldade com que realizaram as atividades e sua familiaridade com conceitos e representações, com vistas à aprendizagem.

Assim, nesta seção trataremos destas atividades como um desenvolvimento de um módulo utilizado para empregar estas atividades em disciplinas introdutórias de química para estudantes dos anos iniciais de diferentes cursos de graduação. Buscou-se obter os dados de cuja análise se pudesse traçar inferências sobre o papel educacional dos vídeos desenvolvidos neste projeto.

Estas situações de ensino ocorreram em modo remoto no segundo semestre de 2020, por decorrência das restrições impostas pela pandemia de COVID-19. O módulo foi desenvolvido e utilizado por meio do ambiente virtual de aprendizagem (AVA) e-Disciplinas. Desenvolvido na plataforma *Moodle*, o e-Disciplinas atende às disciplinas de graduação e pós-graduação da Universidade de São Paulo.

6.3.1 Considerações sobre ética em pesquisa envolvendo seres humanos

O plano de pesquisa para os estudos descritos a seguir foram aprovados pelo comitê de ética da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo em 30/05/2019, e registrado sob o número CAAE (Certificado de Apresentação de Apreciação Ética) 12607019.1.0000.0067.

Antes de iniciar as atividades nas situações de ensino, todos os participantes foram convidados a participar da pesquisa, por meio da sessão do uso dos dados nas atividades de ensino, de modo voluntário e gratuito, tendo seu aceite formalizado por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE - APÊNDICE B). O

TCLE foi apresentado como etapa incontornável para o início das atividades em que ocorreram tomadas de dados. Para apresentação, exame, e aceite ou refuta do TCLE, foi empregado um recurso de registro digital remoto do sistema e-Disciplinas. Além disso, foi enviada uma cópia aos participantes que concordaram em participar da pesquisa.

Os procedimentos foram realizados segundo estabelecido nas Resoluções nº 466/2012 e 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

O comitê de ética da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo pode ser contatado no seguinte endereço: Av. Prof. Lineu Prestes, 580, Bloco 13 A, Butantã, São Paulo, CEP 05508-000 e por meio dos telefones 3091-3622 e 3091-3677 ou e-mail cepcf@usp.br.

6.3.2 Situação de ensino

Dois anos após os estudos prévios, agora num contexto pandêmico e realizado em ambiente virtual, esta etapa da pesquisa incluiu estudantes de graduação de semestres iniciais que cursavam disciplinas de química geral oferecidas pelo Instituto de Química da USP entre maio e junho de 2021. Tais disciplinas contemplam em suas ementas os conceitos de equilíbrio químico e ácidos e bases de Arrhenius. As atividades com o simulador foram oferecidas como alternativa às atividades experimentais tradicionais sobre titulações ácido-base, canceladas por conta das restrições da pandemia de COVID-19. Para tanto, foi criado um módulo de atividades (este módulo foi dividido em 4 atividades no *e-Disciplinas*), replicado no ambiente da plataforma e-Disciplinas de todas as disciplinas. A Quadro 1 abaixo sumariza as informações gerais das situações de ensino em que as atividades com o simulador foram empregadas:

Quadro 1 – Informações gerais das situações de ensino durante o módulo

Disciplina	Curso	Estudantes participantes	Tempo sincrônico em aulas	Tempo assíncrono estimado
QFL0130	Farmácia (integral)	72	4 horas	4 horas
QFL0130	Farmácia (noturno)	64	2 horas	6 horas
QFL0605	Geologia	46	4 horas	4 horas
QFL0607	Licenciatura em Geociências e Educação Ambiental	49	8 horas	4 horas

QFL0130 – Química Geral e Inorgânica (2º Período) – Farmácia (integral)

QFL0130 – Química Geral e Inorgânica (2º Período) – Farmácia (noturno)

QFL0605 – Química Geral (1º Período) – Geologia

QFL0607 – Química Básica (1º Período) – Licenciatura em Geociências e Educação Ambiental

A atividade realizada foi assíncrona com um tempo médio de quatro horas de duração e contou com a participação de 231 estudantes.

6.3.3 Atividades de ensino

A atividade foi pensada e planejada como uma sequência didática para realização do estudo. Foi usada a estratégia de estudo de caso e vídeos interativos com recursos integrados à plataforma *Moodle*, principalmente o H5P (*HTML-5-Package*), uma ferramenta que auxilia na produção e execução de conteúdos e vídeos interativos no próprio navegador. Dentro da plataforma, houve a divisão de 5 módulos de atividades: “atividade inicial”, “o ácido em Pindaiatuba: o caso”, “o ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico”, “entendendo os conceitos” e “atividade final”. Esses módulos serão apresentados a seguir.

6.3.3.1 Atividade inicial

Nesta atividade há um experimento virtual com um vídeo interativo mostrando a titulação de ácido acético e hidróxido de sódio, utilizando como indicador ácido-base extrato de repolho roxo. Nele, é possível interagir com seus elementos, como a bureta, o béquer, a escala de cores e a torneira. Além disso, é apresentado aos estudantes todas as medidas que saem desses elementos ao interagir com eles. As ações desses elementos do vídeo e do módulo completo podem ser consultadas no Apêndice C.

Logo após, a titulação ácido-base é iniciada e pouco tempo após é dada a instrução de que para responder as questões, é necessário observar o gráfico de composição do sistema e a curva de titulação. A medida em que o vídeo segue, o estudante precisa responder a 9 questões de verdadeiro ou falso sobre o sistema em questão.

As 9 questões de verdadeiro ou falso são:

Q1: O sistema encontra-se no ponto A da curva.

Q2: A composição do sistema indica que metade do ácido foi neutralizado.

Q3: Nessa composição do sistema o pH varia pouco com a adição de base.

Q4: O ponto que melhor indica este momento do experimento no gráfico é o ponto B.

Q5: Nesta situação, podemos considerar que a titulação acabou.

Q6: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo o NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

Q7: No ponto C da curva de titulação, todo o ácido foi neutralizado.

Q8: Essa composição do sistema indica que este é o volume mais apropriado para se calcular a concentração de HAc na amostra.

Q9: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

Por fim, há a última questão que arremata a justificativa das escolhas do estudante, para prever os conceitos prévios dele sobre equilíbrio químico e tentar classificar o contorno epistêmico do ponto de vista irreversível, equilíbrio estático ou equilíbrio dinâmico.

Q10: Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

a) As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato.

b) Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado.

c) Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético.

6.3.3.2 O ácido em Pindaiatuba: o caso

Esta primeira parte da atividade 2 funciona na forma de apresentação de *slides* em cima de um estudo de caso contendo três perguntas no decorrer da atividade. Muitos dos *slides* contêm caráter informativo para auxiliar na resolução das questões acerca do problema apresentado.

Foi adotado a modalidade de estudo de caso. O estudo de caso é uma estratégia que parte de casos montados a partir de problemas reais. É apontada como uma forma de criar oportunidades que favoreçam desenvolvimento do pensamento crítico,

da habilidade para a resolução de problemas e a aquisição de conhecimento científico (SÁ; QUEIROZ, 2010). O método exige certas características para ser efetivo de fato, segundo Herreid (1998) deve narrar uma história, despertar interesse dos leitores, ser curto, provocar conflitos, ter generalizações para ser estendido por diversas situações e também estar de acordo com a atualidade e nosso contexto de mundo.

Segundo Sá (2010), os estudos de caso possuem três classificações, que dependem dos problemas propostos. Um deles é que o problema é apresentado de maneira bem definida e os alunos devem trazer uma resolução para o mesmo, sendo esse o Caso Estruturado. Tudo nesse tipo de caso é centrado na resolução de um problema, que pode ter diversas configurações. Em segundo, o Caso Mal Estruturado se trata de um problema que não está definido de maneira direta, propondo que os alunos primeiro tenham que identificar qual é o problema em questão e após isso propor soluções para o mesmo. Por fim, em terceiro, Casos de Múltiplos Problemas consiste num texto de estudo de caso que não há um problema bem definido, e muitas vezes pode haver mais de um deles. Os estudantes são desafiados a primeiro resolver diversos outros problemas que estão atrelados ao problema principal. A aplicação de estudos de caso propõe uma grande diversidade de narrativas e possibilidades oferecidas, que podem culminar em diversas novas práticas para o ensino de ciências e também serem de grande auxílio no ensino tradicional (QUEIROZ; CABRAL, 2016).

Na atividade "O ácido em Pindaiatuba: o caso", foi utilizado um caso estruturado, visto que o problema foi bem delineado e os estudantes teriam que pensar na resolução adequada para aquela situação. De todas as possibilidades que os estudos de caso oferecem, nesta atividade o objetivo foi circunscrito a criar um contexto para problematizar a atividade de simulação.

No Apêndice D é possível consultar na íntegra como o caso foi apresentado na forma de *slides* e, em alguns deles, há uma espécie de diário de bordo, o qual incorpora informações importantes conforme se avança na atividade. O andamento do caso é pautado por questões apresentadas após a apresentação de cada bloco de informações. Estas questões visam a oferecer oportunidades mínimas de reflexão a cada adição de informações do caso.

Na primeira questão, o estudante deveria refletir acerca das informações sobre as propriedades necessárias para resolver o problema.

Q1: Qual(is) propriedade(s) das substâncias é (são) suficientes para resolver o problema e como você faria para determina-la(s) nas condições do único laboratório

disponível em Pindaiatuba?

a) Determino as T.F. e T.E. e os valores de pKa, mas com apenas qualquer um deles já seria possível realizar a identificação.

b) Todas as propriedades são úteis. Mas, como é necessária agilidade no caso, vou determinar a densidade pois é um procedimento muito simples.

c) Tudo que eu preciso é fazer uma curva de titulação. Assim determino os valores de pKa e mato a charada.

d) Poderia determinar a T.F. pois utiliza procedimentos de maior precisão.

Nos próximos slides é resgatado aos estudantes o conceito de pKa e como podemos determiná-lo, além de apresentar uma curva de titulação que servirá de base para os estudantes responderem a próxima pergunta da atividade (Q2).

Q2: Numa curva de titulação de um ácido por uma base, destacamos algumas regiões de interesse. A partir delas podemos obter informações sobre o ácido titulado. Quais informações podemos obter das regiões A a F assinaladas na curva?

a) O volume VB indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VC e VF. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD.

b) O volume VD indica a quantidade total de ácido na amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

c) O volume VF indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD.

d) O volume VE indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

A atividade prossegue apresentando os experimentos de titulação realizados e as ideias sobre as possíveis curvas. Logo após, é possível responder a terceira e última questão a respeito da atividade e das curvas propostas.

Q3: Considere as seguintes afirmações:

1) Se cada mol de NaOH consome 1 mol de H ionizável, e a concentração de ácido titulado é igual a de NaOH titulante, devemos esperar que: as curvas para os ác. sulfuroso e sulfúrico são como E e B, respectivamente; e as curvas para os ác. benzeno e metanossulfônicos são como A ou C.

2) Sendo os ácidos sulfúrico, benzeno e metanossulfônicos fortes, as curvas esperadas para estes ácidos são como B ou C.

3) Sendo o ácido sulfuroso um ácido fraco, a curva esperada é como A.

4) As curvas D e F não são esperadas, pois o titulante é NaOH, uma base.

O que você pode dizer destas ideias?

a) 3 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis e os pKas do ácido sulfuroso.

b) 1 é parcialmente correta pois desconsidera os pKas dos possíveis ácidos. 2 é totalmente correta.

c) Apenas 3 e 4 são corretas. 1 e 2 são incorretas pois não consideram a estequiometria da reação.

d) 2 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis. 1 e 4 são totalmente corretas.

E, por fim, apresenta-se uma questão resumo dos problemas e das curvas propostas. Esta questão cumpre dupla função: revisão dos conceitos apresentados e articulação das informações entre as diferentes representações: curvas de titulação, valores de pKa e força dos ácidos.

6.3.3.3 O ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico

Nesta segunda parte da atividade é a vez dos estudantes fazerem as suas simulações e tirarem suas próprias conclusões com base nos dados obtidos pelo simulador. Esta etapa conta com três arquivos: laudo pericial, experimentos e um roteiro com instruções passo a passo para realização dos experimentos. Os estudantes devem realizar os experimentos seguindo as instruções do roteiro e completar o laudo pericial com suas conclusões. Ao finalizarem, devem enviar os arquivos neste terceiro módulo dentro do Moodle.

A simulação dos experimentos é realizada por meio de vídeos acessados via links constantes numa planilha, conforme o modo mais simples de utilização dos simuladores em vídeo. Os estudantes deveriam realizar o experimento simulado e anotar na planilha valores de pH e volume a partir do vídeo. Há dois vídeos do mesmo

experimento, o primeiro, exploratório, realizado com escala de cores, e o segundo, mais preciso, realizado com um medidor de pH (pHmetro). Após produzir os dados simulados, os estudantes prosseguiram à aba de tratamento de dados, onde um gráfico fora criado automaticamente a partir dos dados inseridos na etapa anterior. Este gráfico contém as curvas de titulação obtidas para os dois experimentos. A análise das curvas foi guiada por meio de uma tabela disposta logo abaixo dos gráficos. Estas informações serviram como embasamento para as conclusões do "laudo técnico".

Além disso, os estudantes encontram outras abas apenas de caráter informativo que podem consultar para ajuda-los a responder algumas questões importantes. Estas abas e todas as demais telas, incluindo o roteiro completo, estão no Apêndice E.

Note-se que, esta planilha, incorpora elementos do estudo de caso (abas com informações extra), dados da simulação e sua análise como curva e informações de interpretação da curva necessárias para a produção do laudo sobre o caso de derramamento do ácido.

Por fim, após análises dos experimentos e resultados, os estudantes acessaram um arquivo pré-formatado para o laudo pericial a respeito do ácido, devendo e preenchê-lo, de modo a responder e justificar qual foi o ácido derramado.

6.3.3.4 Entendendo os conceitos

Após concluir qual foi o ácido derramado no caso de Pindaiatuba, os estudantes realizam a terceira atividade do módulo, denominada "entendendo os conceitos", na qual foi empregado vídeo da titulação do ácido acético com hidróxido de sódio (como na atividade 1) utilizando extrato de repolho roxo como indicador. Contudo, nesta atividade, foi omitido na interface que apresenta o vídeo volume da bureta. Nesta atividade, o vídeo cumpre a função de um simulador de cenários, em que se pretende explicitar qual dentre as concepções de equilíbrio químico é a operante.

Este módulo é um percurso em que são mostradas diferentes situações ao estudante e este deve escolher qual é a mais adequada (adicionar mais ácido ou mais base), de modo a prosseguir para um cenário proposto. Ao final da atividade, a mesma questão proposta ao fim da Atividade Inicial é colocada. Esta atividade pode ser consultada na íntegra no Apêndice F, e será discutida em detalhes junto aos resultados correspondentes, na seção Resultados e Discussão.

6.3.3.5 Atividade final

A atividade final é um formulário do *Google Forms* a respeito das percepções dos estudantes acerca do módulo e do simulador, com questões que abordam o grau de concordância deles em relação a aspectos gerais de todo o módulo. Todas as questões podem ser consultadas no Apêndice G.

6.4 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Os dados obtidos nas questões de escolha simples e múltipla escolha em todas as atividades foram compilados em uma planilha eletrônica.

Estas respostas foram analisadas pela ocorrência dos tipos de alternativas, em conjuntos de dados organizados da seguinte forma:

- Por atividade
 - Para cada questão:
 - Resultados globais para todos os grupos de alunos;
 - Subgrupos de respostas quanto à disciplina de graduação de origem.
 - Para grupos de questões, reunidos quanto ao nível de competência representacional requisitado;
 - Para grupos de respostas das questões que solicitam um elemento do perfil conceitual (estequiométrico, equilíbrio dinâmico e equilíbrio estático).
 - Resultados de acertos e erros.
- Entre atividades
 - Correlação entre ocorrências de respostas em questões de duas atividades.

Para tanto foram empregados recursos disponíveis nas planilhas eletrônicas *Google Sheets*, *Excel™* e *LibreOffice*, de modo a combinar soma e contagem condicional de dados categorizados.

Além das respostas registradas eletronicamente na plataforma Moodle, informações qualitativas registradas nas planilhas de simulação e nos laudos técnicos (Atividade "o caso...") também foram incorporados nas análises para corroborar conclusões parciais emergentes da análise dos dados de ocorrência.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos em situações de ensino que tomaram parte deste trabalho. Incluem os resultados dos estudos prévios, a produção dos simuladores em sua versão final, e os resultados obtidos com os simuladores produzidos tais quais descritos na seção dedicada às Abordagens Metodológicas.

A seção dedicada aos estudos prévios é aqui apresentada como um trabalho que encerra uma investigação com objetivo de prover parâmetros empíricos para o desenvolvimento dos simuladores por meio de vídeo, e para nortear as premissas do estudo de seu papel no ensino. Foi, inicialmente, inserida como parte do percurso metodológico da pesquisa, uma vez que foi conduzida usando exclusivamente um simulador de curvas de titulação baseado em planilha eletrônica (CurTiPot). Mas, posteriormente, na composição deste trabalho, foi considerado que, como apresenta resultados empíricos, discutidos à luz da ideia de competência representacional, seria conveniente incluir na seção dedicada às Abordagem Metodológica apenas uma súmula das contribuições desta investigação ao trabalho principal. Assim, a investigação completa, com os dados obtidos e tratados, é tratada na presente seção, incorporada ao conjunto de resultados totais da pesquisa.

7.1 ESTUDOS PRÉVIOS COM SIMULADOR DE CURVAS DE TITULAÇÃO

7.1.1 Abordagem metodológica para o estudo

O estudo foi realizado com 49 estudantes do curso de química (período integral), como parte do percurso da disciplina introdutória de Química Geral II, em 2018. A estratégia do estudo foi coletar dados numa sequência de ensino organizada em duas etapas: pré-simulação e simulação, além da percepção dos estudantes. Foram simuladas curvas de titulação de diferentes ácidos contra base forte. A sequência de ensino do estudo foi realizada como atividade opcional em um período de quatro horas.

7.1.2 Situação de ensino e coleta de dados

O Quadro 2 abaixo sumariza as atividades constantes da sequência didática, suas características e funções no ensino e na pesquisa:

Quadro 2 – Principais atividades da sequência didática

	PRÉ-SIMULAÇÃO	SIMULAÇÃO
Duração, min	90 minutos	150 minutos
Recursos didáticos ¹	Questionário	Guia de uso do simulador Roteiro de experimentos Simulador
Modos de interação	Exposição dialogada	Exposição dialogada, trabalho em grupo
Função na pesquisa	Identificação de conceitos prévios e competência representacional	Familiarização com a simulação Categorização na escala de competência representacional
Repertório representacional	Curvas de titulação de HCl e HAc contra NaOH	Curvas de titulação de HCl, HAc e H ₃ PO ₄ contra NaOH
Tipo de solicitação	Interpretação e predição de curvas	Reinterpretação de resultados Previsão de curva não simulada Confronto de curva prevista com curva simulada
Registro de dados	Respostas aos questionários (2 itens) Esboços de curvas	Respostas aos questionários (4 itens) Esboços de curvas Curvas simuladas
notas: ¹ As fichas e roteiros na forma como foram empregadas em sala de aula estão presentes no Apêndice A.		

Em resumo, a atividade se deu nesse período único em que foi estruturada com um estudo prévio contendo uma questão de múltipla escolha e uma de esboço de curva. Em seguida, foi apresentado um roteiro passo a passo sobre como deveriam fazer a simulação no CurTiPot. Os alunos esboçaram 5 curvas de titulação e responderam a um questionário contendo quatro questões abertas. Foi realizada uma correção e discussão, e agora tinham a opção de mudar suas respostas iniciais. Ao final, deveriam esboçar uma curva de titulação mais complexa e avaliar a atividade.

Além disso, houve casos em que estudantes saíram antes do término da atividade, assim como houve casos em que chegaram após o início, portanto, estes dados incompletos foram desconsiderados. Sendo assim, o estudo contou com a presença completa de 43 estudantes de graduação de química do primeiro ano.

7.1.2.1 Atividade Pré-simulação

A atividade teve o objetivo de ensino de introduzir a atividade do simulador. Na pesquisa, cumpriu as funções de aferir a familiaridade dos estudantes com a principal

representação conceitual empregada na simulação: a curva de titulação. Ressalta-se que um levantamento dos conteúdos cobertos em disciplinas anteriores, e, recentemente, na própria disciplina, indicou que os estudantes participantes do estudo já haviam sido expostos às curvas de titulação. Os alunos trabalharam e responderam individualmente.

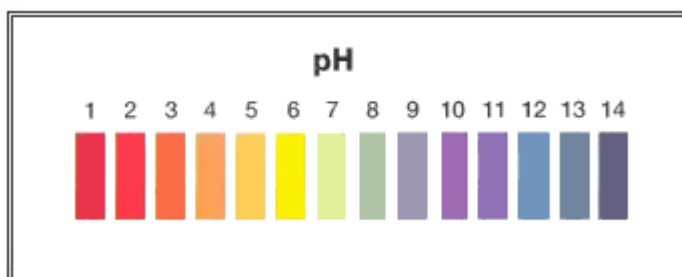
A atividade consistiu de um questionário com duas questões:

A primeira questão incide sobre a **interpretação** da curva de titulação à luz do elenco conceitual químico deste estudo. A questão apresenta informações sobre um sistema reacional de titulação ácido-base e a indicação de uma dentre seis curvas possíveis. Em seguida solicita:

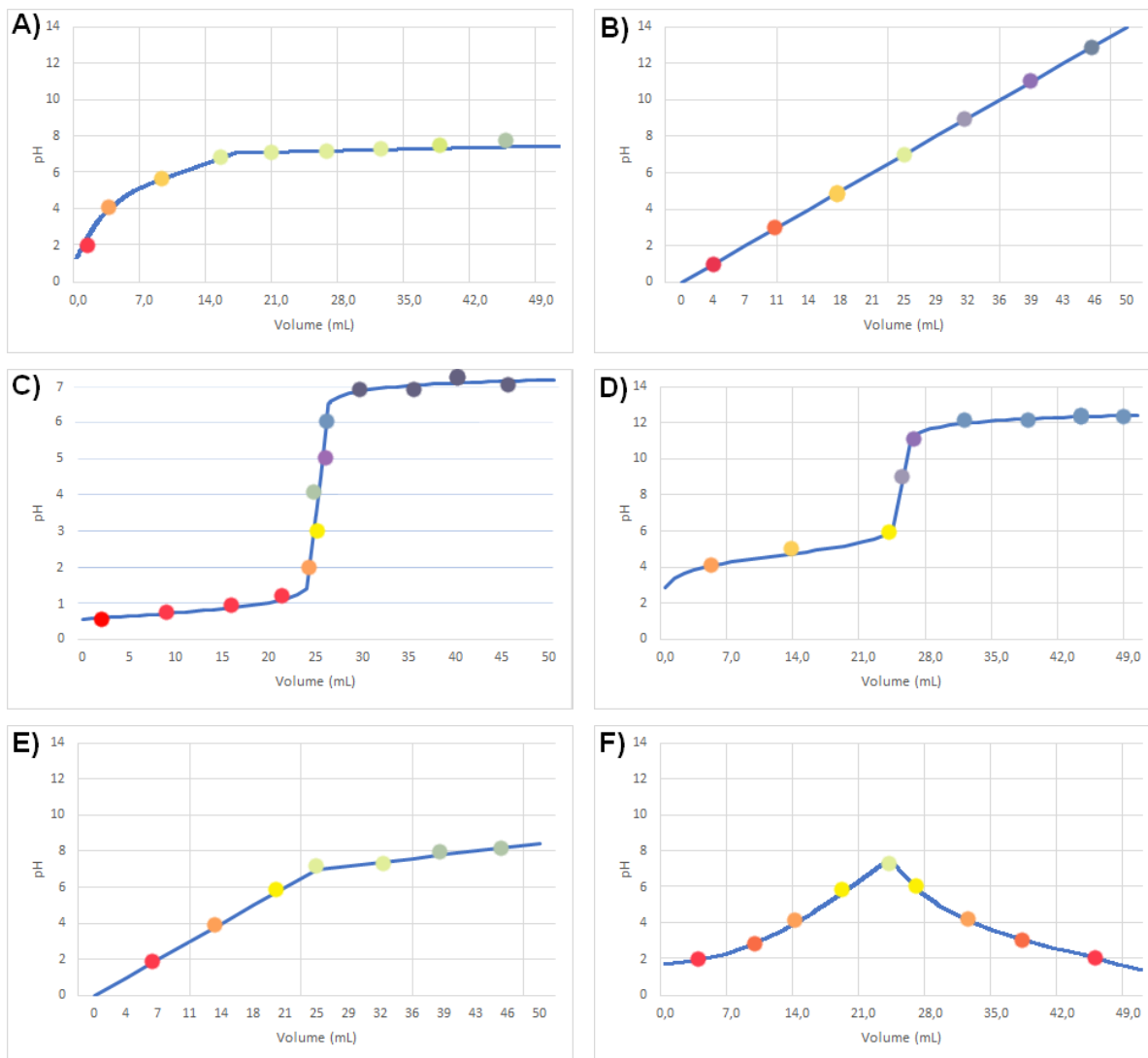
- Classificar a indicação, como verdadeira ou falsa;
- Escolher qual a melhor justificativa para a classificação;
- Indicar o grau de certeza com que fez suas opções.

A segunda questão solicita os mesmos conceitos e envolve a mesma representação, porém, solicita a predição de uma curva num sistema de titulação ácido-base em condições diferentes daquelas apresentadas na primeira questão. São as questões:

- 1) *Com o intuito de determinar a concentração molar de uma amostra de 25 mL de ácido clorídrico até então desconhecida, realizou-se a adição gradual de uma solução de hidróxido de sódio previamente preparada de molaridade igual a $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Descobriu-se que a solução de ácido clorídrico possuía igual concentração molar à solução de hidróxido de sódio ao verificar o pH com o auxílio de um indicador universal, cuja a escala está representada ao lado:*



A partir disso, foi possível construir um gráfico. As seguintes curvas foram propostas, onde os pontos apresentados representam as cores do pH de acordo com a escala universal:



Podemos afirmar que a curva que melhor representa a situação descrita é a **D**).

VERDADEIRO () FALSO ()

Caso tenha assinalado falso, justifica-se:

- A curva que melhor representa a situação é a A), pois obedece a estequiometria da reação ao atingir a neutralidade.
- A curva que melhor representa a situação é a B), por se tratar de um ácido forte e uma base forte de mesma concentração, tem-se uma reta.
- A curva que melhor representa a situação é a C), uma sigmoide acentuada para um ácido forte titulado com uma base forte de mesma concentração até que o equilíbrio seja atingido e o pH mantenha-se neutro.

d) *A única incoerência representada na curva D) é o tipo de curva, que está representada por uma sigmoide, quando na verdade deveria estar representada por uma parábola.*

e) *A curva que melhor representa a situação é a E), por se tratar de um ácido forte titulado com base forte de mesma concentração, a neutralidade é alcançada e mantida relativamente constante após o equilíbrio representado por uma reta.*

f) *A curva que melhor representa a situação é a F), onde a neutralidade é alcançada e o pH volta a diminuir após o equilíbrio ter sido atingido, mas não é representado por retas, já que a função matemática para pH não é linear, e sim logarítmica.*

g) *N.d.a.*

h) _____

() *Sei*

() *Não tenho certeza*

() *Chutei*

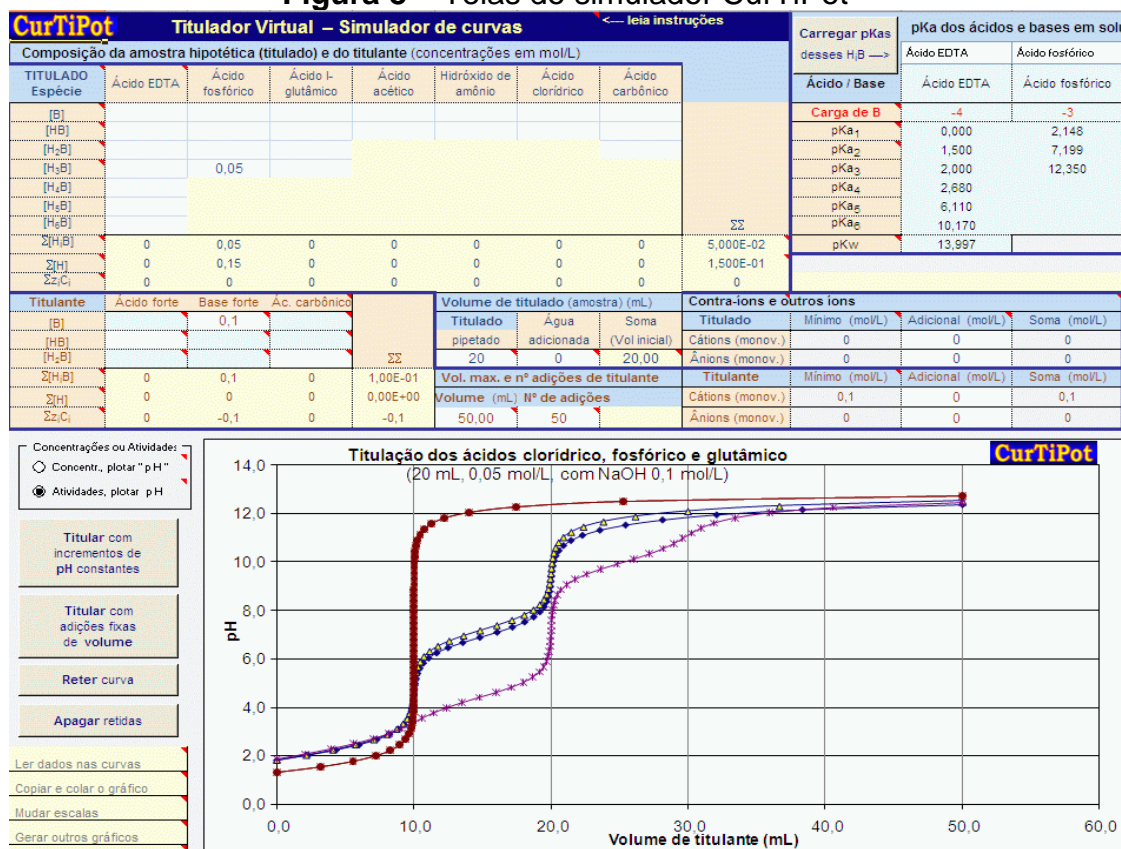
2) *Esboçar uma curva de titulação de 25 mL de hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) titulado com ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) até 50 mL. Dado valor aproximado de $K_a = 1,7 \times 10^{-5}$.*

7.1.2.2 Atividade de simulação

As atividades envolvendo simulação foram realizadas tendo como recursos o *software* CurTiPot e um roteiro detalhado de utilização (Apêndice A) com a proposição dos experimentos a serem simulados. Este *software* escolhido foi o simulador de curvas de titulação CurTiPot pela qualidade da simulação e por não sobrepor obstáculos técnicos e operacionais¹ ao estudo. Para este estudo, foi utilizado apenas o simulador de curvas de titulação, como mostra a Figura 8.

¹ O CurTiPot (<http://www.iq.usp.br/gutz/Curtipot.html>) é um programa gratuito para simulação e análise de curvas de titulação potenciométrica, cálculos de pH e equilíbrios ácido-base. Além de prover uma titulação virtual e simulador de curvas de titulação ácido-base, conta com muitos outros recursos, tais quais: cálculos de pH de soluções aquosas simples e misturas complexas; análise de dados de pH vs. volume de titulações potenciométricas reais e simuladas, etc. É um programa desenvolvido e mantido pelo Prof. Dr. Ivano G. R. Gutz. Este simulador pode ser considerado de fácil utilização e instalação, bastando copiar um único arquivo e executá-lo com a planilha Excel™. Pode assim ser usado em atividades síncronas e assíncronas, remotas ou presenciais.

Figura 8 – Telas do simulador CurTiPot



A simulação dos seguintes sistemas reacionais foi proposta, titulando virtualmente até o volume total de 100 mL, devendo os estudantes copiar e colar os resultados num arquivo de respostas em editor de texto comum:

- I) 50 mL de ácido clorídrico (0,1 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹) ;
- II) 50 mL de ácido clorídrico (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹);
- III) 50 mL de ácido acético (0,1 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹);
- IV) 50 mL de ácido acético (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹);
- V) 50 mL de ácido fosfórico (0,05 mol.L⁻¹) e hidróxido de sódio (0,1 mol.L⁻¹).

*Observação: em todas as curvas, simule até um volume total de 100 mL.

7.1.2.3 Análise dos dados simulados

As seguintes questões foram propostas para orientar a análise dos dados simulados, enfatizando as relações entre o corpo conceitual e sua representação na curva de titulação e em seguida discutidas:

- Por que as curvas de titulação não são uma reta?
- Como a quantidade de ácido interfere na curva de titulação?
- Como a constante de ionização dos ácidos interfere na curva de titulação?

- Como o número de hidrogênios ionizáveis interfere na curva de titulação?

7.1.2.4 Conexão com conceitos prévios

Em seguida à interpretação das curvas simuladas, os estudantes foram instruídos a rever suas respostas na atividade de pré-simulação e esboçar novamente a curva de titulação de ácido acético *versus* NaOH.

As respostas foram discutidas baseadas nas curvas simuladas por eles, cumprindo assim, no ensino, a função de formalizar conceitos. Após este processo, foi proposto como "desafio", e sem apoio do simulador, esboçar a curva de um caso mais complexo envolvendo uma mistura de um ácido forte e um ácido fraco:

"Agora feche o simulador CurTiPot e tente esboçar uma curva de titulação de 20 mL de carbonato de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) com ácido clorídrico ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) até 50 mL. Dados valores das constantes de ionização do ácido carbônico ($K_{a1} = 4,4 \times 10^{-7}$; $K_{a2} = 4,8 \times 10^{-11}$)."

O simulador foi então novamente utilizado para gerar a curva de titulação correspondente. Esta curva simulada foi empregada como ponto de referência para discutir as diferenças entre as curvas esboçadas e o que seria obtido num experimento.

7.1.2.5 Conclusão da atividade

A sequência didática foi concluída com uma discussão geral sobre a atividade, e foi solicitado aos estudantes responder a um questionário destinado a registrar suas percepções sobre todas as etapas da sequência. Na modalidade Likert, o questionário e as respostas são apresentados na seção de discussão dos resultados desta investigação prévia.

7.1.2.6 Análise dos resultados

As informações foram interpretadas à luz da escala de competência representacional de Kozma e Russell (2005) e tabuladas em planilha eletrônica. Exemplos desta interpretação estão apresentados junto à discussão dos dados correspondentes. Como trata-se de uma escala ordenadas de categorias, os dados foram analisados de duas formas complementares. Tratados como categorias adimensionais, foram analisados pela sua frequência de ocorrência. Adicionalmente, por meio do artifício de interpretá-los como uma escala cardinal, foram submetidos à

análise por agrupamento hierárquico. Assim foi possível obter resultados gerais de frequência de categorias para o conjunto total de dados, bem para os agrupamentos. As análises foram realizadas com o programa Orange 3.0.

Adicionalmente, a percepção dos estudantes sobre as atividades da sequência foi registrada por meio de um questionário de 13 itens sobre a atividade de simulação com o *software* CurTiPot.

7.1.3 Resultados gerais da atividade do estudo prévio

7.1.3.1 Pré-teste

A primeira questão era descrita uma situação problema e continha alternativas para justificar a curva que melhor representaria a situação em conjunto com um verdadeiro ou falso sobre o que foi apresentado, como consta no Apêndice A.

Para este primeiro estudo, foram obtidas 43 respostas, sendo que para a primeira questão, a maioria (67%) assinalou falso, utilizando como principais alternativas para justificar as letras c) e h). A Figura 9 mostra a distribuição completa de respostas e a Figura 10 mostra a relação das respostas com o grau de certeza dos estudantes. Não houve ninguém que indicou a opção “Chutei”.

Figura 9 – Gráfico de distribuição de respostas na questão 1 do pré-teste

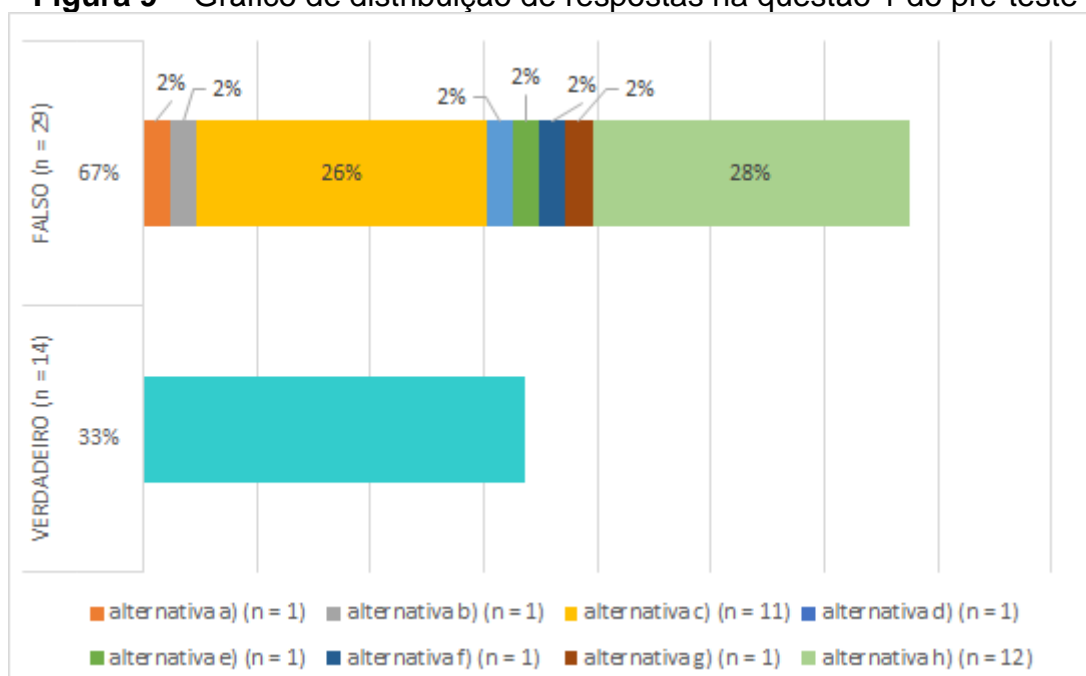
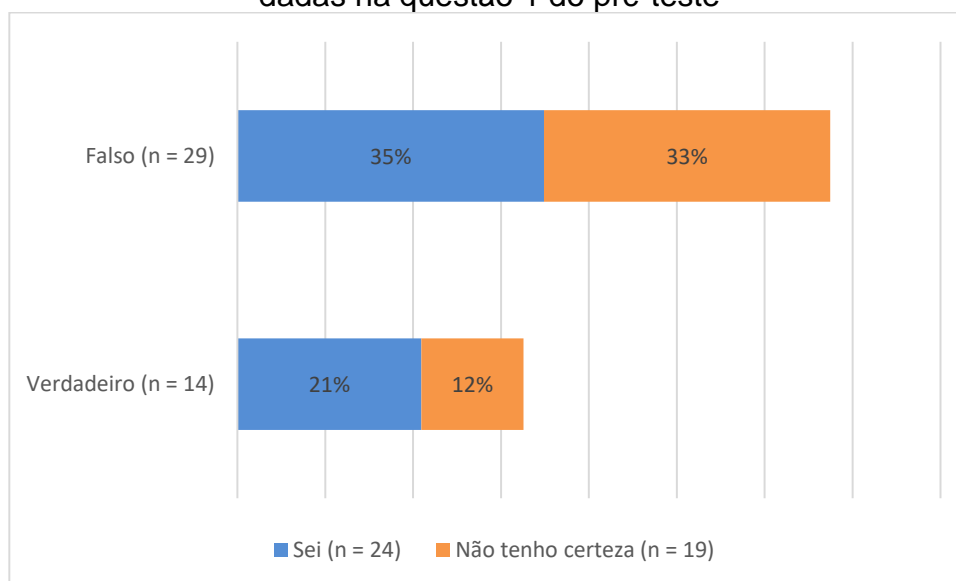


Figura 10 – Gráfico relacionando o grau de certeza dos estudantes às respostas dadas na questão 1 do pré-teste



Nos gráficos observamos uma maior distribuição de respostas para a opção “Falso”, o que sugere que os estudantes não ficaram satisfeitos com a afirmação dada a respeito da curva. Desses, muitos justificaram com a alternativa c), pois provavelmente não se atentaram à escala de pH. Já outros, justificaram corretamente ao elaborar sua própria resposta utilizando a alternativa h), e ainda assinalaram com certo grau de confiança ao relatarem que sabiam de fato a resposta. A Figura 11 ilustra uma típica justificativa para aqueles que assinalaram a alternativa h).

Figura 11 – Exemplo de justificativa correta para quem marcou “FALSO” e assinalou h)

h) A única incoerência na curva c) é o pH da solução conforme a adição da base, que deveria estar acima de 7 quando o volume de NaOH utilizada é maior que 25 mL.

Para análise dos dados, foi estabelecida uma escala de categorias de 1 a 5 de acordo com os níveis de respostas dadas pelos estudantes, correlacionadas à escala de competência representacional de Kozma e Russell (2005):

Nível 1: Representação como descrição

Nível 2: Primeiras habilidades simbólicas

Nível 3: Uso sintático de representações formais

Nível 4: Uso semântico de representações formais

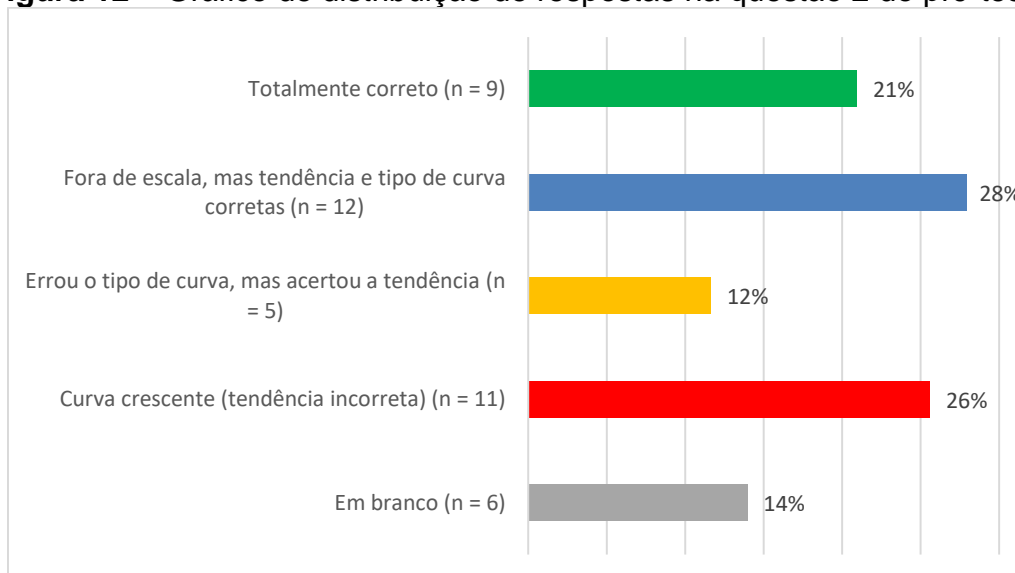
Nível 5: Uso retórico e reflexivo das representações

Observação: com base no caráter pontual da atividade, pondera-se que o nível 5 não poderia ser mensurado para nenhuma das questões (pré e pós-testes).

No caso desta primeira questão, as alternativas b) ou f) equivalem a categoria 1 da escala; as alternativas e) ou a) equivalem a categoria 2; alternativas c), d), h) com justificativa incorreta ou assinalar verdadeiro equivale a categoria 3; e alternativas g) ou h) com justificativa correta, categoria 4.

Para a questão 2, os estudantes deveriam esboçar uma curva de titulação de hidróxido de sódio titulado com ácido acético de mesma concentração molar. A Figura 12 mostra a distribuição de respostas das curvas esboçadas nessa questão.

Figura 12 – Gráfico de distribuição de respostas na questão 2 do pré-teste



Ao analisar a Figura 12, é possível observar um grande equilíbrio entre as respostas, principalmente entre aqueles que esboçaram a curva corretamente, mas fora de escala, e aqueles que esboçaram uma curva com a tendência contrária, o que pode sugerir um hábito comum em sempre observar curvas com tendência crescente, mas esta propunha exatamente a situação oposta.

21 estudantes esboçaram a curva corretamente, como no exemplo da Figura 13 (o formato, mas muitos destes estavam fora de proporção, mas por ser somente um esboço, foram considerados), e 22 esboçaram curvas de forma insatisfatória, como os exemplos da Figura 14 (sendo elas erradas, incompletas ou em branco).

Figura 13 – Exemplo de um esboço satisfatório para a questão 2

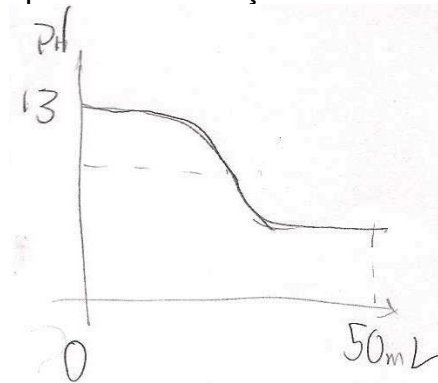
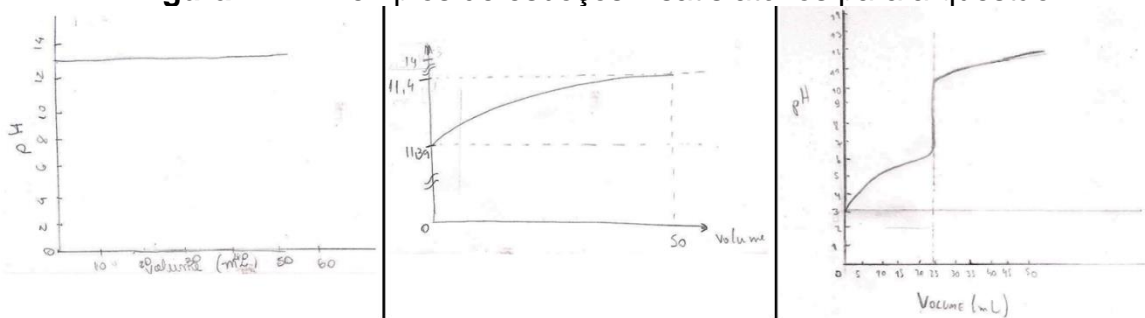


Figura 14 – Exemplos de esboços insatisfatórios para a questão 2

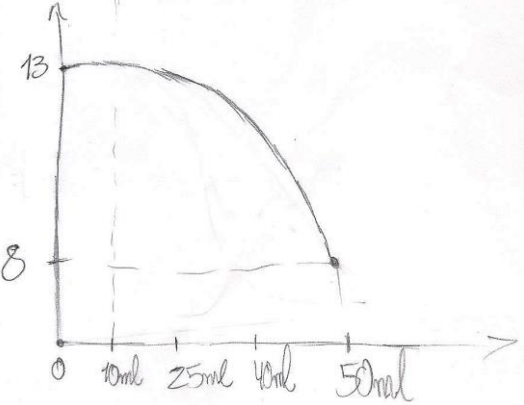
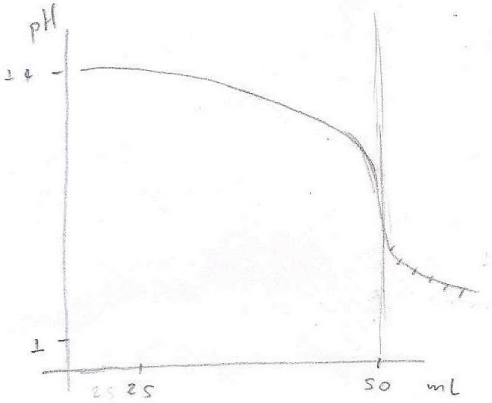



Para a atribuição de categorias de competência representacional a esta questão, foi estabelecido que: respostas em branco ou com curvas crescentes (com a tendência incorreta) equivaleriam a categoria 1; tipo de curva incorreta, mas tendência correta, categoria 2; curvas muito fora de escala, mas tendência e tipo de curva corretas, categoria 3; e curvas totalmente corretas, categoria 4. O Quadro 3 resume a tradução em números das possíveis respostas.

Quadro 3 – Exemplos de resultados para o pré-teste (continua)

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
	Interpretação descritiva denotativa	1

Quadro 3 – Exemplos de resultados para o pré-teste (conclusão)

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
	Habilidades simbólicas iniciais	2
	Uso sintático de representações formais	3
	Uso semântico de representações formais	4

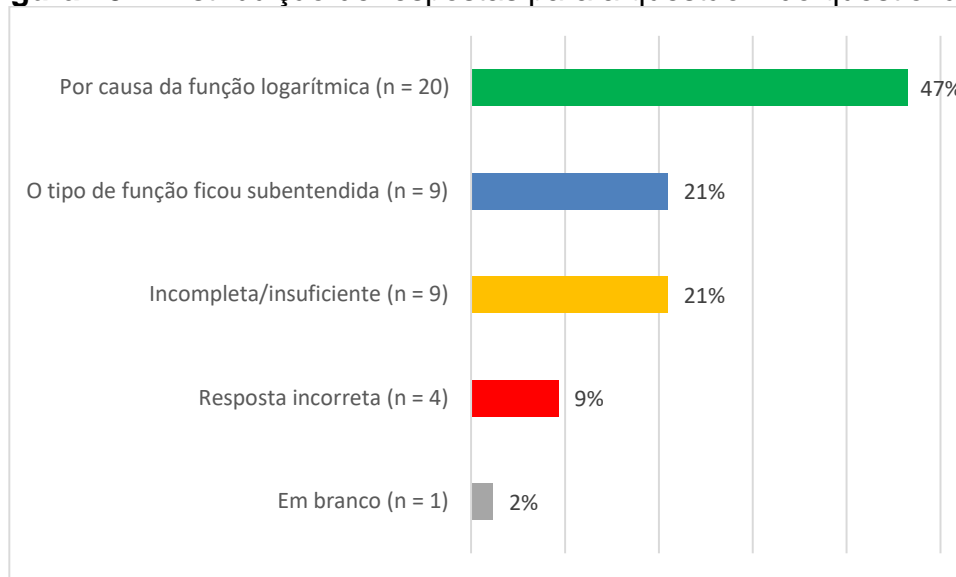
Após este pré-teste, os estudantes receberam instruções sobre como simular curvas no CurTiPot. Este roteiro também se encontra no Apêndice A.

7.1.3.2 Questionário

Nesta etapa do estudo constavam quatro questões diferentes que os estudantes deveriam responder com base numa reflexão acerca das curvas que foram simuladas no CurTiPot.

A primeira questão indagava o porquê de as curvas de titulação não serem uma reta. As respostas consideradas corretas deveriam conter alguma explicação sobre o tipo de função matemática (logarítmica). A Figura 15 apresenta essa distribuição de respostas.

Figura 15 – Distribuição de respostas para a questão 1 do questionário



Isto sugere que os alunos têm grande facilidade em compreender a explicação matemática representada na função logarítmica em uma curva de titulação, visto que a grande maioria (47%) acertou completamente a questão.

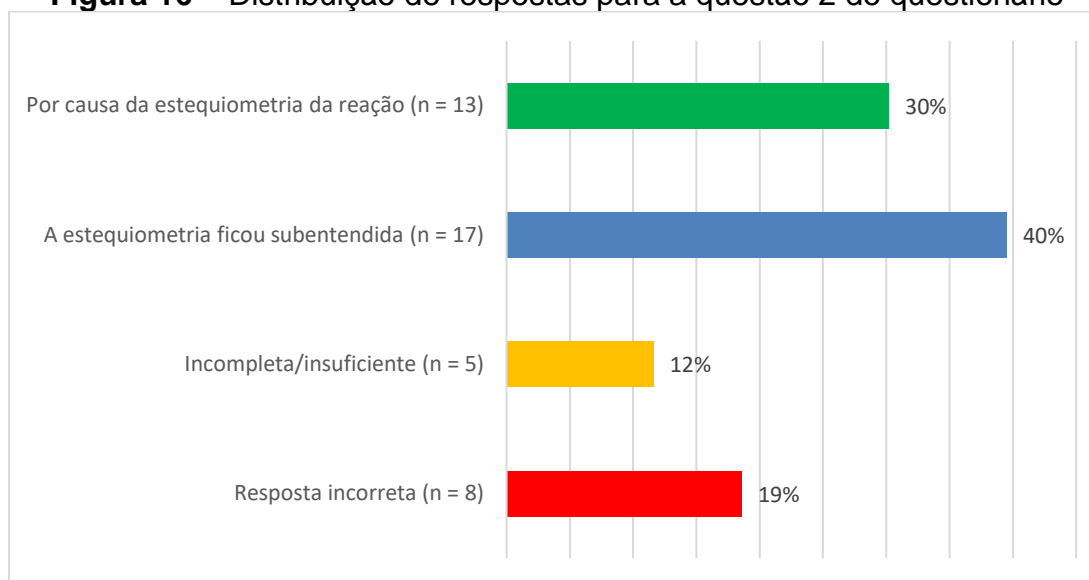
Para essa questão, respostas em branco ou totalmente incorretas equivaleriam a categoria 1; respostas incompletas ou insuficientes equivaleriam a categoria 2; respostas em que o tipo de função ficou subentendida, mas houve alguma explicação, categoria 3; e respostas corretas citando a função logarítmica, categoria 4. Exemplos destas respostas estão ilustradas no Quadro 4.

Quadro 4 – Exemplos de resultados para a questão 1 do pós-teste

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
"Porque o pH não é constante"	Interpretação descritiva denotativa	1
"Porque ocorre a reação entre os íons H^+ e OH^- . E essa reação não ocorre de maneira linear"	Habilidades simbólicas iniciais	2
"Porque uma reta não é capaz de descrever o comportamento de variação do pH em uma titulação, isto é, do tampão e de quebra, os quais são representados, respectivamente, antes e no ponto de inflexão"	Uso sintático de representações formais	3
"Porque o gráfico é do pH da solução em função do volume do titulante e, portanto, conforme há um aumento do volume do titulante o aumento ou diminuição na escala logarítmica do pH não segue uma tendência linear"	Uso semântico de representações formais	4

A segunda questão era sobre como a quantidade de ácido (a concentração molar) interfere na curva de titulação. Foram consideradas as respostas explicando acerca da estequiometria da reação repercutida na inflexão da curva. A Figura 16 mostra a distribuição de respostas para essa questão.

Figura 16 – Distribuição de respostas para a questão 2 do questionário



No gráfico observamos uma grande tendência para a resposta relacionada à estequiometria de alguma maneira, mesmo que tenha ficado subentendida (40%), os estudantes têm consigo esse conceito atrelado à titulação.

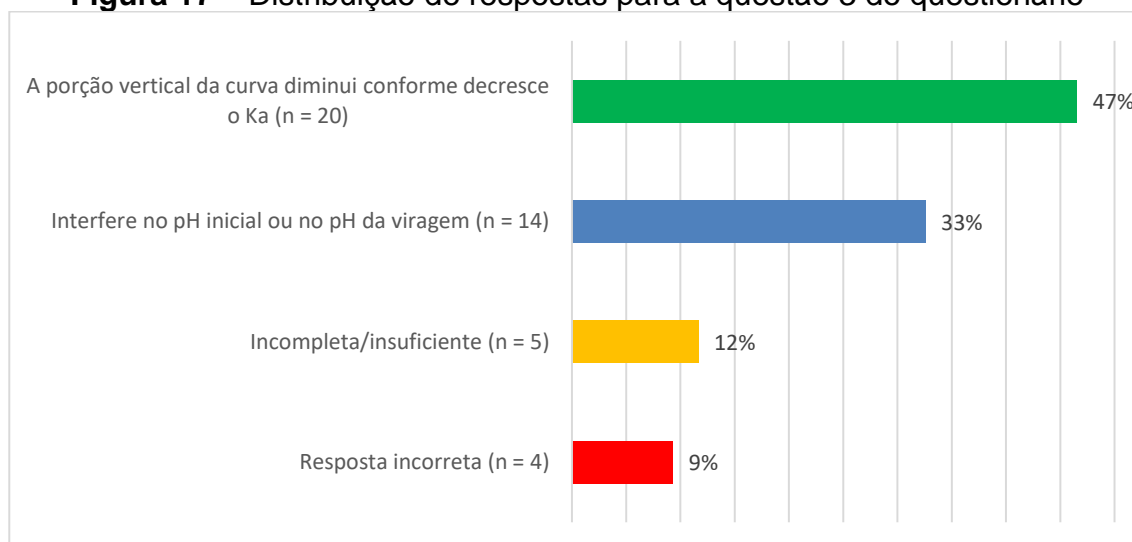
Nessa questão, respostas em branco ou totalmente incorretas equivaleriam à categoria 1 de competência representacional; respostas incompletas ou insuficientes equivaleriam à categoria 2; respostas em que a estequiometria da reação ficou subentendida, mas houve alguma explicação, categoria 3; e respostas corretas citando a estequiometria da reação, categoria 4. Exemplos destas respostas estão ilustradas no Quadro 5.

Quadro 5 – Exemplos de resultados para a questão 2 do pós-teste

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
"A quantidade de ácido adicionada influencia no pH"	Interpretação descritiva denotativa	1
"Quanto mais ácido, menor o pH, então eles abaixam a curva"	Habilidades simbólicas iniciais	2
"Diferentes concentrações mudam o ponto de viragem, tornando esse ponto mais próximo da origem (maior concentração) ou mais distante (menor concentração)"	Uso sintático de representações formais	3
"Quão mais concentrada for a solução do ácido, mais volume de base faz-se necessária para neutralizar o titulado e, portanto, mais deslocado para a direita fica a região em que o pH da solução titulada é neutra"	Uso semântico de representações formais	4

A terceira questão abordava como a constante de ionização dos ácidos interfere na curva de titulação. As respostas consideradas corretas deveriam explicar acerca do K_a influenciar no quão acentuada ficaria a inflexão da curva. A Figura 17 mostra essa distribuição de respostas.

Figura 17 – Distribuição de respostas para a questão 3 do questionário



Analisando o gráfico, é possível observar uma grande porcentagem de estudantes que conseguiram relacionar o conceito de K_a à curva de titulação. Isso se deve provavelmente a comparação entre as diferentes curvas de titulação simuladas.

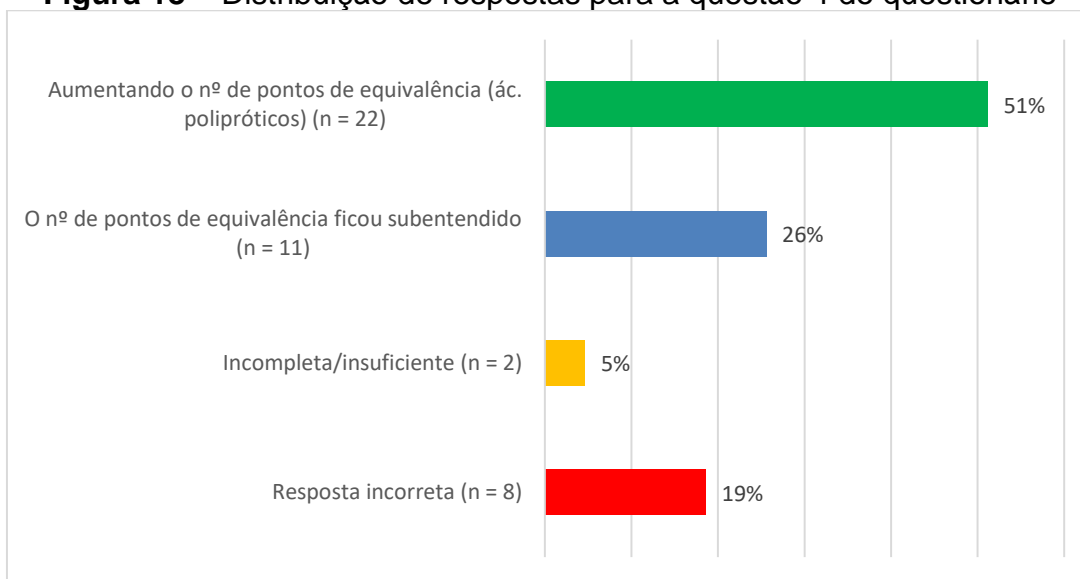
Para a questão 3, respostas em branco ou totalmente incorretas equivaleriam à categoria 1 da escala de competência representacional; respostas incompletas ou insuficientes equivaleriam à categoria 2; respostas dizendo que interfere no pH inicial ou no pH da viragem, categoria 3; e respostas corretas dizendo que a porção vertical da curva diminui conforme decresce o K_a , categoria 4. Exemplos destas respostas estão ilustradas no Quadro 6.

Quadro 6 – Exemplos de resultados para a questão 3 do pós-teste

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
"A constante de ionização interfere na curva por conta dos seus valores e como eles se relacionam"	Interpretação descritiva denotativa	1
"Quanto maior a constante de ionização, maior quantidade de base que deve ser utilizada"	Habilidades simbólicas iniciais	2
"A constante de ionização interfere no valor no pH inicial: quanto maior a constante de ionização, maior a quantidade de H^+ dissociado e, conseqüentemente, menor que o pH"	Uso sintático de representações formais	3
"A constante de ionização dos ácidos interfere na curva de titulação na medida em que quão menor for a constante de ionização do ácido, menor será o intervalo de pH compreendido na região da curva que corresponde ao ponto de viragem"	Uso semântico de representações formais	4

E a última questão interpela sobre o número de hidrogênios ionizáveis na curva. Foram consideradas corretas, de modo geral, as respostas explicando sobre ácidos polipróticos apresentarem mais de um ponto de equivalência na curva de titulação (outros fatores devem ser levados em consideração, mas por ser uma pergunta bem ampla e pelos alunos terem que se basear somente nos exemplos das curvas que eles simularam, uma resposta simples já seria satisfatória). A Figura 18 mostra a distribuição de respostas para essa questão.

Figura 18 – Distribuição de respostas para a questão 4 do questionário



Também é possível observar um grande número de estudantes relacionando bem o número de pontos de equivalência na curva de titulação com o número de hidrogênios ionizáveis, isso mais uma vez corrobora em sugerir como a simulação pode auxiliar na representação dos conceitos.

Para esta questão, respostas em branco ou totalmente incorretas equivaleriam à categoria 1 da escala de competência representacional; respostas incompletas ou insuficientes equivaleriam à categoria 2; respostas em que o número de pontos de equivalência ficou subentendido, mas houve alguma explicação, categoria 3; e respostas corretas citando o aumento do número de pontos de equivalência (ácidos polipróticos), categoria 4. Exemplos destas respostas estão ilustradas no Quadro 7.

Quadro 7 – Exemplos de resultados para a questão 4 do pós-teste

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
"Mesma resposta da 3"	Interpretação descritiva denotativa	1
"O número de hidrogênios ionizáveis determinará a quantidade de H^+ que neutralizará OH^- da base"	Habilidades simbólicas iniciais	2
"A curva terá intervalos, como "sub" pontos de viragem, tais intervalos devem ser crescentes"	Uso sintático de representações formais	3
"O aumento do número de hidrogênios ionizáveis interfere na curva de titulação na medida em que faz com que haja mais pontos de viragem na curva"	Uso semântico de representações formais	4

7.1.3.3 Revisão do pré-teste

Após estas questões, as respostas foram discutidas com os estudantes e, em seguida, eles receberam uma nova folha do pré-teste com as duas questões iniciais novamente, só que, desta vez, teriam a chance de alterar alguma de suas respostas e, após entregarem esta folha refeita do pré-teste, houve uma discussão acerca das respostas esperadas. Foram utilizados os mesmos critérios já explanados acerca destas duas questões para as categorizações na escala de competência representacional. As Figuras 19 e 20 mostram essas distribuições de respostas. Na questão 1 nenhum estudante alterou suas respostas para as alternativas f) ou b).

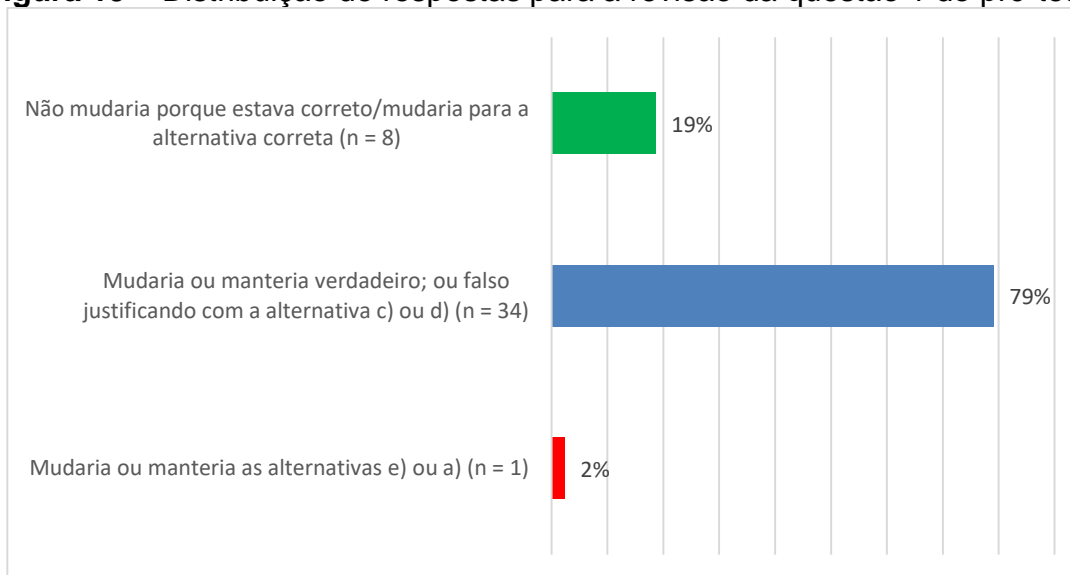
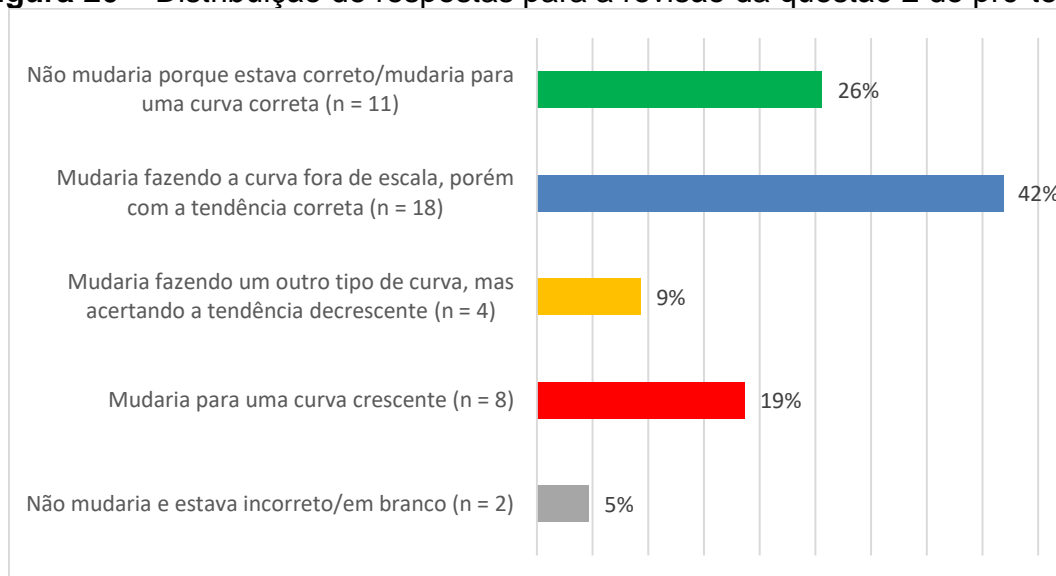
Figura 19 – Distribuição de respostas para a revisão da questão 1 do pré-teste

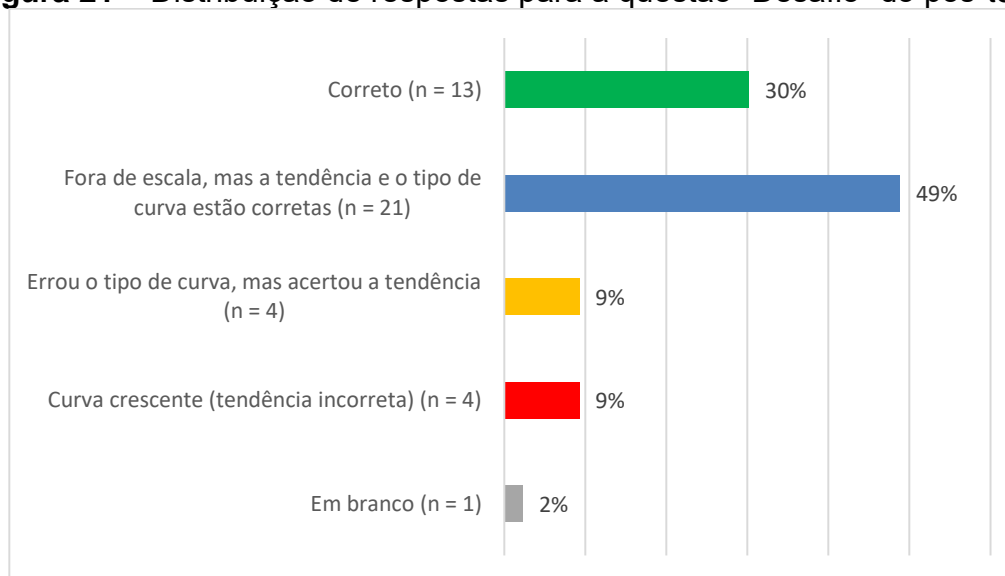
Figura 20 – Distribuição de respostas para a revisão da questão 2 do pré-teste



Ao observarmos os gráficos, na questão 1 a maioria dos estudantes mudaria sua resposta para verdadeiro ou para a alternativa c); enquanto que na questão 2, a maioria alteraria a curva de titulação, principalmente no que tange à uma tendência correta, mesmo que fora de escala. Deste modo, isso sugere mais uma vez que após as simulações das curvas, os estudantes demonstraram mais atenção e parecem propensos a compreender melhor, pelo menos em nível estequiométrico, o significado de uma curva de titulação.

7.1.3.4 Desafio

A seguir, após todas as curvas simuladas e discussões realizadas acerca das questões trabalhadas, foi solicitado aos estudantes que, com o simulador fechado, tentassem esboçar uma curva mais atípica: uma curva de titulação de 20 mL de carbonato de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) com ácido clorídrico ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) até 50 mL. Dados valores das constantes de ionização do ácido carbônico ($K_{a1} = 4,4 \times 10^{-7}$; $K_{a2} = 4,8 \times 10^{-11}$). A Figura 21 mostra a distribuição de respostas para as curvas esboçadas nesta questão.

Figura 21 – Distribuição de respostas para a questão “Desafio” do pós-teste

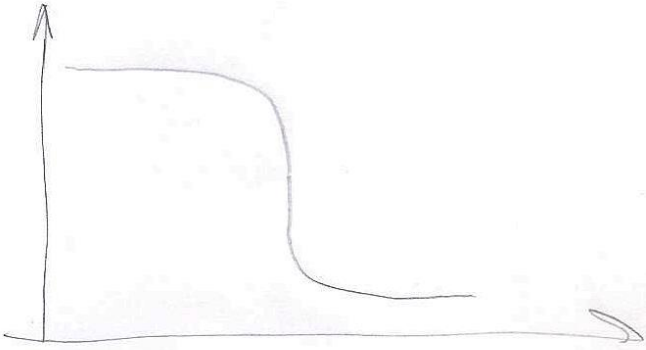
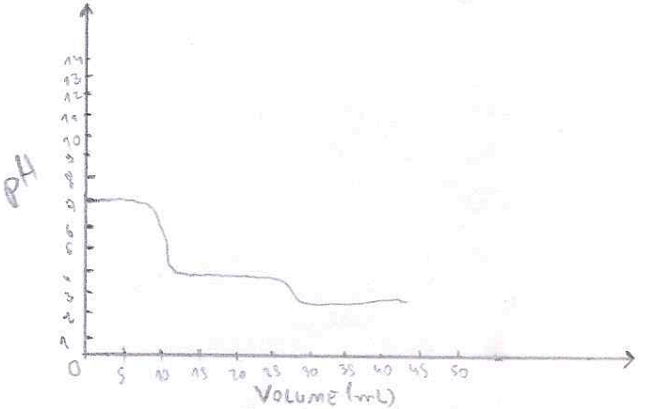
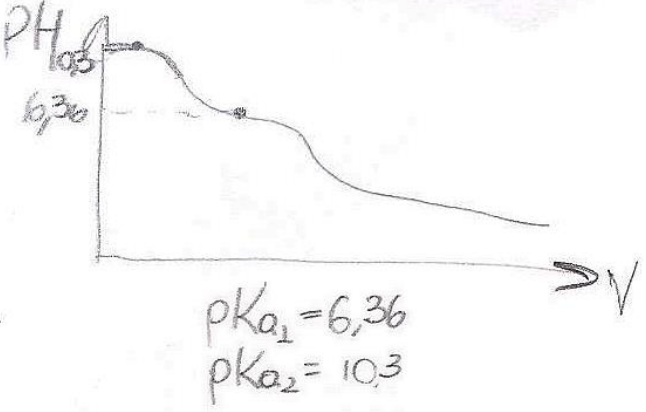
Analisando o gráfico de distribuição de respostas para a questão “Desafio”, mais uma vez observamos que a maior parte dos estudantes conseguem pelo menos esboçar a tendência da curva de forma satisfatória, mesmo que fora de escala, reforçando o que observado também na revisão das duas primeiras questões do pré-teste.

Para classificar segundo a escala de competência representacional a esta questão, foi estabelecido que: respostas em branco ou com curvas crescentes (com a tendência incorreta) equivaleriam a categoria 1; tipo de curva incorreta, mas tendência correta, categoria 2; curvas muito fora de escala, mas tendência e tipo de curva corretas, categoria 3; e curvas totalmente corretas, categoria 4. O Quadro 8 resume a tradução em números das possíveis respostas.

Quadro 8 – Exemplos de resultados para a questão “Desafio” do pós-teste (continua)

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
	Interpretação descritiva denotativa	1

Quadro 8 – Exemplos de resultados para a questão “Desafio” do pós-teste (conclusão)

Registros	Categorização na Escala Representacional	Tradução em números
	Habilidades simbólicas iniciais	2
	Uso sintático de representações formais	3
	Uso semântico de representações formais	4

7.1.3.5 Conclusões parciais da atividade

Os resultados obtidos mostraram-se interessantes, já que foi possível identificar os erros cometidos e, com isso, buscar compreender pontualmente onde os estudantes apresentam algum tipo de defasagem conceitual acerca do tema.

No estudo prévio, muitos demonstraram certa confusão com o tipo de curva para uma titulação do tipo ácido forte com base forte; além disso, a maioria não se

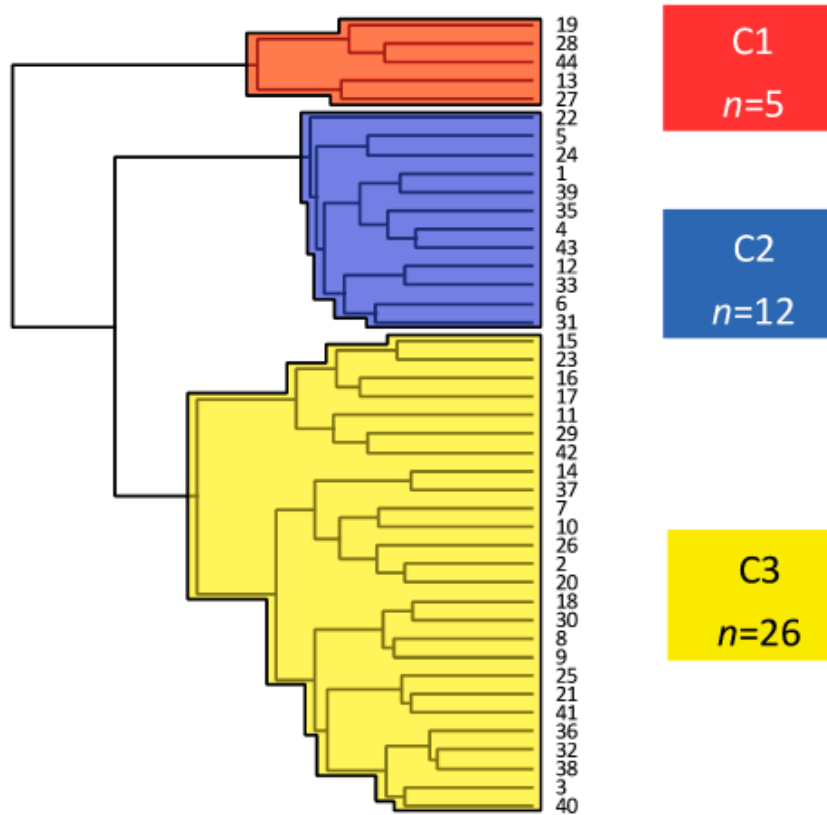
atentou quando a situação era inversa, ou seja, utilizando um ácido como titulante, esboçando assim uma curva que não representava a situação descrita. A seguir, houve a simulação e a reflexão para responder as questões a partir das curvas, posto que praticamente metade dos estudantes apresentaram respostas satisfatórias com base em seu conhecimento prévio, mas alicerçado ainda mais quando eles mesmos construíram e compararam as diferentes situações com as curvas simuladas. Logo após, houve uma discussão e correção das respostas, onde a teoria foi mais bem explorada, tomando como base o que os estudantes haviam produzido. Na revisão do pré-teste, muitos deles mudaram as respostas dadas, sendo que a grande maioria conseguiu corrigi-las após a discussão. A questão desafio propunha uma situação pouco comum, mas levando em consideração uma base em toda discussão e reflexão realizada, portanto, houve muitas curvas esboçadas de forma satisfatória.

Sendo assim, foi possível verificar a partir dos resultados obtidos que os estudantes 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. Com isso, intensificaram suas discussões relacionadas com a curva de titulação simuladas com um *software* e, para estes estudantes, a interpretação foi acrescida de outros conhecimentos, possibilitando um ambiente de discussão e tomadas de decisão que contribuiu para os objetivos deste estudo.

7.1.3.6 Resultados e discussão

Realizada a categorização dos resultados baseados na escala de Kozma e Russell (2005), foi possível elaborar uma tabela que traduz em números dessa escala a categorização dos registros em escala representacional, onde os dados foram inseridos no *software* estatístico *Orange*, uma ferramenta de análise e visualização de dados, tornando possível o agrupamento hierárquico dos dados numa distância euclidiana utilizando o método de *Ward*, dividindo os dados inseridos como números em três diferentes grupos (*clusters*), bastante característicos, chamados de C1 (n = 5), C2 (n = 12) e C3 (n = 26), como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Dendograma dos grupos de estudantes por análise hierárquica de clusters



Com estes mesmos dados, foi possível construir diferentes gráficos de barras de acordo com a frequência relativa de cada *cluster* nos diferentes níveis da escala de competência representacional para as etapas de pré-teste e pós-teste, como mostram as Figuras 23, 24, 25 e 26.

Figura 23 – Gráfico dos resultados do pré-teste

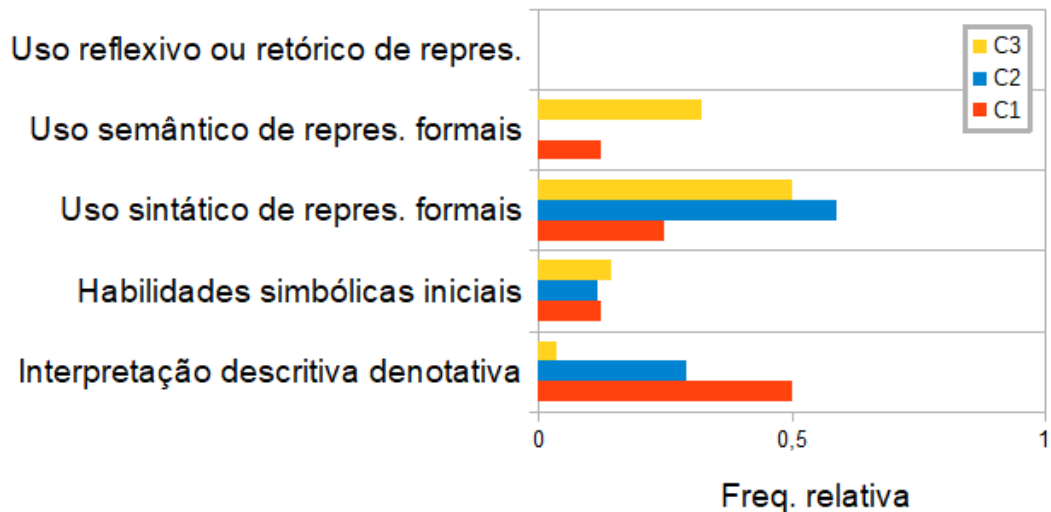
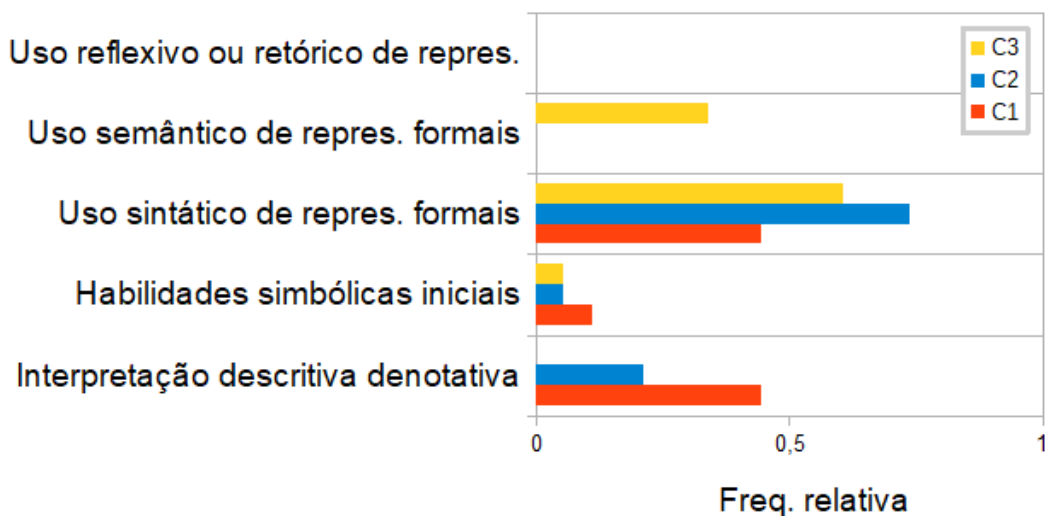


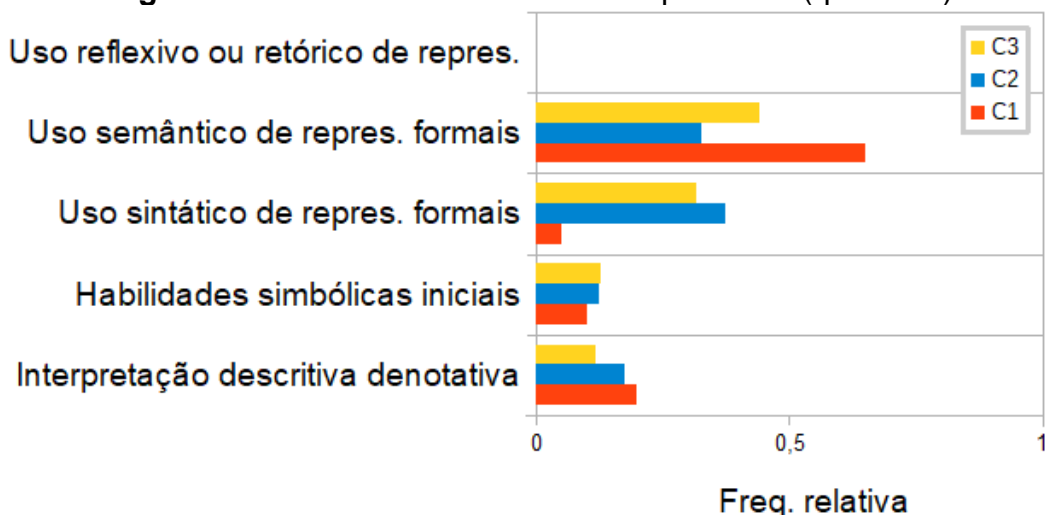
Figura 24 – Gráfico dos resultados do pós-teste (revisão do pré-teste)



Tomando como parâmetro de comparação o pré-teste com os diferentes pós-testes realizados:

I – Pós-teste como revisão do pré-teste (caso os estudantes quisessem alterar alguma das respostas dadas no início da atividade, mas agora após a utilização do simulador): foi possível perceber uma discreta evolução dos grupos C1 e C3, saindo de um nível de uma interpretação meramente descritiva e denotativa para um uso sintático de representações formais;

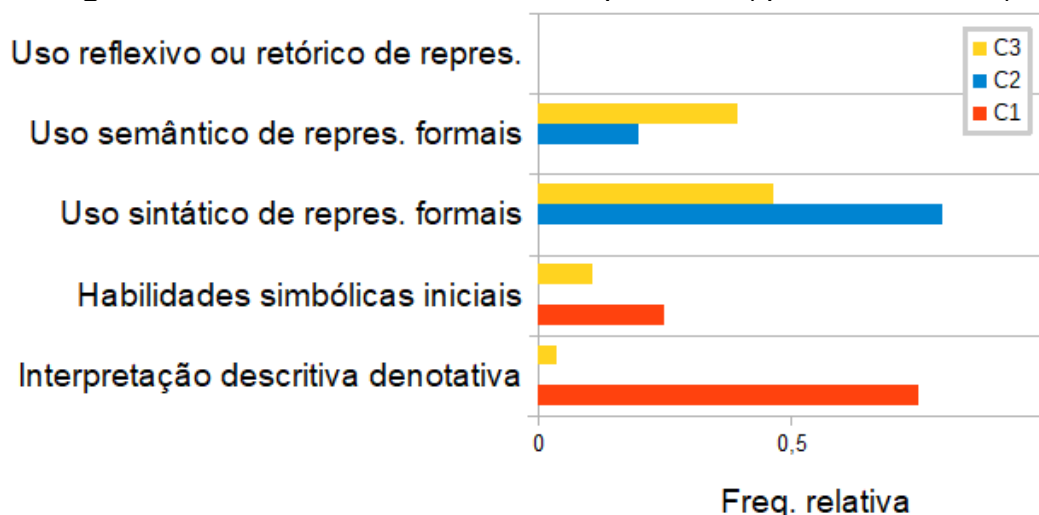
Figura 25 – Gráfico dos resultados do pós-teste (questões)



II – Pós-teste com questões dissertativas sobre a relação entre equilíbrio químico, estequiometria e as curvas de titulação, tomando como base as curvas que foram simuladas: ocorreu uma discrepante mudança dos grupos C1 e C2, caracterizados

como uma significativa evolução. O grupo C2, antes num nível de representação como descrição, evolui para o uso semântico das representações formais; o mesmo vale para o grupo C1, que sai do nível mais baixo da escala e alcança o uso sintático e semântico das representações;

Figura 26 – Gráfico dos resultados do pós-teste (questão “desafio”)



III – Pós-teste com a predição de uma curva de titulação não simulada: sendo esta a etapa mais desafiadora, fica muito clara a evolução dos estudantes do grupo C2, já que não constam mais indivíduos nos dois níveis mais baixos da escala de competência representacional, estes evoluíram para o uso sintático e semântico das representações formais (níveis mais altos).

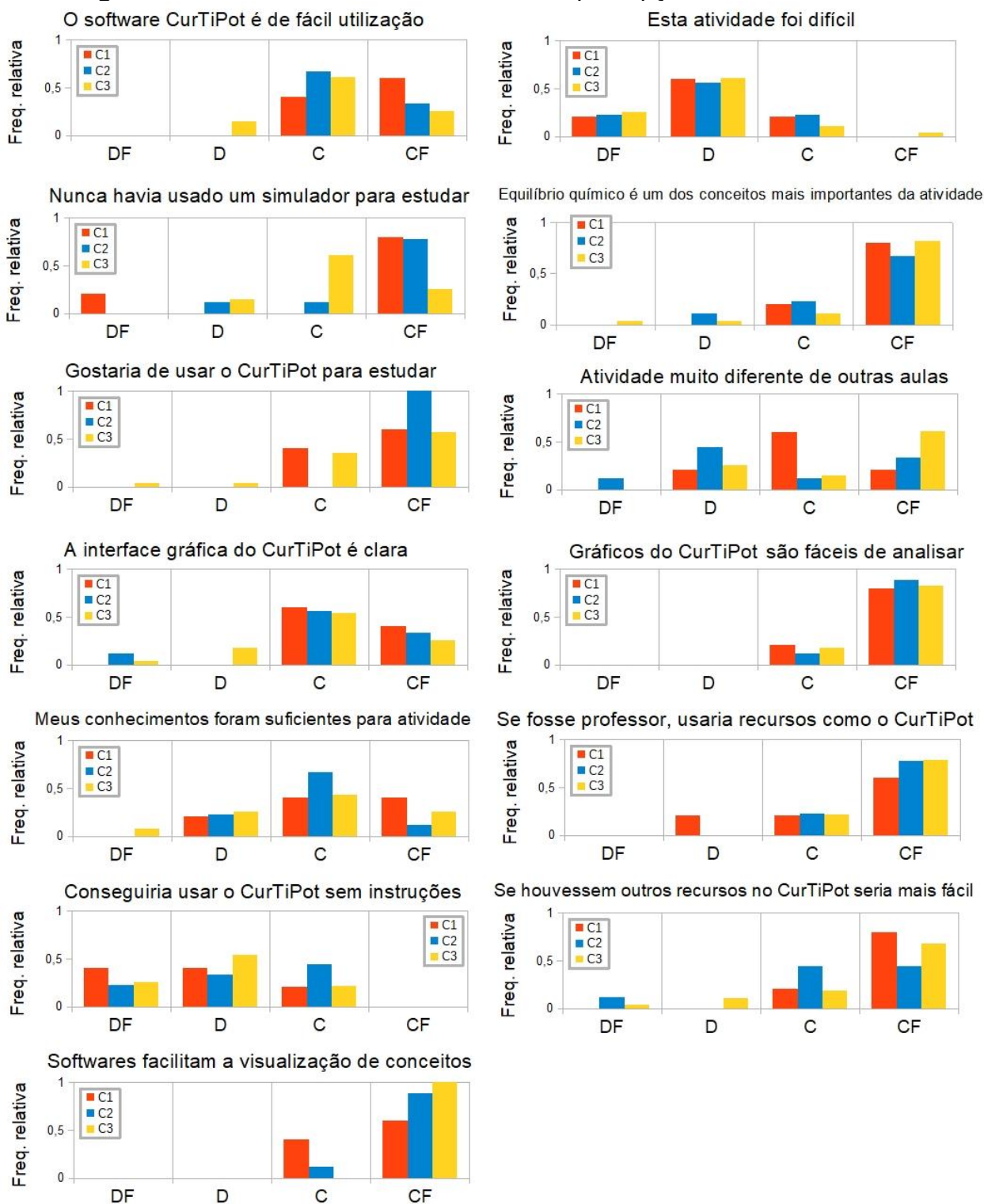
7.1.3.7 Percepção dos estudantes

Por fim, os estudantes realizaram uma avaliação sobre o simulador CurTiPot, sobre a atividade e a disposição em utilizar simuladores, para uma análise posterior de carácter mais qualitativo em relação ao público envolvido. Ao final, estes também poderiam deixar comentários gerais. As questões estão elencadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Percepção da atividade pelos estudantes

Sentenças	Grau de concordância (n=43)			
	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
O <i>software</i> CurTiPot é de fácil utilização	0	3	26	14
Antes desta atividade, eu nunca havia usado um simulador para estudar	4	3	1	35
Eu gostaria de usar o <i>software</i> CurTiPot para estudar	0	1	12	30
A interface gráfica do CurTiPot é clara	1	5	24	17
Meus conhecimentos prévios foram suficientes para realizar esta atividade	2	9	23	9
Eu seria capaz de usar o CurTiPot sem instruções prévias sobre seu funcionamento	10	22	11	0
O uso de <i>softwares</i> educacionais facilita a visualização de conceitos	0	0	2	41
Esta atividade foi difícil	10	25	7	1
Dos conceitos envolvidos nesta atividade, equilíbrio químico é um dos mais importantes	1	1	7	34
A atividade é muito diferente das quais normalmente participo nas aulas	1	12	9	21
Os gráficos presentes no CurTiPot são fáceis de analisar	0	0	7	36
Se eu fosse professor, gostaria de usar recursos como o CurTiPot com meus alunos	0	1	9	33
Se houvessem outros recursos no CurTiPot (como vídeos reais e representações microscópicas) eu entenderia mais claramente	1	4	10	28

Também foi possível construir gráficos para as respostas de caráter qualitativo dadas na percepção dos estudantes para a atividade e para o simulador, onde DF = Discordo Fortemente; D = Discordo; C = Concordo; e CF = Concordo Fortemente, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Gráficos com os resultados das percepções dos estudantes

7.1.3.8 Conclusões da atividade

Como esperado, inicialmente, um conjunto significativo de estudantes apresentou dificuldades crescentes no sentido da interpretação para a construção de representações (*clusters* 1 e 2). Muitos ainda parecem trazer concepções alternativas

do ponto de vista do equilíbrio químico, pois como mostrado, esboçam a curva de titulação com uma tendência errada, corroborando com Silva et al. (2008) sem fazer distinção entre ácidos e bases, além de não compreenderem que o equilíbrio químico é dinâmico, mas sim estático, concepção alternativa apontada por Carobin e Serrano (2007).

De modo geral, a atividade com o simulador parece ter favorecido o desenvolvimento de competências representacionais referentes à interpretação de curvas de titulação, adentrando principalmente o nível de uso sintático das representações, parecendo ter beneficiado, em especial, estudantes que apresentaram respostas relacionadas aos níveis intermediários de competência representacional no pré-teste. Estes resultados sugerem que a atividade com o simulador contribuiu principalmente para estudantes do grupo C2 em relação ao desenvolvimento da competência representacional após a utilização do simulador, o que se considera muito positivo, dado o caráter pontual da atividade.

Além disso, como apontado por Lopes (1993), a curva de titulação parece ser uma situação ideal para trabalhar conceitos atrelados ao equilíbrio ácido-base e, nesta atividade, a curva parece ter sido de fato a representação principal deste corpo de conceitos, pois seja para interpretar, prever ou simular, envolve todos os aspectos do equilíbrio químico presentes nas reações ácido-base na concepção de Arrhenius.

A atividade também parece ter tido contribuições para o estudo em relação às classificações utilizando a escala de competência representacional, de Kozma e Russell (2005), visto que foi possível utilizar a escala de acordo com o perfil de respostas e esboços de curvas apresentadas pelos estudantes, permitindo compreender essas categorizações com melhor clareza, onde o grupo de alunos pode começar apenas com descrições literais, passando por símbolos atrelados a um senso comum (como é o caso das curvas esboçadas de forma automática), até utilizar representações para prover explicações, resolver problemas e fazer previsões de forma semântica.

Outro indicativo apontado principalmente na percepção dos estudantes é que a simulação da curva não parece oferecer insumos suficientes para facilitar a aprendizagem dos conceitos, seja pela interpretação ou pela sua previsão. Isto pode indicar que a incorporação de outras representações, sobretudo o vídeo, podem ter um papel importante como facilitadoras do processo. E os estudantes apontaram isso em suas percepções ao utilizar o CurTiPot, relatando que este é um *software* bastante

completo, mas que não é tão simples de utilizar, e que se houvessem outros recursos didáticos atrelados a ele, seriam muito mais beneficiados. Estes recursos didáticos podem ser vídeos, pois atividades envolvendo simulação por meio de vídeos podem contemplar diferentes tipos de solicitação, proporcionando por exemplo, de acordo com Schuck e Serrano (2004), a manipulação de variáveis.

A abordagem utilizada na proposta permitiu a discussão e reflexão sobre diversos aspectos da atividade, mas particularmente na forma como os estudantes fundamentam suas respostas relacionadas à seleção dos resultados, proporcionando, de maneira inovadora, um novo objeto de aprendizagem: a simulação, provando assim ser uma boa ferramenta de superação das concepções alternativas promovidas a partir da reflexão. Com base nesses resultados, foi possível dar continuidade no estudo de modo muito mais abrangente, agora inserindo vídeos interativos, apoiado num referencial teórico mais sólido no que tange tanto a construção do vídeo quanto a aplicação do simulador. Além disso, foi possível expandir o estudo com outros cursos de graduação de outras disciplinas, aumentando o número de participantes da pesquisa e aperfeiçoando ainda mais as abordagens metodológicas e de análise de dados.

7.2 ESTUDOS UTILIZANDO SIMULADORES BASEADOS EM VÍDEOS

Apoiando-nos nos resultados obtidos com o estudo prévio utilizando simulação baseada no cálculo de curvas de titulação, e nas premissas descritas nas hipóteses de trabalho deste estudo, foram concebidas atividades que incorporassem vídeos planejados para facilitar a integração de diferentes representações de conceitos envolvidos num experimento de titulação.

Conforme descrito em detalhes na seção dedicada às Abordagens Metodológicas, tais vídeos são concebidos de modo a integrar na mesma representação (o vídeo), três elementos de destaque numa titulação: a escala da bureta, o recipiente de reação, e a medida visual do progresso da reação (indicador visual) ou a medida quantitativa correspondente (medida do pHmetro). Por esta razão, neste estudo, consideramos o vídeo como um "grupo representacional".

Devido ao papel central da curva de titulação como articulador conceitual evidenciado no estudo prévio, esta representação foi empregada para compor, com os vídeos, três atividades virtuais de simulação distintas quanto à estrutura e ao modo como articulam elementos multimídia, cada qual associada a uma situação-problema

ou objetivo de aprendizagem (veja Apêndice C para uma descrição detalhada, tela a tela, destes recursos). Por fim, em duas das atividades, um terceiro componente representacional foi empregado: um gráfico de barras indicando composição do sistema reacional, expresso em termos da proporção relativa das formas protonada e desprotonada do ácido titulado. Assim, em contraste ao estudo prévio, uma tríade representacional foi empregada na constituição dos simuladores por meio de vídeos.

Em cada caso, o vídeo e a curva de titulação cumprem papéis distintos, e foram empregados diferentes modos de interpretação das informações da curva de titulação, tráfegando entre os aspectos quantitativos e qualitativos. Contudo, em todos os casos, de um modo ou de outro, considerou-se três situações de interesse na titulação: início do processo até região de tamponamento; viragem ou ponto de equivalência; uma gota a mais de titulante além do ponto de equivalência.

Em todas as atividades, foram inseridas questões com a função de orientar o ensino (como roteiros) e de coletar dados para a pesquisa. Em relação ao segundo aspecto, no decorrer das atividades, tais questões incidiram sobre os três elementos estabelecidos para o perfil conceitual do conceito de reversibilidade de reações químicas: estequiometria, equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico. Ao final, estas concepções eram formalizadas como frases, devendo os estudantes indicar aquela que melhor explicaria suas escolhas para as questões propostas durante a atividade.

Além destas atividades, foram tomados dados sobre a percepção da sequência de ensino em que se deram as atividades, incidindo especialmente sobre a familiaridade das representações presentes, a dificuldades das atividades, a dificuldade dos conceitos e as contribuições da atividade para a aprendizagem.

A apresentação dos resultados desta parte do estudo será então organizada por atividade. Primeiro, individualmente e, depois, de forma integrada, sendo a integração referenciada pelo registro das respostas dos estudantes para as questões apresentando os elementos formalizados do perfil conceitual (questões finais nas atividades).

Esta etapa do estudo envolveu mais de 200 estudantes de três cursos. Contudo, foram incorporados a esta seção apenas os resultados obtidos com a parcela dos estudantes que formalizaram sua participação na pesquisa por meio do TCLE, e, dentre estes, aqueles para os quais obtivemos o conjunto completo de dados, isto é, respostas aos quatro itens. Deste modo, nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos de 102 estudantes cursando disciplinas

introdutórias de química, assim compostos: 48 do curso de Farmácia (período integral - Farmácia I), 24 de Farmácia (período noturno - Farmácia N), 19 de Geologia e 11 de Licenciatura em Geociências e Educação Ambiental (período noturno - LiGEA). É interessante destacar aqui uma diferença significativa entre o curso de LiGEA (voltado para professores, visto que é um curso de licenciatura e, portanto, participaram estudantes muito mais velhos e que já estavam na sua segunda graduação) e os demais cursos de bacharelado, com participantes muito mais novos e cursando sua primeira graduação.

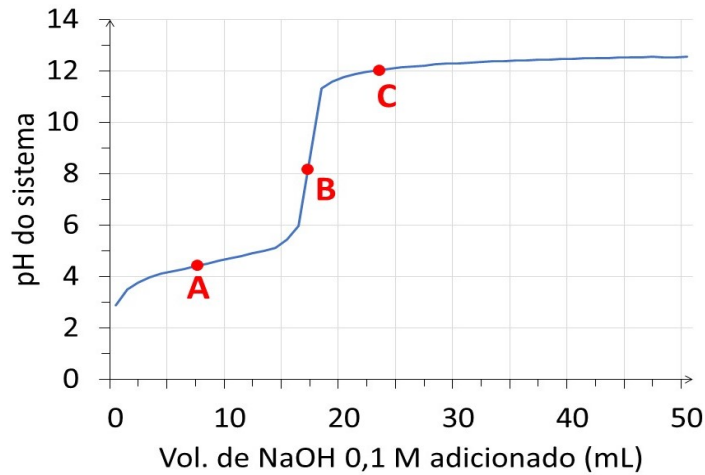
7.2.1 Atividade 1

Esta atividade cumpre três funções principais. Primeiro, a de introduzir o repertório representacional: curva de titulação, grupo representacional do vídeo e composição do sistema por meio do gráfico de barras das proporções das formas protonada e desprotonada. Segundo, a de reunir informações sobre as concepções prévias dos estudantes sobre o corpo de conceitos delineados, à luz do perfil conceitual estabelecido para o estudo. Terceiro, a de preparar os estudantes para as atividades seguintes.

Nesta atividade, o vídeo é o fio condutor da atividade, sendo o tempo dos eventos, ou o registro do experimento, os elementos que organizam o percurso didático. A apresentação das informações na curva de titulação é subordinada às representações macroscópicas no vídeo.

No decorrer da atividade, o vídeo apresenta pausas automáticas nas quais são propostas nove questões na modalidade verdadeiro ou falso, em três momentos da titulação (Figura 28). As questões 1 (Q01), 2 (Q02) e 3 (Q03) referem-se à região de tamponamento (ponto A na Figura 28), as questões 4 (Q04), 5 (Q05) e 6 (Q06) referem-se ao ponto de viragem ou equivalência (ponto B na Fig. 27) e as questões 7 (Q07), 8 (Q08) e 9 (Q09) à uma região após a viragem (ponto C na Figura 28).

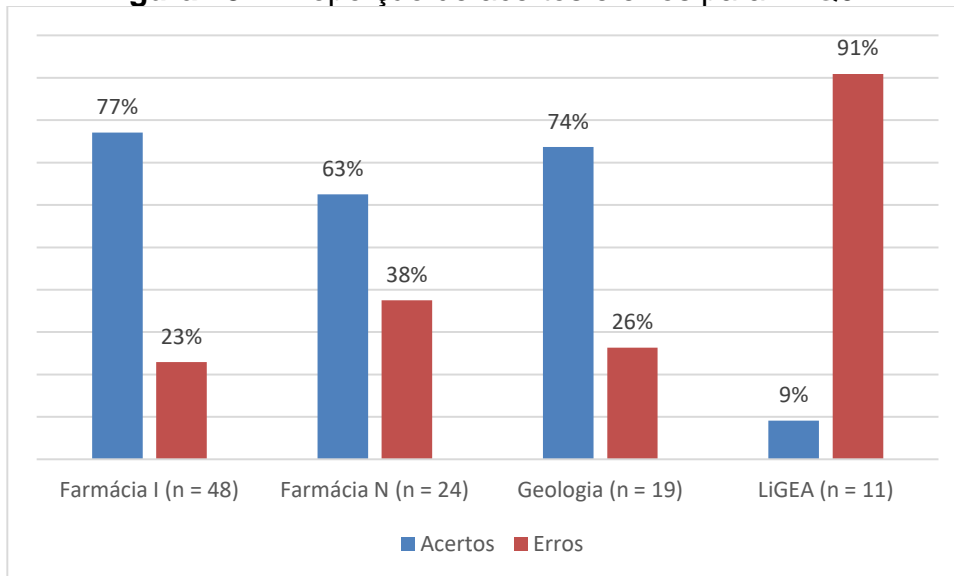
Em relação às representações, podemos considerar que: Q01, Q04 e Q07, envolvem a integração das representações da curva e da dimensão macroscópica; Q02, Q05 e Q08, envolvem a integração das representações para a composição do sistema (gráfico de barras) e da dimensão macroscópica; Q03, Q06 e Q09, mobilizam o perfil conceitual quanto à reversibilidade, ao indagar o resultado esperado da adição de ácido, sobre composição do sistema.

Figura 28 – Curva de titulação empregada nas questões

7.2.1.1 Resultados individuais para cada questão da atividade 1

Q01: O sistema encontra-se no ponto A da curva.

A Figura 29 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 1 na atividade 1 (A1Q1).

Figura 29 – Proporção de acertos e erros para A1Q01

Esta é uma questão acerca do momento inicial da titulação. Considera-se que se exija as seguintes operações com as representações presentes, de modo a responder a questão de forma considerada correta:

- **Interpretar o gráfico**, associando a representação cartesiana do ponto na curva com os valores correspondentes no sistema de coordenadas da curva de titulação apresentada, de modo a obter valores de pH e do volume;
- **Ler o volume** na representação macroscópica da escala da bureta mostrada

no vídeo;

- **Relacionar** a cor apresentada no béquer onde ocorre a reação com a cor na escala de pH;
- **Relacionar** os valores lidos no vídeo com os interpretados na curva.

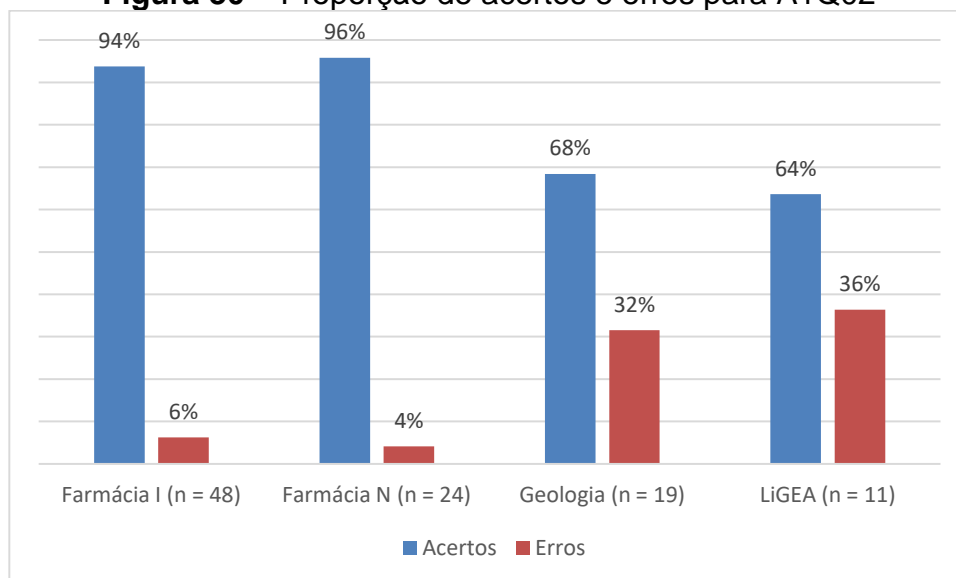
O perfil dos estudantes é bastante heterogêneo em relação à proporção de acertos nessa questão. Estudantes de Farmácia I, Farmácia N e Geologia parecem apresentar um perfil de respostas mais próximo com preponderância de respostas corretas. Já os estudantes de LiGEA tiveram mais dificuldade nesta questão, sugerindo que estes apresentam mais dificuldades de relacionar e integrar as diferentes representações.

Nessa questão o que se exige é a interpretação de uma curva de titulação ao fazer uma comparação visual com a cor do sistema e a escala de pH sobre o conceito de composição do sistema. Ainda que o estudante não entenda o porquê da cor, a leitura direta da cor e sua relação no gráfico seria suficiente para resolver a questão. Do ponto de vista da competência representacional na escala de Kozma e Russell (2005), a questão aponta para o nível de leitura direta da escala, ou seja, nível 2, visto que somente é necessário relacionar a composição do sistema expressa na forma de uma curva com o seu aspecto macroscópico (leitura direta na escala de cores de pH).

Isoladamente, os resultados apresentados para esta questão sugerem que apenas os estudantes dos grupos Farmácia I, Farmácia N e Geologia parecem integrar as representações de modo compatível, pelo menos, ao nível 2 da escala de competência representacional.

Q02: A composição do sistema indica que metade do ácido foi neutralizado.

A Figura 30 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 2 na atividade 2 (A1Q02).

Figura 30 – Proporção de acertos e erros para A1Q02

Questão acerca do momento inicial da titulação na região de tamponamento. Considera-se que se exija as seguintes operações com as representações presentes, de modo a responder a questão de forma considerada correta:

- **Interpretar o gráfico de barras** mostrando a composição de espécies protonadas e desprotonadas no sistema;
- **Relacionar** o momento ocorrido no vídeo de acordo com a cor apresentada no béquer reacional e a cor na escala de pH com a porcentagem de espécies naquele momento inicial;
- **Relacionar** os valores lidos no vídeo com os interpretados no gráfico de barras.

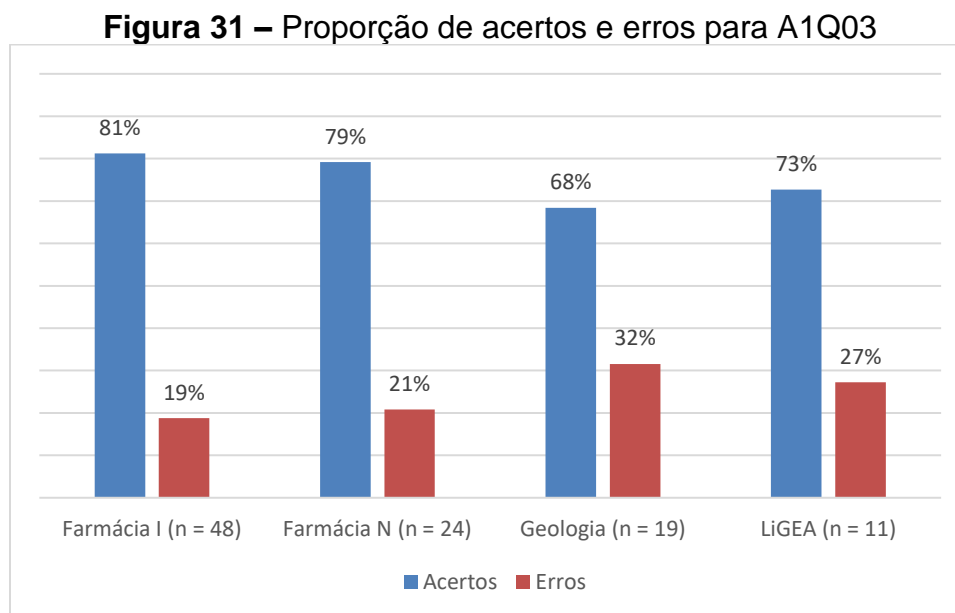
Houve uma grande homogeneidade entre o grupo Farmácia e outra grande homogeneidade entre os grupos Geologia e LiGEA.

Para resolver essa questão, além de interpretação, existe um conceito químico: o de estequiometria. Envolve uma competência representacional já no nível 3, pois é necessário ler o gráfico e interpretar do ponto de vista químico, envolvendo um raciocínio quantitativo.

Portanto, esses resultados sugerem que os estudantes parecem apresentar uma bagagem muito semelhante em relação ao conceito de estequiometria, e que o grupo Farmácia, tanto integral quanto noturno, parece apresentar esse conceito mais claro que o grupo Geologia e LiGEA. Então, isoladamente, o grupo Farmácia parece compatível, pelo menos, ao nível 3 da escala de competência representacional.

Q03: Nessa composição do sistema o pH varia pouco com a adição de base.

A Figura 31 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 3 na atividade 1 (A1Q03).



Questão acerca do momento inicial da titulação. Considera-se que se exija as seguintes operações com as representações presentes, de modo a responder a questão de forma considerada correta:

- **Interpretar o gráfico de barras** mostrando a composição de espécies protonadas e desprotonadas no sistema;
- **Interpretar a curva de titulação**, de modo a obter valores de pH e do volume;
- **Ler o volume** na representação macroscópica da escala da bureta mostrada no vídeo;
- **Relacionar** a cor apresentada no béquer onde ocorre a reação com a cor na escala de pH;
- **Relacionar** o momento ocorrido no vídeo de acordo com a cor apresentada no béquer reacional e a cor na escala de pH com a porcentagem de espécies naquele momento inicial;
- **Relacionar** os valores lidos no vídeo e interpretados no gráfico de barras ao conceito de equilíbrio químico.

Parece ter havido um equilíbrio entre as respostas de todos os grupos de estudantes. O grupo que apresentou menor quantidade de acertos foi o Geologia, mas essa diferença não foi tão significativa, mesmo que de modo isolado.

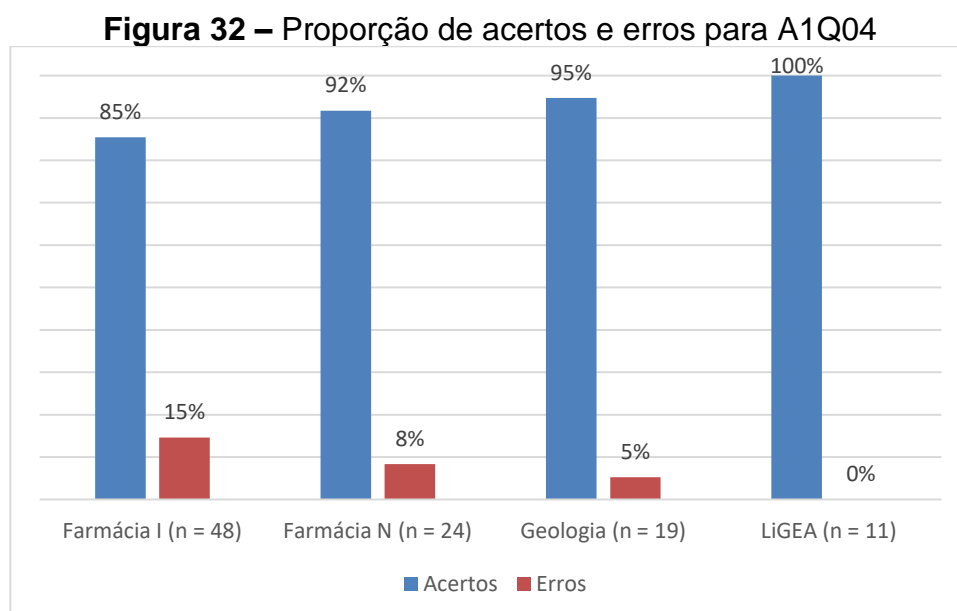
Essa questão deve ser resolvida com análise do significado da curva: que o pH varia pouco com a adição de base, ou seja, requer uma interpretação processual de tendência, onde a hipótese do equilíbrio químico é a concepção principal que os estudantes precisariam levar em consideração.

Sendo assim, requer a capacidade de integrar as representações visuais compatíveis com um nível superior da escala de competência representacional ao nível 3 ou 4, pois é necessária uma interpretação correta do sistema simbólico para representações quantitativas do equilíbrio químico, ou seja, da variação da razão entre espécies protonadas e desprotonadas.

Portanto, os resultados parecem apontar que os estudantes que analisam por uma das hipóteses do equilíbrio químico (estática ou dinâmica) são bastante homogêneos dentro de seu grupo, ou seja, uma boa parte deles parece levar esse conceito em consideração, pelo menos de forma isolada.

Q04: O ponto que melhor indica este momento do experimento no gráfico é o ponto B.

A Figura 32 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 4 na atividade 1 (A1Q04).



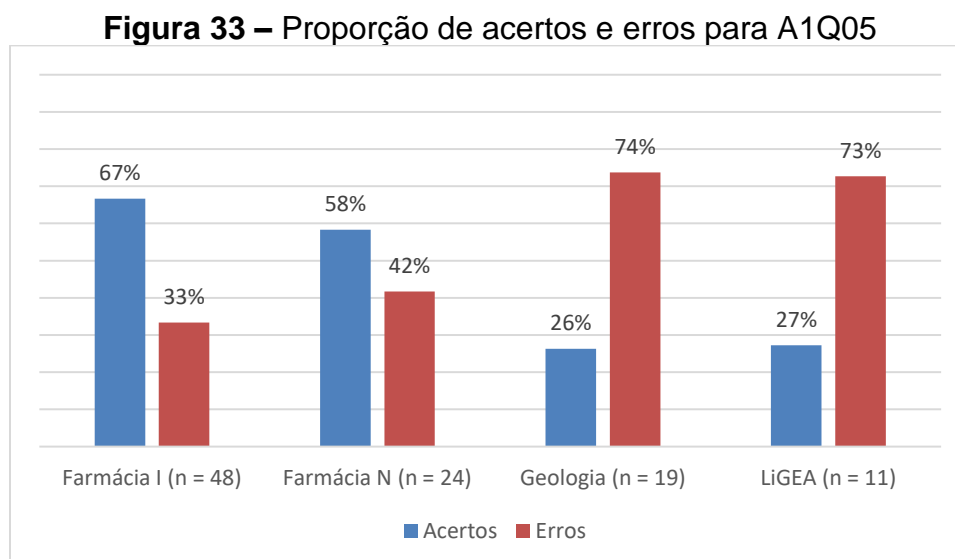
Questão acerca do momento em que ocorre a viragem da titulação. As operações exigidas com as representações presentes de modo a responder corretamente são as mesmas já elencadas em Q01, assim como o nível na escala de

competência representacional (nível 2).

Os resultados isolados dessa questão sugerem que a maior parte dos estudantes parece integrar as representações de modo compatível, pelo menos, ao nível 2 da escala de competência representacional, visto que essa grande maioria teve uma alta taxa de acertos, sem diferenças significativas, indicando que a habilidade de leitura direta por comparação visual parece ter sido adquirida no percurso de interação com o simulador entre a primeira e esta solicitação de identificar o ponto na curva correspondente ao mostrado no vídeo.

Q05: Nesta situação, podemos considerar que a titulação acabou.

A Figura 33 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 5 na atividade 1 (A1Q05).



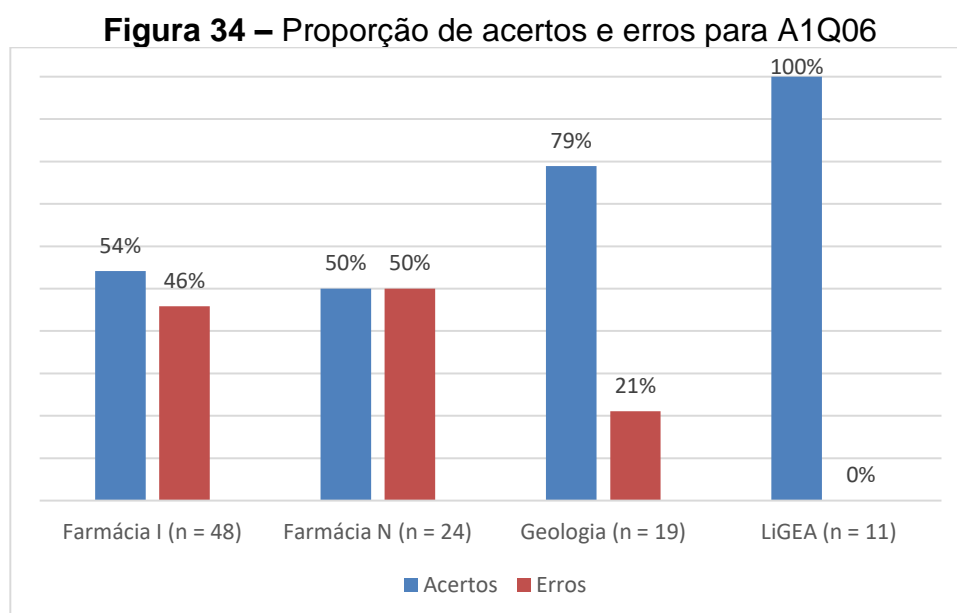
Questão acerca do momento em que ocorre a viragem da titulação. As operações exigidas com as representações presentes de modo a responder corretamente são as mesmas já elencadas em Q02, assim como o nível na escala de competência representacional (nível 3).

A maior parte do grupo Farmácia (integral e noturno) apresentou uma porcentagem maior de acertos, porém, a grande maioria dos estudantes dos grupos Geologia e LiGEA não. Os conceitos abordados na questão são ponto estequiométrico e fim da reação. Esses grupos parecem não compreender com toda clareza qual é o exato momento em que a titulação acaba. Ou seja, de maneira isolada, quando um sentido químico é atribuído, os alunos parecem apresentar maior dificuldade. A leitura

direta não é mais um problema circunscrito à leitura de representações, mas agora, envolve interpretação relacionada a um conceito químico, tornando-se assim, uma tarefa mais complexa.

Q06: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo o NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

A Figura 34 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 6 na atividade 1 (A1Q06).

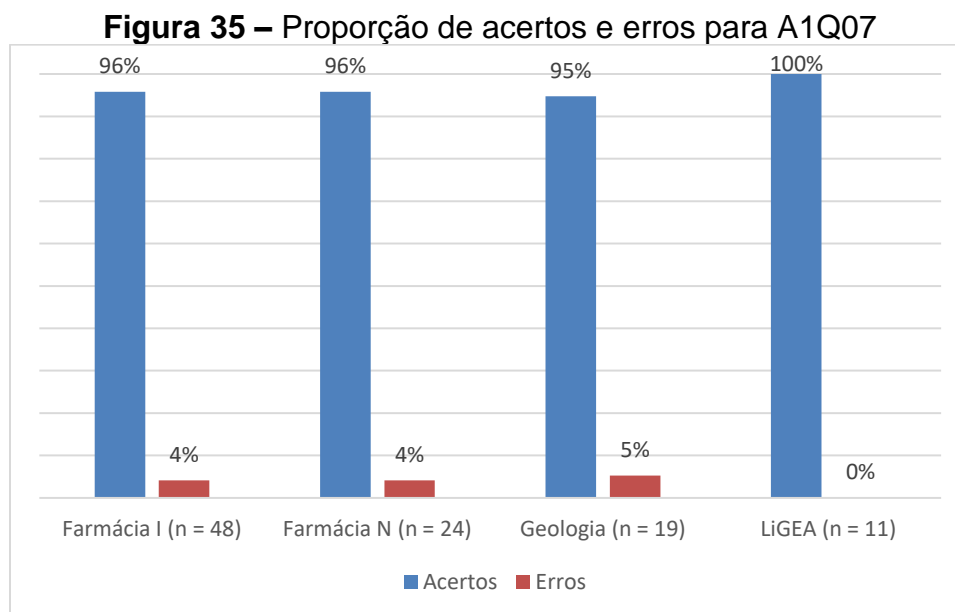


Questão acerca do momento em que ocorre a viragem da titulação. As operações exigidas com as representações presentes de modo a responder corretamente são as mesmas já elencadas em Q03, assim como o nível na escala de competência representacional (nível 3 ou 4).

Parece ter havido um equilíbrio entre as respostas dos grupos Farmácia. Já a grande maioria dos grupos Geologia e LiGEA apresentou uma porcentagem maior de acertos. Isso pode sugerir, isoladamente, que talvez os grupos Geologia e LiGEA tenham resolvido a questão sem levar em consideração a hipótese da reversibilidade, apoiando-se apenas na leitura simples da curva.

Q07: No ponto C da curva de titulação, todo o ácido foi neutralizado.

A Figura 35 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 7 na atividade 1 (A1Q07).

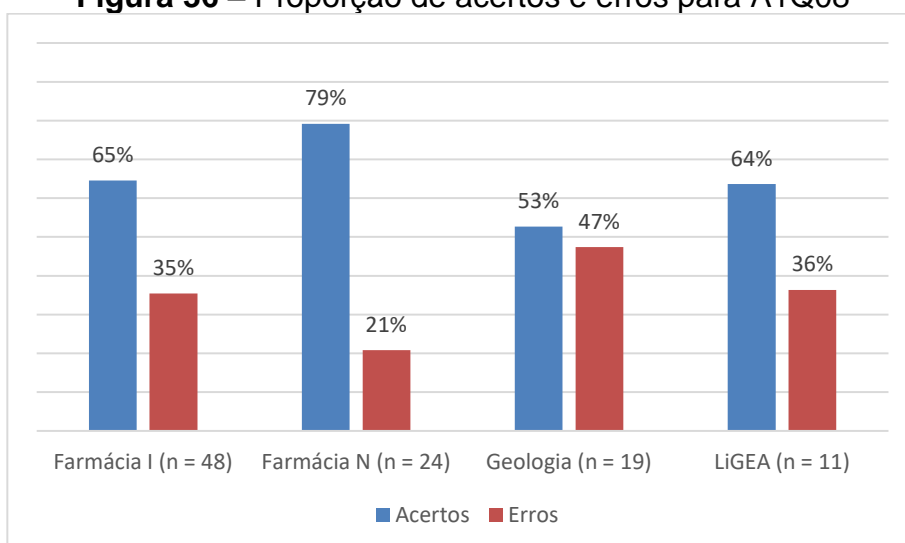


Questão acerca do momento após a viragem da titulação. As operações exigidas com as representações presentes de modo a responder corretamente são as mesmas já elencadas em Q01 e Q04, assim como o nível na escala de competência representacional (nível 2).

Todos os grupos apresentaram uma alta porcentagem de acertos nessa questão, sem diferenças significativas, corroborando mais uma vez que qualquer dificuldade na leitura direta de dados (assim como nas questões 1 e 4) parece ter sido superada. Em outras palavras, indica que o uso do simulador como um “guia de exploração conceitual”, ofereceu aos estudantes participantes do estudo, pelo menos, a possibilidade de tráfegar no repertório conceitual da atividade ao nível 2 da escala de competência representacional.

Q08: Essa composição do sistema indica que este é o volume mais apropriado para se calcular a concentração de HAc na amostra.

A Figura 36 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 8 na atividade 1 (A1Q08).

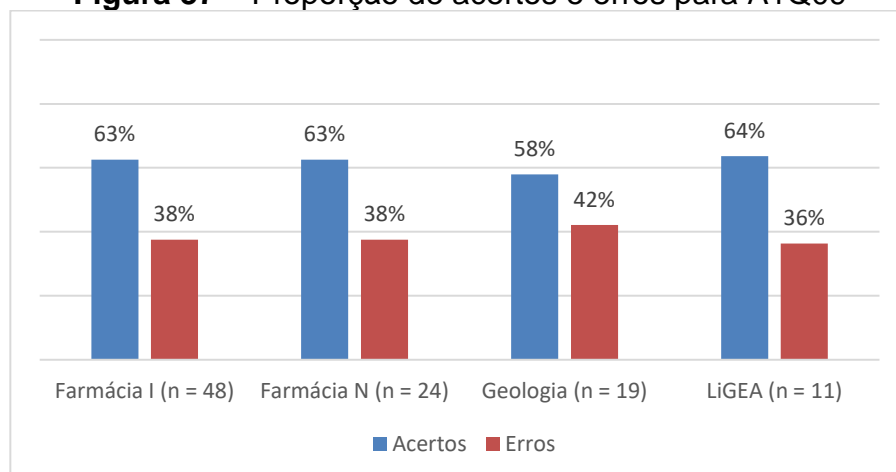
Figura 36 – Proporção de acertos e erros para A1Q08

Questão acerca do momento após a viragem da titulação. As operações exigidas com as representações presentes de modo a responder corretamente são as mesmas já elencadas em Q02 e Q05, assim como o nível na escala de competência representacional (nível 3), onde é necessário levar em consideração um conceito químico: o de estequiometria.

A maioria dos grupos apresentou uma porcentagem maior de acertos, porém, o grupo Geologia parece ter apresentado maior dificuldade, pois ficou quase completamente dividido entre aqueles que optaram pela resposta correta e aqueles que não. Já o grupo Farmácia N parece ter apresentado maior facilidade.

Q09: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

A Figura 37 mostra a proporção de acertos e erros para a questão 9 na atividade 1 (A1Q09).

Figura 37 – Proporção de acertos e erros para A1Q09

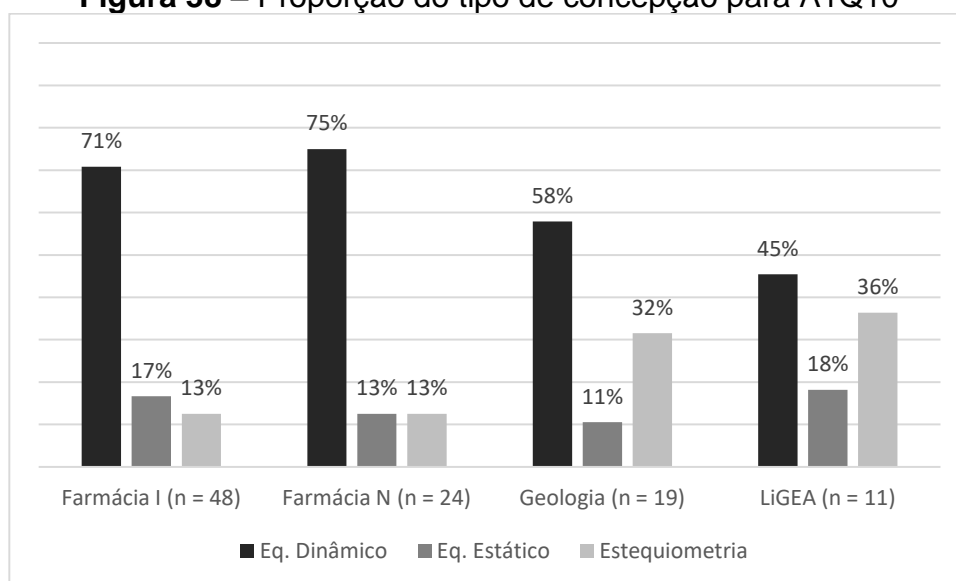
A questão possui exatamente a mesma enunciação da questão no ponto de equivalência (Q06), com as mesmas exigências em relação aos conceitos e competências representacionais (nível 3 ou 4). Porém, neste caso, relaciona-se ao momento após a viragem da titulação, onde todo o ácido foi neutralizado e há excesso de base. A opção correta envolve, no mínimo, uma interpretação semiquantitativa do conceito de pH, e é melhor relacionada ao princípio de equilíbrio químico dinâmico, que leva em conta a hipótese da reversibilidade.

Parece ter havido um equilíbrio entre as respostas de todos os grupos, porém, é interessante comparar à análise da Q06: os grupos Farmácia parecem ter realmente empregado o conceito de equilíbrio químico, enquanto que nos grupos Geologia e LiGEA foi menor a porcentagem de acertos. Indica que, para este grupo, as relações entre o processo da titulação expresso na curva podem não estar tão claras. Contudo, dadas as condições da situação de ensino, outros fatores desconhecidos podem interferir neste tipo de resultados, os quais, portanto, devem ser vistos com ressalva.

Q10: Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

- a) *As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato. (Opção relacionada ao equilíbrio dinâmico)*
- b) *Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado. (Opção relacionada à interpretação meramente estequiométrica)*
- c) *Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético. (Opção relacionada ao equilíbrio estático)*

A Figura 38 mostra a proporção do tipo de concepção (equilíbrio dinâmico, estequiometria ou equilíbrio estático) para a questão 10 na atividade 1 (A1Q10).

Figura 38 – Proporção do tipo de concepção para A1Q10

A figura apresenta a distribuição de opções para as três concepções quanto à reversibilidade para cada grupo de estudantes.

A questão 10 busca uma maneira do estudante justificar suas escolhas na opção de três possíveis elementos do perfil conceitual para equilíbrio químico: estático, estequiométrico ou dinâmico. A alternativa a) representa uma análise de um equilíbrio dinâmico; a alternativa b) representa uma análise estequiométrica e a alternativa c) representa uma escolha de equilíbrio estático (unidirecional). Para responde-la, é necessário que haja uma interpretação das proposições feitas de modo que faça sentido quando o estudante relacionar a opção escolhida com suas respostas anteriores.

Os resultados sugerem que os grupos Farmácia (integral e noturno) declaram empregar a concepção de equilíbrio químico dinâmico, pois a grande maioria justificou suas escolhas desta maneira. Já nos grupos Geologia e LiGEA, apesar da maioria ter indicado o caso do equilíbrio químico dinâmico, são significativas as indicações relacionadas à abordagem de estequiometria. Isto é consistente com a ocorrência de acertos e erros deste grupo nas questões anteriores.

7.2.1.2 Análise integrada da Atividade 1

O primeiro fato que chama a atenção é de que a maioria dos estudantes em todos os grupos optou pela resposta correta em Q01 (considerada mais fácil) e pela incorreta em Q02 (considerada mais difícil), principalmente no grupo LiGEA. Isso indica, possivelmente, que, na forma como foi concebida, esta atividade constitui

oportunidades para que este grupo aperfeiçoasse as habilidades de interpretação e integração do repertório representacional constantes da atividade. Portanto, estes não seriam fatores determinantes sobre a escolha de alternativas corretas nas demais questões.

Um exame na composição dos resultados combinados de alternativas corretas em Q01 e Q02 para o grupo Geologia, revela que os estudantes que optaram pela resposta correta em Q02 (68%, veja Figura 30) também optaram pela resposta correta em Q01 (74%, veja Figura 29). Isso também sugere que problemas de interpretação e integração de informações obtidas por leitura e relações simples entre as representações visuais, ao nível da leitura e correlação, não são mais determinantes do perfil de respostas a medida em que a atividade com simulação avançou.

Finalmente, há de se considerar, que parece ter havido uma migração de boa parte dos estudantes que optaram pela resposta incorreta em Q01 e pela correta em Q02.

Isso sugere que em todas as turmas houve uma aprendizagem sobre como aquelas representações estão sendo mostradas e integradas por meio do simulador. Foi necessário um período para que os estudantes se familiarizassem com as representações em si e com o modo com que elas foram elencadas.

Portanto, é um indicador de que este tipo de uso do simulador por meio de vídeos contribui para o desenvolvimento da competência representacional pelo menos até o nível 2. Assim sendo, há uma aprendizagem sobre como usar as representações para resolver um problema químico.

A partir dessa questão, os problemas não parecem mais ter sido de interpretação e integração baseadas na leitura e relação simples entre representações visuais, mas sim, conceituais, ou seja, referentes à atribuição de significados para as informações interpretadas. Desse modo, faz sentido agrupar as questões em três grupos de acordo com os conceitos e os níveis de competência representacional exigidos:

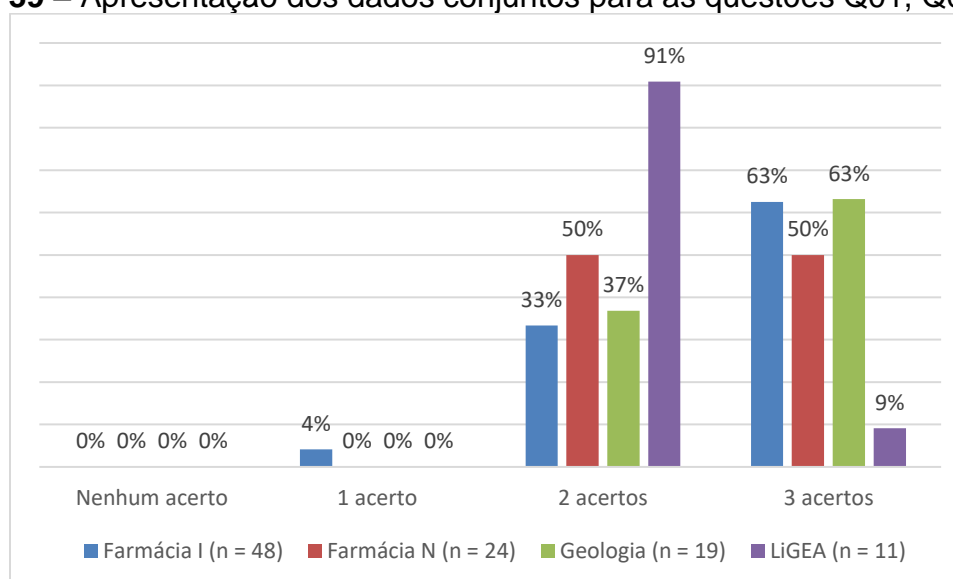
Grupo 1: Q01, Q04 e Q07, interpretação e integração baseadas na leitura e relação simples entre representações visuais (nível 2), e não mobiliza explicitamente nenhum dos elementos de perfil conceitual.

Grupo 2: Q02, Q05 e Q08: considera-se que sejam necessárias habilidades envolvidas no Grupo 1, acrescidas de interpretação conceitual de informações à luz do elemento Estequiométrico do perfil conceitual de reversibilidade. As principais

representações visuais envolvidas nestas questões são a dimensão macroscópica (componentes do grupo representacional do vídeo) e o gráfico de barras expressando a composição do sistema. Admite-se que, a leitura e integração conceitual, no plano da estequiometria, das informações nestas representações, seja suficiente para responder corretamente as questões deste grupo. Ou seja, é possível interpretar, à luz da estequiometria, por comparação de padrões de cores no vídeo, e pelo tamanho das barras no gráfico. Logo, atribui-se a este grupo o nível 3 da escala de competências representacionais.

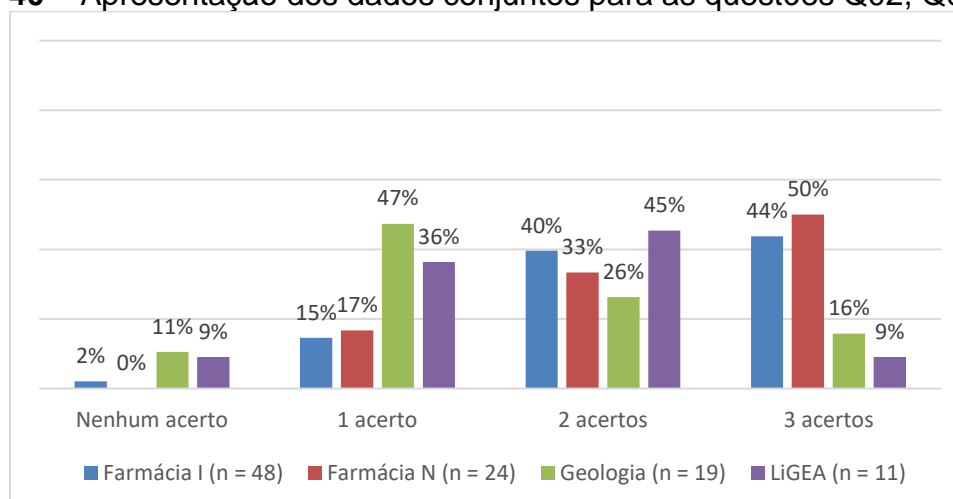
Grupo 3: Q03, Q06 e Q09: tal qual no Grupo 2, a resolução de questões deste grupo requer as habilidades do Grupo 1 (nível 2) para obter informação das representações, e sua interpretação à luz dos elementos do perfil conceitual de reversibilidade Equilíbrio Estático e Equilíbrio Dinâmico. Nestas questões, examina-se se o estudante concebe a possibilidade de, por adição de ácido, levar o sistema à composição inicial. A resposta correta, afirmativa, pode ser obtida por operacionalização de dois elementos do perfil de reversibilidade: Equilíbrio Estático e Dinâmico. No caso Estático, pela analogia da balança, ainda que errônea, que admite que variações na composição sejam condicionadas circunstancialmente à proporção dos componentes do sistema. No caso Dinâmico, por considerar a reversibilidade uma propriedade intrínseca do sistema. Nos dois casos, as informações necessárias precisam ser extraídas do repertório completo de representações visuais. E, além disso, sua interpretação não é possível por comparações evidentes como no Grupo 2. A interpretação pressupõe a projeção de um cenário a partir destas representações. Sendo assim, considera-se que este grupo se enquadra no nível 4 da escala de competência representacional.

A Figura 39 apresenta a distribuição do número de acertos para o primeiro grupo de questões referentes a uma simples leitura direta e localização dos pontos na curva de titulação (Q01 – referente ao tamponamento, Q04 – referente ao ponto de viragem e Q07 – referente após a viragem), exigindo um nível menor de competência representacional. Não houve nenhum caso em que os estudantes erraram as três questões.

Figura 39 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q01, Q04 e Q07

É possível perceber que a grande maioria dos estudantes optou pela resposta correta em, pelo menos, duas questões. Em consonância com os resultados discutidos anteriormente, com exceção do grupo LiGEA, as respostas dos demais grupos aparentemente não indicam grandes dificuldades para optar por respostas corretas às questões que envolvem leitura direta da curva de titulação. Isto corrobora com as considerações sobre o papel do simulador no desenvolvimento de competência representacional acerca destas representações, ao menos nos níveis mais simples.

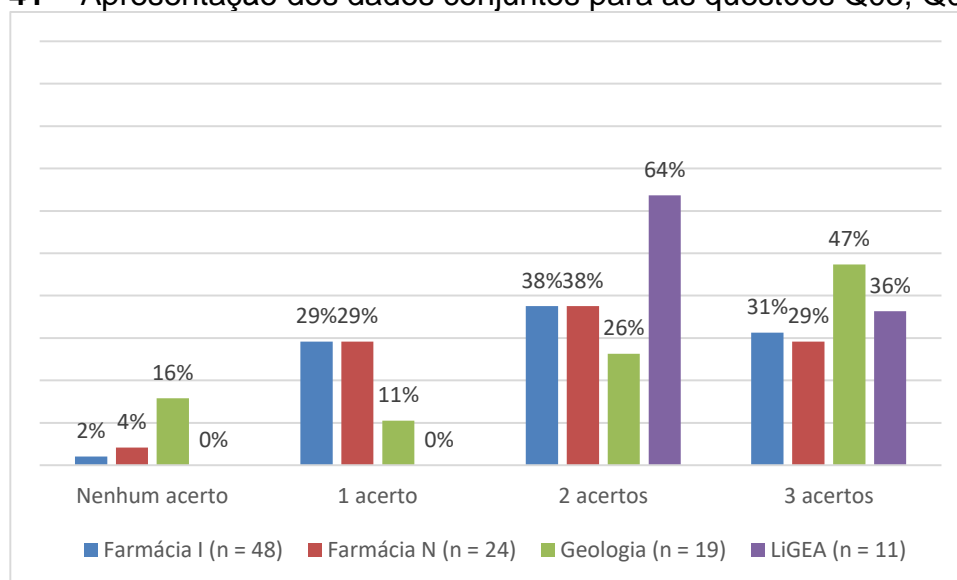
A opção pela resposta correta em Q02, Q05 e Q08 requer interpretar as representações macroscópicas no vídeo e os gráficos de composição de sistema sob a perspectiva estequiométrica do perfil conceitual para reversibilidade. Assim, é possível agrupar os resultados obtidos para estas questões conforme apresentados na Figura 40.

Figura 40 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q02, Q05 e Q08

Pela análise do gráfico, é perceptível que o grupo Farmácia parece não apresentar grandes dificuldades, visto que manifestaram as maiores porcentagens de acerto para todas as questões. Já os grupos Geologia e LiGEA, em sua maioria, apresentaram apenas um ou dois acertos, mostrando possíveis maiores dificuldades em relacionar a composição do sistema com o vídeo naqueles três momentos da titulação.

Na Figura 41 busca-se agrupar as questões com um maior nível de competência representacional (Q03, Q06 e Q09), visto que necessitam de uma interpretação do ponto de vista do conceito de reversibilidade para um equilíbrio químico.

Figura 41 – Apresentação dos dados conjuntos para as questões Q03, Q06 e Q09



Houve uma distribuição bastante homogênea entre as respostas dos estudantes de todos os grupos e, apesar de pouca diferença, é possível afirmar que houve um crescimento no número de respostas corretas. O grupo Farmácia, como em todos os casos, apresenta praticamente a mesma distribuição, tendendo a ocorrer, no mínimo, dois acertos. Já os grupos Geologia e LiGEA diferem-se, pois, este último, encontra-se principalmente com dois acertos. É interessante relatar que provavelmente houve de fato uma anomalia no perfil de respostas para Geologia e LiGEA na questão 6, pois como a questão 9 é idêntica, o perfil de resposta foi bastante alterado para esses estudantes, originando algo mais próximo da realidade: estes grupos parecem ter maiores dificuldades que o grupo Farmácia.

Além de apresentar os perfis por grupos, é interessante realizar a análise das respostas dos indivíduos como um todo e comparar sua distribuição, agrupados em

função das respostas à Q10, pois é nessa questão que precisam justificar suas escolhas anteriores em relação ao perfil conceitual atrelado às suas respostas. Na Figura 42 apresenta-se esse perfil de respostas para o Grupo 1 de questões (Q01, Q04 e Q07); na Figura 43 para o Grupo 2 (Q02, Q05 e Q08) e na Figura 44 para o Grupo 3 (Q03, Q06 e Q09).

Figura 42 – Perfil de respostas para leitura direta e localização na curva do Grupo 1 de questões (Q01, Q04 e Q07)

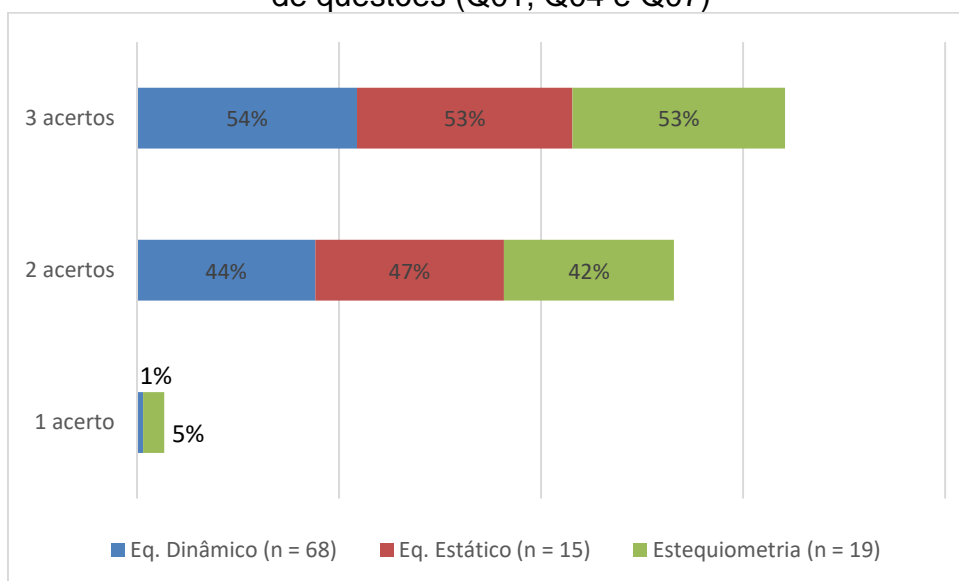


Figura 43 – Perfil de respostas para o conceito químico de estequiometria do Grupo 2 de questões (Q02, Q05 e Q08)

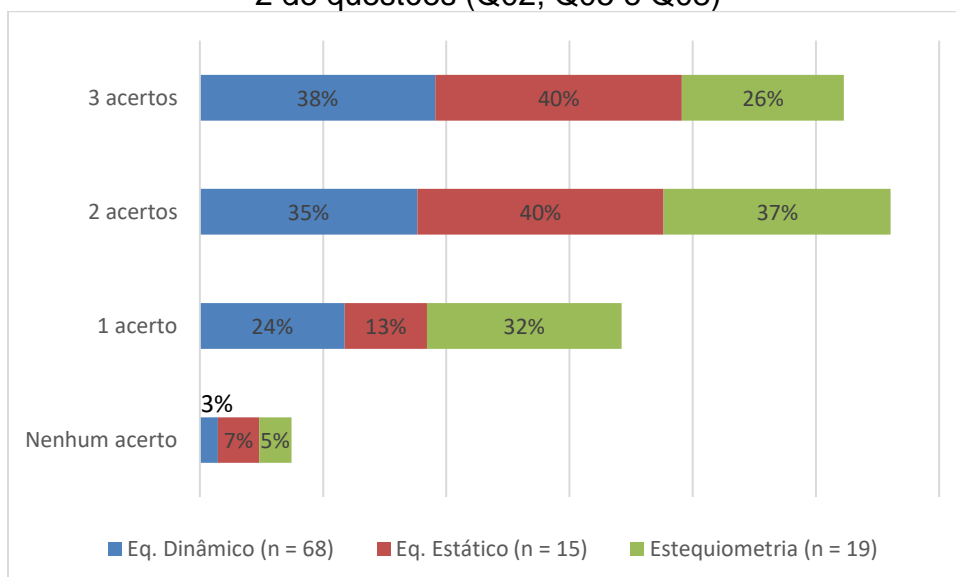
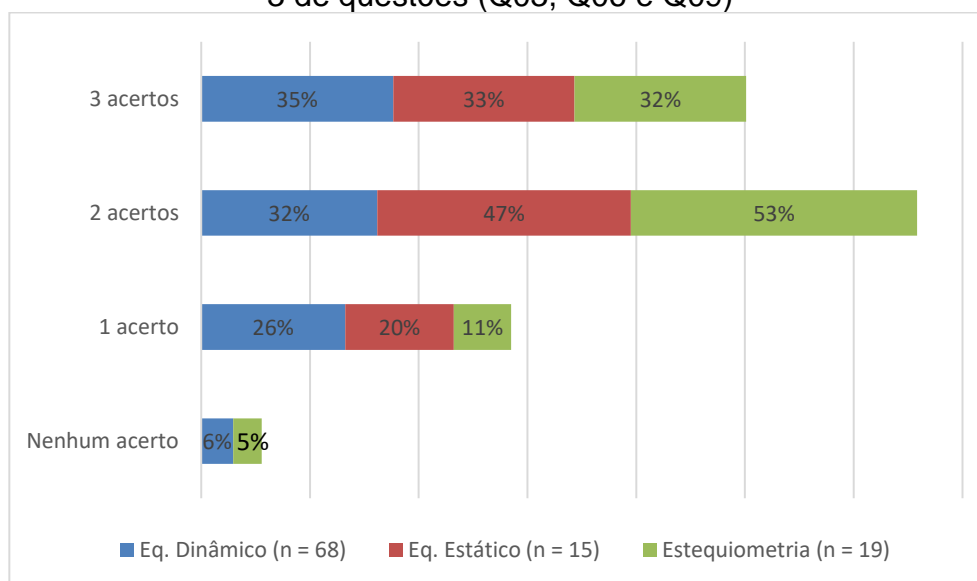


Figura 44 – Perfil de respostas para o conceito químico de reversibilidade do Grupo 3 de questões (Q03, Q06 e Q09)



Após a análise comparativa desses resultados, é bastante perceptível a grande homogeneidade entre o perfil conceitual dado na Q10 em comparação aos três grupos de questões.

Os resultados apresentados para as análises agrupadas por Q10 na Atividade 1 apontam alguns contornos, ainda que não muito claros, sobre os elementos do perfil conceitual mobilizado pelos grupos de estudantes.

7.2.1.3 Conclusões parciais para os dados obtidos na Atividade 1

Há de se considerar que, em se tratando de questões do tipo verdadeiro ou falso, os três grupos de questões são mais suscetíveis ao efeito aleatório ("chute") nas respostas. Inclusive, este fator também é relevante e não pode ser descartado em Q10, que apresenta os elementos do perfil formalizados. Além disso, os resultados na Atividade 1 também são influenciados por modos algoritmos de resolução de problemas sobre estes mesmos conceitos.

Porém, quando analisamos o total de estudantes no perfil de equilíbrio dinâmico, é bastante variado. Isso pode sugerir que boa parte deles compreende o conceito, mas ainda não dominam como utilizá-lo em diferentes representações.

Desse modo, a Atividade 1 parece ter sido suficiente para resolver os problemas de interpretação dos elementos apresentados, onde os estudantes parecem ter desenvolvido muito bem a competência representacional pelo menos no nível 2 da escala de Kozma e Russell (conseguem ler o volume direto da bureta,

localizar o ponto da curva, perceber a relação entre a composição do sistema e o pH – ou seja, leitura direta), além de conseguirem extrair informações a partir do recurso multimídia (como esperado segundo a Teoria de Aprendizagem Multimídia, de Mayer) e transitarem entre as representações oferecidas. Porém, embora haja indicações, não é possível, somente com este conjunto de dados, extrair nenhuma conclusão sobre a dominância ou preferência de um elemento do perfil conceitual ou outro. Em tese, solicitações de esboços de curvas de titulação ou outras produções poderiam esclarecer esta questão neste ponto. Porém, a coleta deste tipo de informação foi muito dificultada pela pandemia. Salienta-se que, mesmo adotando-se uma tomada de dados simplificada pelo meio digital, e embutida nas atividades de ensino, apenas 102 dentre mais de 200 estudantes completaram a tomada total de dados.

7.2.2 Atividade 2

Nesta atividade a simulação por meio de vídeos foi empregada na forma típica, isto é, com o intuito de simular um experimento de titulação ácido-base. Contudo, optou-se em circunscrever a atividade no estudo de caso "O ácido em Pindaiatuba: o caso".

Em resumo, o caso consiste em analisar uma amostra de derramamento de um ácido, resultante de um acidente rodoviário com carga clandestina. No percurso de resolução de caso, e com vistas mais à sua contribuição ao ensino do que propriamente a esta pesquisa, a simulação foi articulada ao caso como um processo que incorpora elementos do ensino baseado em investigação (QUEIROZ; CABRAL, 2016).

Assim, a atividade foi dividida em duas etapas. A primeira dedicada a apresentar o caso e iniciar o processo investigativo. A segunda, dedicada a realizar o experimento virtual e emitir um laudo identificando o ácido misterioso. As opções possíveis eram dois ácidos monoproticos (ácido metanossulfônico e benzenossulfônico) e dois ácidos diproticos (ácido sulfúrico e sulfuroso), sendo o sulfuroso o único ácido fraco. O ácido derramado no caso é o ácido sulfúrico.

O processo de identificação do ácido é uma estratégia para criar um percurso em que se interprete uma curva de titulação para obter o número de hidrogênios ionizáveis e as constantes de ionização de um ácido, a partir, respectivamente, do volume e do número de inflexões e de patamares na curva. Como é sabido entre os químicos, estes parâmetros confluem no conceito de pK e de pH, formalizados de

modo matemático pela equação de Henderson-Hasselbalch².

A lista de "suspeitos" permite se obter dados sobre quais informações os estudantes levam em consideração ao interpretar a curva. Porém, de modo desafiador, pois a análise direta do volume de base consumido na última inflexão não resolve o caso, pois a concentração da amostra é desconhecida. O problema deve ser resolvido então pela determinação dos pKas aparentes obtidos a partir da curva de titulação. Admite-se, portanto, soluções qualitativas, por análise de perfil da curva, e quantitativas, por determinação do valor de pH nas regiões de menor variação do pH em função da adição de base titulante.

Tendo isto em vista, na sua forma final, a etapa que precedeu a simulação é um tutorial contextualizado, e foi realizada como exposição dialogada de modo remoto com os estudantes. As características fundamentais do recurso criado para esta etapa podem ser resumidas no Quadro 10 (veja Apêndice D para imagens de toda a atividade).

Quadro 10 – Características gerais da atividade precedente à simulação (continua)

Seção	Objetivo/função	Conteúdos	Representações visuais relevantes
A: O caso	Apresentação do caso. Definição do problema experimental.	Imagem do contexto. Definição da amostra.	Fotografia do acidente de derramamento.
B: Laboratório	Estabelecer condições de contorno. Apresentar informações sobre a amostra.	Listagem de equipamentos e reagentes.	Tabela com propriedades dos ácidos possíveis. Imagem do laboratório.
C: Questão 1	Seleção de informações necessárias para resolver o problema a partir de dados sobre equipamentos, reagentes e propriedades dos ácidos.		
D: pKa e curva de titulação	Formalização matemática do conceito de pKa. Relação de propriedades do ácido com a curva de titulação.	Ka e pKa. Curva de titulação: significado matemático em relação ao pKa.	Equações de Ka sua forma logarítmica. Curva de titulação anotada indicando propriedades dos ácidos.
E: Questão 2	Verificação da interpretação da mesma curva de titulação (memória).		
F: Experimento	Tradução do problema proposta em parâmetros operacionais para as representações no vídeo.	Arranjo experimental da titulação.	Grupo representacional dos vídeos com escala de pH e com pHmetro.

² Comumente, esta equação é associada à descrição da reatividade ácido-base em termos protônicos, de Brønsted-Lowry. Contudo, não é incompatível com a descrição típica de Arrhenius, restrita ao caso do hidróxido como base e ao íon hidrônio como ácido.

Quadro 10 – Características gerais da atividade precedente à simulação (conclusão)

Seção	Objetivo/função	Conteúdos	Representações visuais relevantes
G: Hipóteses	Reflexão sobre curvas esperadas e sua relação com o problema.	Curvas hipotéticas, corretas e incorretas.	Curvas hipotéticas e representações lúdicas de personagens.
H: Questão 3	Associação qualitativa e semiquantitativa entre força de ácidos e números de hidrogênios ionizáveis, a partir de representações de perfis de curva de titulação, número de pKas e fórmulas simplificadas (HX, H ₂ X).		

A primeira questão busca a retomada do procedimento de titulação, propiciando a reflexão de como esse processo poderia auxiliar a determinar qual seria o ácido derramado, remetendo ao conceito de pKa que foi apresentado posteriormente e como seria possível determina-lo. Além disso, também é apresentada uma curva de titulação para que os estudantes refletissem em como esses conceitos estão atrelados, para que seja possível responderem a próxima questão abordando regiões de interesse da curva. Em seguida, são propostas hipóteses de possíveis curvas de titulação por estudantes fictícios, com o intuito de aproximar os estudantes da pesquisa pelo caso apresentado. A terceira e última questão traz afirmações sobre relações da curva com conceitos de estequiometria e propriedades dos ácidos. Por fim, uma questão resumo dos problemas e das curvas propostas, tem o objetivo de revisar a correlação entre tipos de curvas, valores de pKa e força dos ácidos.

A atividade de simulação foi estruturada em uma planilha contendo os seguintes elementos, cada qual distribuído numa aba, conforme apresentado no Quadro 11 abaixo:

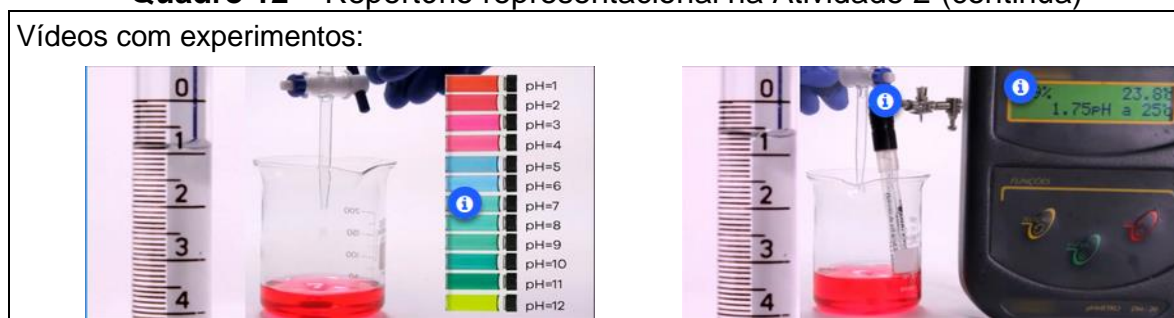
Quadro 11 – Elementos presentes na planilha para a simulação (continua)

Seção	Objetivo/função	Conteúdos	Representações visuais relevantes
A: Identificação do estudante	Identificar o estudante.	Campos editáveis.	Não se aplica.
B: Experimento com escala de pH	Registrar dados numéricos lidos diretamente do vídeo.	Tabela pré-formatada. Link para vídeo.	Tabela pré-formatada e imagem em miniatura do vídeo.
C: Experimento com pHmetro	Registrar dados numéricos lidos diretamente do vídeo.	Tabela pré-formatada. Link para vídeo.	Tabela pré-formatada e imagem em miniatura do vídeo.

Quadro 11 – Elementos presentes na planilha para a simulação (conclusão)

Seção	Objetivo/função	Conteúdos	Representações visuais relevantes
D: Resultados e análise	Visualizar as curvas obtidas a partir dos resultados nas tabelas. Orientar a análise de dados a partir da curva.	Gráfico com dados obtidos. Formulário com preenchimento orientado.	Gráfico com dados experimentais simulados.
E: Curva modelo	Relembrar a representação da curva pré-interpretada em termos teóricos.	Curva anotada com localização de pKa e hidrogênios ionizáveis.	A mesma curva usada na atividade precedente.
F: Propriedades dos ácidos	Apresentar as propriedades físico-químicas dos ácidos.	Nome dos ácidos possíveis e suas propriedades.	A mesma tabela apresentando as propriedades apresentadas anteriormente.
G: Curvas hipotéticas	Relembrar as curvas hipotéticas apresentadas pelas personagens no caso.	Curvas hipotéticas para os ácidos envolvidos no caso.	Curvas de titulação e associação com avatares apresentados no caso.
H: O que é pKa?	Relembrar a definição matemática de pKa a partir da equação de Ka.	Dedução de pKa.	Equações de Ka sua forma logarítmica.

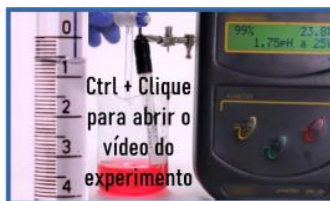
Esta estrutura didática criada para apresentar a simulação justifica-se, em primeiro lugar, no fato de ter sido aplicada de modo remoto síncrono (precedente ao experimento) e assíncrono (o experimento). Em segundo lugar, considera-se que o repertório representacional envolvido é mais diverso e mais complexo em relação a primeira etapa, sendo constituído pelos elementos apresentados no Quadro 12 abaixo:

Quadro 12 – Repertório representacional na Atividade 2 (continua)

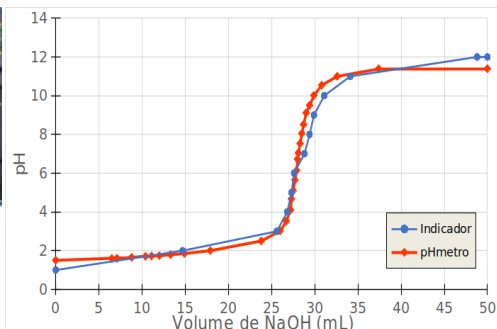
Quadro 12 – Repertório representacional na Atividade 2 (conclusão)

Planilha para introdução e correspondente curva com dados simulados:

Vol. de NaOH (mL)	pH



<https://youtu.be/INlx8z-qOo>



Curvas "teóricas para a titulação do ácido misterioso" - curva típica anotada e hipótese de uma "colega" com seu avatar:

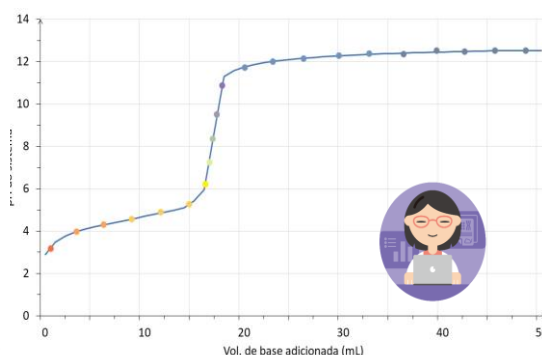
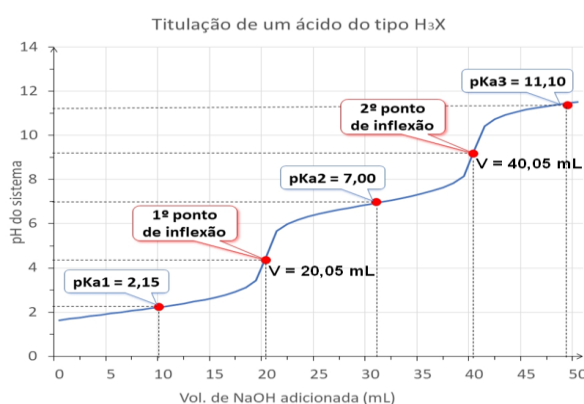


Tabela com propriedades dos ácido e definição matemática de pKa:

Ácido	F. Mol.	M. Molar g/mol	Densid. g/cm ³	T. F. °C	T. E. °C	pKa1	pKa2	Força
Sulfúrico	H ₂ SO ₄	98.1	1.8	10	337	-3	2	Forte
Sulfuroso	H ₂ SO ₃	82.1	1	-	-	1.8	7.2	Fraco
Metanossulfônico	CH ₄ O ₃ S	96.1	1.5	20	167	-1.9	-	Forte
Benzenossulfônico	C ₆ H ₆ O ₃ S	158,2	1,3	51	190	-2,8	-	Forte

O que é o pKa?

pKa é a forma logarítmica da constante de ionização de um ácido, Ka:

$$pKa = -\log Ka$$

O prefixo "p" indica então, -log de alguma coisa. Lembrando que Ka pode ser escrito como:

$$Ka = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$$

A forma logarítmica desta equação torna-se:

$$\log Ka = \log [H^+] + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Rearranjando, temos:

$$-\log [H^+] = -\log Ka + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \text{ou} \quad pH = pKa + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Tendo em vista esta complexidade, alguns cuidados foram tomados durante a concepção de todas as atividades empregadas nesta fase da pesquisa:

- Todas as curvas de titulação são apresentadas com as mesmas proporções de tamanhos em títulos, linhas de grade e eixos, fontes, bem como com o mesmo código de cores e demais parâmetros. Assim, as curvas usadas nesta atividade e na atividade seguinte são muito parecidas.

- Todos os vídeos usados nas atividades foram realizados com a mesma iluminação e enquadramento, e a mesma composição dos elementos que constitui este grupo representacional.
- Foram empregados elementos conectivos entre o caso e a planilha de simulação, sendo usadas as mesmas representações presentes nas duas etapas da Atividade 2, inclusive com elementos icônicos lúdicos, como os avatares de personagens presentes no caso.

Finalmente, considera-se a interface multimídia. Na primeira etapa de apresentação do caso, as representações estão concatenadas numa apresentação com seguimentos interativos. Estes foram empregados pelos estudantes na medida em que acompanhavam a explicação do professor. Assemelha-se assim ao estudo guiado da Atividade 1 deste estudo. No caso da simulação, apenas a planilha eletrônica e seus recursos foram utilizados, os quais proveem uma ordem sugerida de eventos reforçada por um manual ilustrado de operação do arquivo. Mas como é próprio de simulações deste tipo, os estudantes que devem produzir os dados, ainda que a construção dos gráficos seja automática na planilha, e que a análise seja orientada por um formulário que em muito se assemelhou a roteiro para a atividade experimental, como apresentado na Figura 45.

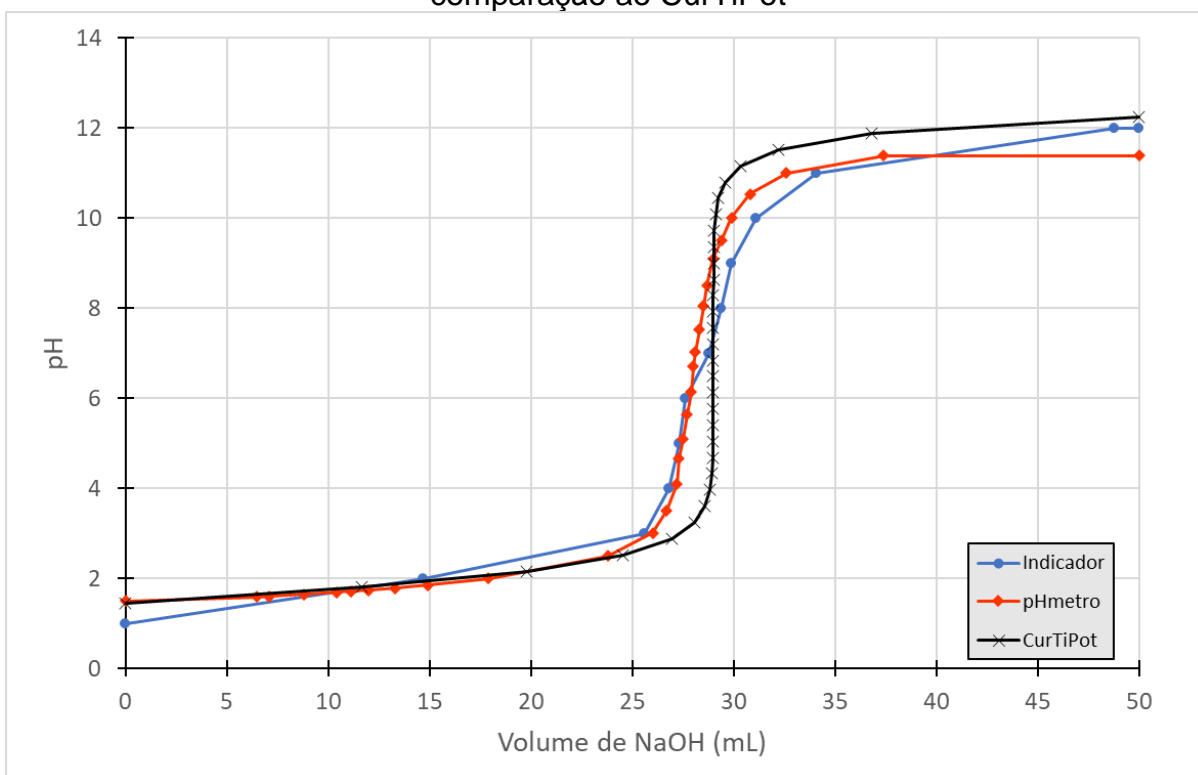
Figura 45 – Formulário embutido na planilha guia da atividade de simulação

	A	B	C	D
1	Tipo de dados	Valor obtido (caso não haja, assinale como não existente)	Qual ácido este(s) valor(es) sugere(m)?	Comentários que você considere pertinentes
2	Número de pontos de inflexão observados			
3	Vol. de NaOH consumido até o 1º ponto de inflexão			
4	Vol. de NaOH consumido até o 2º ponto de inflexão (se houver)			
5	Vol. de NaOH consumido até o 3º ponto de inflexão (se houver)			
6	Valor estimado de pKa1			
7	Valor estimado de pKa2 (se houver)			
8	Valor estimado de pKa3 (se houver)			

Esta interface é mais próxima daquela usada na simulação com CurTiPot, no estudo prévio. Contudo, é muito mais simples e intuitiva, pois as medidas são realizadas por leitura direta de registros do experimento presentes no grupo representacional do vídeo.

A Figura 46 é um exemplo típico de curvas geradas por um dos estudantes a partir da simulação com os dois tipos de vídeo: comparação visual de cores do indicador (linha azul) e pHmetro (linha laranja). Este exemplo ilustra a qualidade das curvas geradas por uma simulação. É notável que a simulação utilizando um instrumento quantitativo (pHmetro – linha laranja) é muito próxima à simulação por comparação visual, e que ambas são muito próximas também à uma curva calculada pelo simulador CurTiPot. Ressalta-se que as capacidades de simulação do CurTiPot são fidedignas a ponto de serem empregadas na pesquisa em química analítica.

Figura 46 – Exemplo de curva de titulação gerada por um estudante em comparação ao CurTiPot



As informações reunidas pelos estudantes na planilha foram utilizadas para produzir um breve relatório nos moldes de um "Laudo Técnico" (Apêndice E). Este laudo é um texto pré-estruturado, como um formulário expandido. Sumariamente, pode-se considerar que, nesta Atividade 2, buscou-se, por meio das guias e roteiros digitais na planilha e neste laudo, prover suportes para orientar o trânsito e análise das informações produzidas na simulação.

7.2.2.1 Análise dos resultados obtidos para a atividade de simulação

Durante a atividade foram incorporados ao conjunto de dados analisados neste trabalho as respostas registradas na planilha utilizada na simulação da titulação da amostra contendo "o ácido em Pindaiatuba", bem como a produção intitulada "Laudo Técnico".

As Figura 47 e 48 apresentam, respectivamente, a distribuição das escolhas do ácido mais provável para todo o grupo (unidades absolutas) e para cada grupo de participantes.

Figura 47 – Escolhas totais do grupo de participantes

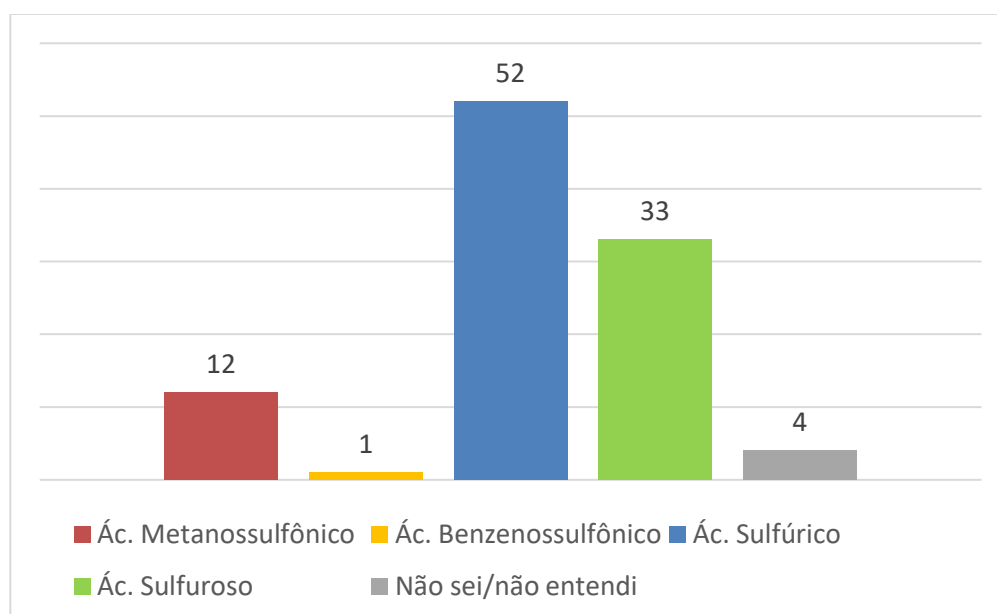
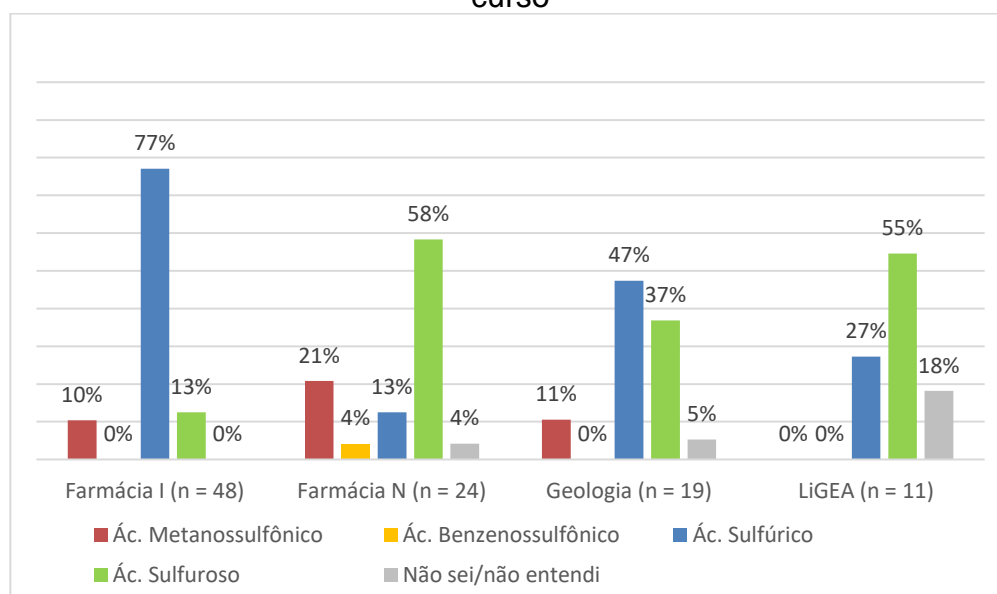


Figura 48 – Porcentagem de estudantes que escolheram cada um dos ácidos por curso



O exame direto dos gráficos apresentados indica que as escolhas com maior ocorrência são os ácidos dipróticos sulfúrico (correto) e sulfuroso, e que há três padrões de respostas diferentes entre os grupos: predominância da resposta correta (Farmácia I), equivalência entre os dois ácidos dipróticos (Geologia) e predominância do ácido sulfuroso (Farmácia N e LiGEA). A ocorrência de respostas indicando ácidos monoprotônicos ocorre em menor frequência em todos os grupos, podendo ter alguma relevância no grupo Farmácia N.

Se comparados aos resultados obtidos na Atividade 1, há uma mudança significativa no perfil de respostas dos grupos. Em A1, observa-se certa polarização de respostas corretas para os grupos Farmácia N e Farmácia I. Porém, os resultados acima sugerem que, numa tarefa mais complexa envolvendo a simulação, as diferenças entre os grupos se tornam mais evidentes. Tais diferenças podem estar relacionadas às diferenças não monitoradas nesta pesquisa, como o histórico prévio destes grupos e o quanto foram expostos a os conceitos envolvidos, ao tipo de atividade e ao repertório representacional, dentre outros fatores.

Além das respostas a respeito do ácido derramado, é interessante considerar os registros em texto dos estudantes na planilha guia usada na simulação. Assim, foram selecionados fragmentos destes comentários os quais indicam mais detalhes sobre o processo de resolução do problema proposto:

Exemplo 1 (Grupo Farmácia I):

"Nos ácidos fortes o primeiro hidrogênio é ionizado facilmente, então o valor do pK_{a1} é negativo, não aparecendo no gráfico. Como é possível se observar um ponto de inflexão, o único ácido possível é o ácido sulfúrico. Penso que não é possível, com os dados apresentados, encontrar o ácido a partir do volume da base. Há 1 ponto de inflexão no gráfico, remetendo que o ácido encontrado com um ponto observável seja o ácido sulfúrico."

Exemplo 2 (Grupo Farmácia I):

"Apenas com esses dados, pode haver uma confusão com o ácido sulfúrico, metanossulfônico e benzenossulfônico. O ácido sulfuroso pode ser descartado com essa informação. O volume de NaOH pode discriminar a concentração do ácido, mas se não temos certeza de qual ácido se trata, não podemos tirar muitas conclusões. Com o valor do pK_a , pode-se afirmar que o ácido utilizado é o sulfúrico, já que o valor é próximo do pK_{a2} desse ácido (pK_{a1} não está presente nesse gráfico pois possui valor negativo). Esse valor também poderia ser o pK_{a1} do H_2SO_3 , entretanto, nesse gráfico não se observa o segundo pK_a do H_2SO_3 ."

Exemplo 3 (Grupo Geologia):

"Somente pela quantidade de pontos de inflexão observados não é possível determinar qual ácido foi o derramado, além de o sulfúrico, que apresenta um ponto que não foi observado no gráfico, os ácidos metanossulfônico e benzenossulfônico, também possuiriam um ponto de inflexão observável."

Apesar de em menor quantidade, também é possível recortar alguns exemplos de estudantes que acrescentaram comentários que julgaram pertinentes quando responderam ser outro ácido, não o sulfúrico.

Exemplo 1 (Grupo Farmácia N):

Ácido escolhido: benzenossulfônico; volume de NaOH consumido até o primeiro ponto de inflexão: 28 mL; valor estimado de pKa1: -2,8. “Podem ser todos os ácidos monoproticos, uma vez que o gráfico possui apenas um ponto de equivalência. Como o gráfico apresenta curva de titulação de um ácido forte, ambos os ácidos benzenossulfônico e metanossulfônicos se encaixam. Foram necessários cerca de 28 mL de NaOH para que ocorresse a neutralização. Dessa forma, foram utilizados $2,8 \cdot 10^{-3}$ mol de OH^- e, conseqüentemente, $2,8 \cdot 10^{-3}$ mol de H^+ foram neutralizados. Fazendo os cálculos, o ácido benzenossulfônico é o que melhor se encaixa nas descrições.”

Exemplo 2 (Grupo Farmácia N):

Ácido escolhido: metanossulfônico; volume de NaOH consumido até o primeiro ponto de inflexão: 28,2 mL; valor estimado de pKa1: 2. “Valor estimado de pKa é similar ao valor do ácido benzenossulfônico e do metanossulfônico, a curva de titulação indica que é um ácido forte e assim pode-se descartar a possibilidade de ser o primeiro suspeito.”

Exemplo 3 (Grupo LiGEA):

Ácido escolhido: sulfuroso; volume de NaOH consumido até o primeiro ponto de inflexão: 25,8 mL; volume de NaOH consumido até o segundo ponto de inflexão: 31,5 mL; valor estimado de pKa1: 3; valor estimado de pKa2: 10,8. “O primeiro ponto de inflexão necessita de um volume de NaOH baixo para começar a alterar seu pH. Pela variação repentina do pKa1 para o pKa2, talvez indique a característica do ácido. O ácido sulfuroso possui pKa1 e pKa2 iguais a, respectivamente, 1,8 e 7,2. Portanto, ele é o que possui os valores mais próximos dos estimados na tabela de propriedades dos ácidos.”

De modo similar, é relevante apresentar aqui também excertos da produção Laudo Técnico, em que as informações anotadas na planilha foram transpostas para produzir um texto que reporta o procedimento experimental simulado e a interpretação dos dados de simulação. Estes foram classificados nas categorias coerente e incoerente, no que toca as relações entre os dados obtidos e as conclusões escritas, do ponto de vista da corretude conceitual.

Exemplo de uma descrição de metodologia experimental considerada coerente (Grupo Farmácia I):

“A identificação do ácido se deu por meio do seguinte experimento: utilizando os equipamentos de proteção necessários, como luvas, coletou-se 5 L de solução do ácido derramado, que foi levado para o laboratório. No laboratório, adicionou-se 50 mL do ácido em um erlenmeyer, cuidadosamente, e 50 mL de hidróxido de sódio (NaOH) na bureta. Em seguida, foi colocado o indicador a base de extrato de repolho roxo e logo após, a barra magnética, com cuidado, na solução ácida. A seguir, montou-se a bureta no suporte universal e pegou-se um papel para anotar e a referência das cores do indicador. Feito isso, ligou-se o agitador magnético e abriu-se a torneira da bureta, anotando

no papel o volume de hidróxido de sódio adicionado a cada 0,5 mL e o pH da solução. Terminado os 50 mL de NaOH da bureta, descartou-se a solução no lugar apropriado e lavou-se as vidrarias utilizadas. Com essas informações, foi obtido uma curva de titulação, que revela o ponto de inflexão do gráfico para a faixa de pH entre 1 a 14 e, com essa informação, o pKa, que corresponde ao pH da solução quando há um volume de base adicionado metade daquele no ponto de equivalência.”

Exemplo de uma conclusão do laudo considerada coerente (Grupo Farmácia I):

“Com as informações obtidas, conclui-se que o ácido derramado no local foi ácido sulfúrico, com base no valor de pKa e no número de pontos de inflexão na curva de titulação do ácido. O valor do pKa obtido ajudou a limitar as possibilidades, pois foi próximo tanto àquele apresentado na literatura para o ácido sulfuroso, quanto para o ácido sulfúrico. Já a curva de titulação revelou duas informações que permitiram chegar à conclusão; a primeira é que o ponto de inflexão do gráfico se aproximou do pH 7, o que indica que o ácido é forte, e a segunda é que ela só possuía um ponto de inflexão na faixa de pH entre 1 a 14, característica, exposta na literatura, do ácido sulfúrico.”

Exemplo de uma conclusão do laudo considerada incoerente (Grupo Farmácia N):

“O ácido derramado possui um ponto de inflexão, sendo assim, os ácidos H_2SO_4 e H_2SO_3 foram descartados como possibilidade pois ambos têm dois pontos de inflexão. O ponto de neutralização foi aproximadamente 7 (na escala de pH), como a base usada é forte, isso indica que o ácido também é forte. Por fim, o pKa é aproximadamente 2 e, com isso, o valor de pKa que mais se aproxima desse é o do ácido metanossulfônico, concluindo então que este foi o ácido derramado.”

Na apresentação dos dados extraídos da Atividade 2 apresentados até aqui podemos destacar alguns pontos de interesse. A maioria dos estudantes optou por um ácido diprótico (ou o sulfúrico, ou o sulfuroso). Isto sugere um avanço em relação à compreensão do conceito de pKa e sua localização na curva de titulação, ponto que mostrou-se bastante confuso na aula prévia à simulação. Contudo, de modo geral, estes avanços não são suficientes para considerarmos o assunto resolvido. O conceito de pKa e sua interpretação a partir da curva de titulação permanece um conceito difícil, pois, para muitos estudantes, não foi possível distinguir entre o ácido sulfúrico e sulfuroso a partir da curva obtida por simulação. Ambos são dipróticos, mas o primeiro hidrogênio ionizável do ácido sulfúrico é forte. Logo, seu primeiro ponto de inflexão é praticamente imperceptível, visto que seu pKa1 é -3 (muito baixo). Já o sulfuroso, é um ácido fraco, sendo notáveis seus dois pontos de inflexão: pKa1 = 1,8 e pKa2 = 7,2. Estas diferenças poderiam ter sido exploradas para excluir o ácido sulfuroso. Contudo, mesmo tendo informações adicionais incluídas na planilha, indicando que, para um contingente significativo de estudantes, as dificuldades conceituais de correlação entre as formas de representação, persistem.

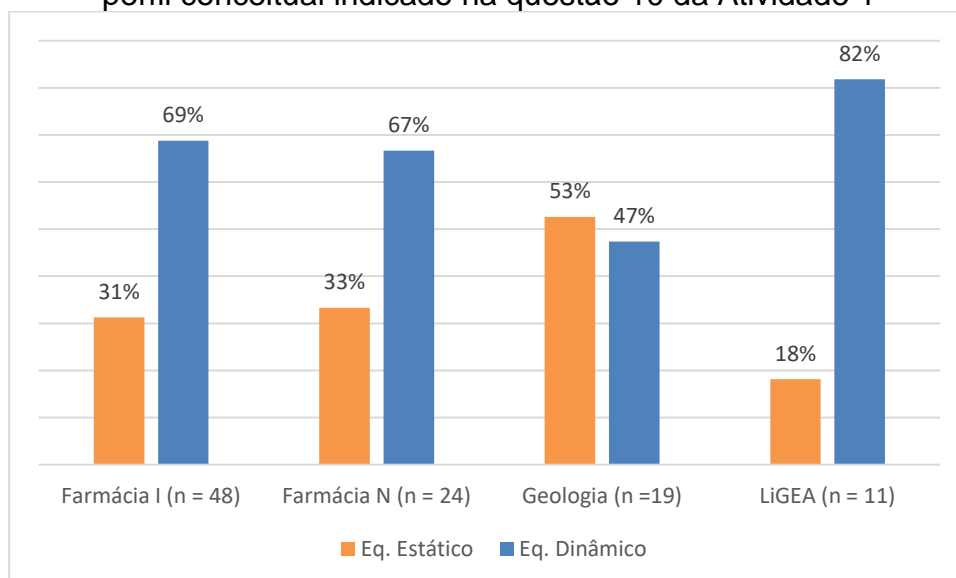
Ainda assim, observou-se que os estudantes do grupo Farmácia I parecem ter

tido um avanço conceitual maior que os demais grupos, visto que, neste grupo, há maior incidência de escolhas corretas para o ácido misterioso, associadas a explicações mais elaboradas nos laudos.

7.2.2.2 Análise integrada dos resultados das Atividades 1 e 2

Dentre as diferentes possibilidades de agrupamento de resultados, considera-se que o agrupamento pelas respostas na questão 10 da Atividade 1 seja mais interessante, pois em Q10 os estudantes indicaram qual, dentre os elementos do perfil conceitual para reversibilidade, considerariam o que melhor explicaria suas respostas às questões na Atividade 1. Na Atividade 2, foram selecionados os resultados para a identificação do ácido misterioso "ácido sulfúrico" e "ácido sulfuroso" para este agrupamento. Estes correspondem a 85 das 102 respostas e, além disso, os resultados anteriores sugerem que estes resultados melhor representam também o foco das questões conceituais mais agudas. A Figura 49 sintetiza essa relação entre os resultados das duas atividades.

Figura 49 – Perfil de escolha do ácido da Atividade 2 relacionada à indicação de perfil conceitual indicado na questão 10 da Atividade 1



Nestes resultados, é perceptível que a maioria daqueles que seguem o caminho de um perfil de equilíbrio dinâmico, optaram pela resposta correta – ácido sulfúrico (56%). Já aqueles que adotam o caminho de um equilíbrio estático, apresentaram muita dificuldade na Atividade 2 ao concluir qual foi o ácido derramado, sendo que a maioria respondeu ser o sulfuroso (40%). E apesar da maior parte dos estudantes que assumem o caminho da estequiometria terem acertado qual foi o ácido

(47%), uma parte considerável acatou o ácido sulfuroso como resposta (42%), indicando uma forte tendência de análise estequiométrica levando apenas o volume de base em consideração, e não o conceito de pKa. Isto sugere que a resolução do problema a partir de dados simulados pelos estudantes admite utilizar o conceito de pKa de modo operacional, ou seja, diretamente da curva modelo, realizando comparações qualitativas com a curva gerada.

7.2.2.3 Conclusões parciais para os dados obtidos na Atividade 2

A partir da apresentação e discussão dos resultados para a Atividade 2, e em conjunto com a Atividade 1, é possível esboçar as seguintes conclusões:

Em relação ao papel no ensino, o uso de simulação por meio de vídeos como fonte geradora de dados é vantajoso para a aprendizagem, no contexto e na sequência didática em que foi inserido. Ressalta-se, assim, o que já é bastante conhecido: a clara influência do conceito e da articulação das atividades para o resultado.

Do ponto de vista da competência representacional, considera-se que ao final da atividade, os resultados registrados para a maior parte dos estudantes indicam que foram capazes de realizar leituras diretas, interpretar e aplicar informações presentes no repertório representacional envolvido. A forma como o conceito de pKa parece ter sido empregado para resolver um problema, sugere que os estudantes trafegam significados entre as representações em modos compatíveis com uma zona de transição entre os níveis 3 e 4 da escala de competências representacionais.

No que concerne o perfil conceitual para reversibilidade, parece haver uma relação entre a mobilização do perfil conceitual e a possibilidade de acerto na resolução do problema proposto. Especificamente, a indicação do elemento do perfil Equilíbrio Dinâmico parece estar associada à opção correta pelo ácido misterioso. Levando em conta as considerações sobre competência representacional, parece, então, que há uma associação entre níveis mais complexos de competência representacional e o conceito de equilíbrio dinâmico para a reversibilidade, o que se operacionaliza ao interpretar a curva de dados simulados para extrair conclusões baseadas em conceitos mais complicados, como pKa. Porém, esta relação não é determinante, conforme se observa nos resultados. Assim, admite-se que é possível resolver o problema por meio de interpretações associativas qualitativas do repertório representacional, relacionadas ao conceito de equilíbrio estático.

7.2.3 Atividade 3

A última atividade da sequência didática teve como objetivos:

- No ensino, consolidar os conceitos, proporcionando uma nova oportunidade de aprendizagem dos conceitos por meio da interpretação das representações visuais correspondentes, articuladas em interface interativa.
- Nesta pesquisa, registrar e comparar o conceito de equilíbrio químico quanto à reversibilidade declarado com o conceito operante.

Esta atividade emprega a simulação por meio de vídeos de forma análoga à Atividade 1 e utiliza repertório representacional similar:

- Grupo representacional do vídeo da titulação do ácido acético contra NaOH em mesma concentração, porém, sem a escala de volume da bureta: béquer com sistema reacional, escala visual de pH e ponta da bureta.
- Curva de titulação, na forma simples e numa forma anotada com legenda de composição do sistema, no ponto em destaque.
- Gráfico de barras apresentando a composição relativa das espécies protonadas e desprotonadas no sistema reacional.

A atividade foi concebida como previsão de cenários. Nela, o estudante deve mudar a composição do sistema de uma situação atual para uma nova, devendo para tanto escolher se precisa tornar o meio mais ácido, ou mais alcalino. Esta questão é colocada em três momentos: (1) no início da titulação, (2) na região de tamponamento (a "metade" do processo) e (3) no ponto de equivalência ("final" do procedimento num experimento de química analítica).

A questão é proposta como uma "navegação" na curva de titulação:

"Você está aqui e quer chegar ali. O que deve fazer? Adicionar ácido ou mais base?"

"Aqui", representa a situação atual, e é apresentada como um ponto na curva de titulação.

"Ali", representa a situação desejada, e é apresentada pelo gráfico de barras representando a composição do sistema.

Portanto, é necessário interpretar e integrar representações visuais, em grau de complexidade associado, no mínimo, ao nível 3 da escala de competência representacional.

Do ponto de vista do conceito de reversibilidade aplicado ao equilíbrio, admite-se que, nas decisões até o ponto de equivalência, é suficiente a concepção de

equilíbrio estático, sendo bastante:

- i. examinar de modo semiquantitativo o gráfico de barras;
- ii. adicionar base para aumentar a barra da espécie desprotonada e diminuir a barra da espécie protonada.

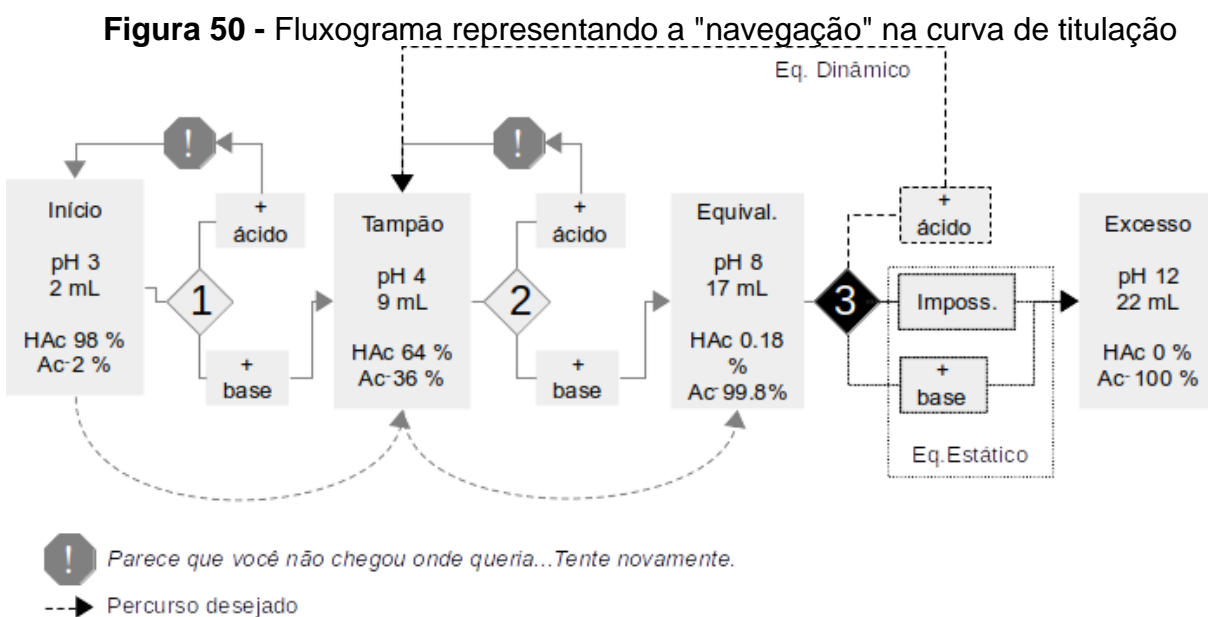
Por esta razão, no ponto de equivalência (3), uma terceira opção (veja Figura 49) foi incluída além das opções de se adicionar base ou ácido:

“Não é possível ir onde se deseja, pois todo o ácido foi neutralizado”.

Esta opção, na verdade, é uma forma de propor um questionamento do tipo: *“Sendo o ácido acético um ácido fraco, a adição de ácido forte a uma solução de acetato obtida por neutralização do ácido acético, regeneraria o ácido neutralizado?”.*

Diante deste questionamento, considera-se que a resposta *“adicionar ácido”* é compatível com a concepção de reversibilidade do equilíbrio dinâmico. De forma complementar, a resposta *“não é possível...”* é compatível com a concepção de equilíbrio estático.

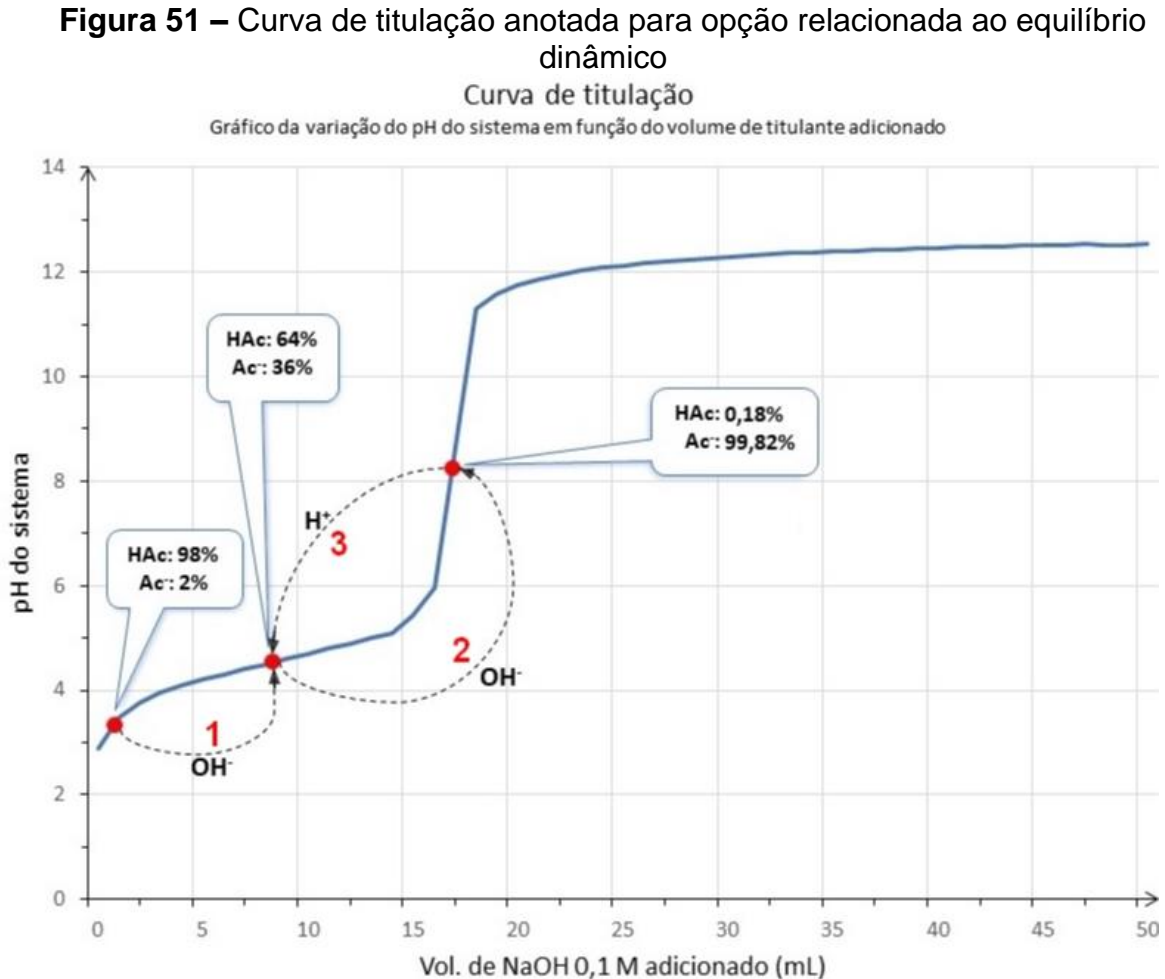
A Figura 50 representa o mapa de navegação na curva de atividade e as opções de respostas.



As setas tracejadas abaixo dos pontos de parada representam as situações desejadas a partir destes pontos. Os pontos de parada são referenciados pelo vídeo e pela posição na curva. As situações desejadas são representadas pelo gráfico de composição do sistema, o qual incorpora a proporção de espécies protonadas (HAc) e desprotonadas (Ac⁻), conforme indicado. Escolhas que levam a pontos diferentes das situações desejadas resultam em mostrar estas regiões e repropor a escolha.

Nestes casos, a posição desejada é mostrada também como curva, tanto a composição, como anotação. A escolha 3, em destaque, confronta as concepções de equilíbrio quanto à reversibilidade.

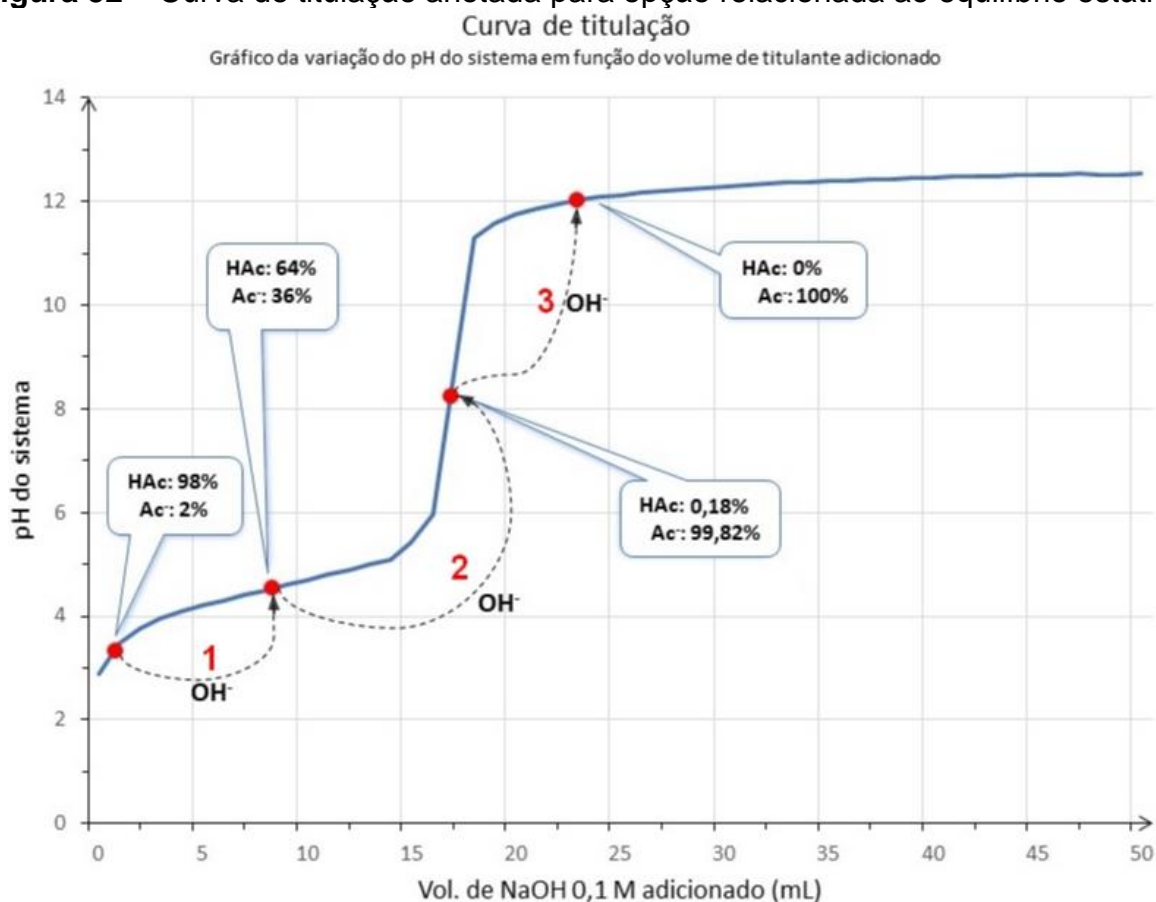
A opção relacionada ao conceito de equilíbrio dinâmico (reação química reversível), leva ao ponto de tamponamento e encerra a atividade. Neste caso, a seguinte curva (Figura 51) é mostrada, resumindo o percurso realizado:



Os pontos em vermelho são as situações atuais e desejadas, e os números de 1 a 3 representam as questões propostas na atividade.

A opção relacionada ao conceito de equilíbrio estático (reação reversível enquanto houver reagentes) leva à adição de base, e ao ponto da curva logo após o ponto de equivalência. Neste caso, a seguinte curva (Figura 52) é mostrada, resumindo o percurso realizado:

Figura 52 – Curva de titulação anotada para opção relacionada ao equilíbrio estático



Os pontos em vermelho são as situações atuais e desejadas, e os números de 1 a 3 representam as questões propostas na atividade.

Nos dois casos, o passo seguinte solicita, como na Atividade 1, indicar qual, dentre três frases, melhor explica o percurso realizado, sendo cada frase a formalização da aplicação de uma das concepções de equilíbrio relacionadas ao sistema químico da titulação:

- As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato. (Corresponde à concepção de Eq. Dinâmico)*
- Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado. (Corresponde à concepção de Estequiometria - não leva em conta o equilíbrio)*
- Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou*

ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético. (Corresponde à concepção de Eq. Estático)

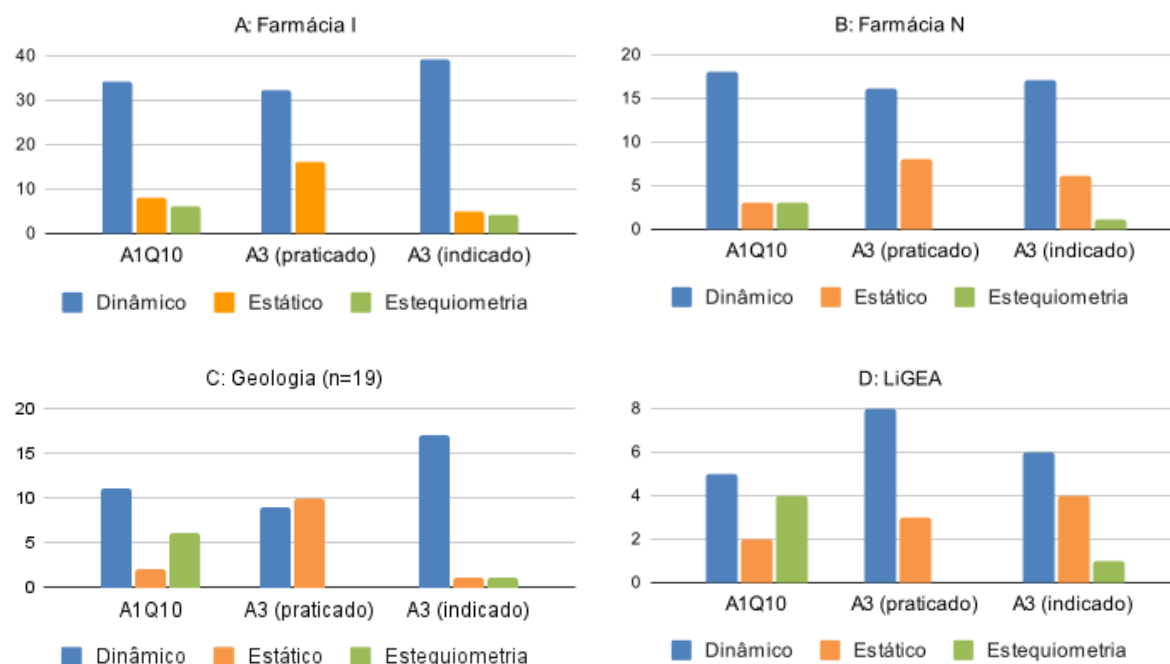
Assim, registrando todas as decisões tomadas na questão da região do ponto estequiométrico, e ao final do percurso, buscou-se informações que possibilitassem inferir sobre o conceito de equilíbrio operante, comparando o conceito **praticado** (escolha na região do ponto estequiométrico), e o **indicado** pelos estudantes (afirmações ao final do percurso). Ainda, considera-se que esta estratégia seria uma tentativa de contornar, ou pelo menos diminuir, respostas algorítmicas ou motivadas pela *"expectativa do que o professor quer ouvir"*.

7.2.3.1 Apresentação e análise dos resultados da Atividade 3

Tendo em vista os objetivos da Atividade 3, e o fato de ser o final do percurso percorrido na situação de ensino em que se deu a pesquisa, é conveniente analisar os resultados obtidos em comparação com as respostas registradas para a Questão 10 da Atividade 1 (A1Q10), a qual também solicitava indicar o conceito de equilíbrio químico que melhor justificaria as opções na simulação.

A Figura 53 apresenta as distribuições de respostas para cada grupo de estudantes. A opção tomada na simulação na região do ponto estequiométrico é assinalada como "praticado", e indicação do conceito de equilíbrio ao final da atividade, assinalada como "indicado".

Figura 53 – Perfil de escolhas relacionadas ao conceito operante de equilíbrio quanto à reversibilidade na região do ponto estequiométrico da curva de titulação - resultados absolutos totais



Distribuições de respostas para cada grupo de estudantes. A opção tomada na simulação na região do ponto estequiométrico é assinalada como "praticado", e indicação do conceito de equilíbrio ao final da atividade, assinalada como "indicado".

Os dados acima sugerem que, ao final do percurso de ensino, parece haver poucas mudanças na forma como os grupos mobilizam o conceito de reversibilidade no contexto da titulação ácido-base.

Este resultado é, de certa forma, esperado. É sabido que obstáculos de aprendizagem relacionados às mudanças como os estudantes mobilizam conceitos são difíceis de resolver. Então, uma experiência pontual de ensino, realizada nas circunstâncias de isolamento social da pandemia, não poderia oferecer oportunidades suficientes para que estudantes que concebem o equilíbrio químico de forma estática modificassem suas concepções sobre reversibilidade e passassem a concebê-lo de forma dinâmica.

Contudo, os resultados possibilitam agrupar as respostas nas questões consideradas em três grupos distintos quanto ao perfil conceitual:

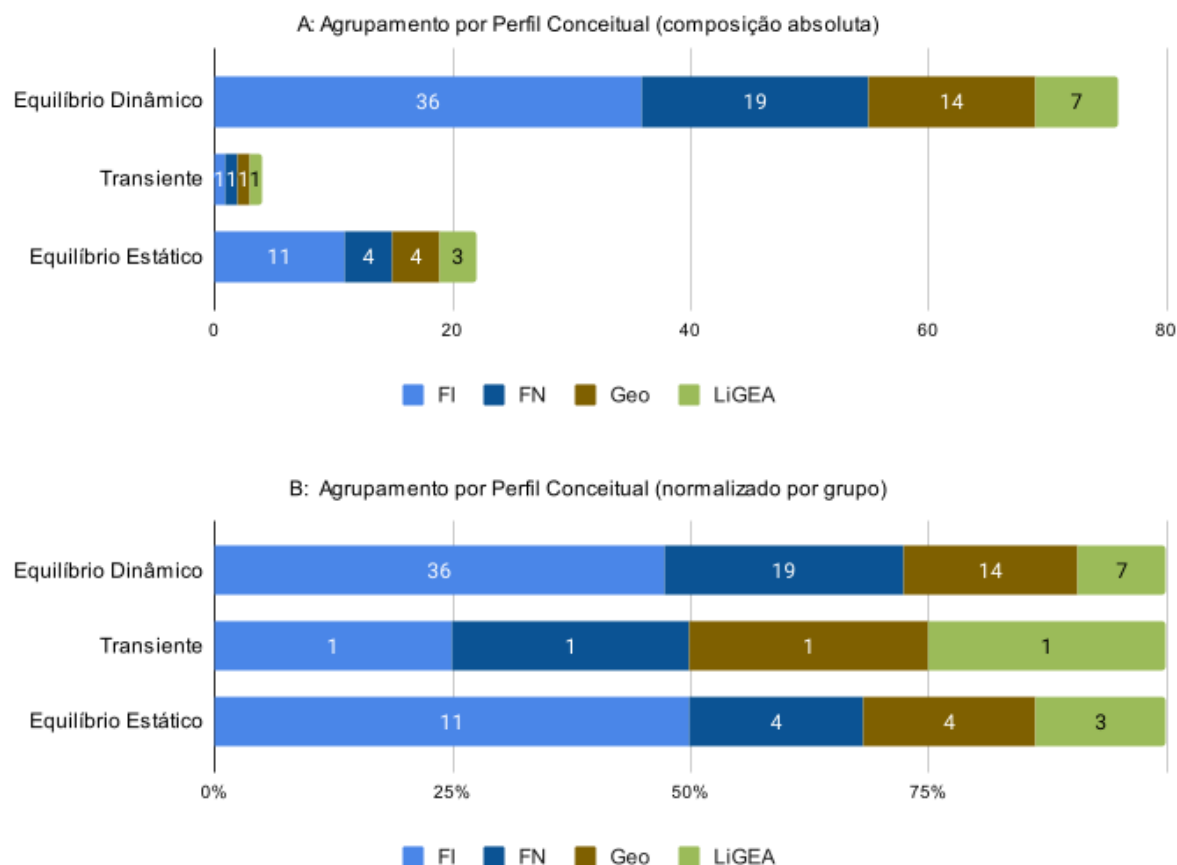
Grupo 1: respostas predominantemente relacionadas ao conceito de Equilíbrio Dinâmico.

Grupo 2: respostas sem predominância quanto aos elementos do perfil conceitual, denominado Transiente.

Grupo 3: respostas predominantemente relacionadas ao conceito de Equilíbrio Estático.

Assim, agrupadas, as respostas resultam nas distribuições apresentadas na Figura 54:

Figura 54 – Agrupamento de respostas quanto ao perfil conceitual predominante



Agrupamentos de respostas para as diferentes turmas quanto ao perfil conceitual para o equilíbrio químico. A: dados absolutos. B: dados normalizados por grupo. Nos dois casos, o número nas barras indica o número absoluto de respostas. FI: farmácia integral, FN: farmácia noturno, Geo: geologia, LiGEA: licenciatura em geociências.

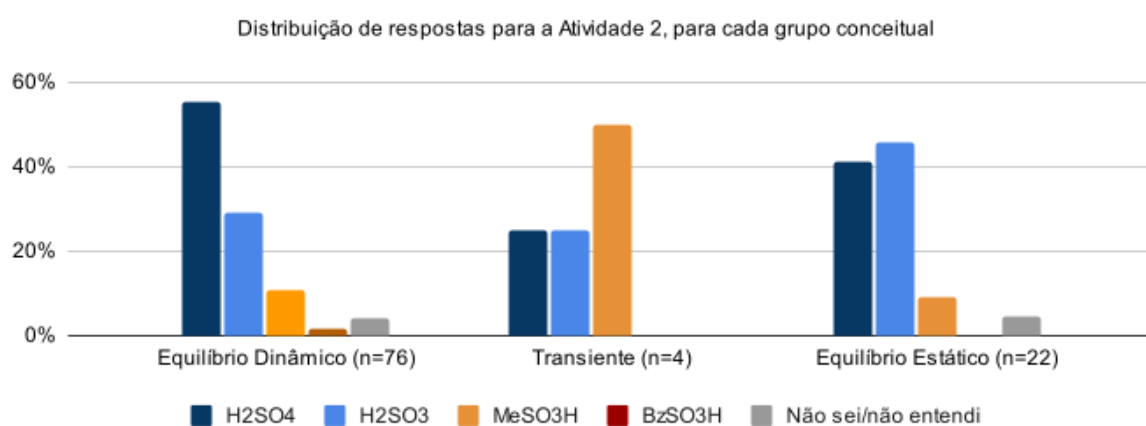
Nestes resultados, é interessante notar que o grupo dinâmico apresenta o maior número de respostas, e que estas respostas provêm dos três grupos de estudantes. Como a população dos grupos de Farmácia I e Farmácia N é mais numerosa, há uma distorção nos dados. Os dados normalizados para cada grupo (Figura 54 B), indica, porém, que a composição relativa dos grupos referentes às concepções Dinâmica e Estática de equilíbrio apresentam composição muito similar quanto à origem das respostas.

Isto indica que as diferenças encontradas entre as turmas de estudantes parecem ser menos relevantes quando analisadas sob a perspectiva do grupo

conceitual. Este resultado pode ser considerado consistente com a suposição de que todos os estudantes aprenderam conceitos de equilíbrio químico em sua vida escolar segundo abordagens de ensino semelhantes.

A relação entre o agrupamento conceitual e as respostas para o problema proposto no estudo de caso da Atividade 2 pode ser examinada reagrupando estes resultados segundo os grupos conceituais identificados. Estes resultados estão apresentados na Figura 55.

Figura 55 – Distribuição das respostas ao problema proposto no estudo de caso da Atividade 2



Distribuição das respostas ao problema proposto no estudo de caso da Atividade 2. A partir de dados obtidos por simulação, os estudantes deveriam escolher entre quatro possíveis ácidos: sulfúrico (H₂SO₄), sulfuroso (H₂SO₃), metanossulfônico (MeSO₃H) e benzenossulfônico (BzSO₃H). Nota: na figura, os coeficientes das fórmulas não puderam ser indicados corretamente por limitações da planilha utilizada para produzir a figura.

Os resultados apresentados na Figura 55 indicam que a ocorrência de respostas corretas (ácido sulfúrico) é significativamente maior no grupo correspondente ao perfil conceitual predominantemente de Equilíbrio Dinâmico. No caso do grupo referente ao Equilíbrio Estático e Transiente, não há uma diferença significativa entre a ocorrência de opções pelos dois ácidos dipróticos sulfúrico e sulfuroso.

Retomando a discussão dos resultados da Atividade 2, devemos lembrar que as escolhas dos estudantes para o ácido misterioso foram baseadas na análise da curva de titulação obtida pelo uso "*stricto sensu*" do simulador baseado em vídeo, e que estes dados envolviam o conceito operacional de pKa e sua determinação a partir da análise das curvas de titulação. Os resultados mostrados na Figura 55 indicam que, embora ambas as concepções para o equilíbrio (estática e dinâmica) podem resultar na opção pela resposta correta. Porém, a concepção dinâmica associa-se a maior

ocorrência de respostas corretas, sugerindo que há uma relação entre o perfil conceitual e a possibilidade de interpretar curvas de titulação de forma mais precisa, a qual permitiria, ao menos operacionalmente, empregar o conceito de pKa.

7.2.4 Percepção dos estudantes

Os resultados dos registros da percepção dos estudantes quanto a diferentes aspectos do módulo de atividades são tratados nesta seção.

Os resultados são organizados nas seguintes subseções:

Percepções quanto aos conceitos envolvidos: percepções sobre dificuldade e familiaridade dos conceitos.

Percepções quanto às representações visuais: percepções sobre as representações das curvas de titulação e dos gráficos de composição do sistema.

Percepções quanto ao papel do simulador por meio de vídeos: percepções sobre o papel do simulador como articulador de conceitos e representações.

Percepções quanto ao interesse e as contribuições formativas das atividades na situação de ensino: percepções referentes ao interesse e à contribuição formativa das atividades.

Percepções quanto à proposta de ensino adotada: percepções referentes as experiências prévias e receptividade com atividades similares, bem como esforço e duração.

Percepções quanto às orientações e interações: percepção quanto à interpretação das informações providas na interface das atividades, orientações da equipe docente, instruções indicadas em roteiros e a interação com colegas.

Acesso e uso da tecnologia: percepções sobre a conectividade e indicação dos dispositivos usados para acesso as atividades.

Apreciação geral do módulo desenvolvido com os simuladores.

Para cada caso, a ocorrência de respostas nas diferentes categorias e escalas empregadas na coleta de dados estão apresentados nas seguintes formas:

Resultados gerais completos para todos as turmas de estudantes, apresentados como tabelas em quadros. Tais resultados expressam as ocorrências em todas as categorias empregadas, para todos os grupos de estudantes. Estes dados fornecem um panorama geral para o conjunto de dados.

Agrupamento dos resultados gerais para todas as turmas de estudantes, reunidos em categorias binárias (extremos) ou ternárias (no caso de escalas com

posição "neutra"), e expressos na forma de gráficos. Estes resultados facilitam comparações qualitativas dos resultados e a identificação de tendências para o grupo todo.

Agrupamento dos resultados em (2), porém discriminados e normalizados para cada turma de estudantes, também apresentados em gráficos. Estes resultados levam em conta distorções resultantes do fato de que a contribuição de cada grupo de estudantes para o conjunto total de dados é desigual, já que temos 48 respostas para o grupo Farmácia I, 24 respostas para Farmácia N, 19 respostas para Geologia e 11 respostas para LiGeA.

7.2.4.1 Percepções quanto aos conceitos envolvidos: dificuldade e familiaridade

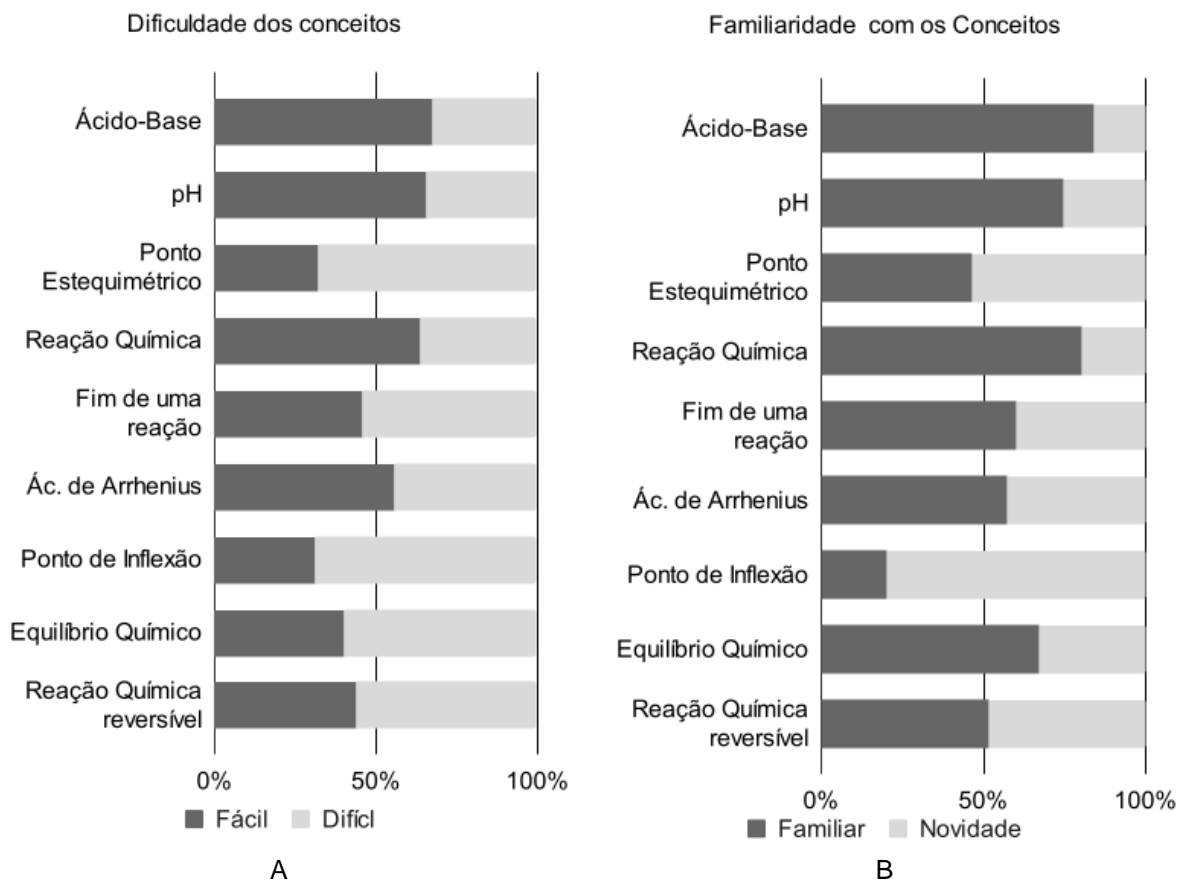
Quadro 13 – Resultados Gerais para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos conceitos

Conceito	Dificuldade						Familiaridade						
	MF	F	D	MD	Fácil	Difícil	F5	F4	F3	F2	F1	Familiar	Novidade
Ácido-Base	20	49	33	0	69	33	34	50	8	7	2	92	9
pH	15	52	34	1	67	35	22	55	10	10	4	87	14
Ponto Estequiométrico	8	25	57	12	33	69	6	26	19	19	31	51	50
Reação Química	18	47	36	1	65	37	30	50	9	11	1	89	12
Fim de uma reação	11	36	53	2	47	55	14	33	20	18	16	67	34
Ác. de Arrhenius	16	41	36	9	57	45	19	37	11	16	18	67	34
Ponto de Inflexão	8	24	49	21	32	70	3	8	9	9	72	20	81
Equilíbrio Químico	11	30	52	9	41	61	14	35	23	23	6	72	29
Reação Química reversível	12	33	43	14	45	57	14	37	9	21	20	60	41

Categorias para Dificuldade: MF: Muito fácil, ajuda colegas; F: Fácil, entendo sozinho; D: Difícil, com ajuda entendo; MD: Muito difícil, não entendo. A coluna Fácil traz a soma de MF e F. A coluna Difícil traz a soma de MD e D.

Categorias para Familiaridade: F5: Lembrava e entendia completamente; F4: Lembrava e achava que entendia um pouco; F3: Eu lembrava, mas não sabia direito o que significava; F2: Estudei antes, mas não lembro quase nada; F1: Nunca havia estudado antes. A coluna Familiar traz a soma de F5, F4 e F3. A coluna Novidade traz a soma de F1 e F2. (n=102)

Figura 56 – Agrupamento das ocorrências em subgrupos para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos Conceitos para todos os estudantes



Resultados gerais (todas as turmas de estudantes), com ocorrências consolidadas nas categorias para a percepção sobre a dificuldade (A) e familiaridade (B) dos conceitos envolvidos nas atividades com o simulador. (n=102)

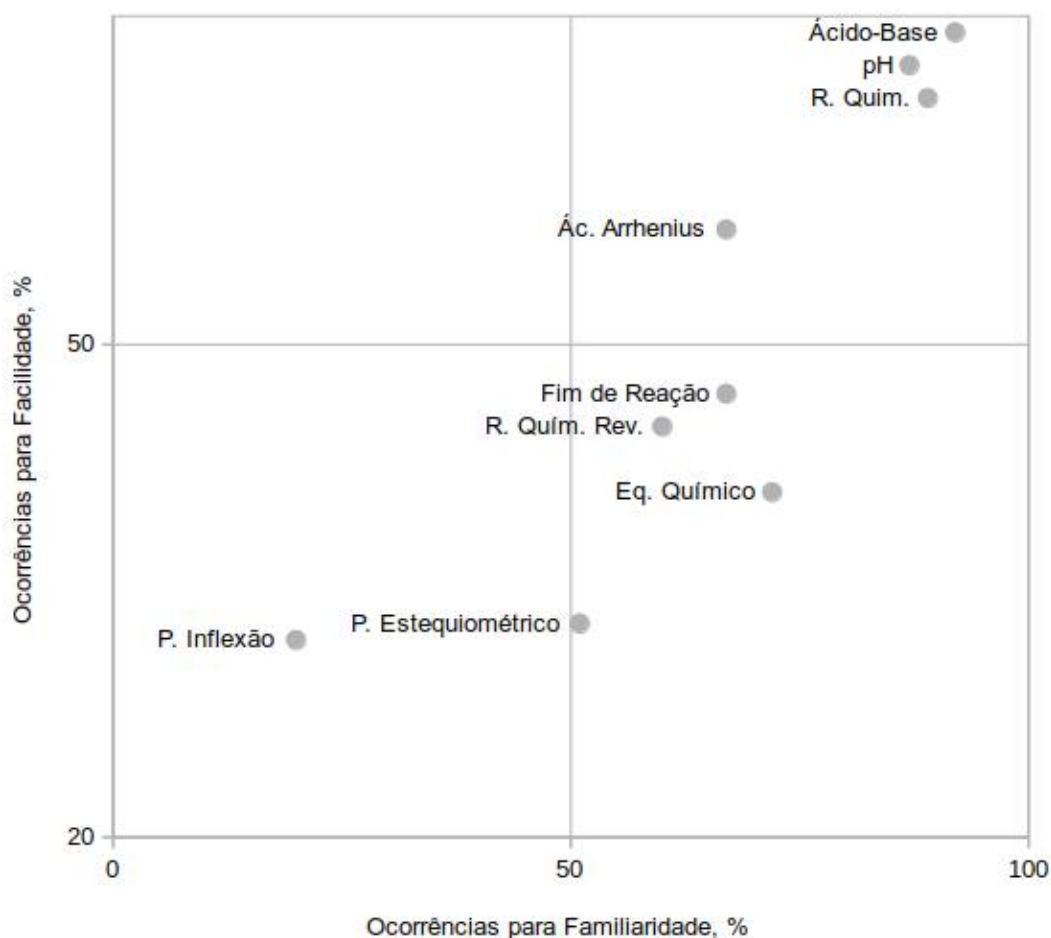
Os resultados acima indicam que os diferentes conceitos são percebidos com diferentes graus de dificuldade e familiaridade.

Os conceitos percebidos como mais difíceis, (soma de categorias "fácil" e "muito fácil" abaixo de 50%) são: Ponto de Inflexão, Ponto Estequiométrico, Equilíbrio Químico, Reação Química Reversível e Fim de Reação.

Os conceitos percebidos como menos familiares (soma das categorias "Lembrava e entendia completamente", "Lembrava e achava que entendia um pouco" e "Eu lembrava, mas não sabia direito o que significava" abaixo de 50%) são: Ponto de Inflexão e Ponto Estequiométrico.

Parece haver uma correlação entre as percepções de dificuldade e familiaridade. Esta relação fica mais explícita na figura a seguir:

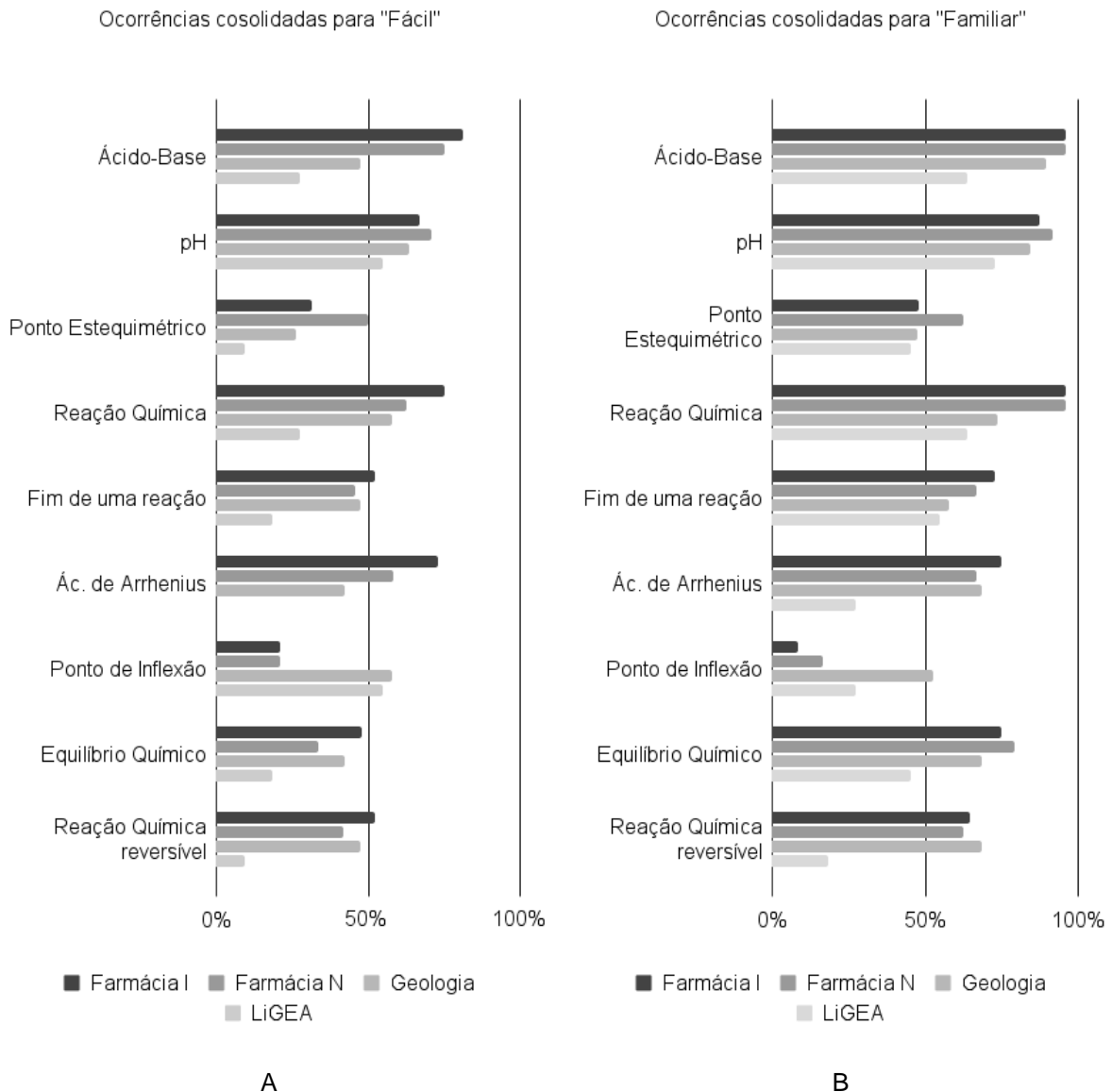
Figura 57 – Correlações entre agrupamento das ocorrências em subgrupos para as percepções de Dificuldade e Familiaridade dos Conceitos



Os dados mostrados acima sugerem que, em geral, os estudantes consideram mais difíceis os conceitos com os quais estão menos familiarizados. Embora isto seja esperado, é interessante que, embora estejam acima dos 50% mais familiares, os conceitos de Equilíbrio Químico, Reação Química Reversível e Fim de Reação, constam do grupo dos 50% mais difíceis. Isto corrobora as dificuldades de aprendizado indicadas na introdução deste trabalho.

Também se ressalta que a aplicação do conceito químico de fim de reação ao contexto da titulação (ponto estequiométrico) é percebida como mais difícil. E que o conceito de ponto de inflexão, que é a localização na curva de titulação do ponto estequiométrico, é percebido como o mais difícil e o menos familiar. Isto pode ser um exemplo da manifestação de dificuldades de integração do conceito de fim de reação em diferentes contextos e através de diferentes representações.

Figura 58 – Ocorrência das categorias consolidadas para Dificuldade (Fácil) e Familiaridade (Familiar), discriminadas e normalizadas por grupo de estudantes



Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas nas categorias "Fácil" para a percepção sobre a dificuldade (A) e "Familiar" para familiaridade (B) dos conceitos envolvidos nas atividades com o simulador. (n=102)

Os resultados discriminados por turma sugerem que, em linhas gerais, estudantes do grupo LiGEA (11 pessoas), tem uma percepção diferente dos outros grupos, em geral tendendo a considerar os conceitos como mais difíceis e menos familiares, à exceção do conceito de Ponto de Inflexão.

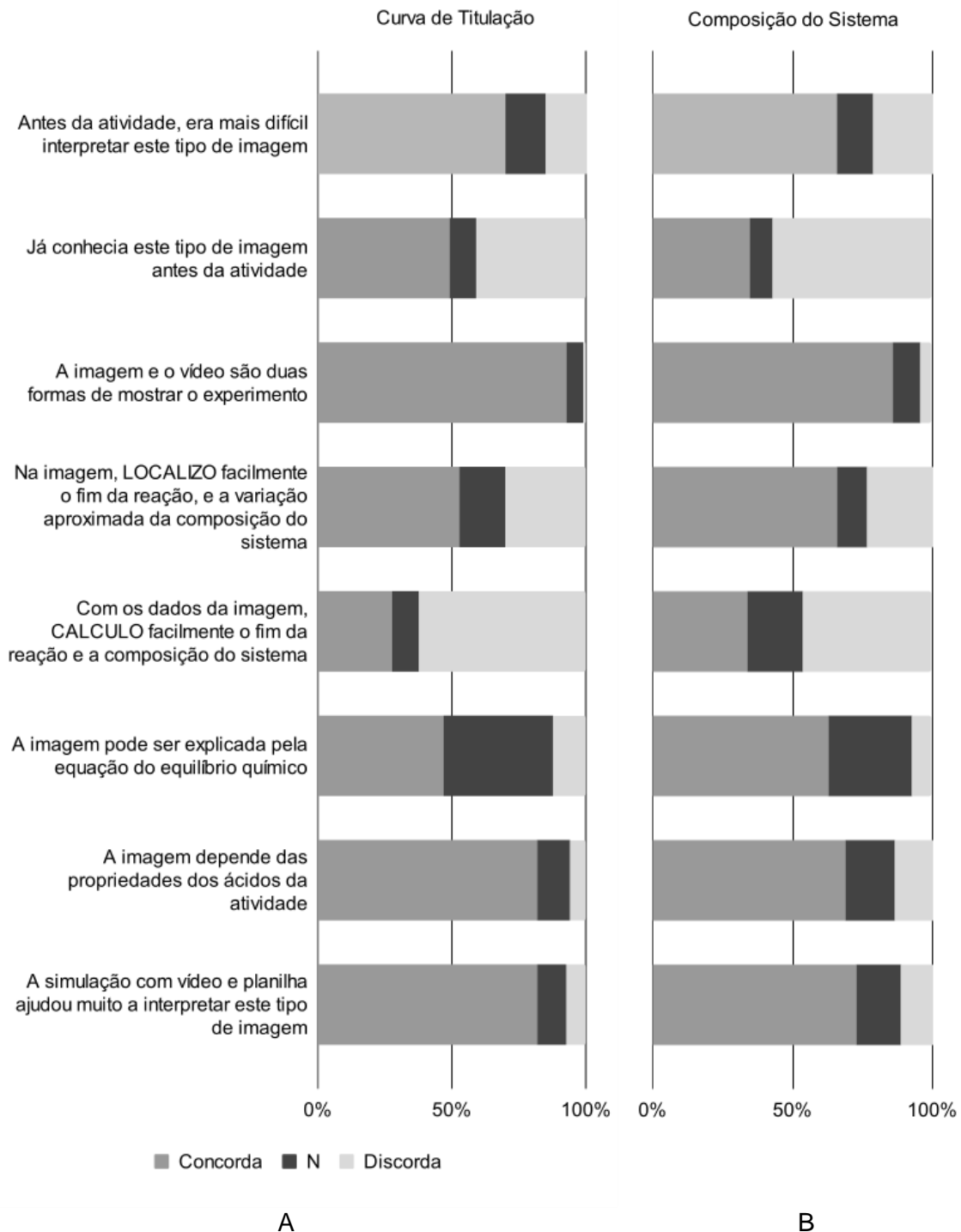
7.2.4.2 Percepções quanto as representações visuais da Curva de Titulação e do Gráfico de Composição do Sistema

Quadro 14 – Dados coletados a respeito da simulação realizada a partir dos vídeos, questionando o entendimento de uma curva de titulação

Afirmação	Curva de Titulação								Gráfico de Composição do Sistema							
	CT	CP	N	DP	DT	C	NC	CT	CP	N	DP	DT	C	NC		
Antes da atividade, era mais difícil interpretar este tipo de imagem	40	31	15	10	6	71	16	16	34	33	13	12	67	22		
Já conhecia este tipo de imagem antes da atividade	23	27	10	13	29	50	42	42	15	21	8	20	36	58		
A imagem e o vídeo são duas formas de mostrar o experimento	70	25	6	1	0	95	1	1	55	33	10	3	88	4		
Na imagem, LOCALIZO facilmente o fim da reação, e a variação aproximada da composição do sistema	19	35	17	20	11	54	31	31	35	32	11	17	67	24		
Com os dados da imagem, CALCULO facilmente o fim da reação e a composição do sistema	4	25	10	36	27	29	63	63	14	21	20	24	35	47		
A imagem pode ser explicada pela equação do equilíbrio químico	16	32	42	8	4	48	12	12	32	32	31	5	64	7		
A imagem depende das propriedades dos ácidos da atividade	58	26	12	5	1	84	6	6	43	27	18	13	70	14		
A simulação com vídeo e planilha ajudou muito a interpretar este tipo de imagem	44	40	11	5	2	84	7	7	39	35	16	9	74	12		

CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; N: nem concordo, nem discordo; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente. C: Concorda (soma das ocorrências para CT e CP); NC: não concorda (soma das ocorrências para DT e DP). (n=102)

Figura 59 – Grau de concordância dos indivíduos a respeito de uma curva de titulação com base na simulação realizada por meio de vídeo – resultados gerais

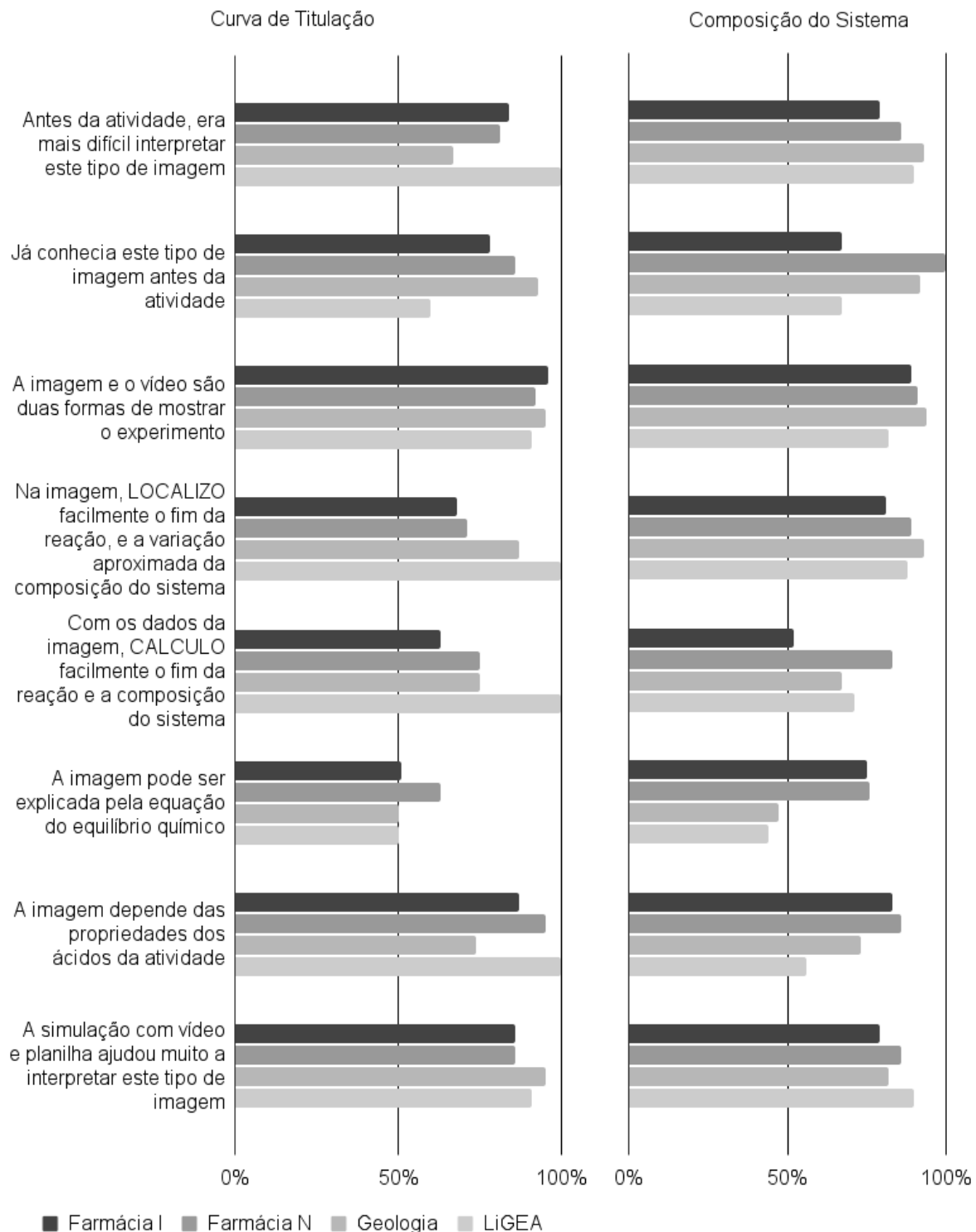


Resultados gerais (todas as turmas de estudantes), com ocorrências consolidadas nas categorias para a percepção sobre a interpretação das representações Curva de Titulação (A) e Gráfico de composição do sistema (B), presentes nas atividades com o simulador. N: não concordo nem discordo. (n=102)

Nos resultados gerais referentes às representações visuais da curva de titulação, podemos destacar o seguinte:

- a) As duas representações não são consideradas conhecidas, mas a atividade permitiu que os estudantes se familiarizassem com elas, e que, juntamente com o vídeo, representam a reação química em andamento na titulação. Isto é compatível com os resultados obtidos para a Atividade 1, os quais indicam que os estudantes conseguiram trafegar entre as representações pelo menos ao nível de competência representacional 2. Adicionalmente, o uso do simulador com a planilha parece ter facilitado também este processo de integração, o que era esperado de uma atividade em que os estudantes devem produzir dados com o simulador, fazendo inúmeras leituras, e em seguida obter as curvas correspondentes.
- b) O gráfico de barras empregado para representar a composição dos sistemas é lido e interpretado mais facilmente do que a curva de titulação, o que, possivelmente, se deve aos fatos de ter sido apresentado com os valores numéricos da composição, e de que as barras podem ser interpretadas de modo semiquantitativo. A curva de titulação mostrou-se mais complexa para extrair valores e efetuar cálculos, o que era esperado. Isto pode ser considerado consistente com as percepções sobre o conceito de ponto estequiométrico e ponto de inflexão, os quais são necessários para interpretações quantitativas sobre o fim da reação e sua representação na curva de titulação.
- c) O gráfico de barras é mais facilmente relacionado com o equilíbrio químico do que a curva de titulação. Isto também é esperado e é coerente com os pontos salientados acima. Adicionalmente, admite-se que a concepção estática de equilíbrio, que é mais simples de se interpretar, é mais diretamente relacionada ao gráfico de barras do que à curva de titulação.
- d) Os estudantes parecem relacionar as duas representações com as propriedades dos ácidos. Esse resultado poderia ser explicado na medida em que da curva de titulação obtém-se informações da força dos ácidos (pK_a) e do número de hidrogênios ionizáveis, enquanto no gráfico de barras, apenas a segunda informação poderia ser obtida. Mas não há nenhuma outra evidência desta explicação.

Figura 60 – Percepção de diferentes turmas sobre as representações visuais da Curva de Titulação e do Gráfico de Composição do Sistema



A

B

Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas das categorias "Concordo Totalmente" e "Concordo Parcialmente", para a percepção sobre as representações da Curva de Titulação e da Composição do Sistema. (n=102)

Além de diferenças entre turmas, sobre tudo do grupo LiGEA em relação aos

demais, destaca-se nestes dados:

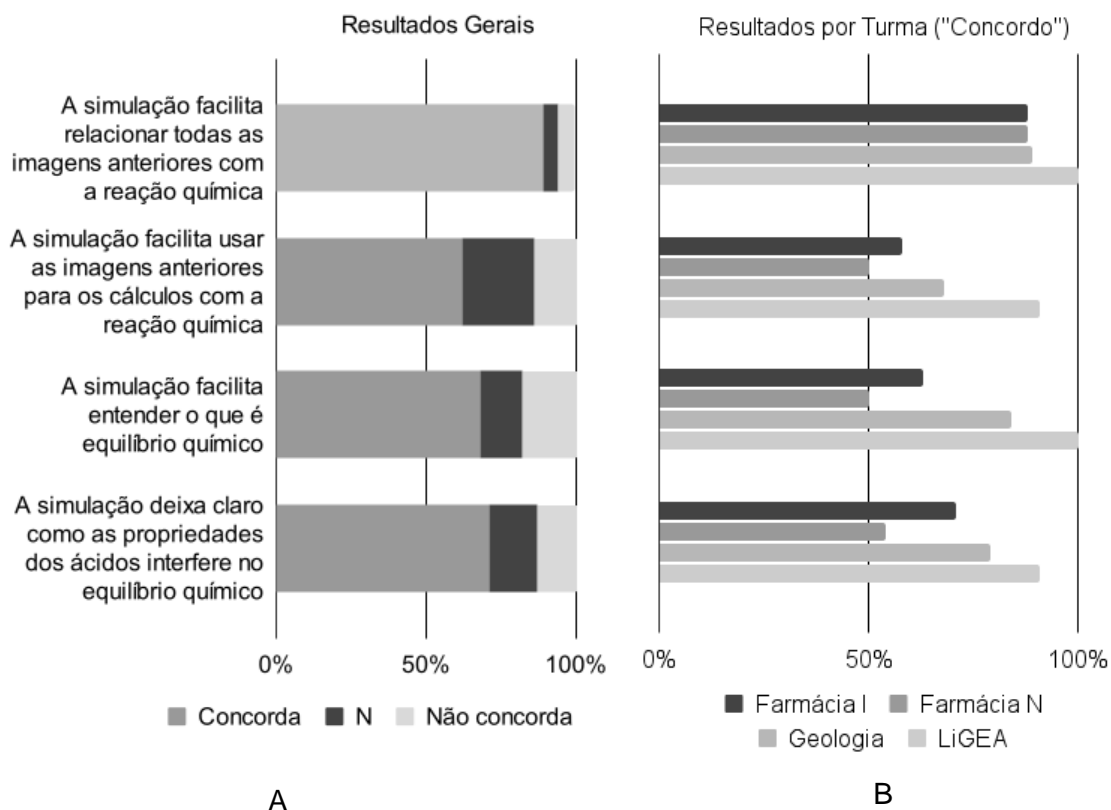
- a) As diferenças entre os grupos são maiores para a curva de titulação, que é a representação mais difícil de ser interpretada;
- b) Em geral, as atividades parecem ter contribuído com a capacidade de interpretar os dois tipos de representação, para todas as turmas, ainda que em diferentes graus;
- c) Todas as turmas indicam ter se beneficiado, de modo muito semelhante, dos princípios adotados para integrar as representações, apoiando a hipótese de que o vídeo é um elemento importante nas contribuições de ensino, e que isto se deve, ao menos em parte, ao seu papel como facilitador da integração entre representações diferentes.

7.2.4.3 Percepções quanto ao papel do simulador por meio de vídeos quanto a aspectos representacionais e conceituais

Quadro 15 – Percepção dos estudantes sobre o papel da simulação por meio de vídeos quanto aos aspectos representacionais

Afirmação	CT	CP	N	DP	DT	C	NC
A simulação facilita relacionar todas as imagens anteriores com a reação química.	46	45	5	5	1	91	6
A simulação facilita usar as imagens anteriores para os cálculos com a reação química	31	32	24	11	4	63	15
A simulação facilita entender o que é equilíbrio químico	27	42	14	14	5	69	19
A simulação deixa claro como as propriedades dos ácidos interfere no equilíbrio químico	35	37	16	10	4	72	14
CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; N: nem concordo, nem discordo; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente. C: Concorda (soma das ocorrências para CT e CP); NC: não concorda (soma das ocorrências para DT e DP). (n=102)							

Figura 61 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre o papel da simulação por meio de vídeos, quanto aos aspectos representacionais



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Concorda", "Não concorda nem discorda" (N) e "Não Concorda". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Concorda". (n=102)

Os resultados apresentados nesta seção corroboram as tendências apontadas anteriormente quanto à relevância do vídeo do experimento como elemento integrador das representações visuais que compuseram o repertório representacional nas atividades.

Este resultado é mais um indício de que as premissas adotadas no trabalho parecem ter originado resultados positivos para as contribuições do simulador na aprendizagem de conceitos considerados difíceis, como o equilíbrio químico.

Quando analisamos os dados discriminados por turma, destaca-se que, para o grupo LiGEA, as contribuições da simulação parecem ter sido mais relevantes do que para os demais grupos. Embora este seja um grupo pequeno de estudantes no todo da amostra (apenas 11 pessoas), estes resultados são considerados relevantes no escopo do estudo, visto que são estudantes mais velhos com um perfil muito distinto dos demais.

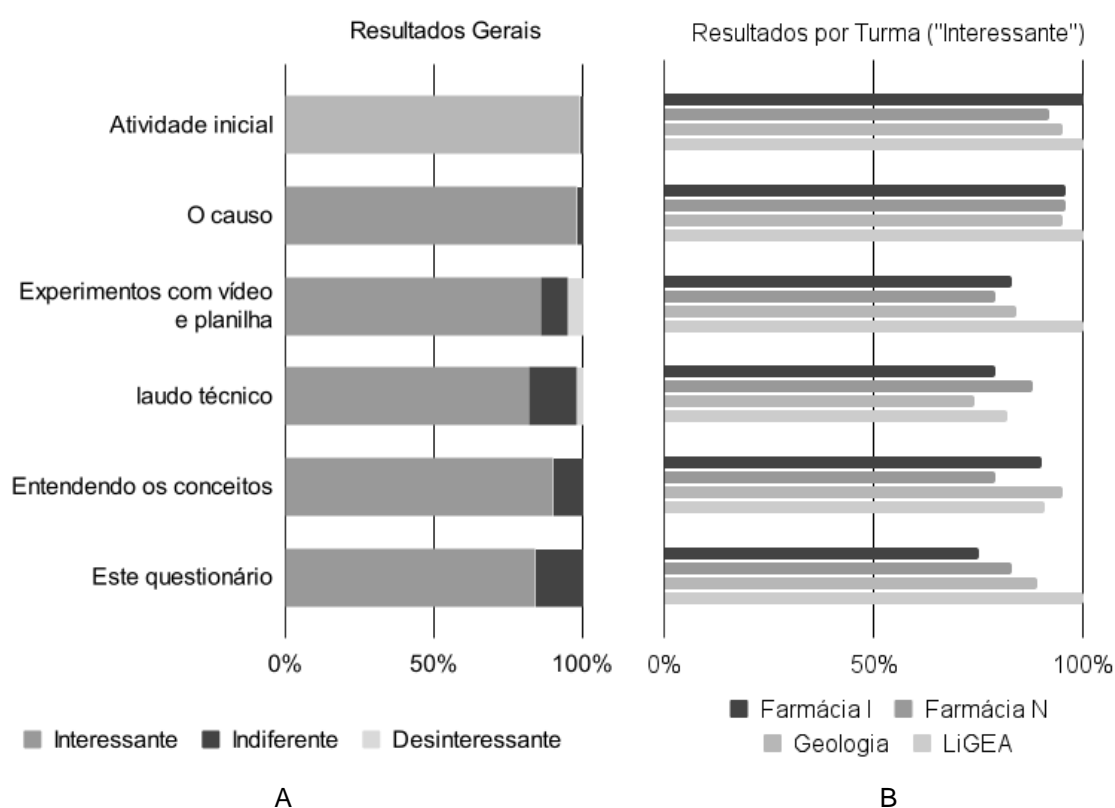
7.2.4.4 Percepções quanto ao interesse e as contribuições formativas das atividades na situação de ensino

Quadro 16 – Resultados gerais para a percepção dos estudantes quanto ao interesse ao realizar as atividades

Atividades	Quão interessante foi cada atividade?						
	I5	I4	I3	I2	I1	I	D
Atividade inicial	36	57	6	2	1	93	3
O caso	42	46	10	3	1	88	4
Experimentos com vídeo e planilha	43	34	9	9	7	77	16
Laudo técnico	27	39	16	13	7	66	20
Entendendo os conceitos	20	43	27	10	2	63	12
Este questionário	9	29	46	8	10	38	18

I5: Muito Interessante; I4: Interessante; I3: Indiferente; I2: Desinteressante; I1: "Um suplício".
I: Interessante (resultados consolidados para I5 e I4); D: Desinteressante (resultados consolidados para I2 e I1). (n=102)

Figura 62 – Percepção geral e de diferentes turmas quanto ao interesse



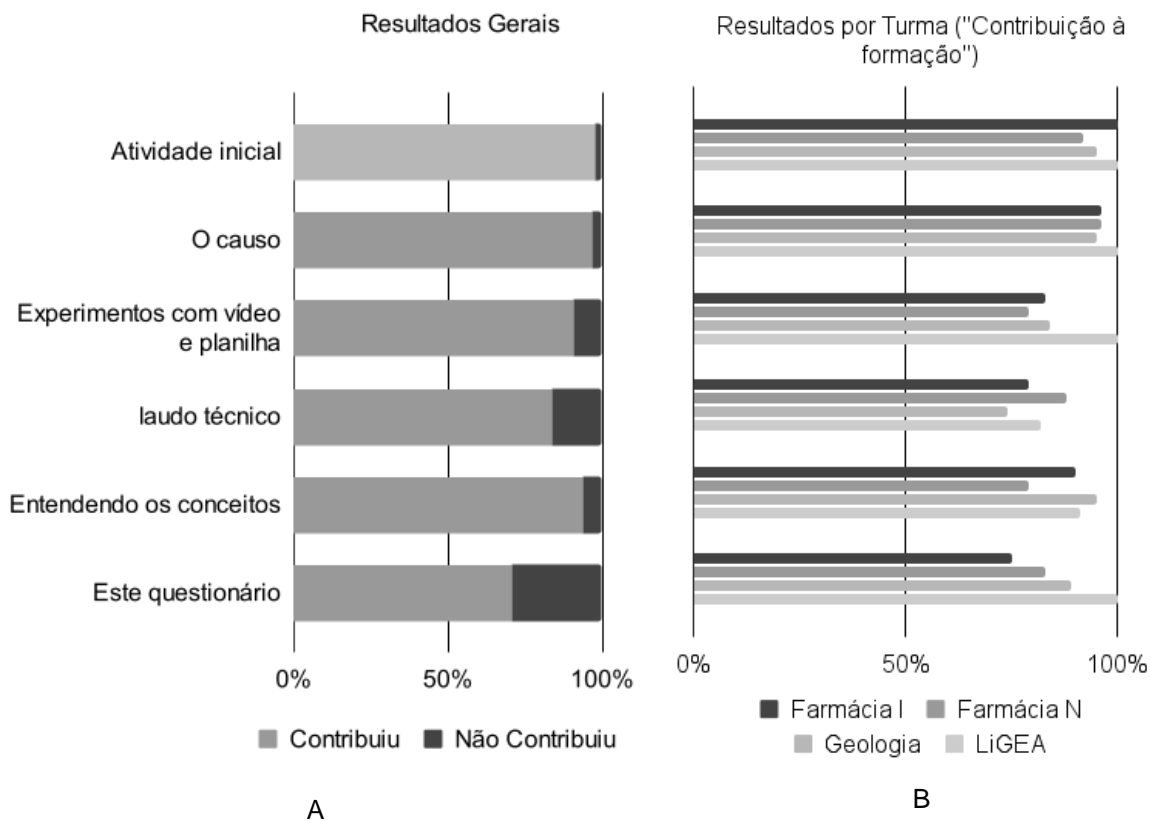
A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Interessante", "Indiferente" e "Desinteressante". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Interessante". (n=102)

Quadro 17 – Resultados gerais para a percepção dos estudantes quanto a contribuição para a formação

Atividades	Quanto cada atividade contribuiu para sua formação?						
	F5	F4	F3	F2	F1	C	NC
Atividade inicial	25	43	32	1	1	100	2
O caso	27	47	25	2	1	99	3
Experimentos com vídeo e planilha	46	36	11	7	2	93	9
Laudo técnico	34	29	23	11	5	86	16
Entendendo os conceitos	29	37	30	4	2	96	6
Este questionário	10	23	40	11	18	73	29

F5: Muito; F4: Consideravelmente; F3: Pouco; F2: Quase nada; F1: Nada. C: Contribuiu (resultados consolidados para F5, F4 e F3); N: Não contribuiu e pouco contribuiu (resultados consolidados para F2 e F1). (n=102)

Figura 63 – Percepção geral e de diferentes turmas quanto à contribuição para formação das atividades envolvendo o simulador



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Contribuiu" e "Não Contribuiu". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Contribuiu".

Os resultados apresentados nesta seção apontam que os estudantes consideram as atividades desenvolvidas com o simulador como interessantes e relevantes para sua formação. Salienta-se que, nos dois quesitos, interesse e contribuição, os resultados são muito mais homogêneos para as diferentes turmas do

que os resultados obtidos para as questões conceituais e representacionais. Novamente, destaca-se que, para o grupo LiGEA, a percepção de interesse e contribuição foi mais alta do que para os demais grupos. Em parte, este resultado pode ser explicado levando-se em conta que estes estudantes almejam a formação docente. Portanto, ao experimentar atividades como as realizadas, é possível que as considerem contribuições não só para os conhecimentos químicos, mas também para os seus saberes como professores e professoras.

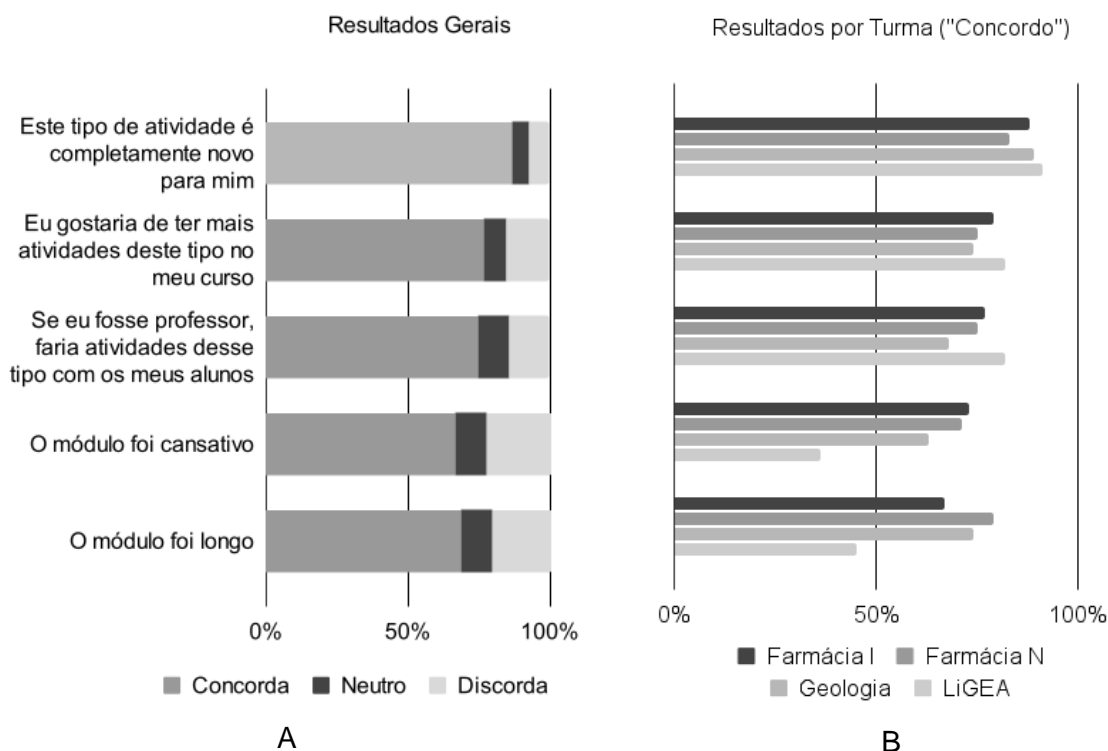
7.2.4.5 Percepções referentes à proposta de ensino adotada

Quadro 18 – Percepção dos estudantes quanto à proposta de ensino

Afirmação	CT	CP	N	DP	DT	C	NC
Este tipo de atividade é completamente novo para mim	71	18	6	5	2	89	7
Eu gostaria de ter mais atividades deste tipo no meu curso	44	35	8	6	9	79	15
Se eu fosse professor, faria atividades assim com os meus alunos	44	33	11	8	6	77	14
O módulo foi cansativo	35	33	11	14	9	68	23
O módulo foi longo	35	35	11	13	8	70	21

CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; N: nem concordo, nem discordo; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente. C: Concorda (soma das ocorrências para CT e CP); NC: não concorda (soma das ocorrências para DT e DP). (n=102)

Figura 64 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre a proposta de ensino



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Concorda", "Não concorda nem discorda" (Neutro) e "Não Concorda". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Concorda". (n=102)

Nos resultados acima ressalta-se que, de modo geral, embora tenham classificado a atividade como longa e cansativa, os estudantes parecem considerá-la inovadora. Exceto pelo grupo LiGEA, em que menos de 50% relatou o módulo como cansativo e longo, pois de fato é o grupo mais velho e que parece estar sendo mais beneficiado ao utilizar vídeos interativos, pois provavelmente não estão tão familiarizados com recursos tecnológicos quanto os demais grupos, proporcionando um caráter ainda mais inovador da atividade.

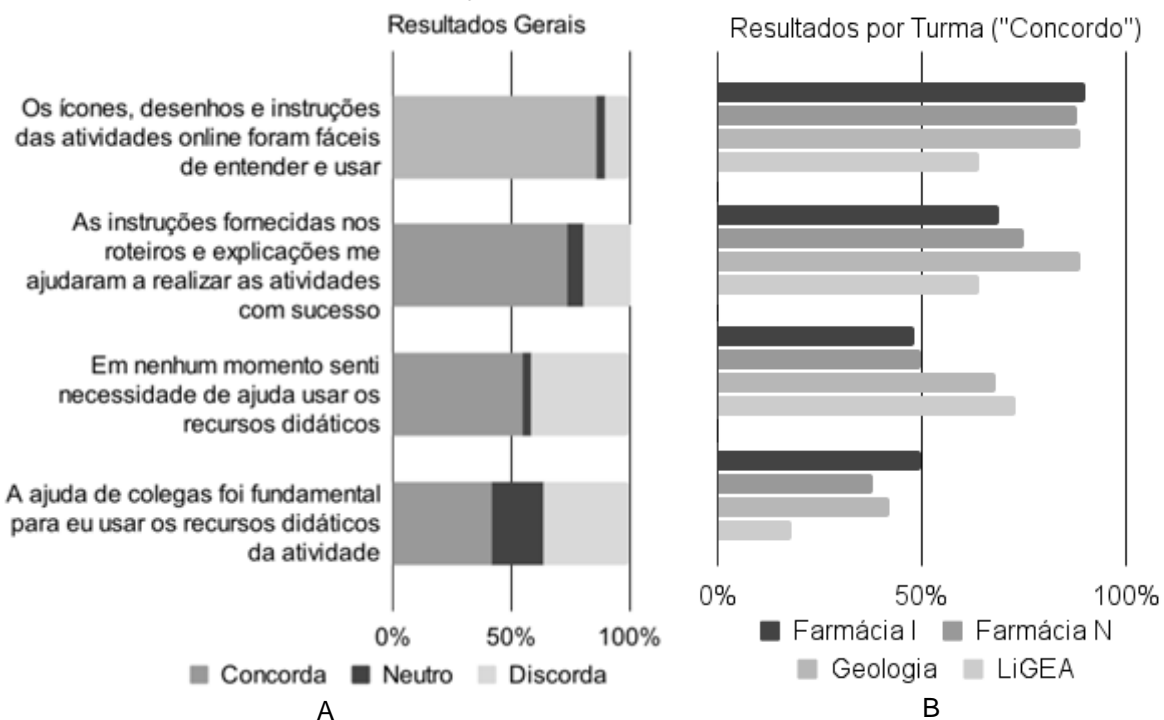
7.2.4.6 Percepções referentes às orientações e interações

Quadro 19 – Percepção dos estudantes quanto às orientações e interações

Afirmação	CT	CP	N	DP	DT	C	NC
Os ícones, desenhos e instruções das atividades online foram fáceis de entender e usar	57	31	4	8	2	88	10
As instruções fornecidas nos roteiros e explicações me ajudaram a realizar as atividades com sucesso	45	30	7	15	5	75	20
Em nenhum momento senti necessidade de ajuda usar os recursos didáticos	30	26	4	16	26	56	42
A ajuda de colegas foi fundamental para eu usar os recursos didáticos da atividade	24	19	22	6	31	43	37

CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; N: nem concordo, nem discordo; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente. C: Concorda (soma das ocorrências para CT e CP); NC: não concorda (soma das ocorrências para DT e DP). (n=102)

Figura 65 – Percepção geral e de diferentes turmas sobre as orientações e as interações nas atividades



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Concorda", "Não concorda nem discorda" (Neutro) e "Não Concorda". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Concordo". (n=102)

Os resultados nesta seção indicam que, de maneira geral, os princípios adotados e as ferramentas tecnológicas empregados na produção das atividades com o simulador resultaram em recursos didáticos acessíveis. Portanto, é razoável supor que problemas com a leitura e interação com a interface computacional não é interfere de modo significativo nas informações coletadas na pesquisa. No entanto, no tocante às interações com os colegas e com professores e professores, fica claro que uma parcela significativa dos estudantes se beneficiária de atividades organizadas em grupos de estudo. É possível que o contexto de isolamento social em que se deu o estudo com o simulador tenha influenciado esta percepção.

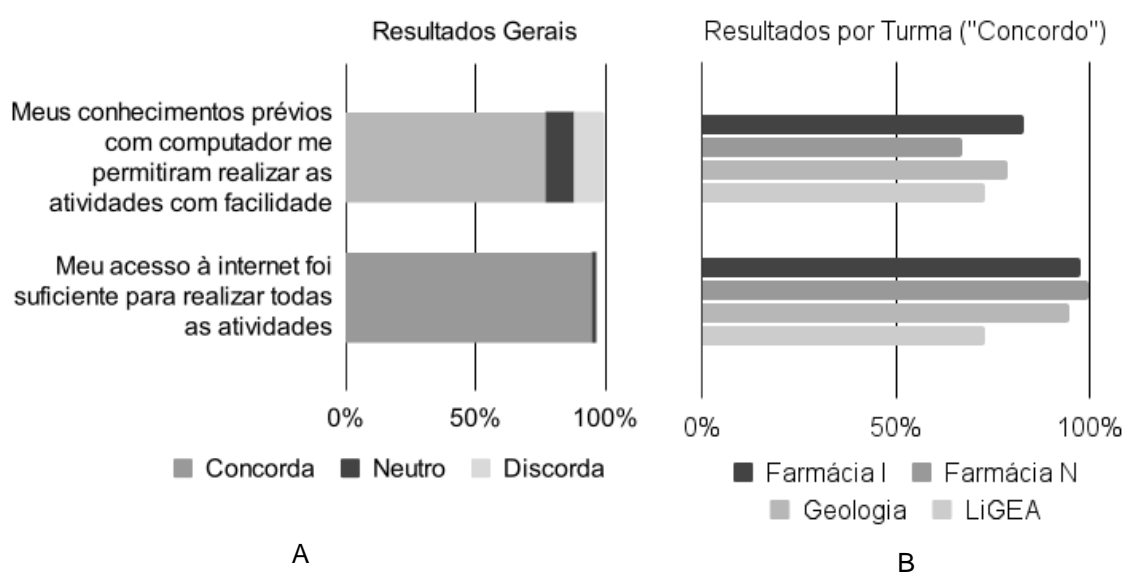
7.2.4.7 Percepções referentes ao acesso e uso da tecnologia

Quadro 20 – Percepção dos estudantes quanto ao acesso e uso da tecnologia

Afirmação / questionamento	CT	CP	N	DP	DT	C	NC
Meus conhecimentos prévios com computador me permitiram realizar as atividades com facilidade	51	28	11	7	5	79	12
Meu acesso à internet foi suficiente para realizar todas as atividades	86	11	2	3	0	97	3
	Computador		Celular		Tablet		
Em que tipo de dispositivo você realizou a atividade?	101		1		0		

CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; N: nem concordo, nem discordo; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente. C: Concorda (soma das ocorrências para CT e CP); NC: não concorda (soma das ocorrências para DT e DP). Computador: computador de mesa ou portátil. (n=102)

Figura 66 – Percepção geral e de diferentes turmas ao acesso e uso da tecnologia



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Concorda", "Não concorda nem discorda" (Neuro) e "Não Concorda". B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Concordo". (n=102)

Os resultados apresentados sugerem que os estudantes empregaram majoritariamente computadores portáteis ou de mesa para realizar as atividades. Também, nota-se que a conectividade, e as habilidades relacionadas aos procedimentos para operação dos dispositivos tecnológicos usados pelos estudantes não foi uma questão relevante para interferir nos resultados do estudo. Isto de certa forma se relaciona com a percepção anterior referente à interface e, adicionalmente, assume-se que engloba aqui questões referentes ao uso do AVA e às aulas realizadas em modo remoto via chamada por vídeo. Assim, faz sentido considerar que estes elementos importantes não parecem ter interferido de modo significativo no estudo. Ainda assim, os dados discriminados por turma apontam diferenças quanto ao acesso e à proficiência no uso da tecnologia.

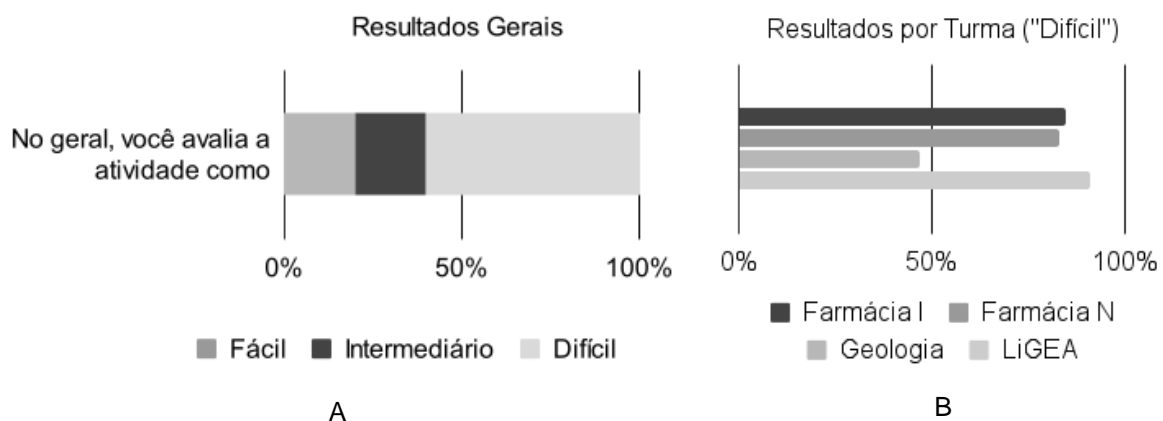
7.2.4.8 Apreciação global do módulo desenvolvido com os simuladores

Quadro 21 – Apreciação global do módulo desenvolvido com os simuladores

Afirmção / questionamento	MF	F	I	D	MD	F	D
No geral, você avalia a atividade como:	0	2	20	66	14	20	80

MF: Muito Fácil; F: Fácil; I: Intermediária; D: Difícil; MD: Muito Difícil.
 F: Fácil (soma das ocorrências para F e MF); D: Difícil (soma das ocorrências para D e MD). (n=102)

Figura 67 – Resultados gerais e de diferentes turmas para a apreciação global do módulo com simuladores



A: Resultados Gerais para as ocorrências consolidadas "Fácil", "Intermediário" (Neutro) e "Difícil".
 B: Resultados discriminados e normalizados por turma, para as ocorrências consolidadas "Difícil".

Os resultados obtidos para esta questão apontam que, de maneira geral, os estudantes participantes do estudo avaliaram sua experiência com os simuladores como difícil e intermediária. No contexto dos outros resultados obtidos, esta percepção parece de fato relacionar-se mais às questões conceituais e representacionais apontadas nas seções anteriores.

7.2.4.9 Conclusões parciais para os resultados de percepção dos estudantes sobre as atividades com o simulador

As conclusões parciais sobre os resultados apresentados para a percepção dos estudantes sobre as atividades de simulação empregando vídeos podem ser apresentadas nos seguintes eixos:

No eixo formativo, podemos considerar que os estudantes consideraram a atividade inovadora, interessante e relevante para sua formação. Embora tenha sido longa, trabalhosa e difícil. Além disso, gostariam de ter mais atividades com a mesma proposta metodológica. Consideram também que contribuiu para conhecer e melhorar suas habilidades de compreender gráficos como a curva de titulação e a composição do sistema, e que o uso do vídeo facilitou este processo, bem como contribuiu em alguma medida com sua compreensão sobre conceitos que consideram difíceis, como equilíbrio químico e fim de reação, além da própria titulação ácido-base.

No eixo da pesquisa, os resultados indicam que os princípios adotados na concepção e produção das atividades com simulação por meio de vídeo fornecem informações consistentes com os demais do estudo, sobretudo quanto ao nível de competência representacional associado às atividades empregadas para a pesquisa. Além disso, fatores do contexto ligados ao uso e acesso à tecnologia não parecem influenciar de modo relevante os demais resultados da pesquisa.

Por fim, os resultados de percepção parecem revelar diferenças entre os estudantes participantes do estudo. Para diversos aspectos, as 11 pessoas do grupo LiGEA têm uma percepção distinta dos três outros grupos, provavelmente por serem mais velhos e não estarem tão familiarizados com recursos multimídia, além de estarem inseridos em um curso para formação de professores, enquanto que os demais cursam bacharelado. Além disso, os indivíduos da LiGEA, em sua maioria, estão realizando já a sua segunda graduação, enquanto que os demais estão cursando a primeira. Já em muitos casos, todos os grupos parecem apontar para as mesmas percepções.

8 CONCLUSÕES

O estudo propôs-se a desenvolver simuladores baseados em vídeos interativos dentro do tema de equilíbrios químicos ácido-base. Isso foi avaliado segundo alguns pressupostos:

Esses simuladores podem contribuir para a aprendizagem dos conceitos; a titulação de ácidos com bases de Arrhenius é um sistema conveniente para o estudo, e é possível investigar em que medida isso acontece se caracterizarmos a aprendizagem referenciada em duas perspectivas: a aprendizagem de conhecimentos químicos envolve o desenvolvimento da competência representacional ao integrar diferentes representações visuais destes conceitos, na forma como foram propostas por Kozma e Russell; e que essa aprendizagem relaciona-se a um perfil conceitual para tais conceitos sobre reversibilidade. Além disso, os princípios da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, de Richard Mayer, são apropriados para conceber atividades empregando tais simuladores, e de modo a contemplar a concepção de aprendizagem adotada no estudo.

Considera-se que estes pressupostos se mostraram válidos para conceber os vídeos empregados nas atividades com o simulador, para o estudo de seu papel no ensino, e para que sejam contribuições relevantes como recursos didáticos.

No plano da pesquisa, considera-se que os resultados apresentados suportam conclusão de que o estudo teve êxito em seus objetivos, pois foi possível caracterizar a forma como os estudantes integraram o repertório representacional empregado em todas as atividades, em diferentes níveis de proficiência de competência representacional. Adicionalmente, foi possível também relacionar o papel das atividades na caracterização do perfil conceitual que parece ser operante. De fato, podemos caracterizar cada atividade desenvolvida com o simulador sob estas perspectivas.

A Atividade 1 é um estudo guiado que cumpriu papel de formalização e apresentação do repertório representacional, associado ao segundo nível de competência representacional, e explicitando perfis conceituais dominantes relacionados às ideias de equilíbrio estático e, em menor ocorrência, equilíbrio dinâmico.

A Atividade 2 é um simulador “*stricto sensu*” embutido num percurso do tipo

estudo de caso. Esta atividade estendeu a formalização do repertório representacional em duas dimensões. Conceitualmente, envolveu a incorporação de um parâmetro de força de ácidos (pK_a) e sua relação com a curva de titulação. Representacionalmente, substituiu a representação de composição do sistema por um conjunto de representações quantitativas envolvidas na análise dos resultados da simulação. Em relação a Atividade 1, esta atividade requer posições mais ativas dos estudantes, seja para interagir com o simulador, seja para obter e interpretar os dados, e, finalmente, para produzir um texto interpretativo destes resultados. Tais operações puderam ser realizadas de forma compatível com os perfis conceituais empregados. As diferenças observadas indicam, porém, que nos perfis relacionados ao equilíbrio dinâmico, ocorre maior incidência de acertos do problema proposto.

A Atividade 3 combina um estudo guiado com a simulação qualitativa de cenários envolvendo diretamente os perfis conceituais. Assim, permitiu compor resultados com a Atividade 1 para identificar a provável concepção operativa dos estudantes sobre reversibilidade para o módulo de atividades como um todo.

Interpretando-se os registros coletados como indicadores de aprendizagem, no plano do ensino, consideram-se os resultados obtidos muito satisfatórios. Não seria esperado que, numa atividade de algumas horas, realizada em modo remoto no contexto de isolamento social, seria possível alterar substancialmente as concepções dos estudantes sobre o corpo de conceitos complexos envolvidos nas atividades. Contudo, o conjunto dos dados referentes às respostas nas atividades e à percepção dos estudantes sobre diferentes aspectos, além de serem coerentes, indicam que houve contribuição significativa para a aprendizagem, para a formação.

Portanto, a aplicação do princípio de articular representações visuais por meio de vídeos concebidos nos moldes propostos neste trabalho, pode, em boa medida, ser considerada uma contribuição relevante ao repertório de estratégias de simulação para concepção e criação de recursos educacionais do tipo simulador. No entanto, como trata-se de um módulo de atividades remoto elaborado num contexto pandêmico, há limitações. Dentre estas, destacam-se: a impossibilidade de compreensão do raciocínio completo dos estudantes, a possibilidade de acertos aleatórios (principalmente nas questões de verdadeiro ou falso), a amostra total no grupo LiGEA não era tão significativa, dentre outras que permitiram o trabalho ter um grau analítico de maior complexidade.

9 REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, S. (1999). The functions of multiple representations. **Computers & Education**, 33, 131–152.
- ANDERSON, K. C.; LEINHARDT, G. (2002). Maps as representations: Expert novice comparison of projection understanding. **Cognition and Instruction**, 20, 283–321.
- BENEDICT, L.; PENCE, H. E. (2012). Teaching chemistry using student-created videos and photo blogs accessed with smartphones and two-dimensional barcodes. **Journal of Chemical Education**. 89(4), 492–496.
- BOTZER, G.; REINER, M. (2005). Imagery in physics learning-from physicists practice to naive Students Understanding. In **Visualization in science education** (pp. 147–168). Netherlands: Springer.
- BOZZI, L. D. **Proposta metodológica para construção de simuladores experimentais baseados em hipervídeos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- BRAME, C. J. Effective Educational Videos: Principles and Guidelines for Maximizing Student Learning from Video Content. **Cbe—life Sciences Education**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.1-6, dez. 2016. American Society for Cell Biology (ASCB).
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E. Jr.; BURSTEN, Bruce. E. **Química: Ciência Central**. 9.ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 2005.
- CARAVITA, S.; HALLDÉN, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. **Learning and Instruction**, 4(1), 89–111.
- CARMONA, J. O. Z.; PÉREZ, G. P. T.; MATOS, M. S. **Modernização do conceito de equilíbrio químico a partir da história da ciência**. In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química, 2008.
- CAROBIN, C.; SERRANO, A. Uma revisão das concepções alternativas em Equilíbrio Químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 9, n. 2, p. 131-143, 2007.
- CARPENTER, Y.; MOORE, E. B.; PERKINS, K. K. ConfChem Conference on Interactive Visualizations for Chemistry Teaching and Learning: Using an Interactive Simulation To Support Development of Expert Practices for Balancing Chemical Equations. **Journal of Chemical Education**. 93 (6), 1150–1151 (2016).
- CAVALLO, A. (1996). Meaningful learning, reasoning ability, and students understanding and problem solving of topics in genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, 33(6), 625–656.
- CHAGAS, A. P. Teorias ácido-base do século XX. **Química Nova**, São Paulo, n. 9, p. 28-30, 1999.

CLEMENT, J.; ZIETSMAN, A.; MONAGHAN, J. (2005). Imagery in science learning in students and experts. In **Visualization in science education** (pp. 169–184). Netherlands: Springer.

CONFREY, J.; DOERR, H. M. Student Modelers. **Interactive Learning Environments**, [s.l.], v. 4, n. 3, p.199-217, jan. 1994. Informa UK Limited.

COOK, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. **Science Education**, 90, 1073–1091.

CRESSWELL, S. L.; LOUGHLIN, W. A.; COSTER, M. J.; GREEN, D. M. Development and Production of Interactive Videos for Teaching Chemical Techniques during Laboratory Sessions. **Journal of Chemical Education**. 96(5), 1033–1036, (2019).

DANIEL, K. L. *et al.* Towards a Definition of Representational Competence. **Models And Modeling In Science Education**, [s.l.], p.3-11, 2018. Springer International Publishing.

DOERR, H. M. Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.265-282, mar. 1997. Informa UK Limited.

DUIT, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education.

FERK, V.; VRTACNIK, M.; BLEJEC, A.; GRIL, A. (2003). Students understanding of molecular structure representations. **International Journal of Science Education**, 25, 1227–1245.

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

FREITAS, L. P. S. R. *et al.* **A utilização de vídeos como suporte didático em aulas de química**. Jornada de ensino, pesquisa e extensão. Recife: UFRPE, dez. 2013.

GABEL, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemistry Education**, 76(4), 548.

GALISON, P. **Computer simulation and the trading zone**. In P. Galison & D. J. Stump (Eds.), *The disunity of science: boundaries, contexts, and power*. Stanford: Stanford University Press, 1996.

GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. (Eds.). (2009). **Multiple representations in chemical education**. The Netherlands: Springer.

GRECA, I. M.; SEOANE, E.; ARRIASSECQ, I. Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education. **Science & Education**, [s.l.], v. 23, n. 4, p.897-921, 29 jan. 2014. Springer Nature.

GUTZ, I. CurTiPot. Disponível em: <http://www.iq.usp.br/gutz/Curtipot.html>. Acesso em: 03 nov. 2020.

HERREID, C. F. What makes a good case? **Journal of College Science Teaching**, v. 27, n. 3, p. 163-169, 1998.

HINTON, M. E.; NAKHLEH, M. B. (1999). Students microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. **The Chemical Educator**, 4(5), 158–167.

HSU, Y.; THOMAS, R. A. The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 24, n. 9, p.955-979, set. 2002. Informa UK Limited.

HUMPHREYS, P. **Extending ourselves: Computational science, empiricism, and scientific method**. New York: Oxford University Press, 2004

JOHNSTONE, A. H. Macro and Microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

JOHNSTONE, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, 7, 75–83.

JOHNSTONE, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of Chemistry Education**, 70(9), 701.

JONG, T.; VAN JOOLINGEN, W. R. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. **Review Of Educational Research**, [s.l.], v. 68, n. 2, p.179-201, jun. 1998. American Educational Research Association (AERA).

KOZMA, R. (2000). Representation and language: The case for representational competence in the chemistry curriculum. **Paper presented at the Biennial Conference on Chemical education**, Ann Arbor, MI.

KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. **Visualization In Science Education**, [s.l.], p.121-145, 2005. Springer Netherlands.

KUNTZLEMAN, T. S.; JACOBSON, E. C. Teaching Beer's Law and absorption spectrophotometry with a smart phone: A substantially simplified protocol. **Journal of Chemical Education**. 93(7), 1249–1252 (2016).

LINDAUER, M. The evolution of the concept of chemical equilibrium from 1775 to 1923. **Journal of Chemical Education**, v.39, n.8, p.384–390, 1962.

LIRA, M. E.; STIEFF, M. Using Gesture Analysis to Assess Students' Developing Representational Competence. **Models And Modeling In Science Education**, [s.l.], p.205-228, 2018. Springer International Publishing.

LIU, H.; ANDRE, T.; GREENBOWE, T. The impact of learner's prior knowledge on their use of chemistry computer simulations: a case study. **Journal Of Science Education And Technology**, [s.l.], v. 17, n. 5, p.466-482, 17 jul. 2008. Springer Nature.

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.

MACEDO, D. F. **O uso da simulação baseada em hipervídeo como recurso de ensino e aprendizagem de botânica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MAROO, J. D.; JOHNSON, S. L. The Use of a Representational Triplet Model as the Basis for the Evaluation of Students' Representational Competence. **Models And Modeling In Science Education**, [s.l.], p.247-262, 2018. Springer International Publishing.

MAYER, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), **The Cambridge handbook of multimedia learning** (pp. 31–48). New York: Cambridge University Press.

MAYER, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press. McMains, S. A., & Kastner, S. (2009). Visual Attention. In M. D. Binder, N. Hirokawa, & U. Windhorst (Eds.), **Encyclopedia of neuroscience** (pp. 4296–4302). Berlin, Heidelberg: Springer.

MAYER, R. E. (2014). **The Cambridge Handbook of Multimedia Learning 2nd Edition**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

MEIR, E.; PERRY, J.; HERRON, J. C.; KINGSOLVER, J. (2007). College students' misconceptions about evolutionary trees. **American Biology Teacher**, 69, 71–76.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

OSBORNE, J. *et al.* What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal Of Research In Science Teaching**, [s.l.], v. 40, n. 7, p.692-720, 25 ago. 2003. Wiley.

ÖZMEN, H.; DEMİRCİOĞLU, G.; COLL, R. K. A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base chemistry. **International Journal Of Science And Mathematics Education**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.1-24, 27 set. 2007. Springer Nature.

POSNER, G. J. *et al.* Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências: do conhecimento científico ao conhecimento cotidiano**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

QUEIROZ, S. L.; CABRAL, P. F. O. **Estudos de Caso no ensino de Ciências Naturais**. São Carlos: Art Point Gráfica e Editora, 2016.

QUÍLEZ, J.; SANJOSÉ, V. L. El principio de Le Chatelier a través de la historia y su formulación didáctica en la enseñanza del equilibrio químico. **Enseñanza de las Ciencias**, v.14 n.3, 381–390, 1996.

RAVIOLO, A.; AZNAR, M. M. Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. **Educación Química**, v.14, n.3, p.159–165, 2003.

RAVIOLO, A. Implicaciones didácticas en un estudio histórico sobre el concepto equilibrio químico. **Enseñanza de las Ciencias**, v.25, n.3, p.415–422, 2007.

ROSENTHAL, D. P.; SANGER, M. J. Student misinterpretations and misconceptions based on their explanations of two computer animations of varying complexity depicting the same oxidation–reduction reaction. **Chem. Educ. Res. Pract.**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.471-483, 2012. Royal Society of Chemistry (RSC).

RUTTEN, N.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VEEN, J. T. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, [s.l.], v. 58, n. 1, p.136-153, jan. 2012. Elsevier BV.

SÁ, L. P. **Estudo de casos na promoção da argumentação sobre questões sócio-científicas no ensino superior de química**. 2010. 300 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. **Estudo de casos no ensino de química**. 2 ed. Campinas: Átomo, 2010. 93 p.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. **Journal of Chemical Education**. 22(5), 521–537 (2010).

SCALISE, K. *et al.* Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. **Journal Of Research In Science Teaching**, [s.l.], v. 48, n. 9, p.1050-1078, 7 set. 2011. Wiley.

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: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas. **Anais eletrônicos**. Minas Gerais. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4873/1/CT_COFIS_2015_1_05.pdf. Acesso em: 21 jan. 2019.

SILVA, J. D.; SILVA, A. S. S.; ANTERO, R. V. P.; BORGES, E. C. L. Estudo da eficácia do extrato de repolho roxo como indicador ácido-base. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, n. 07, 2009.

SILVA, J. L. *et al.* A Utilização de Vídeos Didáticos nas Aulas de Química do Ensino Médio para Abordagem Histórica e Contextualizada do Tema Vidros. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 4, p. 189–200, 2012.

SILVA, S. M. *et al.* **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: 10 jan. 2019.

SMETANA, L. K.; BELL, R. L. Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 34, n. 9, p.1337-1370, jun. 2012. Informa UK Limited.

SNIR, J.; SMITH, C. L.; RAZ, G. Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter. **Science Education**, [s.l.], v. 87, n. 6, p.794-830, 22 out. 2003. Wiley.

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.

TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, 25(11), 1353–1368.

VACHON, R. Science videos: a user's manual for scientific communication. Cham, Switzerland. Springer, 2018.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **European Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.205-221, jan. 1979.

VILAS BÔAS, C. S. do N. Epistemologia de Bachelard e a aprendizagem do conceito de ressonância. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 2, n. 2, 2018.

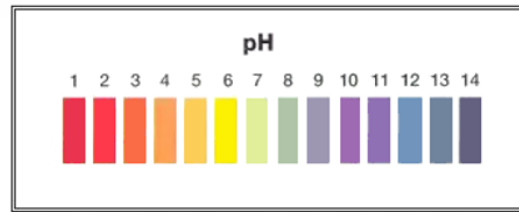
WRIGHT, N. *et al.* Teacher Conceptions and Approaches Associated with an Immersive Instructional Implementation of Computer-Based Models and Assessment in a Secondary Chemistry Classroom. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 36, n. 3, p.467-505, 15 abr. 2013. Informa UK Limited.

WU, H.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal Of Research In Science Teaching**, [s.l.], v. 38, n. 7, p.821-842, 2001. Wiley.

APÊNDICE A – Estudos Prévios

Figura 68 – Pré-teste: questão 1 - texto

- 1) Com o intuito de determinar a concentração molar de uma amostra de 25 mL de ácido clorídrico até então desconhecida, realizou-se a adição gradual de uma solução de hidróxido de sódio previamente preparada de molaridade igual a $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Descobriu-se que a solução de ácido clorídrico possuía igual concentração molar à solução de hidróxido de sódio ao verificar o pH com o auxílio de um indicador universal, cuja a escala está representada ao lado:



A partir disso, foi possível construir um gráfico. As seguintes curvas foram propostas, onde os pontos apresentados representam as cores do pH de acordo com a escala universal:

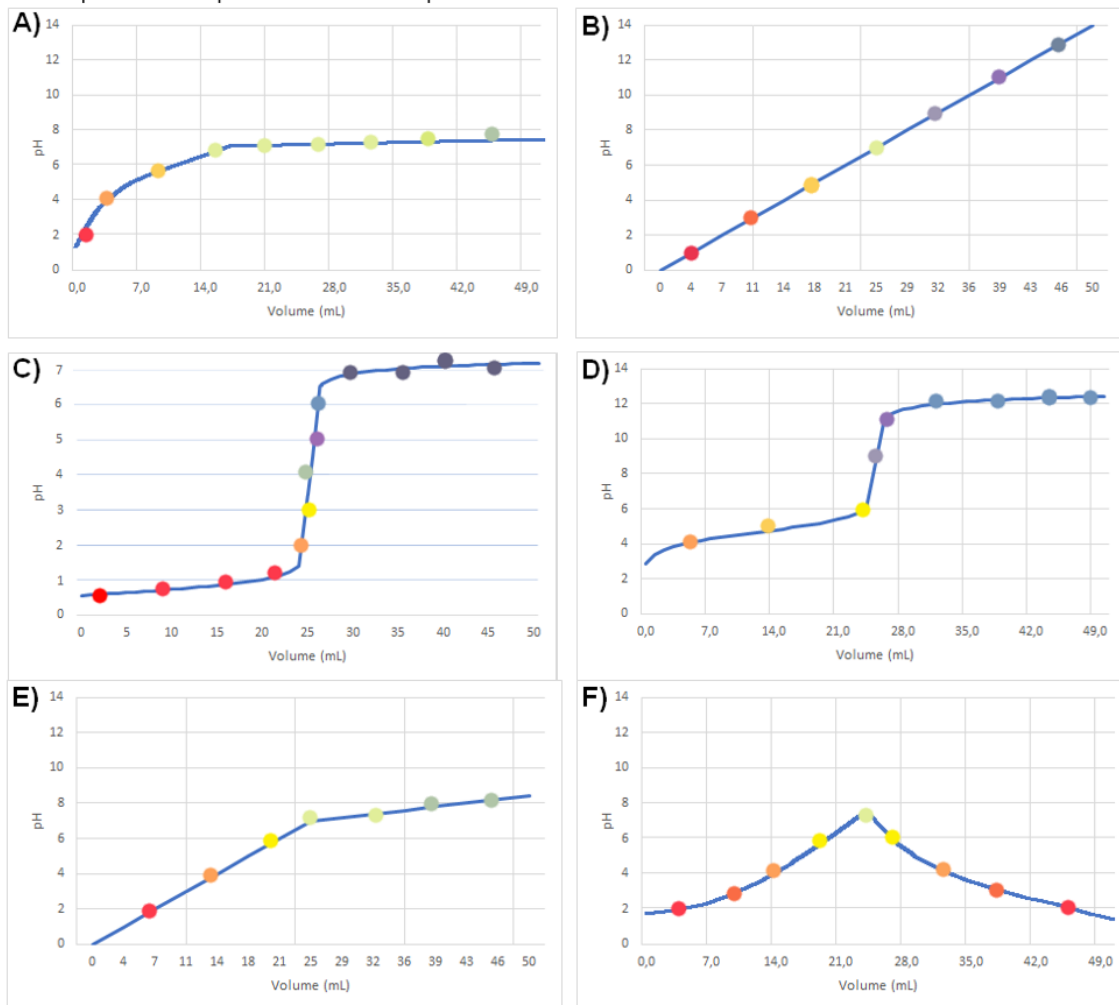


Figura 69 – Pré-teste: questão 1 - alternativas

Podemos afirmar que a curva que melhor representa a situação descrita é a **D**).

VERDADEIRO () FALSO ()

Caso tenha assinalado falso, justifica-se:

- a) A curva que melhor representa a situação é a A), pois obedece a estequiometria da reação ao atingir a neutralidade.
- b) A curva que melhor representa a situação é a B), por se tratar de um ácido forte e uma base forte de mesma concentração, tem-se uma reta.
- c) A curva que melhor representa a situação é a C), uma sigmoide acentuada para um ácido forte titulado com uma base forte de mesma concentração até que o equilíbrio seja atingido e o pH mantenha-se neutro.
- d) A única incoerência representada na curva D) é o tipo de curva, que está representada por uma sigmoide, quando na verdade deveria estar representada por uma parábola.
- e) A curva que melhor representa a situação é a E), por se tratar de um ácido forte titulado com base forte de mesma concentração, a neutralidade é alcançada e mantida relativamente constante após o equilíbrio representado por uma reta.
- f) A curva que melhor representa a situação é a F), onde a neutralidade é alcançada e o pH volta a diminuir após o equilíbrio ter sido atingido, mas não é representado por retas, já que a função matemática para pH não é linear, e sim logarítmica.

g) N.d.a.

h) _____

() Sei

() Não tenho certeza

() Chutei

Figura 70 – Pré-teste: questão 2 – esboço da curva

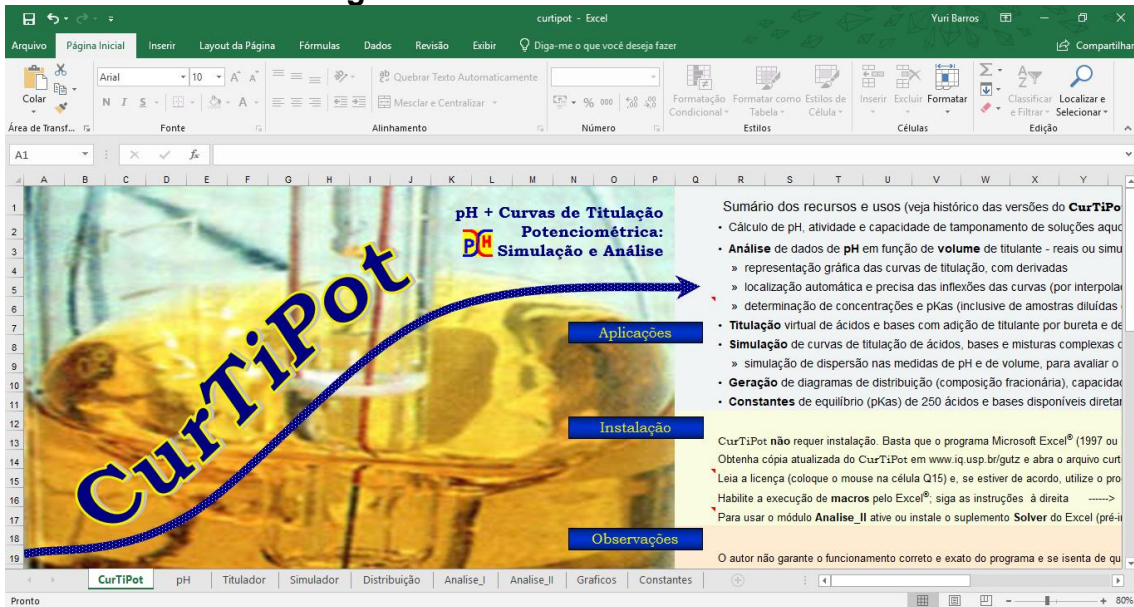
- 2) Esboçar uma curva de titulação de 25 mL de hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) titulado com ácido acético ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) até 50 mL. Dado valor aproximado de $K_a = 1,7 \times 10^{-5}$.

Entregue esta folha quando terminar.

Roteiro para simulação no CurTiPot:

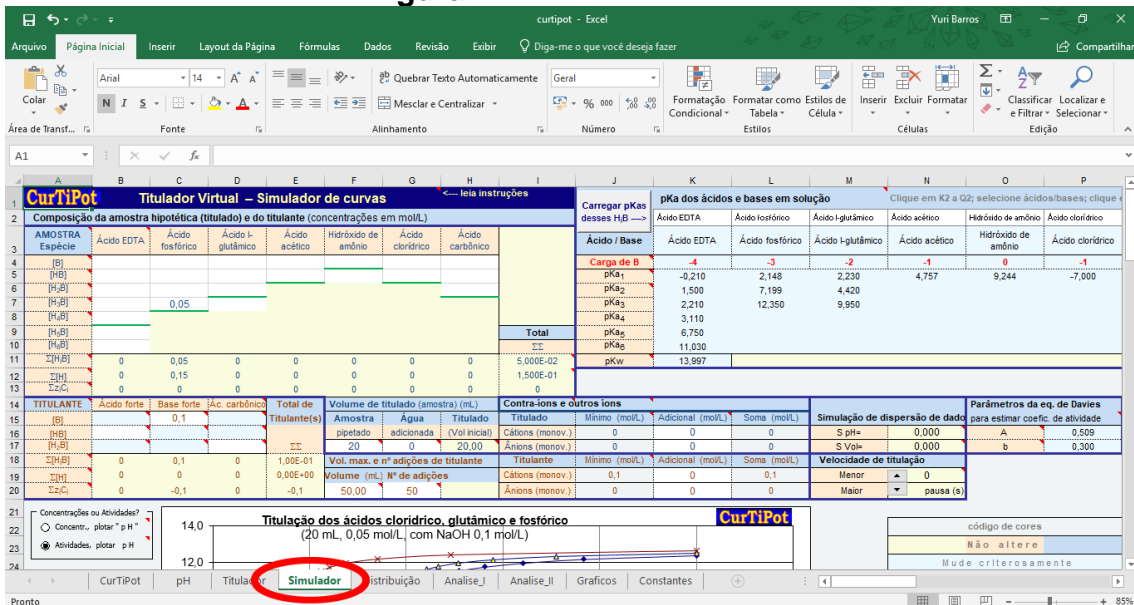
1. Execute o arquivo que estará no formato .xls ou .xlsm no Excel™, a tela inicial será esta:

Figura 71 – Tela inicial do CurTiPot



2. Selecione a aba “Simulador” (única que iremos utilizar neste estudo) e a seguinte interface será aberta:

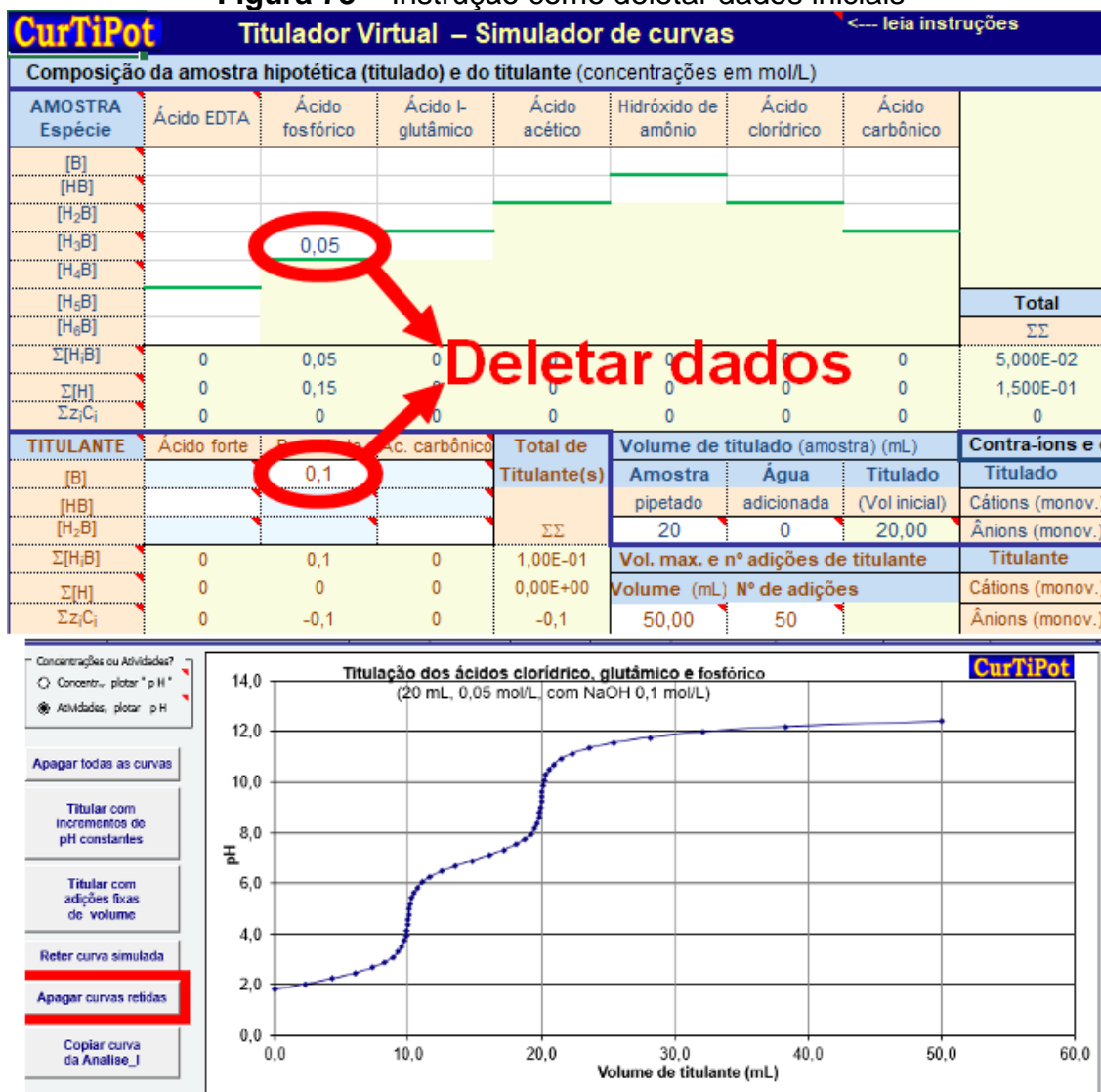
Figura 72 – Aba “Simulador”



Neste estudo, posteriormente, será necessário simular 5 curvas de titulações diferentes, então, neste exemplo do passo a passo, iremos simular juntos a primeira delas, uma titulação de 50 mL de ácido clorídrico ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) até um volume total de 100 mL.

3. Primeiramente, podemos apagar os valores que já vêm como exemplos (0,05 mol/L de ácido fosfórico e 0,1 mol/L de base forte como titulante), assim como as curvas, ao clicar em “Apagar curvas retidas”:

Figura 73 – Instrução como deletar dados iniciais



4. A seguir, temos que carregar os dados do titulado (neste exemplo, o ácido clorídrico). Para isto, selecione este ácido clicando na célula K2 e, em seguida, clique em “Carregar pKas desses H_iB”:

Figura 74 – Seleção do ácido

pKa dos ácidos e bases em solução						
Clique em K2 a Q2; selecione ácidos/bases; clique em J2; leia M1						
Carregar pKas desses H ₃ B →	Ácido clorídrico	Ácido L-glutâmico	Ácido acético	Hidróxido de amônio	Ácido clorídrico	Ácido carbônico
Acido / Base	Ácido acético Ácido carbônico Ácido nítrico	Ácido L-glutâmico	Ácido acético	Hidróxido de amônio	Ácido clorídrico	Ácido carbônico
Carga de B	Ácido clorídrico	-2	-1	0	-1	-2
pKa ₁	Ácido EDTA	2,230	4,757	9,244	-7,000	6,352
pKa ₂	Ácido fosfórico	4,420				10,329
pKa ₃	Hidróxido de amônio	9,950				
pKa ₄	Hidróxido de sódio					
pKa ₅						
pKa ₆	3,110					
pKa ₇	6,750					
pKa ₈	11,030					
pKw	13,997					

5. Agora, insira as concentrações desejadas nos lugares corretos (titulado e titulante), neste exemplo, ácido clorídrico 0,1 mol.L⁻¹ e hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹, respectivamente:

Figura 75 – Concentrações do titulado e do titulante

CurTiPot Titulador Virtual – Simulador de curvas								
Composição da amostra hipotética (titulado) e do titulante (concentrações em mol/L)								
AMOSTRA Espécie	Ácido clorídrico	Ácido fosfórico	Ácido L-glutâmico	Ácido acético	Hidróxido de amônio	Ácido clorídrico	Ácido carbônico	
[B]								
[HB]	0,1							
[H ₂ B]								
[H ₃ B]								
[H ₄ B]								
[H ₅ B]								
[H ₆ B]								
Σ[H ₃ B]	0,1	0	0	0	0	0	1,00E-01	
Σ[H]	0,1	0	0	0	0	0	1,00E-01	
Σz _i C _i	0	0	0	0	0	0	0	
TITULANTE	Ácido forte	Base forte	Ácido carbônico	Total de titulante(s)	Volume de titulado (amostra) (mL)			Contra-íons e
[B]		0,1			Amostra	Água	Titulado	Titulado
[HB]					pipetado	adicionada	(Vol inicial)	Cátions (monov.)
[H ₂ B]								Ânions (monov.)
Σ[H ₃ B]	0	0,1	0	1,00E-01	Vol. max. e n° adições de titulante			Titulante
Σ[H]	0	0	0	0,00E+00	Volume (mL) N° de adições			Cátions (monov.)
Σz _i C _i	0	-0,1	0	-0,1	50,00	50		Ânions (monov.)

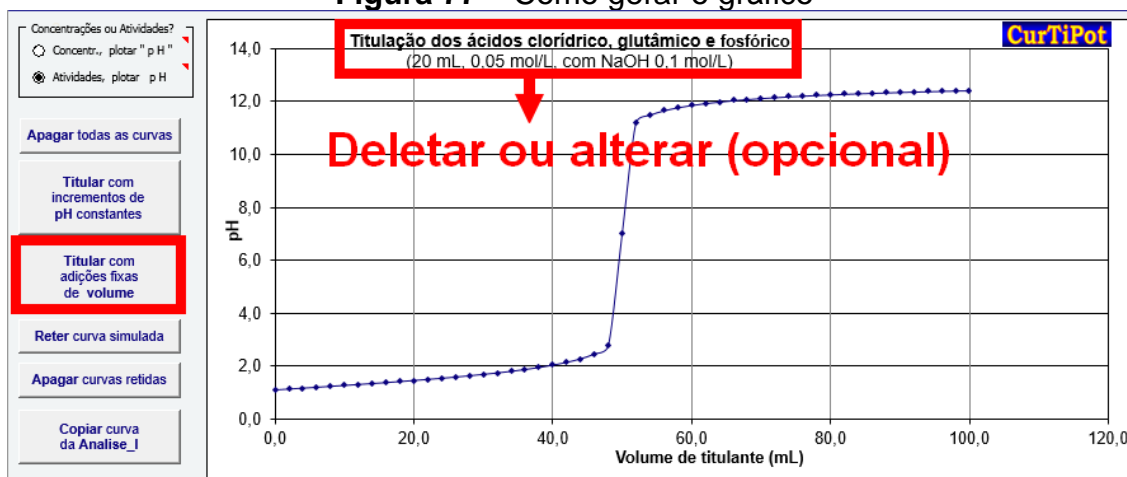
6. Depois, insira os volumes (neste exemplo, são 50 mL da amostra e titulado, pois não foi adicionado água) até um volume total de 100 mL. O número de adições corresponderá ao número de pontos no gráfico, ou seja, 50:

Figura 76 – Dados de volume e número de adições

Total de titulante(s)	Volume de titulado (amostra) (mL)		
	Amostra	Água	Titulado
	pipetado	adicionada	(Vol inicial)
ΣΣ	50	0	50,00
1,00E-01	Vol. max. e n° adições de titulante		
0,00E+00	Volume (mL) N° de adições		
-0,1	100,00	50	

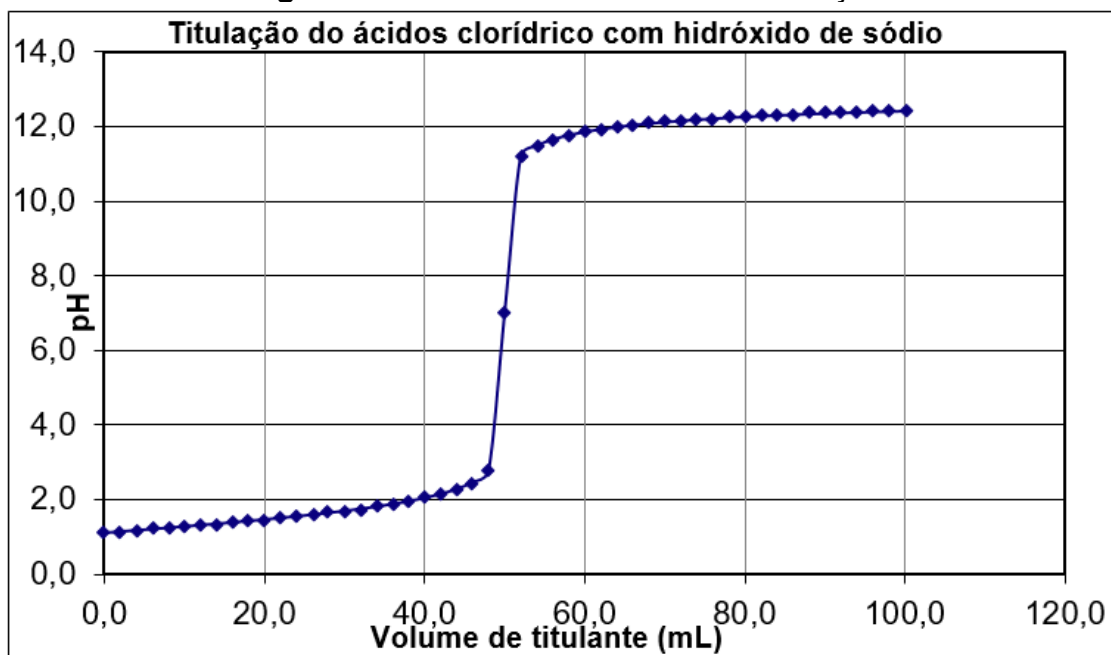
7. Agora, já com todos os dados inseridos corretamente, basta clicar em “Titular com adições fixas de volume” e deletar ou alterar o título do gráfico (opcional):

Figura 77 – Como gerar o gráfico



8. Seu gráfico está pronto e pode ser copiado diretamente do simulador para outros lugares:

Figura 78 – Gráfico com a curva de titulação



Simulação no CurTiPot:

Simule as seguintes curvas de titulação no CurTiPot e copie-as para um arquivo do *Microsoft Word* com identificação para que possa ser salvo e enviado via e-mail posteriormente:

- I) 50 mL de ácido clorídrico ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) ;
- II) 50 mL de ácido clorídrico ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$);
- III) 50 mL de ácido acético ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$);
- IV) 50 mL de ácido acético ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$);
- V) 50 mL de ácido fosfórico ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$) e hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$).

*Observação: em todas as curvas, simule até um volume total de 100 mL.

Quando terminar, envie para o e-mail: yuribarro@usp.br.

Questões a serem respondidas e, posteriormente, debatidas após as simulações:

Com base nas curvas de titulação que foram simuladas, reflita e responda as seguintes questões (entregue esta folha quando terminar para que as questões possam ser discutidas):

- 1) Por que as curvas de titulação não são uma reta?

- 2) Como a quantidade de ácido interfere na curva de titulação?

- 3) Como a constante de ionização dos ácidos interfere na curva de titulação?

- 4) Como o número de hidrogênios ionizáveis interfere na curva de titulação?

Ficha avaliativa:

Agora, com base nas discussões feitas acerca das questões respondidas, você mudaria alguma de suas respostas dadas no pré-teste? Se sim, o quê? Discorra detalhadamente no quadro.

Lembrando que o pré-teste era composto de duas questões:

- 1) *Podemos afirmar que a curva que melhor representa a situação descrita é a D).*

VERDADEIRO () FALSO ()

Caso tenha assinalado falso, justifica-se:

- a) *A curva que melhor representa a situação é a A), pois obedece a estequiometria da reação ao atingir a neutralidade.*
 b) *A curva que melhor representa a situação é a B), por se tratar de um ácido forte e uma base forte de mesma concentração, tem-se uma reta.*
 c) *A curva que melhor representa a situação é a C), uma sigmoide acentuada para um ácido forte titulado com uma base forte de mesma concentração até que o equilíbrio seja atingido e o pH mantenha-se neutro.*
 d) *A única incoerência representada na curva D) é o tipo de curva, que está representada por uma sigmoide, quando na verdade deveria estar representada por uma parábola.*
 e) *A curva que melhor representa a situação é a E), por se tratar de um ácido forte titulado com base forte de mesma concentração, a neutralidade é alcançada e mantida relativamente constante após o equilíbrio representado por uma reta.*
 f) *A curva que melhor representa a situação é a F), onde a neutralidade é alcançada e o pH volta a diminuir após o equilíbrio ter sido atingido, mas não é representado por retas, já que a função matemática para pH não é linear, e sim logarítmica.*
 g) *N.d.a.*
 h) _____

() Sei

() Não tenho certeza

() Chutei

- 2) *Esboçar uma curva de titulação de hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) titulado com ácido acético ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$). Dado valor aproximado de $K_a = 1,7 \times 10^{-5}$.*

Resposta:

Entregue esta folha quando terminar.

Desafio:

Agora feche o simulador CurTiPot e tente esboçar uma curva de titulação de 20 mL de carbonato de sódio ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) com ácido clorídrico ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) até 50 mL. Dados valores das constantes de ionização do ácido carbônico ($K_{a1} = 4,4 \times 10^{-7}$; $K_{a2} = 4,8 \times 10^{-11}$).

Avaliação: Para finalizar, agora é a sua vez de avaliar:

AVALIAÇÃO	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
O <i>software</i> CurTiPot é de fácil utilização				
Antes desta atividade, eu nunca havia usado um simulador para estudar				
Eu gostaria de usar o <i>software</i> 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 <i>softwares</i> 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 normalmente participo nas aulas				
Os gráficos presentes no CuTiPot são fáceis de analisar				
Se eu fosse professor, gostaria de utilizar recursos como o CurTiPot com meus alunos				
Se houvessem outros recursos no CurTiPot (como vídeos reais e representações microscópicas simultâneas) eu entenderia mais facilmente				

Comentários:

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

1. Informações do Participante da Pesquisa

Nome:		
Documento de Identidade (tipo):	Nº.:	Sexo: () M () F
Local de Nascimento:	Data de Nascimento: / /	
Endereço:	Nº.:	
Complementos:	Bairro:	
Cidade:	Estado:	
CEP:	Telefones:	

2. Título do Projeto de Pesquisa: Simuladores de experimentos baseados em vídeos: Investigação de concepções sobre equilíbrio químico usando um simulador de titulações ácido-base

3. Duração da Pesquisa: Agosto de 2019 até Julho de 2023

4. Nome do Pesquisador Responsável: Yuri Barros de Araujo

5. Instituição: Instituto de Química da Universidade de São Paulo

Prezado(a) participante,

Esta pesquisa é sobre objetos de aprendizagem com o tema equilíbrios químicos, envolvendo o uso de simulador de titulação baseado em vídeos interativos e está sendo desenvolvida pelo pesquisador Yuri Barros de Araujo, do curso de Pós-Graduação em Química da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson.

O objetivo do estudo é caracterizar o papel de um simulador com vídeo no processo de ensino e aprendizagem do tema titulação e a finalidade deste trabalho é contribuir para melhoria do ensino de química.

Solicitamos a sua colaboração para realizar esta pesquisa respondendo a uma série de questões acerca de uma simulação de algumas titulações utilizando vídeos desenvolvido por nós e um questionário pós-teste e, caso não tenham ficado claras algumas respostas, fornecer uma rápida entrevista (máximo de 5 minutos) para possíveis esclarecimentos. Além disso, solicitamos também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de ensino de química e publicar em revista científica nacional e/ou internacional. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo absoluto, assim como a instituição a qual pertence ou qualquer informação que esteja relacionada com sua privacidade.

A presente pesquisa pode apresentar alguns riscos mínimos pelo fato de talvez haver necessidade de uma pequena entrevista, pois você pode se sentir constrangido ou apresentar algum desconforto ao responder algumas perguntas. Também se considera que pode haver algum dano eventual, imediato ou tardio, de dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural e/ou espiritual, mesmo que sem intenção. Para amenizar ou reduzir os possíveis riscos, serão disponibilizados de horários/datas adicionais para a realização das entrevistas, além de novos esclarecimentos sobre os objetivos desta pesquisa e a opção pela desistência a qualquer momento. Quanto aos benefícios, este estudo irá oportunizar a possibilidade de indicar de fatores que levam (ou não) a utilização das atividades de simulação, permitindo a proposição de novas pesquisas e ações em prol da promoção desta

modalidade de atividade nas aulas. Além disso, sua participação no estudo poderá contribuir para ampliar seus conhecimentos sobre os assuntos tratados no simulador e na atividade.

Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Os possíveis gastos necessários para a sua participação na pesquisa serão assumidos pelos pesquisadores.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, você não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo pesquisador. Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não sofrerá nenhum dano.

Ao decidir prosseguir, você concorda em participar e assina eletronicamente. Você receberá uma via deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) por e-mail e outra cópia ficará arquivada por cinco anos de modo *offline*, apagando todo e qualquer registro da plataforma virtual. Os pesquisadores asseguram o sigilo e a confidencialidade das suas informações durante a pesquisa e no armazenamento de dados. Caso você tenha alguma dúvida em relação a esta pesquisa, você poderá entrar em contato com o pesquisador Yuri Barros de Araujo pelo telefone (11) 96304-0021 ou pelo e-mail: yuribarro@usp.br ou com o orientador Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson pelo telefone (11) 3091-3845 ou pelo e-mail: gamarson@iq.usp.br, estando ambos à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa no Instituto de Química da Universidade de São Paulo - Av. Prof. Lineu Prestes, 748 - Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-000 – sala 313 – bloco 3..

Consentimento Pós-Esclarecido

Declaro que, após ter sido convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Protocolo de Pesquisa.

São Paulo, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Participante de Pesquisa

Assinatura do Pesquisador Responsável

A sua cópia deste documento lhe será enviada por e-mail.

Para qualquer questão, dúvida, esclarecimento ou reclamação sobre aspectos éticos relativos a este protocolo de pesquisa, favor entrar em contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo**: Av. Prof. Lineu Prestes, 580, Bloco 13 A, Butantã, São Paulo, CEP 05508-000, Telefones 3091-3622 e 3091-3677, e-mail: cepcf@usp.br.

APÊNDICE C – Atividade Inicial

Figura 79 – Captura da tela inicial da atividade inicial

The screenshot shows a web interface for a virtual experiment. At the top, there is a navigation bar with the USP logo, 'DISCIPLINAS Apoio as Disciplinas', and links for 'Disciplinas', 'Suporte', and 'Português - Brasil (pt_br)'. A user profile for 'Yuri Barros de Araujo' is visible in the top right. On the left, there is a sidebar menu with sections for 'Administração' (containing options like 'HSP', 'Editar configurações', 'Papéis atribuídos localmente', 'Permissões', 'Verificar permissões', 'Filtros', 'Logs', 'Backup', 'Restaurar') and 'Administração do ambiente'. Below that is a 'Navegação' section with 'Início', 'Painel', 'e-Disciplinas', 'Meus Ambientes', and '2021'. The main content area is titled '1. Atividade Inicial' and contains the following text: 'Nesta atividade vamos estudar titulações ácido-base. Faremos o experimento virtual da titulação de ácido acético ($K_a = 1,8 \times 10^{-5}$) a 0,1M com NaOH de mesma molaridade. No experimento, chamaremos o ácido simplesmente de HAc. Foi usado extrato de repolho roxo, um ótimo indicador ácido-base. Inicie o vídeo e siga as instruções da tela. Ao terminar, aperte o ícone da estrela para enviar suas respostas. FAÇA EM TELA CHEIA!'. Below the text is a video player showing a titration setup with a burette, a beaker, and a color scale for pH from 1 to 6.

Figura 80 – Captura de tela da apresentação do experimento

The screenshot shows a video player displaying the experiment presentation. The video title is 'Titulação HAc x NaOH'. A blue text box is overlaid on the video, containing the following text: 'Experimento virtual - Leia Teste', 'Titulação de ácido acético (HAc, $K_a = 1,8 \times 10^{-5}$) a 0,1M com NaOH de mesma molaridade.', 'Indicador: extrato de repolho roxo.', 'Há questões no vídeo. Ao terminar, aperte o ícone da estrela para enviar suas respostas.', and a large 'INICIAR' button. The video background shows a titration setup with a burette, a beaker containing a pink solution, and a color scale for pH from 1 to 12. The video player interface at the bottom shows a progress bar at 0:00 / 5:03 and a YouTube logo.

Figura 81 – Captura de tela da apresentação dos componentes do simulador

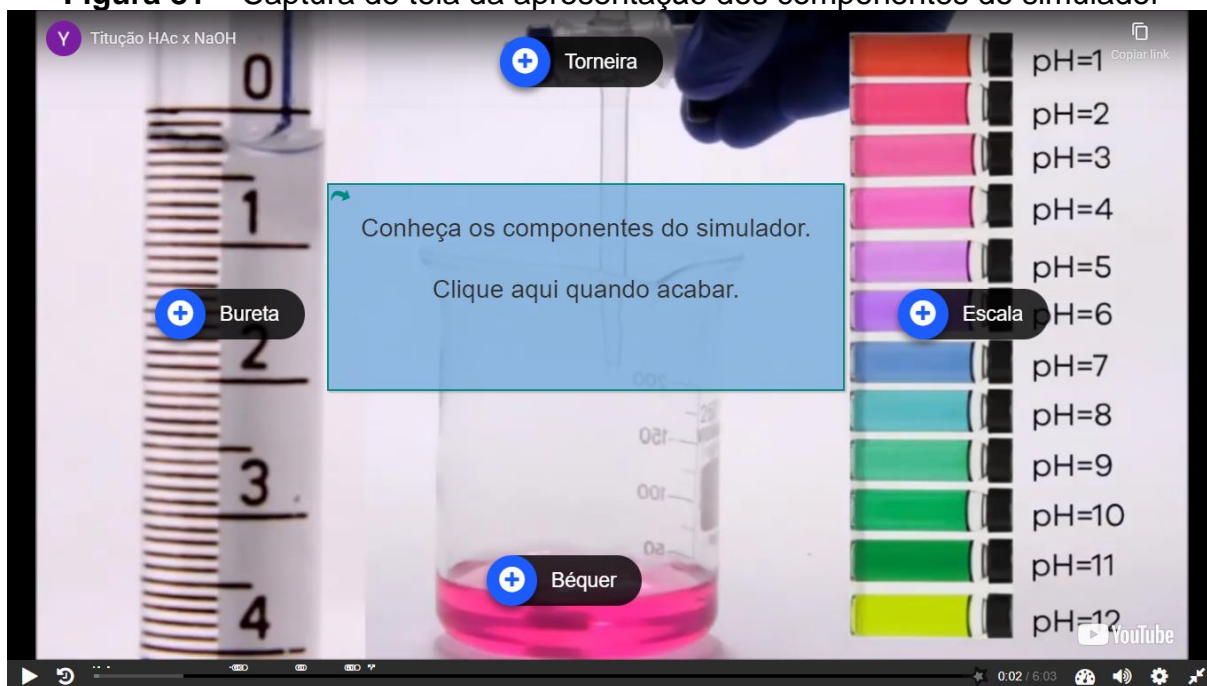


Figura 82 – Captura de tela da apresentação da torneira

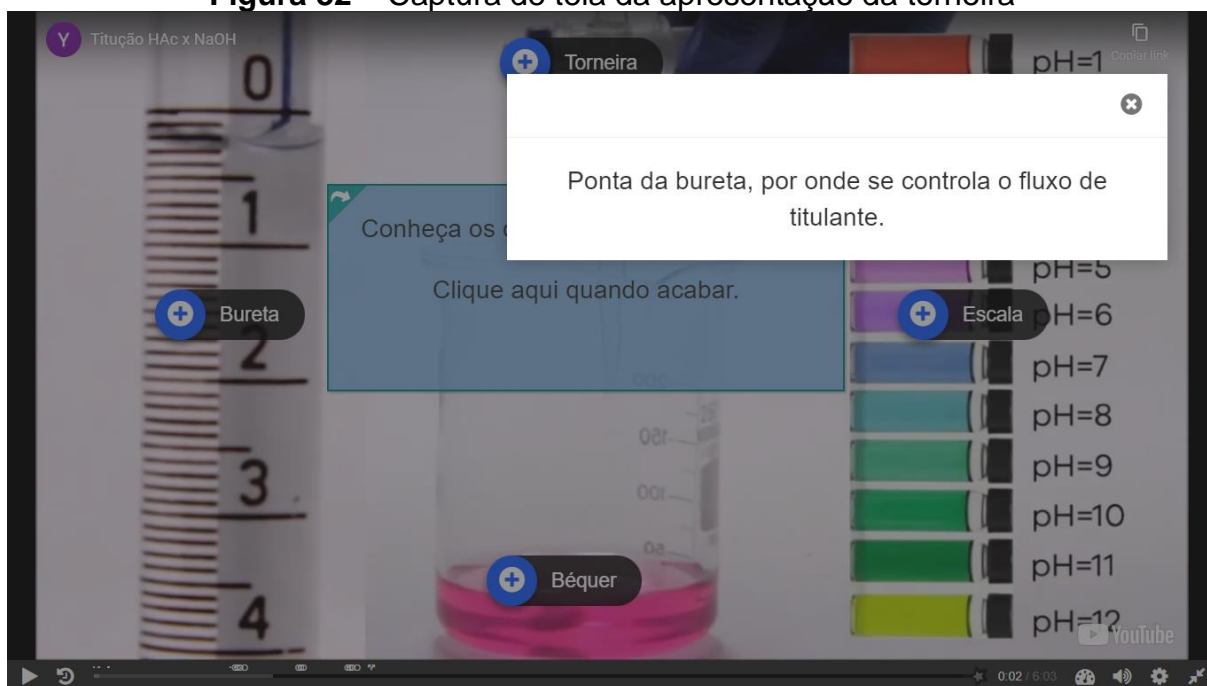


Figura 83 – Captura de tela da apresentação da escala

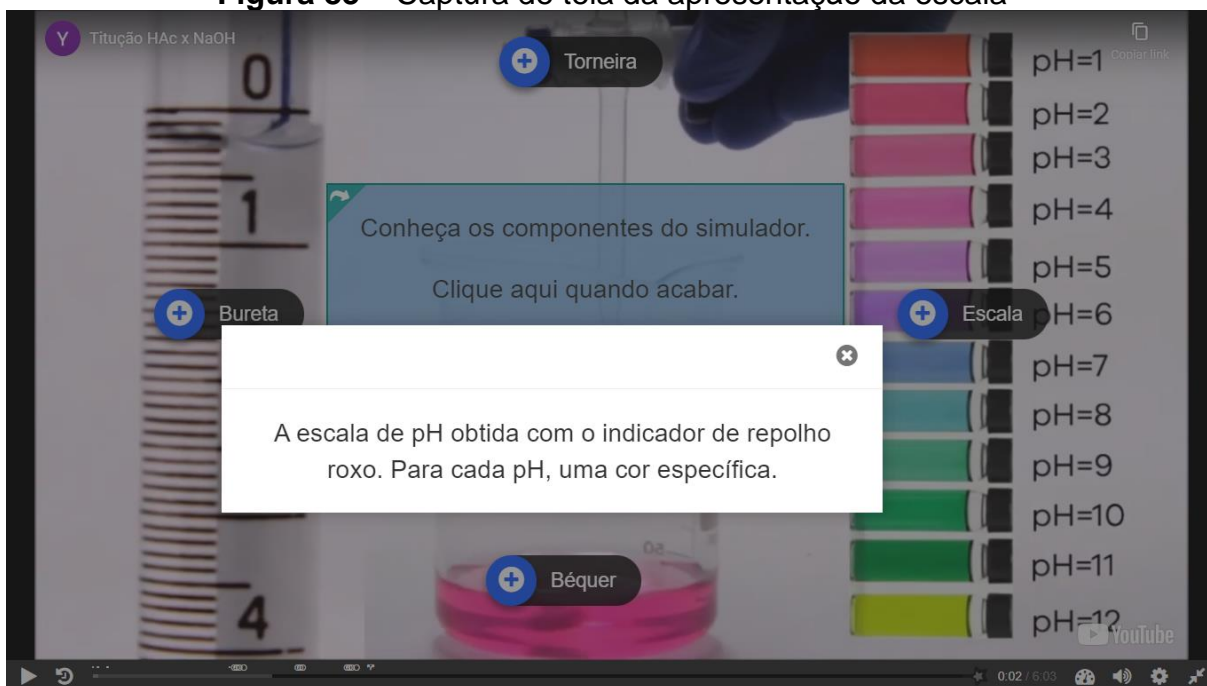


Figura 84 – Captura de tela da apresentação do béquer

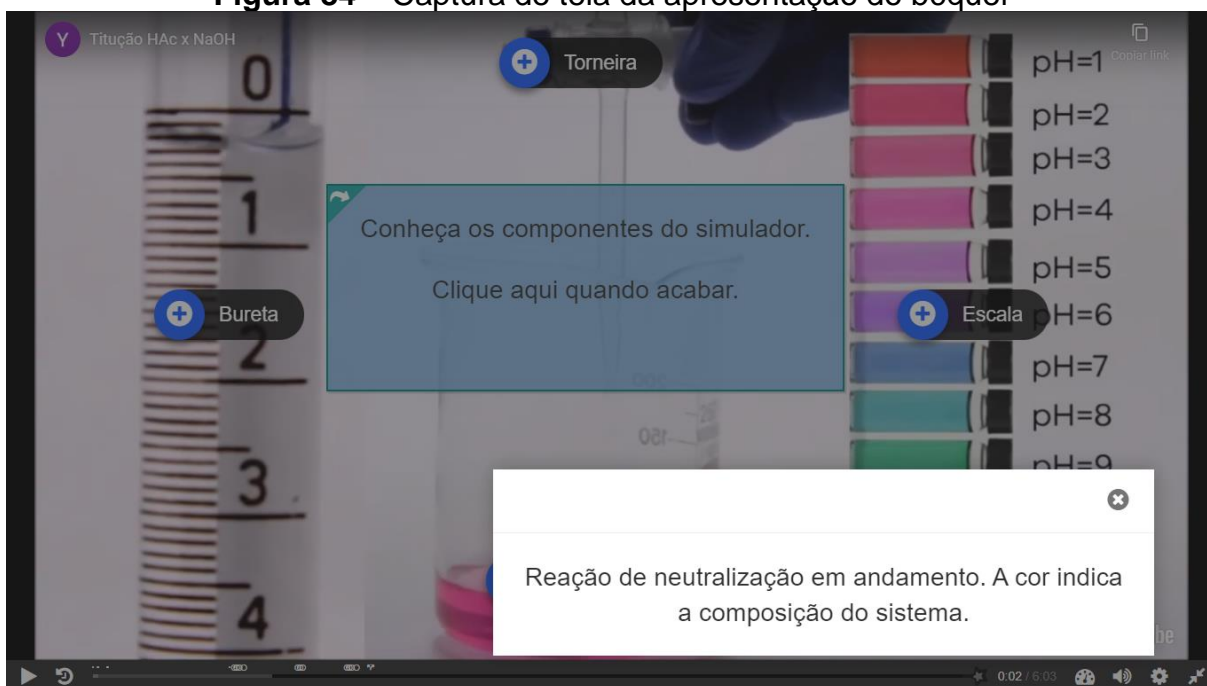


Figura 85 – Captura de tela da apresentação da bureta indicando o volume

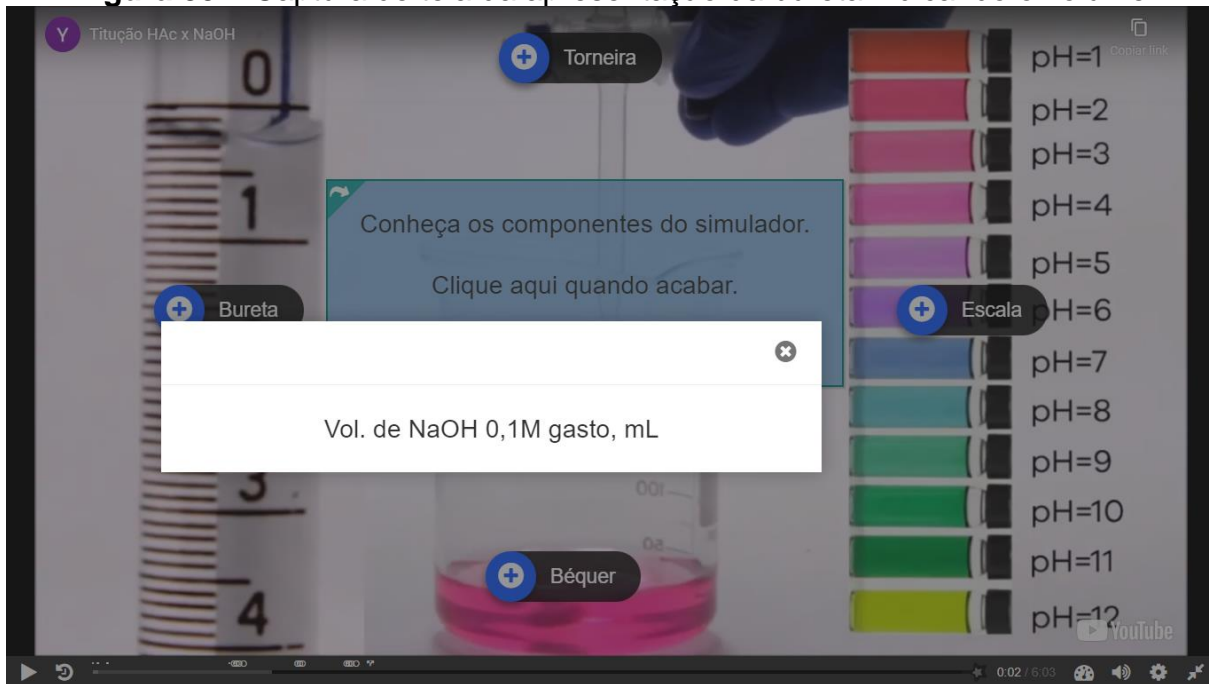


Figura 86 – Captura de tela das etapas do experimento

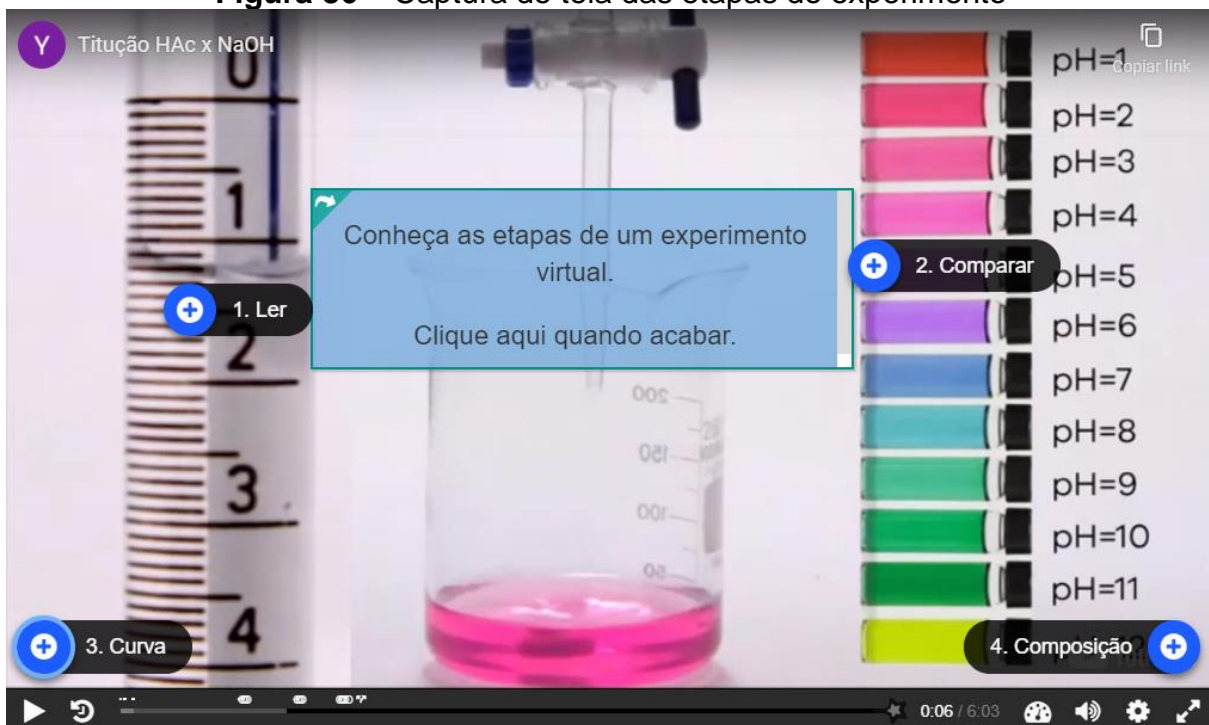


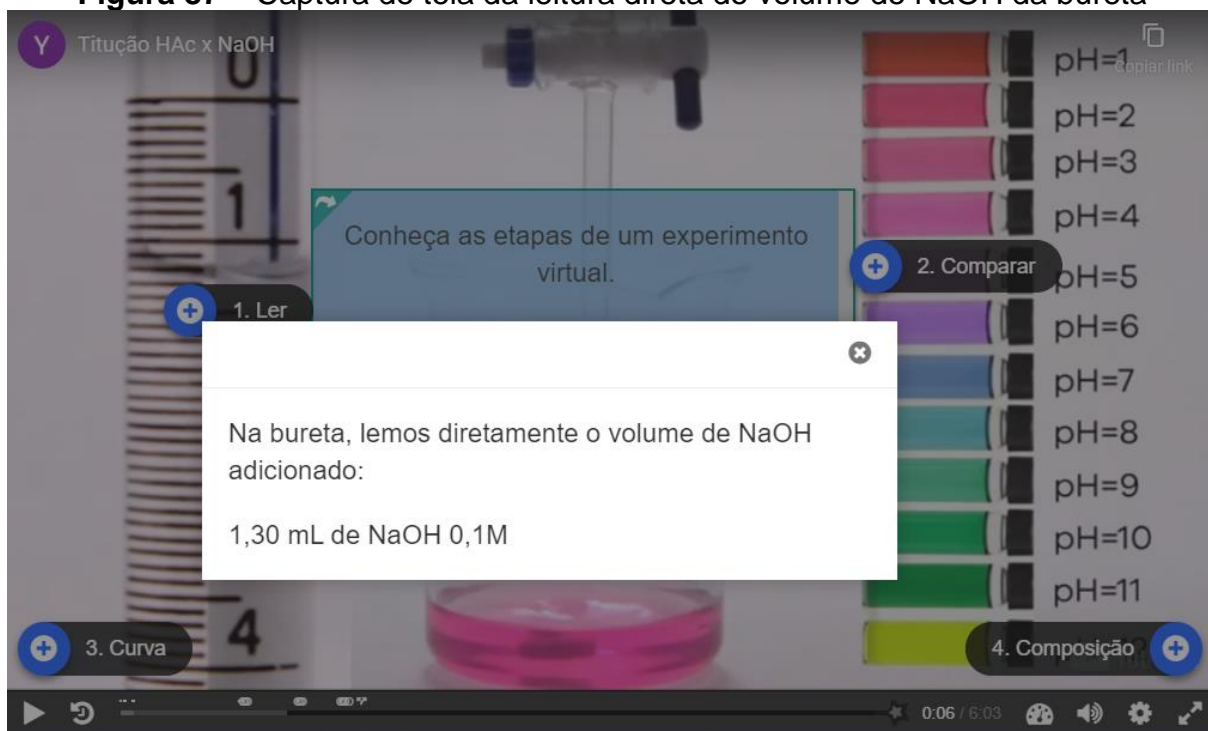
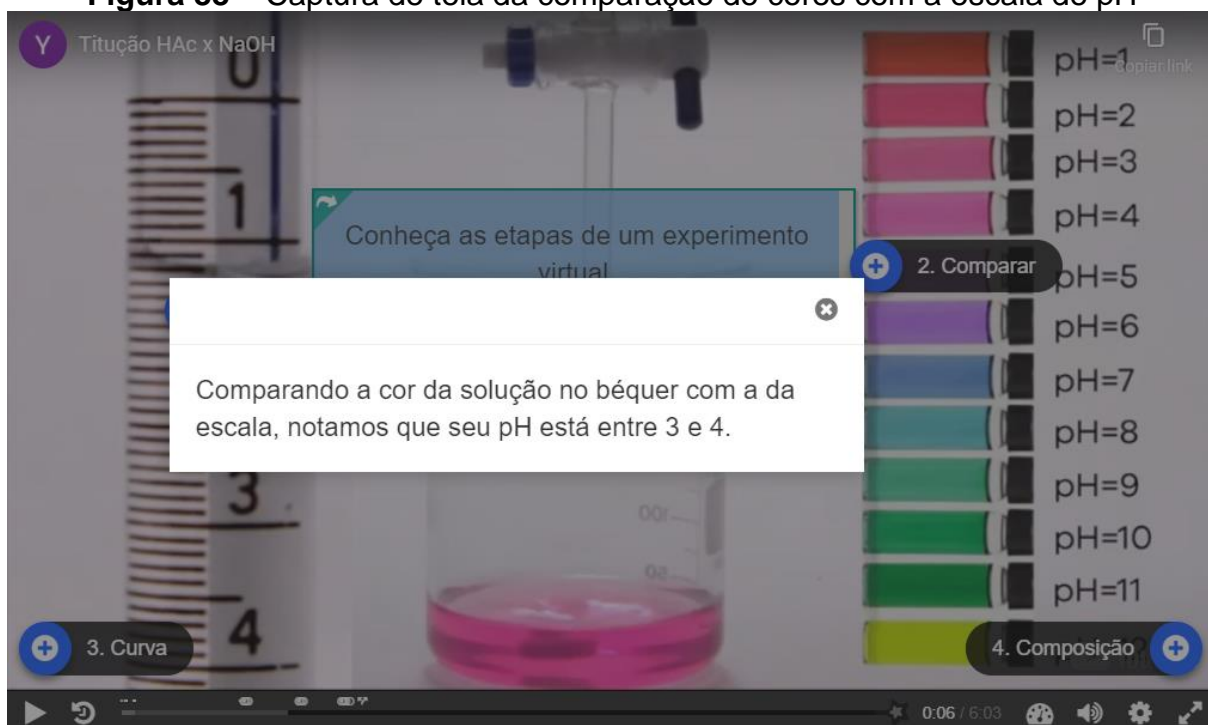
Figura 87 – Captura de tela da leitura direta do volume de NaOH da bureta**Figura 88** – Captura de tela da comparação de cores com a escala de pH

Figura 89 – Captura de tela do ponto da curva no momento indicado do vídeo

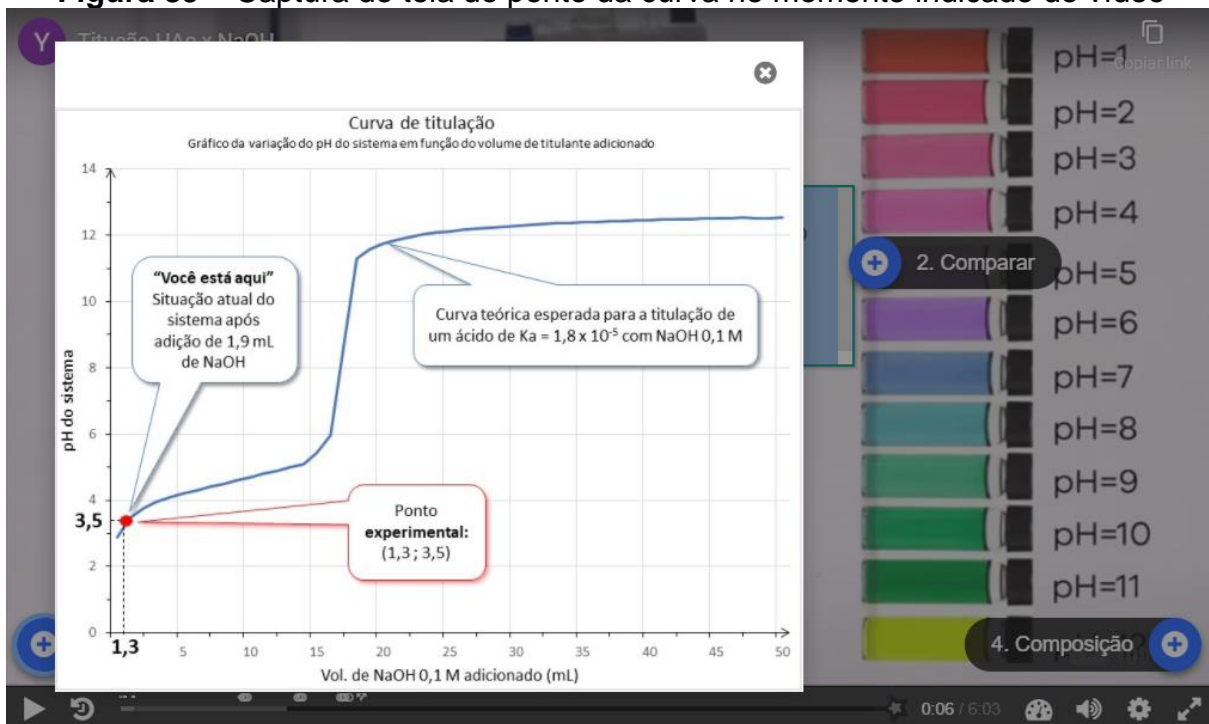


Figura 90 – Captura de tela da composição do sistema no momento indicado do vídeo

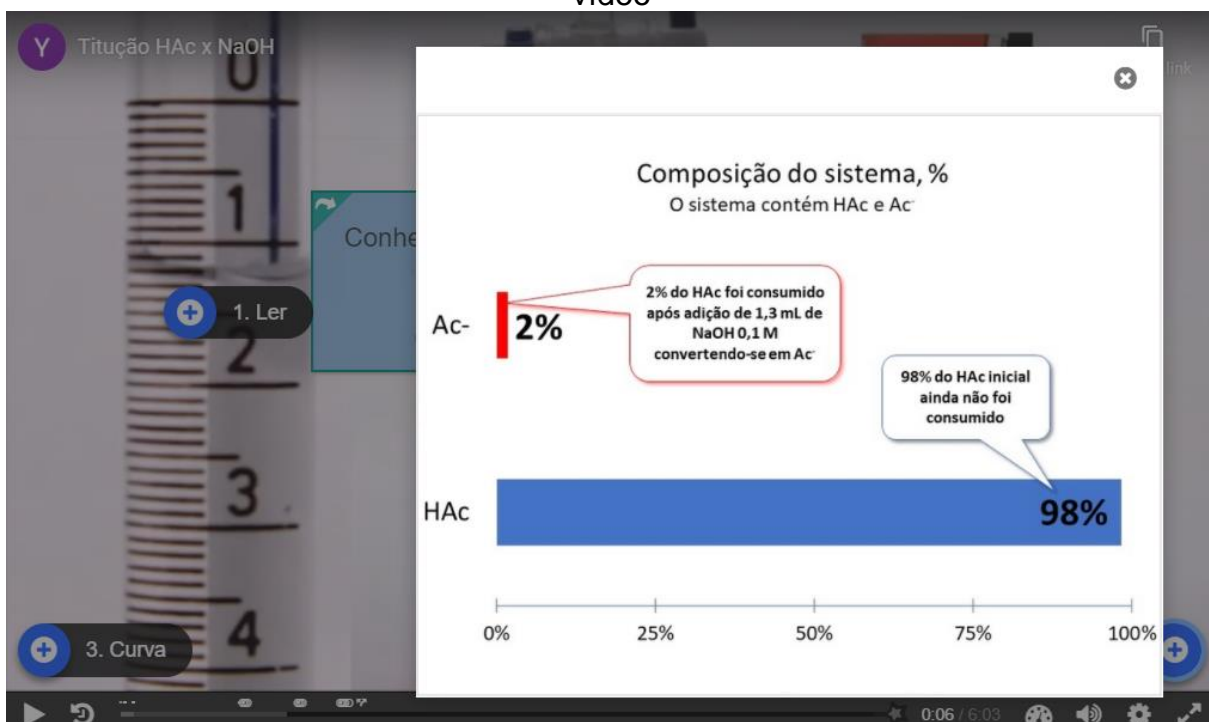


Figura 91 – Captura de tela da instrução para responder as questões seguintes

Y Títulação HAc x NaOH

Para responder as questões a seguir,
observe o GRÁFICO de composição e a
CURVA de titulação.

Clique para prosseguir.

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7
pH=8
pH=9
pH=10
pH=11
pH=12

0:57 / 6:03

Figura 92 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 1

Y Títulação HAc x NaOH

Q1

Curva de titulação

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)	pH do sistema
0	~4
10	~5
20	~8
25	~11
30	~12
40	~12
50	~12

Composição do sistema, %

Componente	Porcentagem
Ac-	36%
HAc	64%

0:59 / 6:03

Figura 93 – Captura de tela da Questão 1

The screenshot shows a quiz interface for a titration of acetic acid (HAc) with sodium hydroxide (NaOH). The background features a titration curve graph with pH on the y-axis (0 to 14) and volume of NaOH on the x-axis (0 to 50 mL). Three points are marked: A at approximately (10, 4.5), B at the equivalence point (20, 8.5), and C at the end of the curve (30, 12). To the right, a vertical scale shows pH values from 1 to 7. Below the graph, a beaker contains a purple liquid. A bar chart shows the composition: Ac- at 36% (red bar) and HAc at 64% (blue bar). The question text is: "Q1: O sistema encontra-se no ponto A da curva." The options are "Verdadeiro" (True) and "Falso" (False). A "Verificar" (Check) button is at the bottom.

Y Títulação HAc x NaOH

Q1: O sistema encontra-se no ponto A da curva.

Verdadeiro Falso

Verificar

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

Ac- 36%

HAc 64%

0% 25% 50% 75% 100%

Figura 94 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 1

This screenshot shows the same quiz question as Figure 93, but with the correct answer selected. The "Verdadeiro" option is now selected and highlighted in green with a checkmark. Below the options, a feedback message reads: "Verdadeiro. A cor do sistema corresponde ao pH 4,5 na escala do indicador." A progress bar is shown with a yellow star and the text "1/1". A "Continue" button is at the bottom right.

Y Títulação HAc x NaOH

Q1: O sistema encontra-se no ponto A da curva.

Verdadeiro Falso

Verdadeiro. A cor do sistema corresponde ao pH 4,5 na escala do indicador.

1/1

Continue

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

HAc 64%

0% 25% 50% 75% 100%

Figura 95 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 2

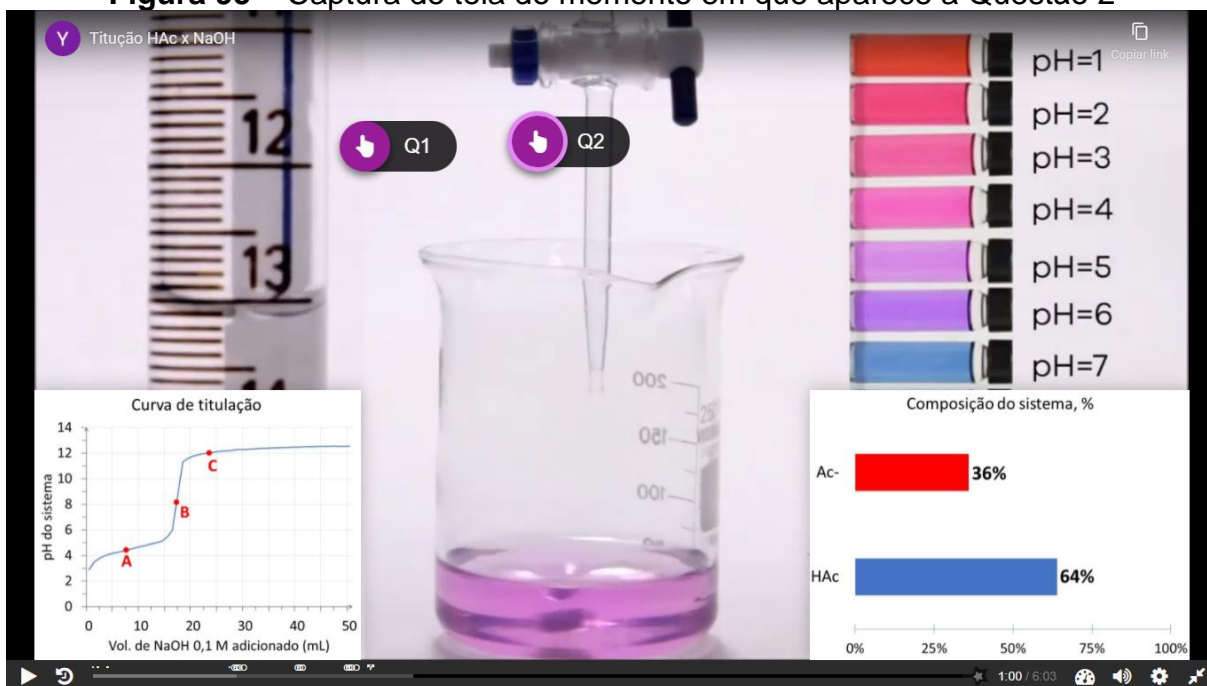


Figura 96 – Captura de tela da Questão 2

The screenshot shows the same simulation interface as Figure 95, but with a question overlay. The question text is:

Q2: A composição do sistema indica que metade do ácido foi neutralizado.

The overlay includes two radio button options:

- Verdadeiro
- Falso

At the bottom of the overlay is a blue button labeled "Verificar".

Figura 97 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 2

The screenshot shows a titration simulation interface. In the background, there is a video of a titration setup with a burette and a beaker containing a purple liquid. A graph titled "Curva de titulação" (Titration Curve) is visible, plotting pH (pH do sistema) on the y-axis (0 to 14) against the volume of 0.1 M NaOH added (Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)) on the x-axis (0 to 50). The curve shows a sharp increase in pH around 20 mL, with points A, B, and C marked. A progress bar at the bottom indicates 64% completion for HAc.

Overlaid on the simulation is a question box for "Q2: A composição do sistema indica que metade do ácido foi neutralizado." (The composition of the system indicates that half of the acid was neutralized). The user has selected "Falso" (False), which is marked as correct with a green checkmark. The feedback text reads: "Falso. Tendo o HAc apenas 1 H ionizável, a metade da neutralização corresponde a composição de 50% de HAc e Ac-." (False. Having HAc only 1 ionizable H, the half of neutralization corresponds to a composition of 50% of HAc and Ac-). A progress indicator shows a star and "1/1", and a "Continue" button is present.

Figura 98 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 3

The screenshot shows the same titration simulation interface as in Figure 97. The background video shows the titration setup. The graph "Curva de titulação" is still visible. A progress bar at the bottom indicates 64% completion for HAc. A color calibration chart on the right side of the screen shows color swatches for pH values from 1 to 7. The question box for "Q2" is still present, but a new question box for "Q3" is now visible, indicating the start of the next question. The interface also includes a "Copiar link" button and a "1:01 / 6:03" timer.

Figura 99 – Captura de tela da Questão 3

Titulação HAc x NaOH

Q3: Nessa composição do sistema o pH varia pouco com a adição de base.

Verdadeiro Falso

Verificar

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

Composição do sistema, %

Componente	Porcentagem
Ac-	36%
HAc	64%

Figura 100 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 3

Titulação HAc x NaOH

Q3: Nessa composição do sistema o pH varia pouco com a adição de base.

Verdadeiro Falso

Verdadeiro. Como expresso na curva, o pH varia pouco com a adição de base entre 5 e 15 mL.

1/1

Continue

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

Composição do sistema, %

Componente	Porcentagem
Ac-	36%
HAc	64%

Figura 101 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 4

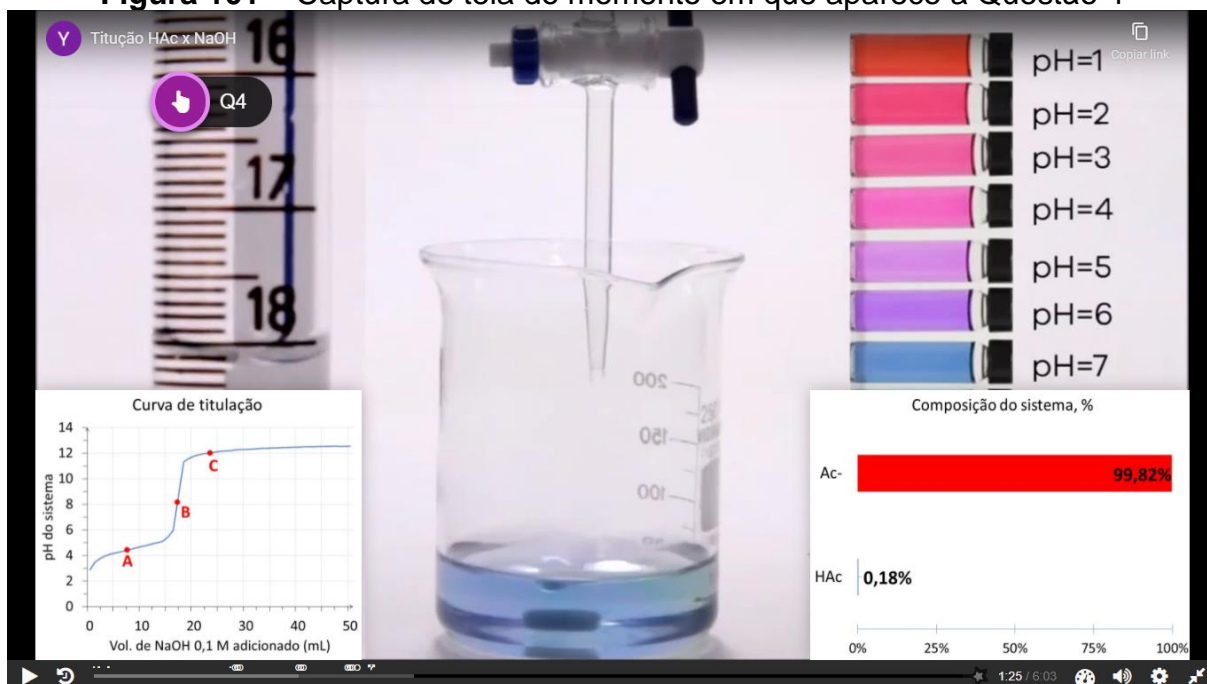


Figura 102 – Captura de tela da Questão 4

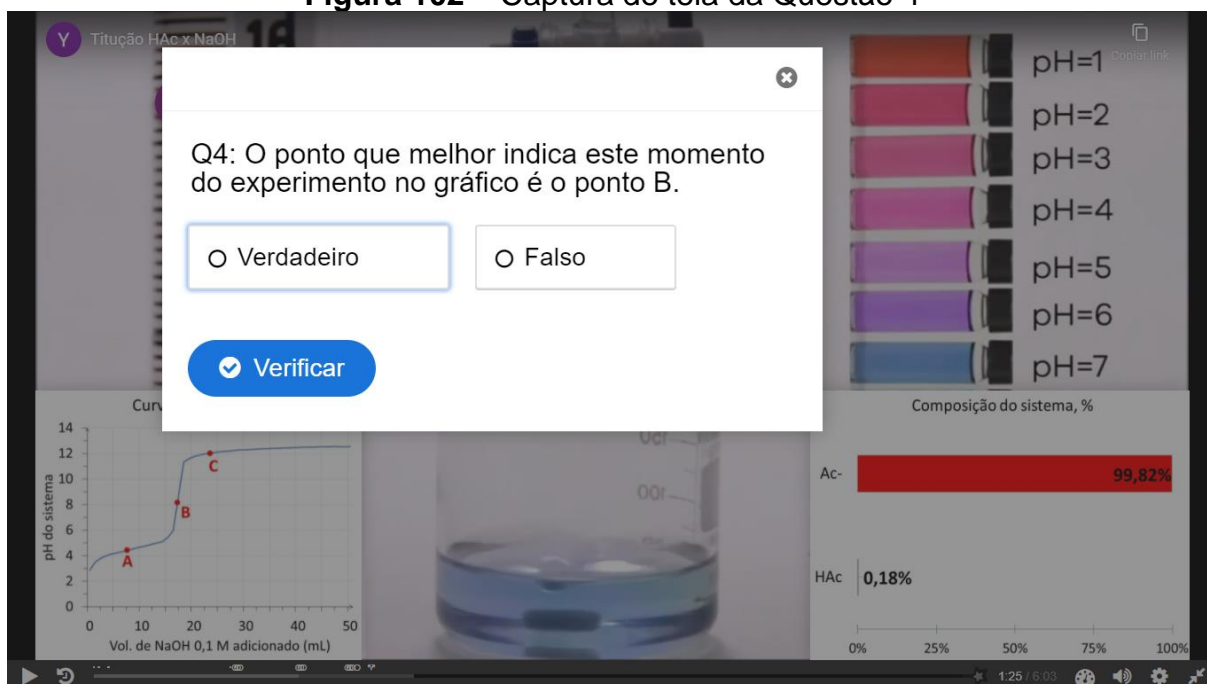


Figura 103 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 4

Titulação HAc x NaOH

Q4: O ponto que melhor indica este momento do experimento no gráfico é o ponto B.

Verdadeiro Falso

Verdadeiro. Comparando a cor do sistema com a escala do indicador, nota-se que o pH corresponde ao ponto B da curva.

1/1

Continue

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac- 99,82%

HAc 0,18%

0% 25% 50% 75% 100%

1:25 / 6:03

Figura 104 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 5

Titulação HAc x NaOH

Q4

Q5

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac- 99,82%

HAc 0,18%

0% 25% 50% 75% 100%

1:26 / 6:03

Figura 105 – Captura de tela da Questão 5

Y Titulação HAc x NaOH

Q4

Q5: Nesta situação, podemos considerar que a titulação acabou.

Verdadeiro Falso

Verificar

Ac- 99,82%

HAc 0,18%

0% 25% 50% 75% 100%

1:26 / 6:03

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)	pH do sistema
0	4
10	4
15	6
20	8
25	12
30	12
40	12
50	12

Figura 106 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 5

Y Titulação HAc x NaOH

Q4

Q5: Nesta situação, podemos considerar que a titulação acabou.

Verdadeiro Falso

Verdadeiro. Segundo a curva, a adição de uma gota a mais de NaOH, resultará num sistema 3 unidades de pH acima, ou seja, 1000 vezes mais alcalino.

1/1

Continue

0% 25% 50% 75% 100%

1:26 / 6:03

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)	pH do sistema
0	4
10	4
15	6
20	8
25	12
30	12
40	12
50	12

Figura 107 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 6

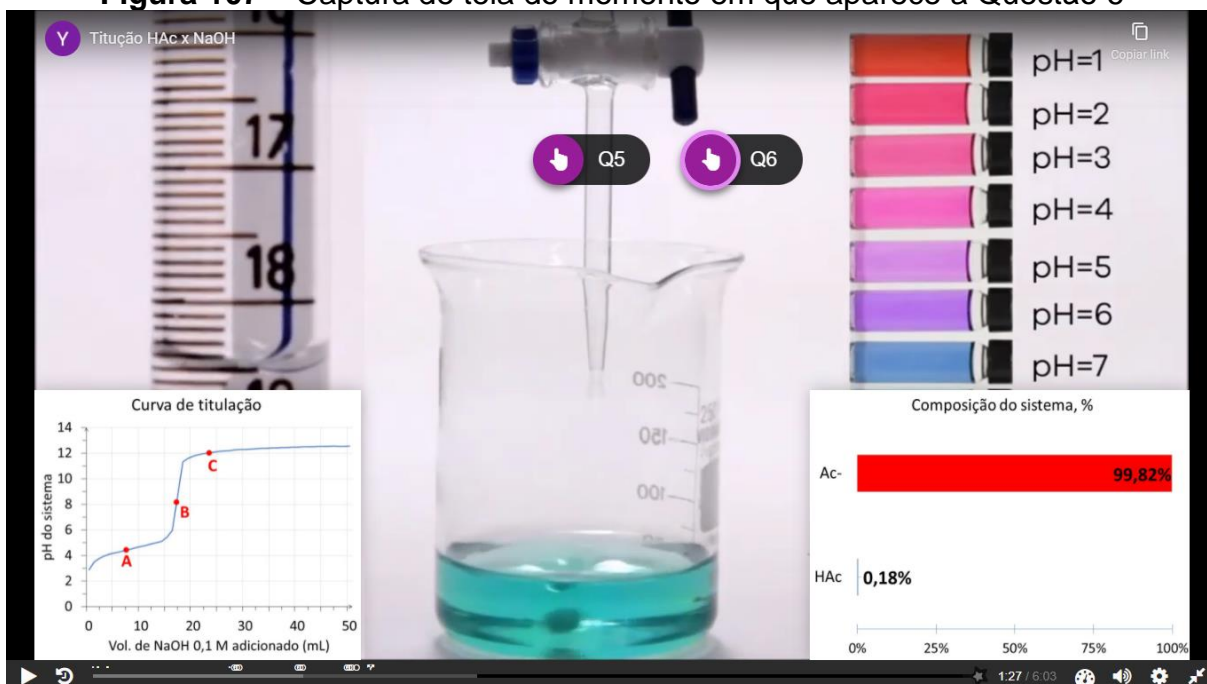


Figura 108 – Captura de tela da Questão 6

The screenshot shows the same simulation interface as Figure 107, but with a question dialog box overlaid in the center. The dialog box contains the following text: 'Q6: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo o NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.' Below the text are two radio button options: 'Verdadeiro' and 'Falso'. At the bottom of the dialog box is a blue button labeled 'Verificar'. The background simulation elements, including the burette, beaker, pH scale, and composition bar chart, are visible but dimmed.

Figura 109 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 6

Y Titulação HAc x NaOH

Q6

Q6: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo o NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

Verdadeiro Falso

Verdadeiro. Mas por quê?

1/1

Continue

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac-	99,82%
HAc	0,18%

0% 25% 50% 75% 100%

1:27 / 6:03

Figura 110 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 7

Y Titulação HAc x NaOH

Q7

Curva de titulação

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac-	100%
HAc	0%

0% 25% 50% 75% 100%

1:46 / 6:03

Figura 111 – Captura de tela da Questão 7

The screenshot shows a mobile application interface for a titration experiment. In the background, there is a titration curve graph titled "Curva de titulação" with pH on the y-axis (0 to 14) and "Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)" on the x-axis (0 to 50). Three points are marked: A at approximately (10, 4), B at approximately (20, 8), and C at approximately (25, 12). To the right, a progress bar shows "Ac-" at 100% and "HAc" at 0%. A question dialog box is overlaid in the center, containing the text: "Q7: No ponto C da curva de titulação, todo o ácido foi neutralizado." Below the text are two radio button options: "Verdadeiro" (selected) and "Falso". A blue "Verificar" button is at the bottom of the dialog.

Figura 112 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 7

This screenshot shows the same interface as Figure 111, but with the question dialog box updated to show the correct answer and feedback. The "Verdadeiro" option is now selected with a green checkmark. Below the options, the feedback text reads: "Verdadeiro. Neste ponto temos até excesso de base pois o sistema está 3 unidades de pH acima do ponto de equivalência, ou seja, 1000 vezes mais alcalino." At the bottom of the dialog, there is a green progress bar, a yellow star icon, and the text "1/1". A blue "Continue" button is also present.

Figura 113 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 8

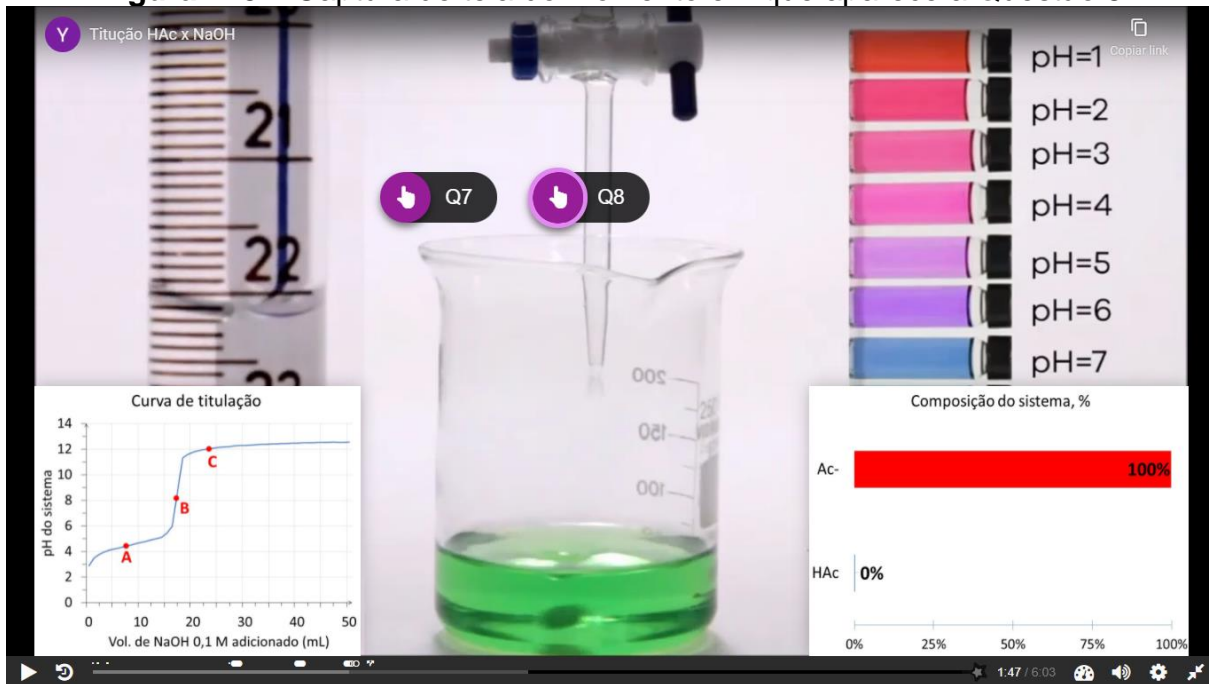


Figura 114 – Captura de tela da Questão 8

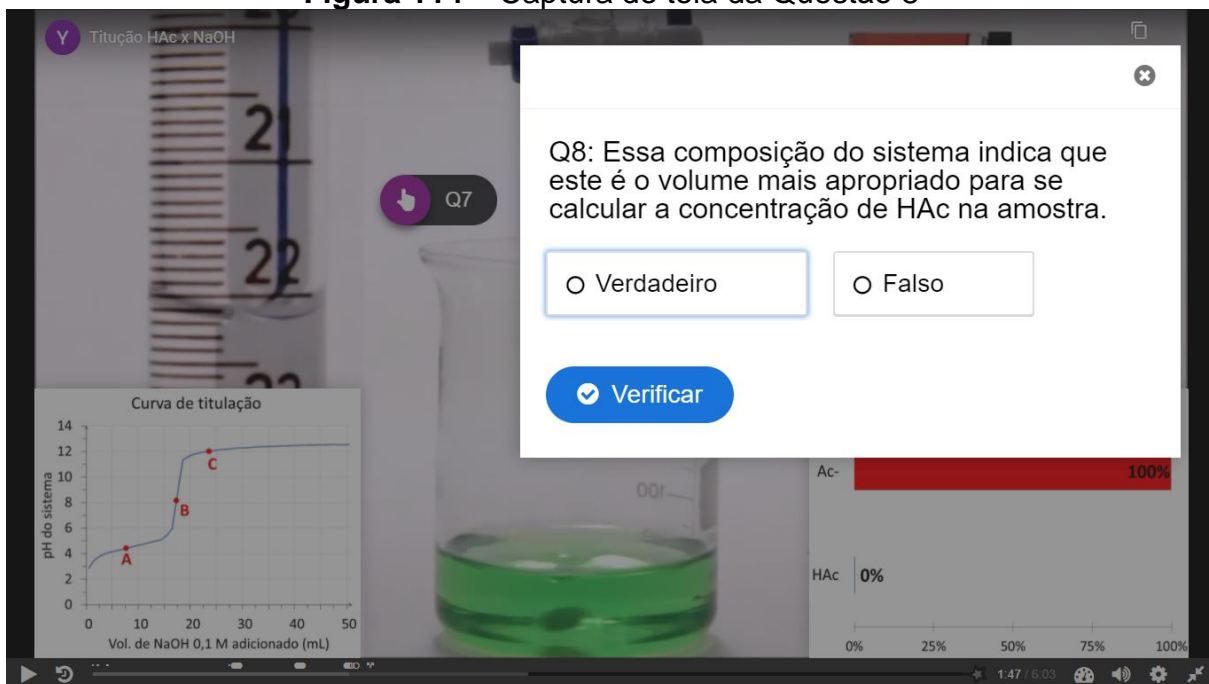


Figura 115 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 8

Y Titulação HAc x NaOH

Q7

Q8: Essa composição do sistema indica que este é o volume mais apropriado para se calcular a concentração de HAc na amostra.

Verdadeiro Falso ✓

Falso. Neste ponto temos até excesso de base pois o sistema está 3 unidades de pH acima do ponto de equivalência, ou seja, 1000 vezes mais alcalino.

1/1

Continue

0% 25% 50% 75% 100%

1:47 / 6:03

Detailed description: The screenshot shows a titration experiment interface. On the left, there is a vertical burette with a blue stopcock and a glass beaker containing a green liquid. A purple question marker 'Q7' is overlaid on the burette. Below the burette is a graph titled 'Curva de titulação' (Titration Curve) showing pH vs. volume of NaOH added. The curve has three points marked: A at approximately (10, 4.5), B at approximately (20, 8), and C at approximately (25, 11). A purple question marker 'Q8' is overlaid on the graph. On the right, a white feedback box contains the text of the question and the user's answer. The question asks if the composition indicates the most appropriate volume for calculating HAc concentration. The user selected 'Falso' (False), which is marked as correct with a green checkmark. The feedback text explains that the system is 3 pH units above the equivalence point, making it 1000 times more alkaline. At the bottom, there is a progress bar showing 1/1, a 'Continue' button, and a timer at 1:47 / 6:03.

Figura 116 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 9

Y Titulação HAc x NaOH

Q8

Q9

pH=1

pH=2

pH=3

pH=4

pH=5

pH=6

pH=7

Composição do sistema, %

Ac- 100%

HAc 0%

0% 25% 50% 75% 100%

1:48 / 6:03

Detailed description: The screenshot shows a titration experiment interface. On the left, there is a vertical burette with a blue stopcock and a glass beaker containing a green liquid. A purple question marker 'Q8' is overlaid on the burette. On the right, there is a color scale for pH from 1 to 7, with corresponding color swatches. Below the color scale is a bar chart titled 'Composição do sistema, %' (System Composition, %) showing 100% Ac- (red bar) and 0% HAc (black bar). A purple question marker 'Q9' is overlaid on the bar chart. At the bottom, there is a progress bar showing 1/1, a 'Continue' button, and a timer at 1:48 / 6:03.

Figura 117 – Captura de tela da Questão 9

Y Titulação HAc x NaOH

Q9: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

Verdadeiro Falso

Verificar

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac- 100%

HAc 0%

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

1:48 / 6:03

Detailed description: This screenshot shows a quiz question (Q9) in a chemistry context. The question asks if adding a strong acid to neutralize all added NaOH would return the system to its initial pH. The interface includes a titration curve graph with points A and B, a color scale for pH from 1 to 7, and a composition bar showing 100% Ac- and 0% HAc. A 'Verificar' button is visible at the bottom of the question box.

Figura 118 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 9

Y Titulação HAc x NaOH

Q9: Neste ponto da titulação, a adição de um ácido forte em quantidade suficiente para neutralizar todo NaOH adicionado levaria o sistema ao pH inicial.

Verdadeiro ✓ Falso

Verdadeiro. Mas por quê?

1/1

Continue

pH=1
pH=2
pH=3
pH=4
pH=5
pH=6
pH=7

Composição do sistema, %

Ac- 100%

HAc 0%

pH do sistema

Vol. de NaOH 0,1 M adicionado (mL)

1:48 / 6:03

Detailed description: This screenshot shows the same quiz question as Figure 117, but with feedback. The 'Verdadeiro' option is selected and marked with a green checkmark. Below the options, the text 'Verdadeiro. Mas por quê?' is displayed. A progress indicator shows a green bar and a star icon with '1/1'. A 'Continue' button is visible at the bottom of the question box. The background elements (titration curve, color scale, composition bar) are identical to Figure 117.

Figura 119 – Captura de tela do momento em que aparece a Questão 10

Q10: Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato.

Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético.

Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado.

Figura 120 – Captura de tela da resposta com *feedback* para a Questão 10

Q10: Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato. ✓

Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético.

Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado.

Figura 121 – Captura da tela de finalização das questões

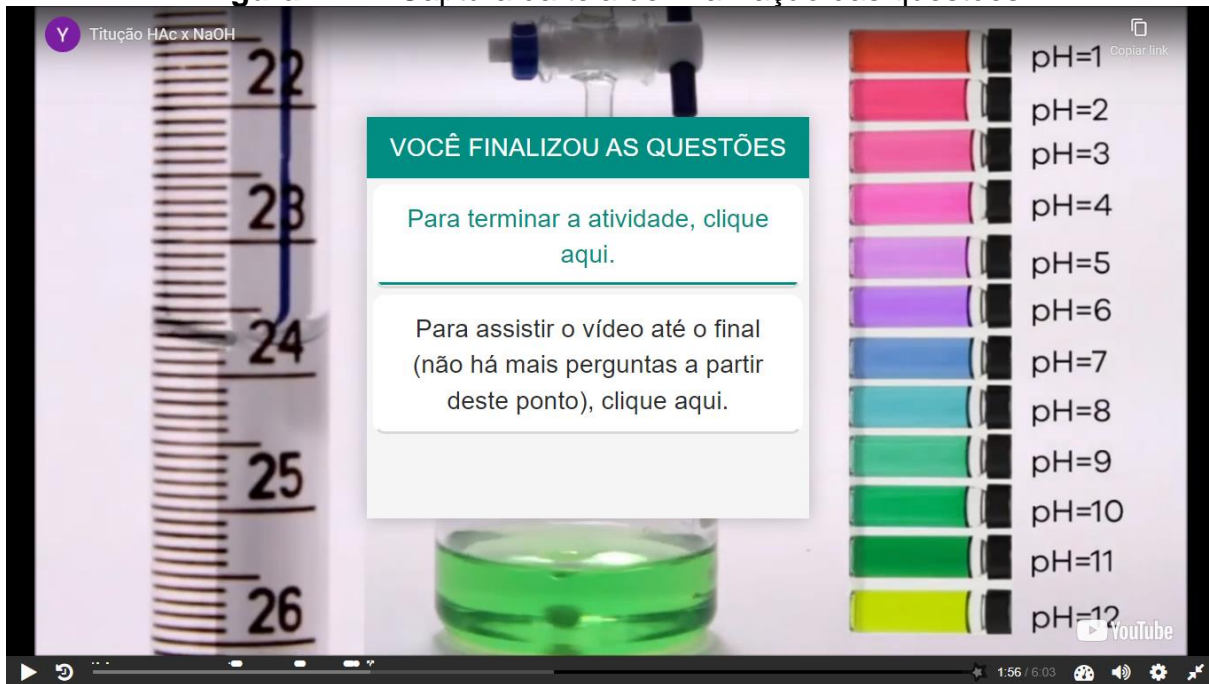


Figura 122 – Captura de tela dos créditos do vídeo

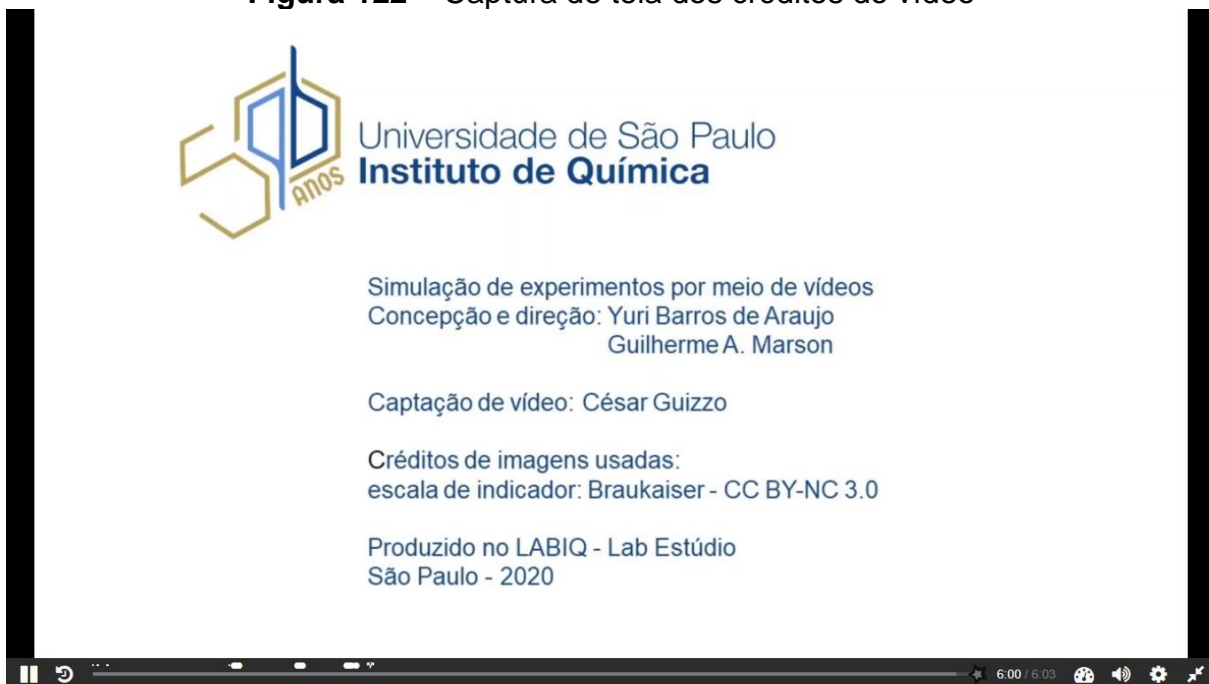



Figura 123 – Captura de tela da submissão das respostas



★ 10 questão(ões) respondida(s) ✕

Você respondeu 10 questões, clique abaixo para submeter suas respostas.

[✔ Submeter respostas](#)

Questões respondidas	Pontuação
0:59 Q1	1 / 1
1:00 Q2	1 / 1
1:01 Q3	1 / 1
1:25 Q4	1 / 1
1:26 Q5	1 / 1
1:27 Q6	1 / 1

6:01 / 6:03

APÊNDICE D – O Ácido em Pindaiatuba: O Caso

Figura 124 – Captura da tela inicial da apresentação do caso

The screenshot shows a web interface for a presentation case. At the top, there is a navigation bar with the USP logo, the text 'DISCIPLINAS Apoio às Disciplinas', and links for 'Disciplinas', 'Suporte', and 'Português - Brasil (pt_br)'. A search icon and a user profile icon for 'Yuri Barros de Araujo' are also present. On the left side, there is a sidebar menu with sections for 'Administração' (containing options like 'H5P', 'Editar configurações', 'Papéis atribuídos localmente', 'Permissões', 'Verificar permissões', 'Filtros', 'Logs', 'Backup', 'Restaurar') and 'Navegação' (containing 'Início', 'Painel', 'e-Disciplinas', 'Meus Ambientes', '2021'). The main content area is titled '2. O ácido em Pindaiatuba: o caso'. It contains introductory text: 'A atividade funciona na forma de apresentação de slides em cima de um estudo de caso contendo três perguntas no decorrer da atividade. Muitos dos slides têm caráter informativo para auxiliar na resolução das questões acerca do problema apresentado. Ao final da atividade, após concluir as três questões, você deve seguir para a etapa 3. O ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico.' Below this, there is a text block: 'Numa localidade remota, um caminhão transportando 50.000 L de uma solução aquosa de ácido para limpeza industrial tombou na estrada.' This is followed by another text block: 'As autoridades locais acionaram a transportadora, mas a empresa estava em situação irregular e, por não ter um químico responsável, não havia registrado os produtos transportados nos caminhões daquela semana.' Below this, there is a text block: 'Sabe-se apenas que aquela carga poderia ser uma solução de um dos seguintes ácidos:' followed by a list of options: 'sulfúrico' and 'sulfuroso'. To the right of the text is an image of a yellow truck with a large orange tarp covering its cargo, parked on a muddy road.

Figura 125 – Captura de tela da apresentação do caso: *slide 1*

Numa localidade remota, um caminhão transportando 50.000 L de uma solução aquosa de ácido para limpeza industrial tombou na estrada.

As autoridades locais acionaram a transportadora, mas a empresa estava em situação irregular e, por não ter um químico responsável, não havia registrado os produtos transportados nos caminhões daquela semana.

Sabe-se apenas que aquela carga poderia ser uma solução de um dos seguintes ácidos:

- sulfúrico
- sulfuroso
- metanossulfônico
- benzenossulfônico.

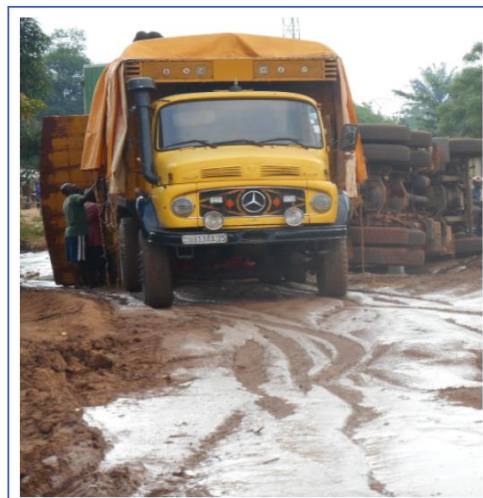
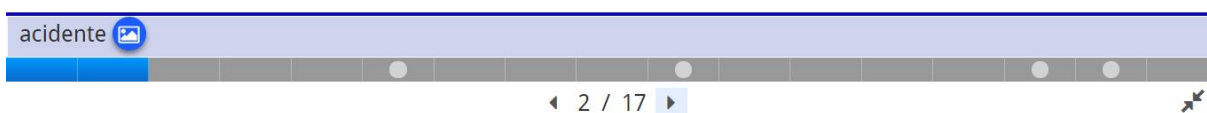


Figura 126 – Captura de tela da apresentação do caso: *slide 2*

Por sorte, você já havia se formado no curso de química do IQ-USP, tirado seu CRQ e estava gozando de suas merecidas férias em Pindaiatuba da Serra, conhecida como “capital do repolho roxo”.

**Figura 127** – Captura de tela da apresentação do caso: *slide 3*

Seu tio, delegado local, o procurou imediatamente. Você recomendou a remediação no local do acidente com neutralização utilizando calcário.

Porém, para prosseguir com a avaliação dos impactos ambientais, você precisaria saber qual o ácido transportado.

Você conseguiu recolher no local 5 L da solução derramada.

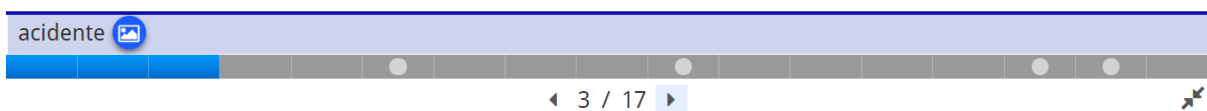


Figura 128 – Captura de tela da apresentação do caso: *slide 4*

Na cidade, o único laboratório disponível é bastante simples, e dispõe apenas de equipamentos e reagentes básicos de um laboratório de química geral.

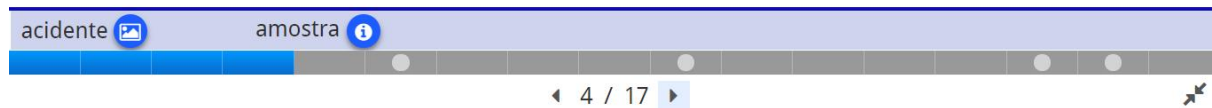
E, ainda por cima, é mofado e infestado por baratas.



EQUIPAMENTOS



REAGENTES

**Figura 129** – Captura de tela dos equipamentos do *slide 4*: parte 1

Na cidade, o único laboratório disponível é bastante simples, e dispõe apenas de equipamentos e reagentes básicos de um laboratório de química geral.

E, ainda por cima, é mofado e infestado por baratas.

Equipamentos:

- Balança semi-analítica (+-, 0.0001)
- Vidraria volumétrica de alta precisão (balão volumétrico, bureta, pipeta volumétrica, proveta)
- Vidraria volumétrica de média precisão (proveta, pipeta graduada)
- Vidrarias diversas (béquer, erlenmeyer, vidro de relógio, pipeta Pasteur, bastão de vidro, etc)
- Agitador magnético e barra magnética
- Estufa
- Dessecador

acidente amostra

4 / 17

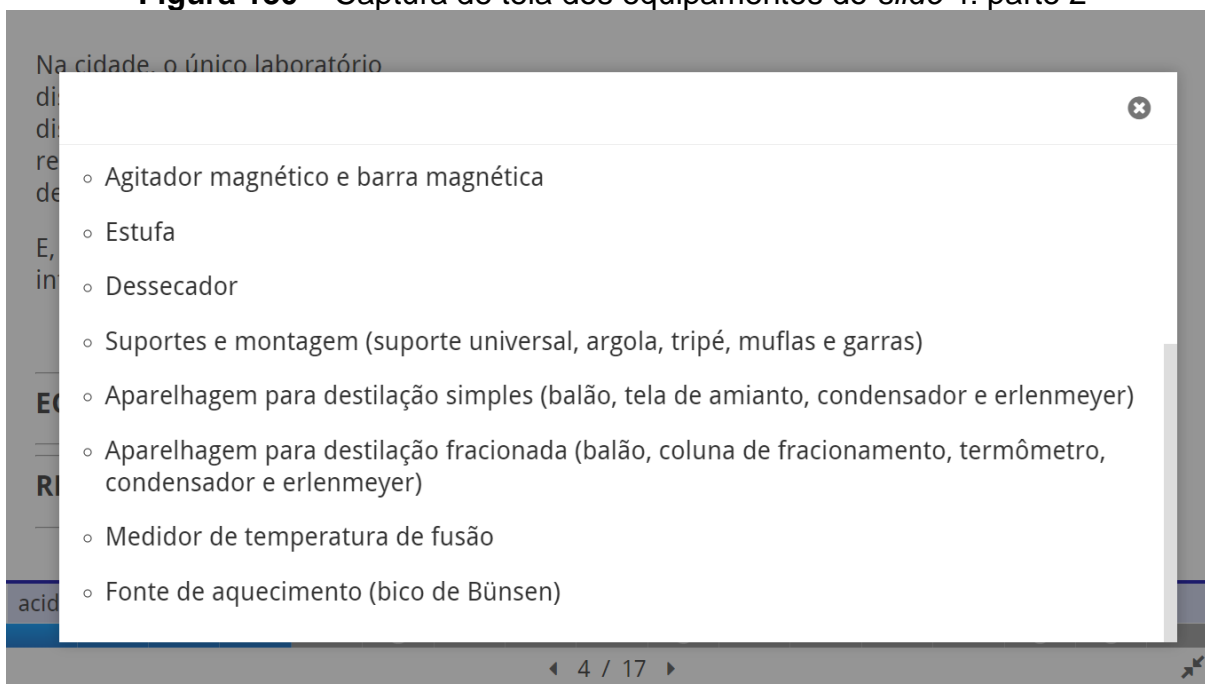
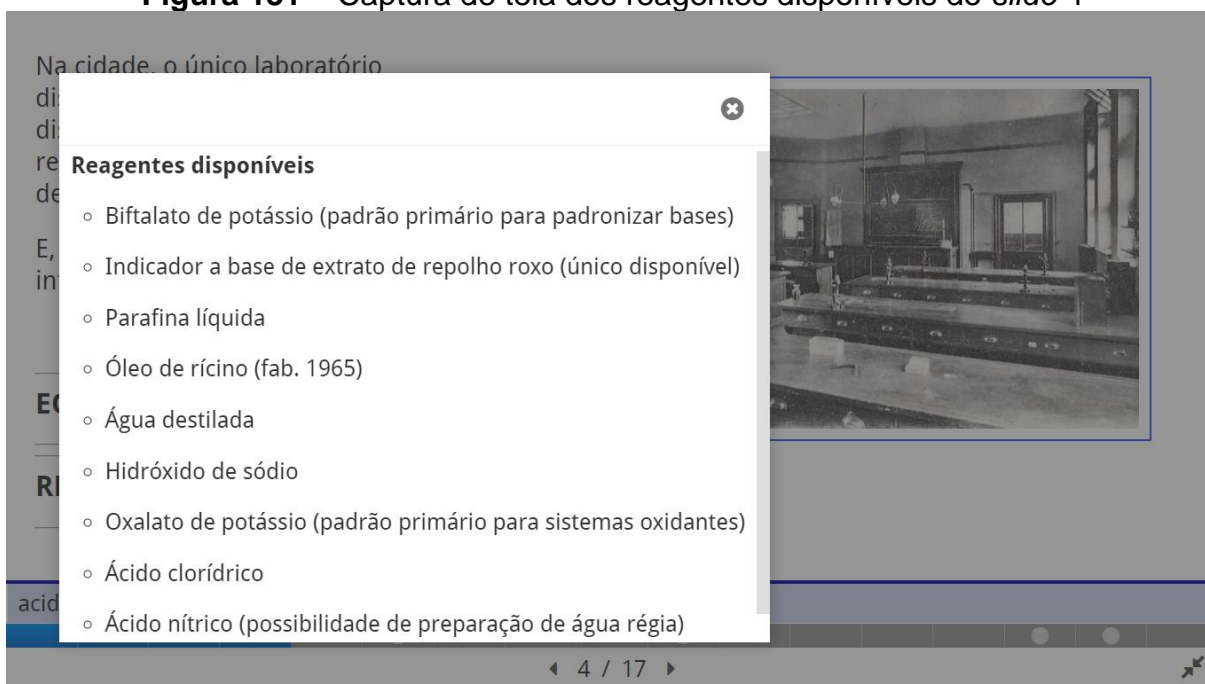
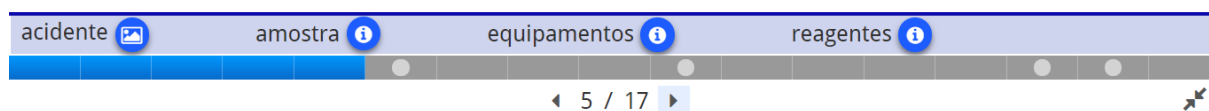
Figura 130 – Captura de tela dos equipamentos do *slide* 4: parte 2**Figura 131** – Captura de tela dos reagentes disponíveis do *slide* 4


Figura 132 – Captura de tela da apresentação do caso: *slide 5*

Fazendo uma pesquisa na literatura, você encontrou os seguintes dados para os prováveis ácidos transportados em solução:

Ácido	Fórmula Molecular	M. Molar g/mol	d g/cm ³	T.F. °C	T.E. °C	pKa1	pKa2	Força
Sulfúrico	H ₂ SO ₄	98,1	1,8	10	337	-3	2,0	forte
Sulfuroso	H ₂ SO ₃	82,1	1,0	-	-	1,8	7,2	fraco
Metanossulfônico	CH ₃ SO ₃ H	96,1	1,5	20	167	-1,9	-	forte
Benzenossulfônico	C ₆ H ₅ SO ₃ H	158,2	1,3	51	190	-2,8	-	forte

[PubChem](#)

**Figura 133** – Captura de tela da primeira questão do caso: *slide 6*

Qual(is) propriedade(s) das substâncias é (são) suficientes para resolver o problema e como você faria para determiná-la(s) nas condições do único laboratório disponível em Pindaiatuba? 

Poderia determinar a T.F. pois utiliza procedimentos de maior precisão.

Determino as T.F. e T. E. e os valores de pKa, mas com apenas qualquer um deles já seria possível realizar a identificação.

Todas as propriedades são úteis. Mas, como é necessário agilidade no caso, vou determinar a densidade pois é um procedimento muito simples.

Tudo que eu preciso é fazer uma curva de titulação. Assim determino os valores de pKa e mato a charada.

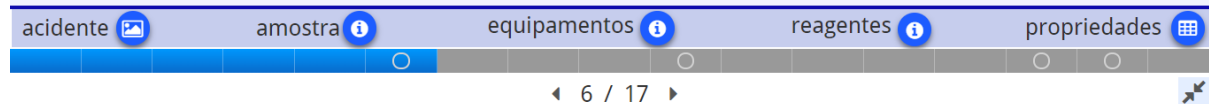




Figura 134 – Captura de tela da resposta correta para a primeira questão do caso: *slide 6*






Qual(is) propriedade(s) das substâncias é (são) suficientes para resolver o problema e como você faria para determiná-la(s) nas condições do único laboratório disponível em Pindaiatuba? 

Poderia determinar a T.F. pois utiliza procedimentos de maior precisão.

Determino as T.F. e T. E. e os valores de pKa, mas com apenas qualquer um deles já seria possível realizar a identificação.

Todas as propriedades são úteis. Mas, como é necessário agilidade no caso, vou determinar a densidade pois é um procedimento muito simples.

Tudo que eu preciso é fazer uma curva de titulação. Assim determino os valores de de pKa e mato a charada. 

acidente  amostra  equipamentos  reagentes  propriedades 


◀ 6 / 17 ▶ 

Figura 135 – Captura de tela: “O que é o pKa?” *slide 7*

O que é o pKa?

pKa é a forma logarítmica da constante de ionização de um ácido, Ka:

$$pKa = -\log Ka$$

O prefixo “p” indica então, -log de alguma coisa. Lembrando que Ka pode ser escrito como:

$$Ka = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$$

A forma logarítmica desta equação torna-se:

$$\log Ka = \log [H^+] + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Rearranjando, temos:

$$-\log [H^+] = -\log Ka + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \text{ou} \quad pH = pKa + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$


◀ 7 / 17 ▶ 

Figura 136 – Captura de tela: “O que é o pKa?” slide 8

Teoricamente, pKa corresponde a composição de máximo tamponamento, isto é, composição na qual a variação no pH é menos sensível à adição de ácidos ou bases ao sistema. Isto ocorre quando $[A^-] = [HA]$.

Nestas circunstâncias:

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\text{se } [A^-] = [HA]:$$

$$\frac{[A^-]}{[HA]} = 1$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log 1$$

$$\log 1 = 0$$

$$\text{pH} = \text{pKa}$$

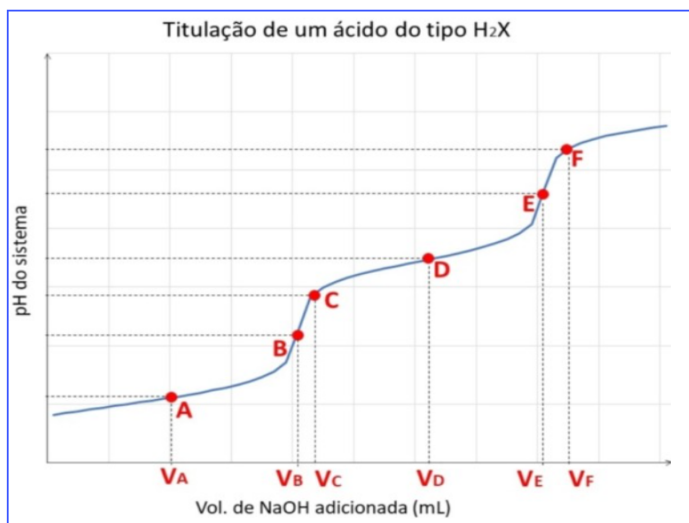
◀ 8 / 17 ▶

Figura 137 – Captura de tela “Como podemos determinar o pKa?” slide 9

Como podemos determinar o pKa?

O pKa pode ser determinado por meio de uma curva de titulação, isto é, uma curva de pH versus volume de titulante adicionado.

A figura ao lado apresenta uma curva de titulação típica para um ácido diprótico titulado com NaOH:



◀ 9 / 17 ▶

Figura 138 – Captura de tela da segunda questão do caso: *slide 10*


Numa curva de titulação de um ácido por uma base, destacamos algumas regiões de interesse. A partir delas podemos obter informações sobre o ácido titulado. Quais informações podemos obter das regiões A a F assinaladas na curva? **(clique no ícone abaixo de tudo para ver a curva)**

O volume VF indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD.

O volume VF indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

O volume VD indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

O volume VB indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VC e VF. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD.

Mostrar a curva de titulação 

◀ 10 / 17 ▶

Figura 139 – Captura de tela da resposta correta para a segunda questão do caso: *slide 10*


Numa curva de titulação de um ácido por uma base, destacamos algumas regiões de interesse. A partir delas podemos obter informações sobre o ácido titulado. Quais informações podemos obter das regiões A a F assinaladas na curva? **(clique no ícone abaixo de tudo para ver a curva)**

O volume VE indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD. ✓

O volume VF indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

O volume VD indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VB e VE. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem também a VB e VE, pontos de inflexão da curva.

O volume VB indica a quantidade total de ácido da amostra, pois corresponde ao ponto estequiométrico deste ácido, que possui dois hidrogênios ionizáveis, neutralizados em VC e VF. Os valores de pKa1 e pKa2 correspondem aos volumes VA e VD.

Mostrar a curva de titulação 

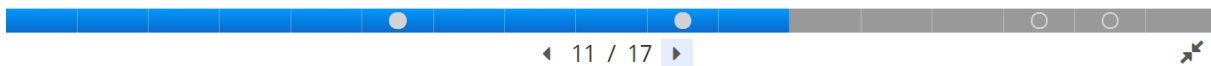
◀ 10 / 17 ▶

Figura 140 – Captura de tela da apresentação dos experimentos: *slide 11*

Você então prosseguiu para os experimentos visando a obter curvas de titulação que lhe permita identificar o ácido misterioso pelo seu pKa e número de H ionizáveis.

Para tanto, deverá realizar uma titulação ácido-base com uma solução de NaOH 0,1 mol/L padronizado.

O seu experimento consiste em adicionar lentamente o titulante de NaOH e anotar o pH do sistema. Decidiu realizar dois experimentos: um exploratório e um mais preciso.

**Figura 141** – Captura de tela dos experimentos 1 e 2: *slide 12*

Experimento 1

Curva exploratória, determinando o pH por comparação visual.



Experimento 2

Curva mais precisa, determinando o pH por potenciometria, com um eletrodo de pH (pHmetro).

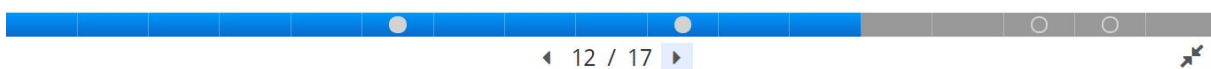


Figura 142 – Captura de tela “O que se espera do experimento?” *slide 13*

Porém, antes de partir para o laboratório, melhor refletir um pouco: o que se espera do experimento?

Dependendo do resultado, como poderá determinar qual o ácido na amostra?

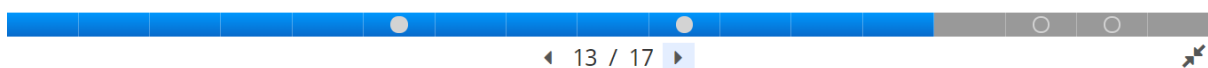


Figura 143 – Captura de tela da apresentação das curvas dos colegas: *slide 14*

Conversando com **colegas** sobre o problema, surgiram diversas ideias de como seriam as curvas experimentais de titulação obtidas. Clique na fala de cada colega para conhecê-las.

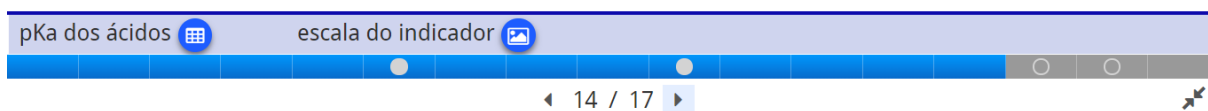
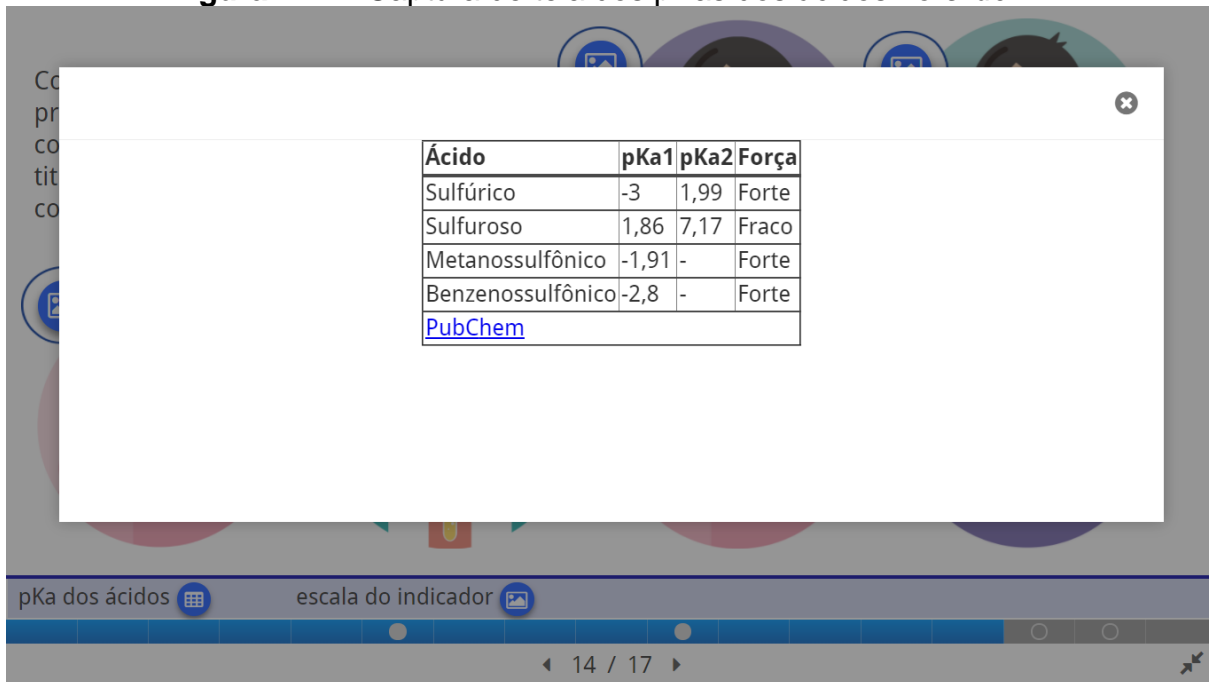


Figura 144 – Captura de tela dos pKas dos ácidos no *slide* 14

The screenshot shows a presentation slide with a table of acid properties. The table has four columns: 'Ácido', 'pKa1', 'pKa2', and 'Força'. The rows list Sulfúrico, Sulfuroso, Metanossulfônico, and Benzenossulfônico. Below the table is a link to PubChem. The slide is part of a presentation titled 'pKa dos ácidos' and 'escala do indicador', and is slide 14 of 17.

Ácido	pKa1	pKa2	Força
Sulfúrico	-3	1,99	Forte
Sulfuroso	1,86	7,17	Fraco
Metanossulfônico	-1,91	-	Forte
Benzenossulfônico	-2,8	-	Forte

[PubChem](#)

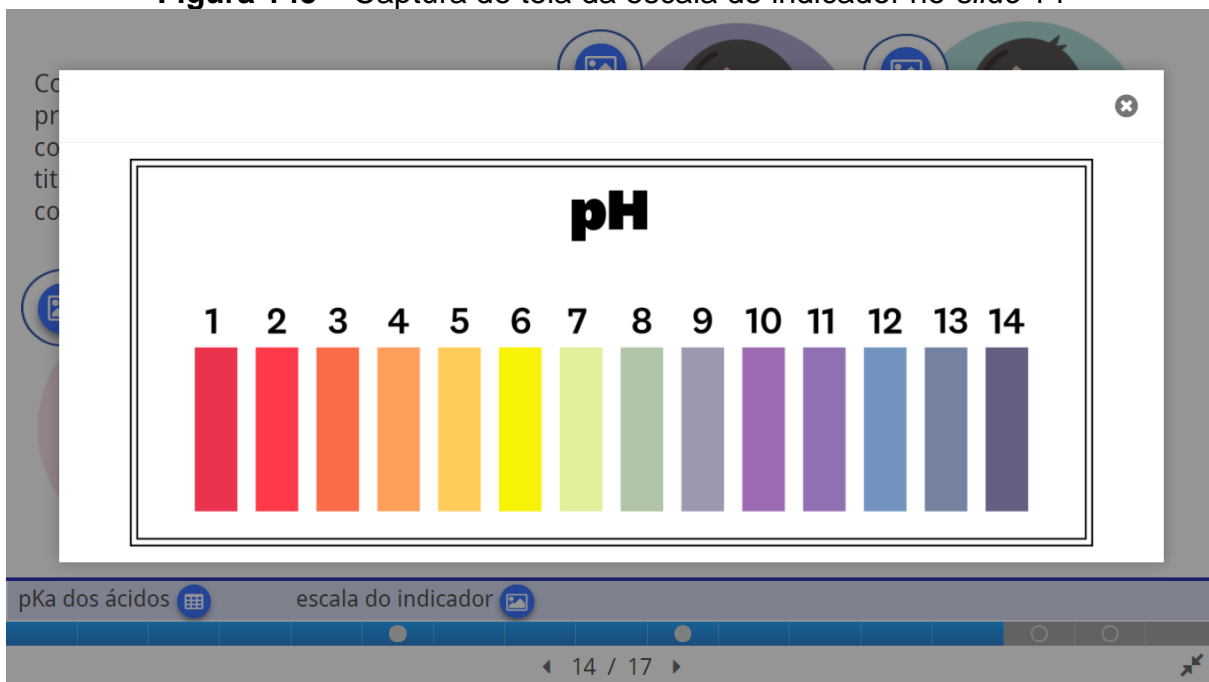
Figura 145 – Captura de tela da escala do indicador no *slide* 14

Figura 146 – Captura de tela da curva A (primeira colega) no slide 14

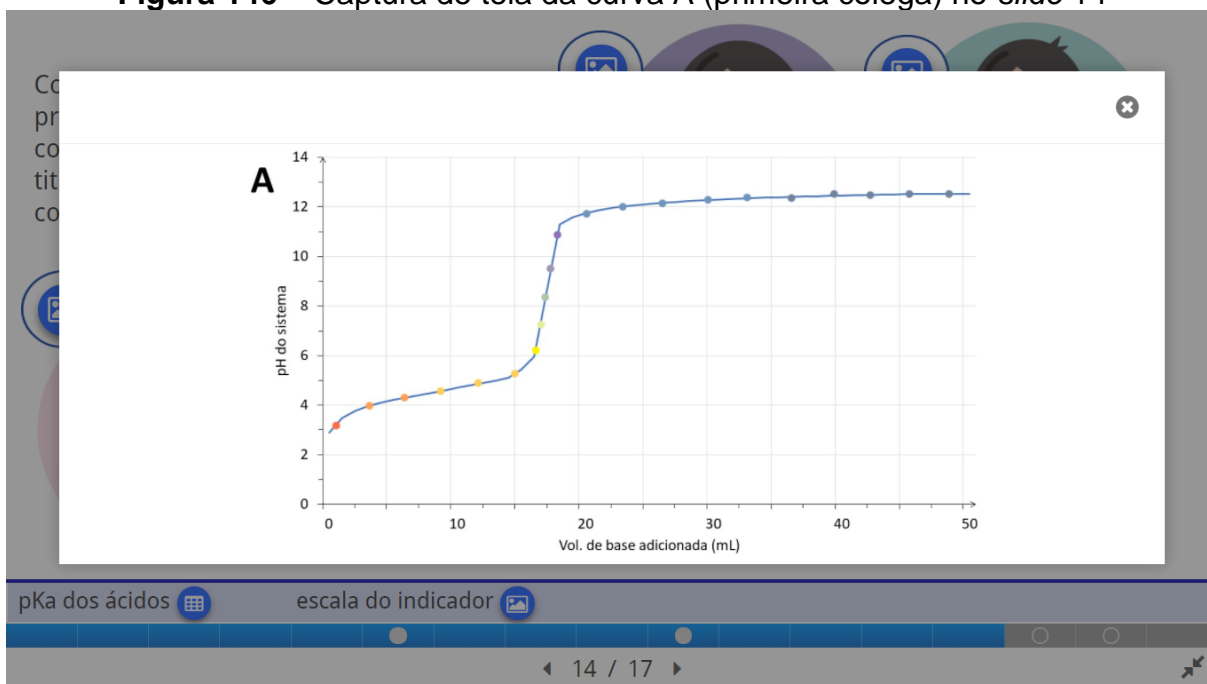


Figura 147 – Captura de tela da curva B (segundo colega) no slide 14

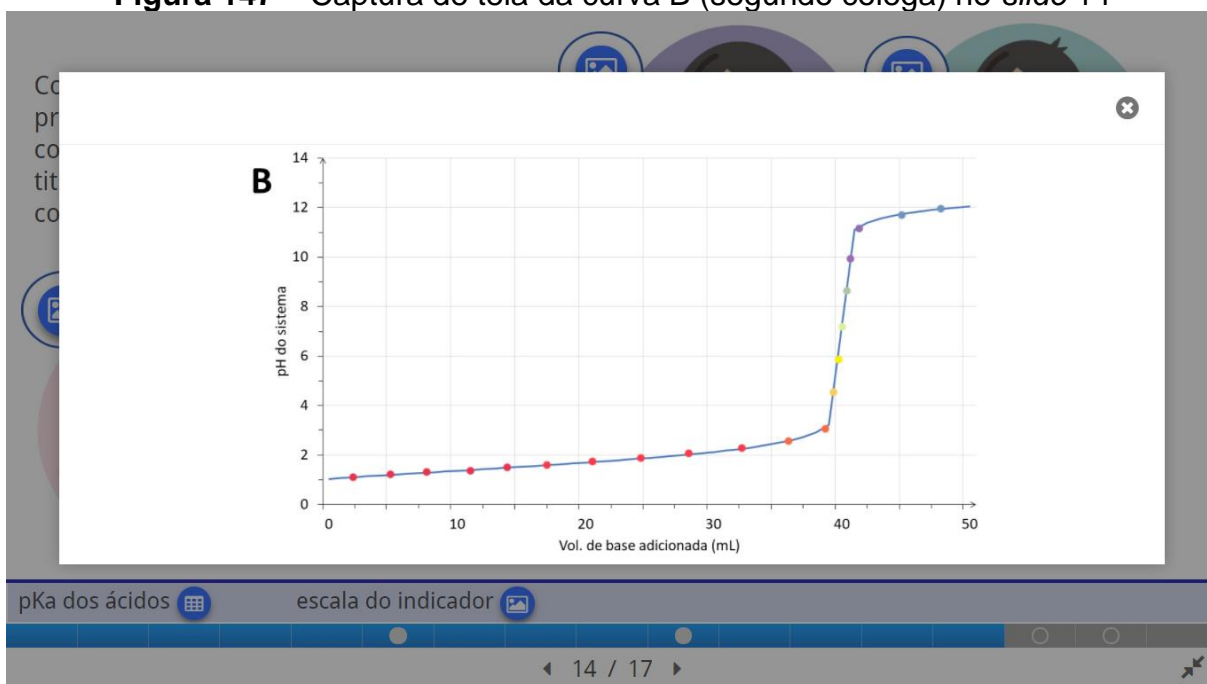


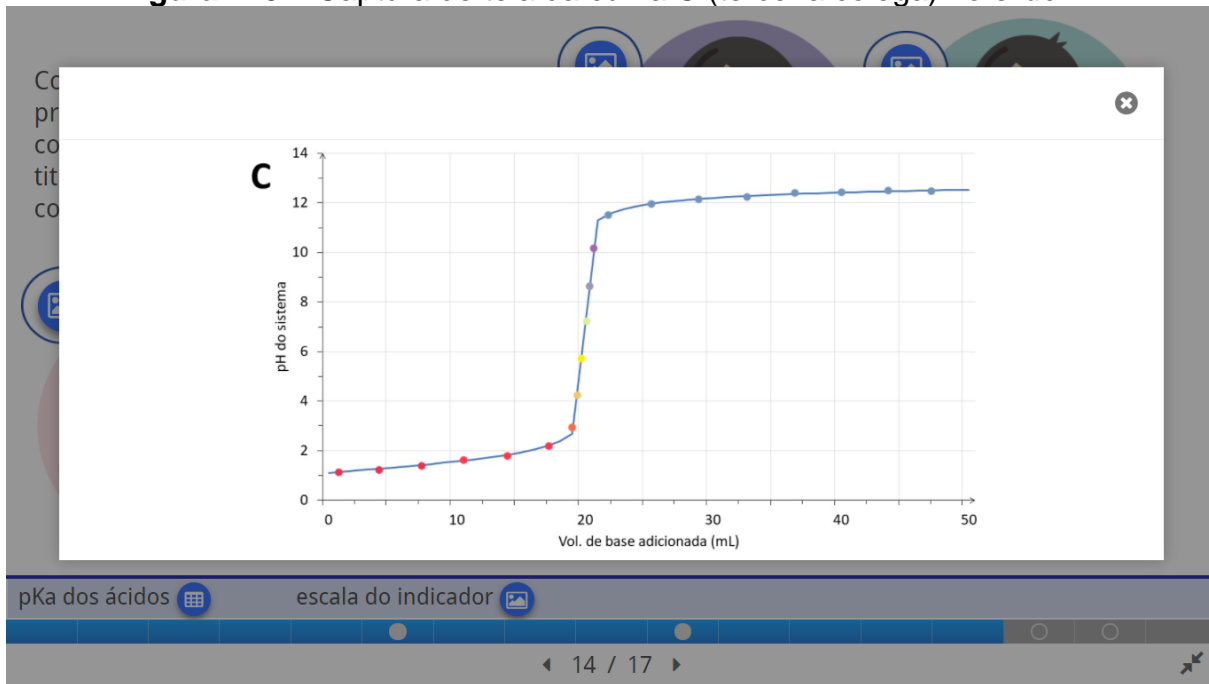
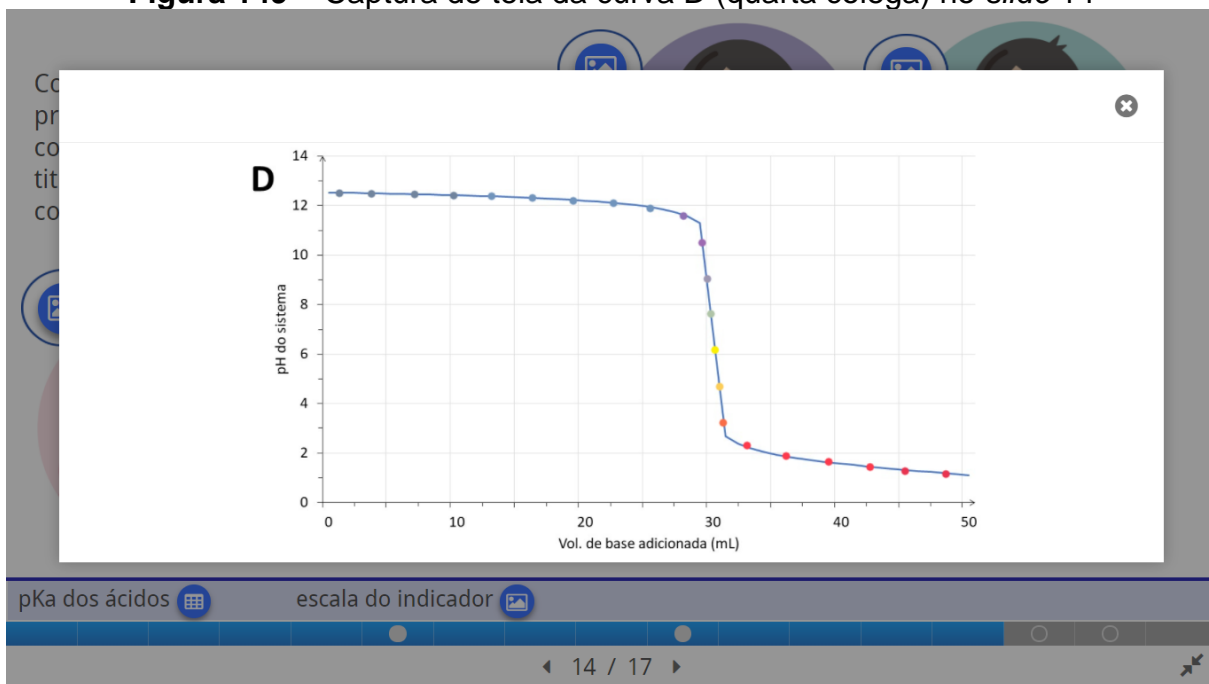
Figura 148 – Captura de tela da curva C (terceira colega) no *slide* 14**Figura 149** – Captura de tela da curva D (quarta colega) no *slide* 14

Figura 150 – Captura de tela da curva E (quinto colega) no slide 14

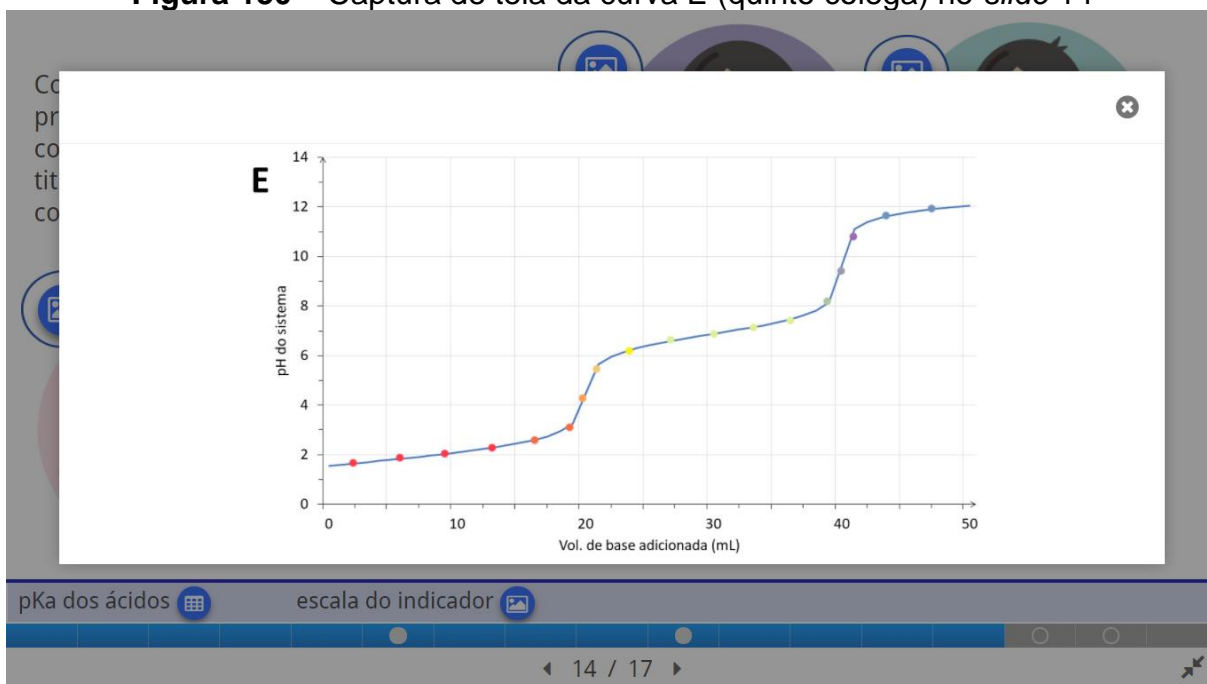


Figura 151 – Captura de tela da curva F (sexto colega) no slide 14

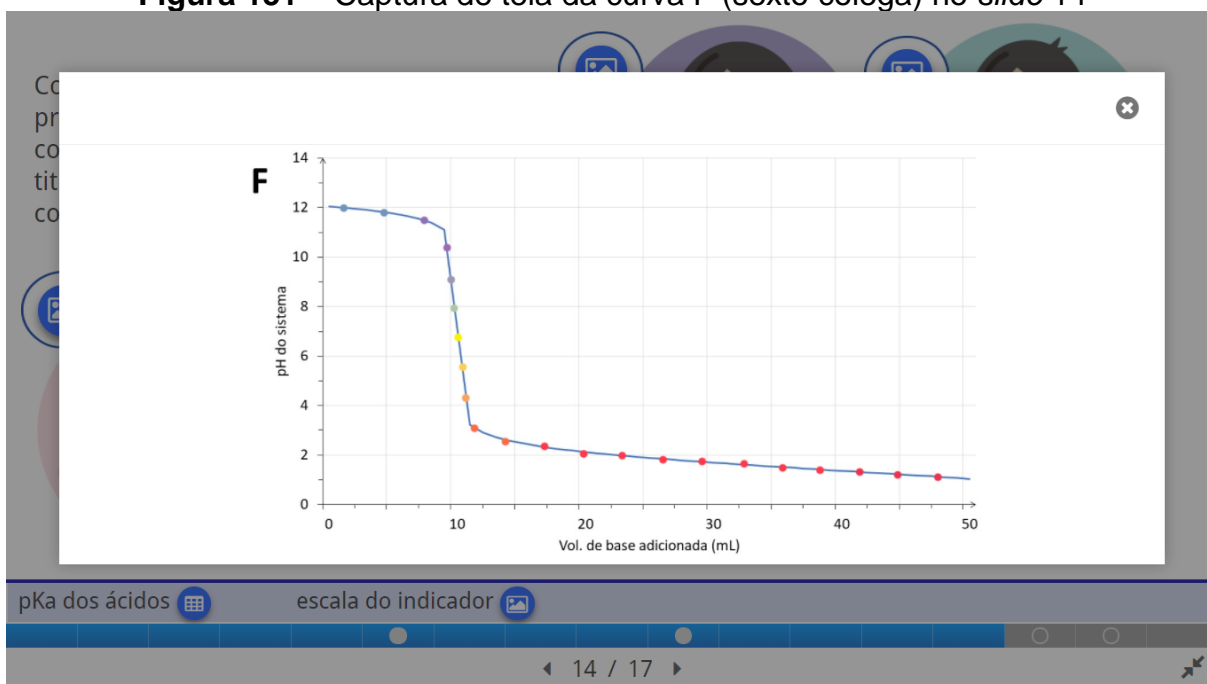


Figura 152 – Captura de tela da terceira questão do caso: *slide 15*

Na conversa com colegas, vocês pensaram no seguinte:

- 1) Se cada mol de NaOH consome 1 mol de H ionizável, e a concentração de ácido titulado é igual a de NaOH titulante, devemos esperar que: as curvas para os ác. sulfuroso e sulfúrico são como E e B, respectivamente; e as curvas para os ác. benzeno e metanossulfônicos são como A ou C.
- 2) Sendo os ácidos sulfúrico, benzeno e metanossulfônicos fortes, as curvas esperadas para estes ácidos são como B ou C.
- 3) Sendo o ácido sulfuroso um ácido fraco, a curva esperada é como A.
- 4) As curvas D e F não são esperadas, pois o titulante é NaOH, uma base.

O que você pode dizer destas ideias? **(Clique nas curvas abaixo caso não se lembre delas)**

2 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis. 1 e 4 são totalmente corretas.

Apenas 3 e 4 são corretas. 1 e 2 são incorretas pois não consideram a estequiometria da reação.

1 é parcialmente correta pois desconsidera os pKas dos possíveis ácidos. 2 é totalmente correta.

3 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis e os pKas do ácido sulfuroso.

propriedades escala Curvas: A B C D E F

◀ 15 / 17 ▶

Figura 153 – Captura de tela da resposta correta para a terceira questão do caso: *slide 15*

Na conversa com colegas, vocês pensaram no seguinte:

- 1) Se cada mol de NaOH consome 1 mol de H ionizável, e a concentração de ácido titulado é igual a de NaOH titulante, devemos esperar que: as curvas para os ác. sulfuroso e sulfúrico são como E e B, respectivamente; e as curvas para os ác. benzeno e metanossulfônicos são como A ou C.
- 2) Sendo os ácidos sulfúrico, benzeno e metanossulfônicos fortes, as curvas esperadas para estes ácidos são como B ou C.
- 3) Sendo o ácido sulfuroso um ácido fraco, a curva esperada é como A.
- 4) As curvas D e F não são esperadas, pois o titulante é NaOH, uma base.

O que você pode dizer destas ideias? **(Clique nas curvas abaixo caso não se lembre delas)**

2 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis. 1 e 4 são totalmente corretas.

Apenas 3 e 4 são corretas. 1 e 2 são incorretas pois não consideram a estequiometria da reação.

1 é parcialmente correta pois desconsidera os pKas dos possíveis ácidos. 2 é totalmente correta. ✓

3 é parcialmente correta pois desconsidera o número de H ionizáveis e os pKas do ácido sulfuroso.

propriedades escala Curvas: A B C D E F

◀ 15 / 17 ▶

Figura 154 – Captura de tela da questão *drag and drop* para revisão das curvas e dos valores de pKa: *slide 16*

Arraste as curvas e as informações sobre alguns ácidos nos grupos correspondentes:

pKa 1 = 1,8 pKa 2 = 7,2	pKa = 4,8	pKa 1 = -3 pKa 2 = 2	pKa = -2
Ácido HX fraco	Ácido HX forte	Ácido H ₂ X fraco	Ácido H ₂ X forte

◀ 16 / 17 ▶

Figura 155 – Captura de tela da resposta correta para a questão *drag and drop* para revisão das curvas e dos valores de pKa: *slide 16*

Ácido HX fraco	Ácido HX forte	Ácido H ₂ X fraco	Ácido H ₂ X forte
pKa = 4,8 ✓	pKa = -2 ✓	pKa 1 = 1,8 pKa 2 = 7,2 ✓	pKa 1 = -3 pKa 2 = 2 ✓

★ 1/1

◀ 16 / 17 ▶

Figura 156 – Captura da tela final do segundo módulo da atividade: *slide 17*

E você, o que acha?

Bora fazer os experimentos!

Clique em 3. O ácido em Pindaiatuba:
experimentos e laudo técnico no canto inferior
direito desta tela para a próxima atividade.



APÊNDICE E – O Ácido em Pindaiatuba: Experimentos e Laudo Técnico

Figura 157 – Captura da tela inicial da atividade com experimentos e laudo técnico

3. O ácido em Pindaiatuba: experimentos e laudo técnico

Resolvendo o caso: laudos e experimentos

Chegou a hora de resolver o problema de identificar o ácido derramado. Nesta etapa você deve emitir um laudo técnico como especialista químico. No laudo, é preciso indicar o ácido derramado, justificando seus argumentos. Como prova e embasamento de seus argumentos, devem ser anexados ao lado o experimento exploratório e o experimento mais preciso.

Instruções:

1 - Baixe os arquivos:

- Laudo pericial;
- Experimentos;

Roteiro com instruções passo a passo para os simuladores.

Observação: há arquivos para os formatos compatíveis com o Office Excel e Word (.xlsx e .docx) e para LibreOffice (.ods e .odt), baixe as versões que você possa utilizar em seu computador.

2 - Siga as instruções do roteiro dos simuladores e crie uma planilha com os dados de seu experimento.

3 - Faça upload dos arquivos produzidos nomeando-os com nome e nº USP:

- Laudo pericial;
- Experimentos;

Laudo_Pericial_Nome NUSP.docx ou .odt
Experimentos_Nome NUSP.xlsx ou .ods
Roteiro.pdf

Experimentos_Nome NUSP.ods	24 março 2021, 17:04
Experimentos_Nome NUSP.xlsx	24 março 2021, 17:04
Laudo_Pericial_Nome NUSP.docx	4 fevereiro 2021, 15:19
Laudo_Pericial_Nome NUSP.odt	4 fevereiro 2021, 15:19
Roteiro.pdf	24 março 2021, 17:04

Figura 158 – Captura de tela da parte A do roteiro dos experimentos

PARTE A - BAIXAR E RENOMEAR OS ARQUIVOS DA ATIVIDADE

PASSO 1 – BAIXE O ARQUIVO E RENOMEIE COM OS SEUS DADOS:

Renomear os arquivos baixados do *Moodle* com seu nome e nº USP, conforme o modelo abaixo:

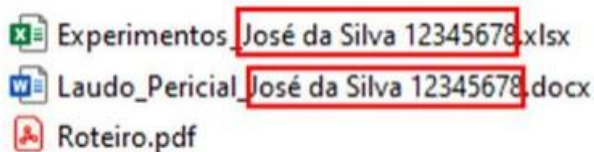
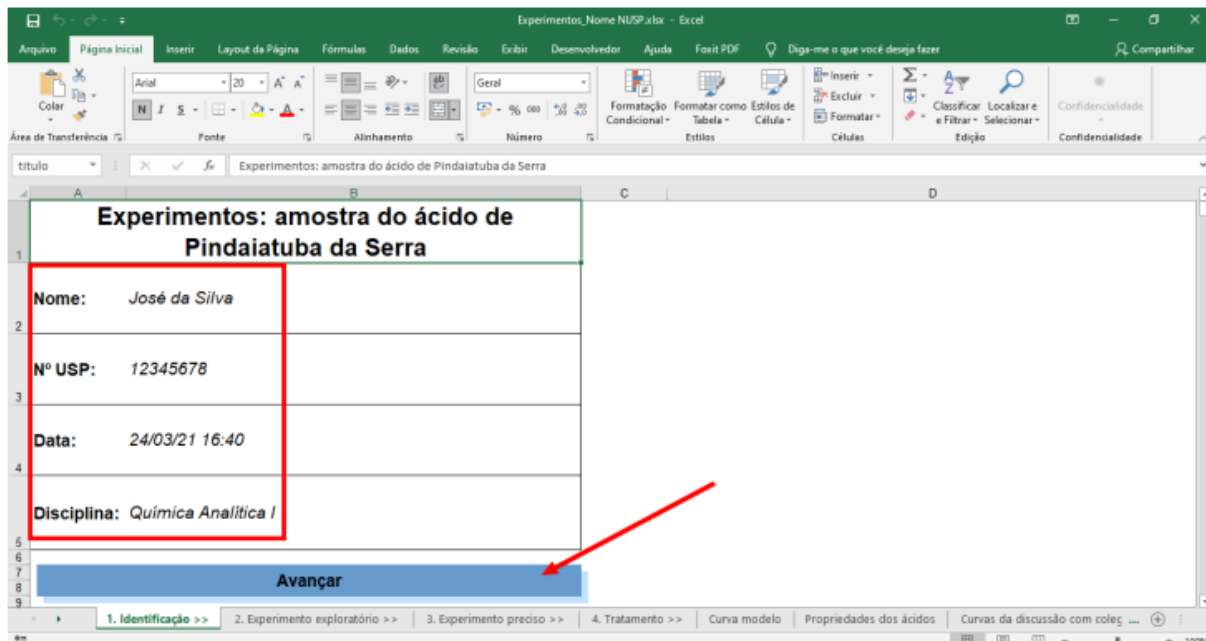


Figura 159 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 1
PARTE B - FAZER OS EXPERIMENTOS VIRTUAIS

PARA OS EXPERIMENTOS, SIGA OS PASSOS ABAIXO:

PASSO 1 – ABRA O ARQUIVO DA PLANILHA E INSIRA SEUS DADOS NO ARQUIVO:

Abriu o arquivo dos experimentos e completar com as suas informações. Ao concluí-las, clique em Avançar para seguir para a aba “2. Experimento exploratório >>”:



SALVE SEU TRABALHO!



Figura 160 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 2
PASSO 2 – CLIQUE NO LINK DO VÍDEO NA PLANILHA:

Clicar na imagem ou copiar e colar o link da planilha em seu navegador para abrir o vídeo.

Experimentos_Nome NUSP.xlsx - Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Desenvolvedor Ajuda Ferramentas Diga-me o que você deseja fazer Compartilhar

Área de Transferência Fonte Alinhamento Número

Formato Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Células Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar Edição Confidencialidade

Experimento exploratório

4 INSTRUÇÕES

5 Clique no link do vídeo e coloque-o lado a lado da tabela;

6 Pause o vídeo e anote o volume marcado na bureta;

7 Estime o pH, comparando a cor da solução no béquer com a escala de cores fornecida;

8 A planilha tem um gráfico já montado de pH versus volume de NaOH na próxima aba;

9 Após completar os dados e obter o gráfico na aba ao lado, complete a tabela da aba "Tratamento".

10

11 Indicador

Vol. de NaOH (mL)	pH
0,00	0

12

13

14

15

16

17

1. Identificação >> 2. Experimento exploratório >> 3. Experimento preciso >> 4. Tratamento >> Curva modelo Propriedades dos ácidos Curvas da discussão com coleg...

https://youtu.be/3xX8UOs01Mg

Figura 161 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 3
PASSO 3 – REDIMENSIONE AS JANELAS DA PLANILHA E DO VÍDEO

Redimensionar as janelas da planilha e do vídeo, de modo a tê-las lado a lado, conforme a imagem abaixo:

Arquivo Págo Inser Layo Fóm Dada Revi Exibi Do

Área de Transferência Fonte Alinhamento Número

Experimento exploratório

Vol. de NaOH (mL)	pH
0,00	0

11

12

13

14

15

16

17

18

19

1. Identificação >> ...

youtube.com/watch?app=desktop&v=3xX8UOs01Mg&feature=youtu.be

YouTube Pesquisar

13

14

15

16

17

pH=1

pH=2

pH=3

pH=4

pH=5

pH=6

pH=7

pH=8

pH=9

pH=10

pH=11

pH=12

Titulação ácido-base exploratória

Não listado

33 visualizações · 2 de jan. de 2021

1 0 COMPARTILHAR SALVAR

Figura 162 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 4
PASSO 4 – USE O SIMULADOR

1. Clique no vídeo para iniciá-lo.
2. Pause para fazer a leitura do volume da bureta. Repita os passos 1 e 2 para cada leitura.
3. Compare a cor da reação no béquer com o pH pela escala de cores. Estime o pH.
4. Clique na janela da planilha e selecione a célula para inserir os dados.
5. Insira os dados da leitura (volume e pH).

The screenshot shows a YouTube video titled "Titulação ácido-base exploratória" with 33 visualizações. The video content includes a burette with a scale from 14 to 17 mL, a beaker with a red liquid, and a color scale for pH from 1 to 11. Callout boxes indicate the following steps: 1 and 2 point to the burette scale, 3 points to the color scale, and 4 and 5 point to an Excel spreadsheet.

Indicador	
Vol. de NaOH (mL)	pH
0,00	0

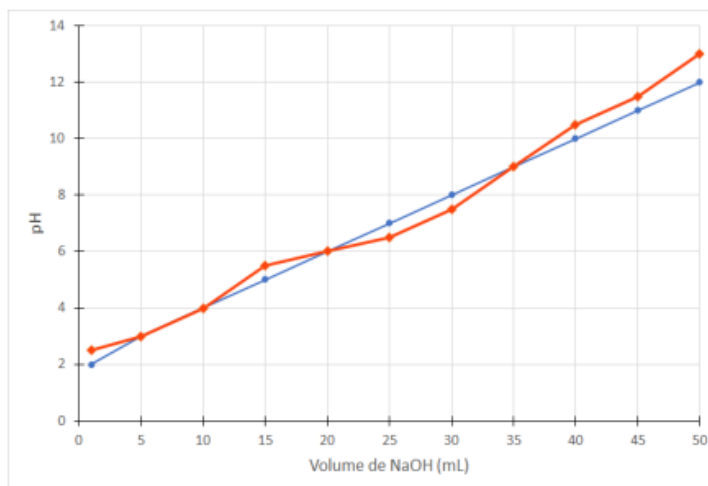
6. Faça isso sucessivamente até terminar os dois experimentos (exploratório e preciso). Não é necessário que o número de pontos seja igual ao número de linhas da tabela. Portanto, não precisa completar a tabela para preencher todas as linhas. Caso falem linhas, continue adicionando os pontos ao final das tabelas.

7. SALVE SEU TRABALHO!



Figura 163 – Captura de tela da parte B do roteiro dos experimentos: passo 5
PASSO 5 – TRATAMENTO DE DADOS

Após completar os dados das tabelas dos dois experimentos, avance para a aba “4. Tratamento >>”. Lá será gerado um gráfico automaticamente com os dados que você anotou. Examine esse gráfico.



(Seu gráfico não precisa ser igual a esse).

Complete a tabela com base na análise do seu gráfico.

Se precisar, consulte as abas com informações adicionais: “Curva modelo”, “Propriedades dos ácidos”, “Curvas da discussão com colegas” e “O que é o pKa”. Estas abas são de caráter apenas informativo.

É nessa etapa que você buscará atribuir significado aos dados experimentais.

A	B	C	D	E	F	G
Tipo de dados	Valor obtido (caso não haja, assinale como não existente)	Qual ácido este(s) valor(es) sugere(m)?	Comentários que você considere pertinentes			
31	Número de pontos de inflexão observados					
32	Vol. de NaOH consumido até o 1º ponto de inflexão					
33	Vol. de NaOH consumido até o 2º ponto de inflexão (se houver)					
34	Vol. de NaOH consumido até o 3º ponto de inflexão (se houver)					
35	Valor estimado de pKa1					
36	Valor estimado de pKa2 (se houver)					
37	Valor estimado de pKa3 (se houver)					
38						

Abas disponíveis: 3. Experimento preciso >> 4. Tratamento >> Curva modelo Propriedades dos ácidos Curvas da discussão com colegas O que é o pKa

SALVE SEU TRABALHO!

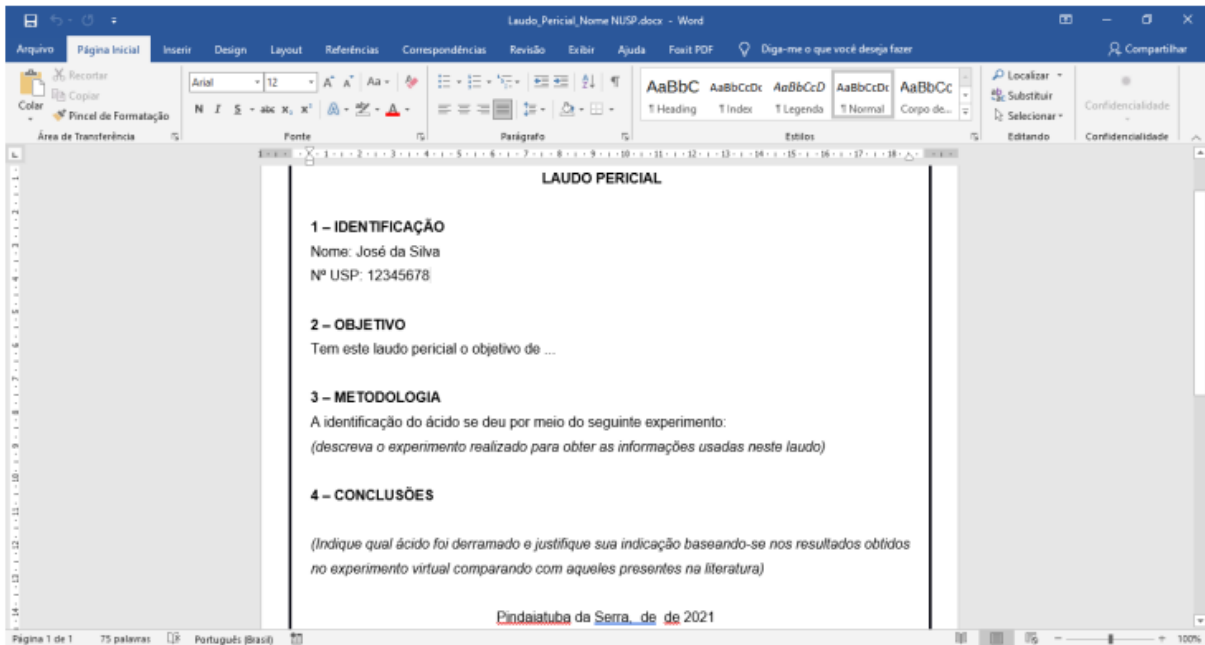


Figura 164 – Captura de tela da parte C do roteiro dos experimentos

PARTE C - ELABORE O LAUDO TÉCNICO SOBRE O ÁCIDO DERRAMADO

Abra o arquivo “Laudo_Pericial_Nome NUSP.docx ou .odt”

O arquivo é um modelo de laudo técnico simplificado. Edite este arquivo, incluindo as informações pertinentes em cada parte.



Ao justificar suas conclusões no laudo, faça referência às suas interpretações no experimento virtual com as amostras.

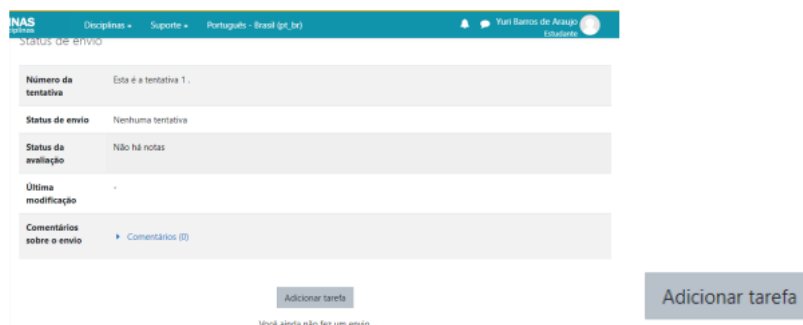
SALVE SEU TRABALHO!



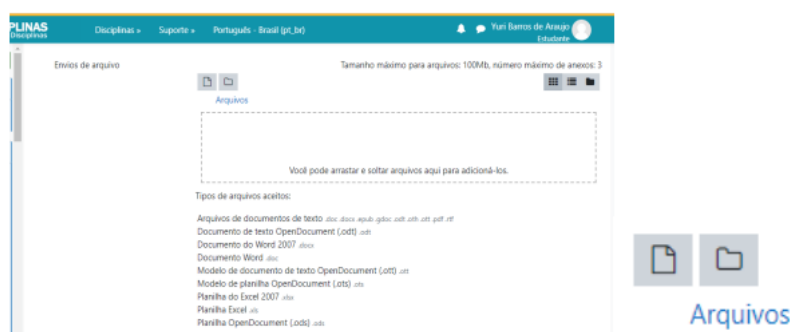
Figura 165 – Captura de tela da parte D do roteiro dos experimentos PARTE D – FAÇA O UPLOAD DOS ARQUIVOS DOS EXPERIMENTOS E DO LAUDO NA TAREFA DO E- DISCIPLINAS:

Faça o *upload* (envio) dos 3 arquivos (Experimento Exploratório, Experimento Preciso e Laudo Pericial) na tarefa dentro *Moodle e-Disciplinas*.

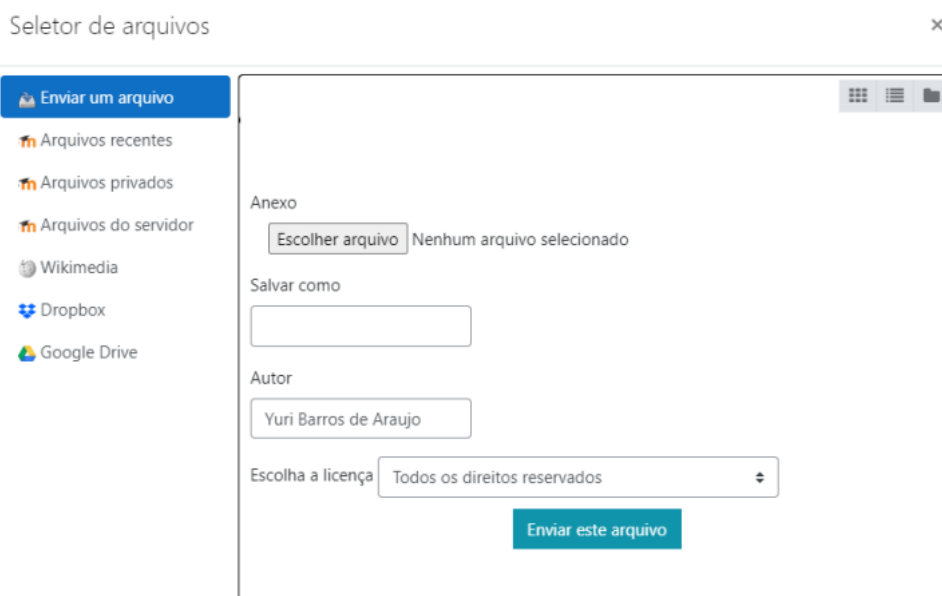
1. Clique na atividade
2. Clique em Adicionar Tarefa



3. Na tela seguinte, clique no ícone para enviar arquivos.



4. Escolha o arquivo que você deve enviar e clique em "Enviar este arquivo". Repita este procedimento para os outros dois arquivos.



5. Ao final, clique em "Salvar mudanças"

Salvar mudanças

Cancelar

Figura 166 – Captura de tela da aba “1. Identificação” da atividade

Experimentos: amostra do ácido de Pindaiatuba da Serra

Nome: José da Silva

Nº USP: 12345678

Data: 08/01/22 22:42

Disciplina: Química Analítica I

Avançar

Figura 167 – Captura de tela da aba “2. Experimento exploratório” da atividade

INSTRUÇÕES

- Clique no link do vídeo e coloque-o lado a lado da tabela;
- Pause o vídeo e anote o volume marcado na bureta;
- Estime o pH, comparando a cor da solução no béquer com a escala de cores fornecida;
- A planilha tem um gráfico já montado de pH versus volume de NaOH na próxima aba;
- Após completar os dados e obter o gráfico na aba ao lado, complete a tabela da aba "Tratamento".

Indicador

Vol. de NaOH (mL)	pH
0,00	0

Clique aqui para abrir o vídeo do experimento

<https://youtu.be/3xX8UOsO1Mg>

Figura 168 – Captura de tela da aba “3. Experimento preciso” da atividade

The screenshot shows the Excel interface for the 'Experimento preciso' tab. The instructions are as follows:

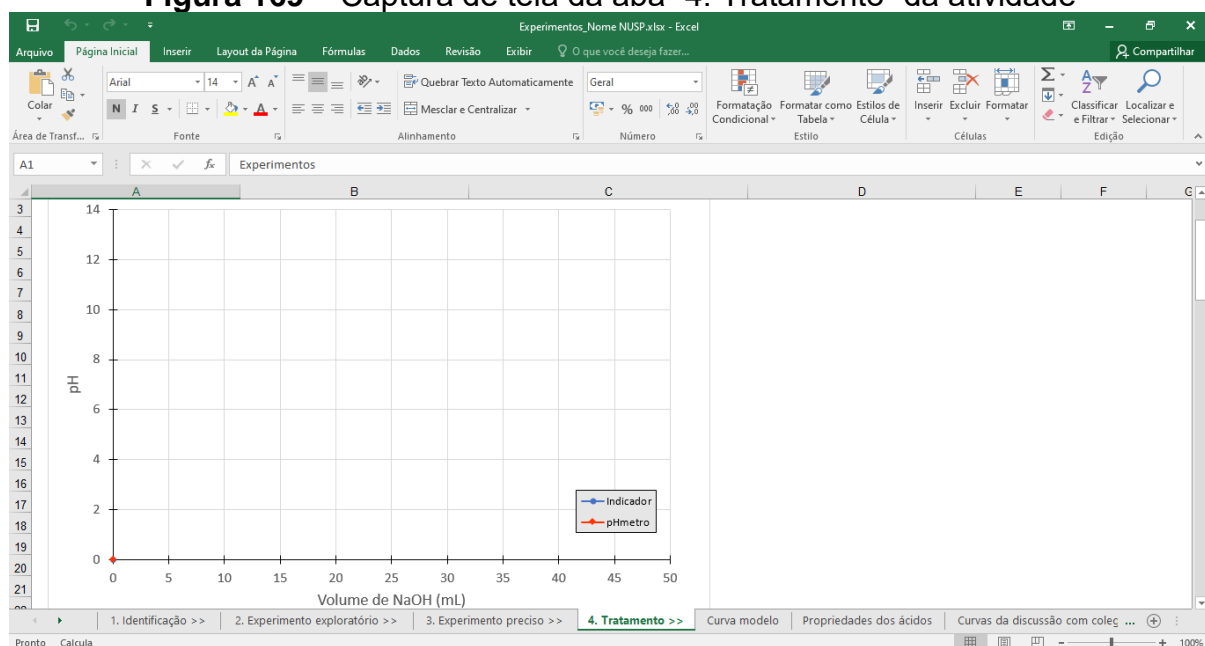
- Clique no link do vídeo e coloque-o lado a lado da tabela;
- Pause o vídeo e anote o volume marcado na bureta;
- Estime o pH, comparando a cor da solução no béquer com a escala de cores fornecida;
- A planilha tem um gráfico já montado de pH versus volume de NaOH na próxima aba;
- Após completar os dados e obter o gráfico na aba ao lado, complete a tabela da aba "Tratamento".

Below the instructions is a table titled 'pHmetro' with the following data:

Vol. de NaOH (mL)	pH
0,00	0

To the right of the table is a video thumbnail with the text 'Clique aqui para abrir o vídeo do experimento' and a URL: <https://youtu.be/INxb8z-qOo>. The video shows a burette and a pH meter.

Figura 169 – Captura de tela da aba “4. Tratamento” da atividade



Observe o gráfico obtido em seu experimento.
Preencha a tabela abaixo com base nos dados obtidos em seu gráfico.

Caso necessite, consulte as abas "Curva modelo", "Propriedades dos ácidos", "Curvas da discussão com colegas" e "O que é o pKa".

Tipo de dados	Valor obtido (caso não haja, assinale como não existente)	Qual ácido este(s) valor(es) sugere(m)?	Comentários que você considere pertinentes
Número de pontos de inflexão observados			
Vol. de NaOH consumido até o 1º ponto de inflexão			
Vol. de NaOH consumido até o 2º ponto de inflexão (se houver)			
Vol. de NaOH consumido até o 3º ponto de inflexão (se houver)			
Valor estimado de pKa1			
Valor estimado de pKa2 (se houver)			
Valor estimado de pKa3 (se houver)			

Figura 170 – Captura de tela da aba “Curva modelo” da atividade

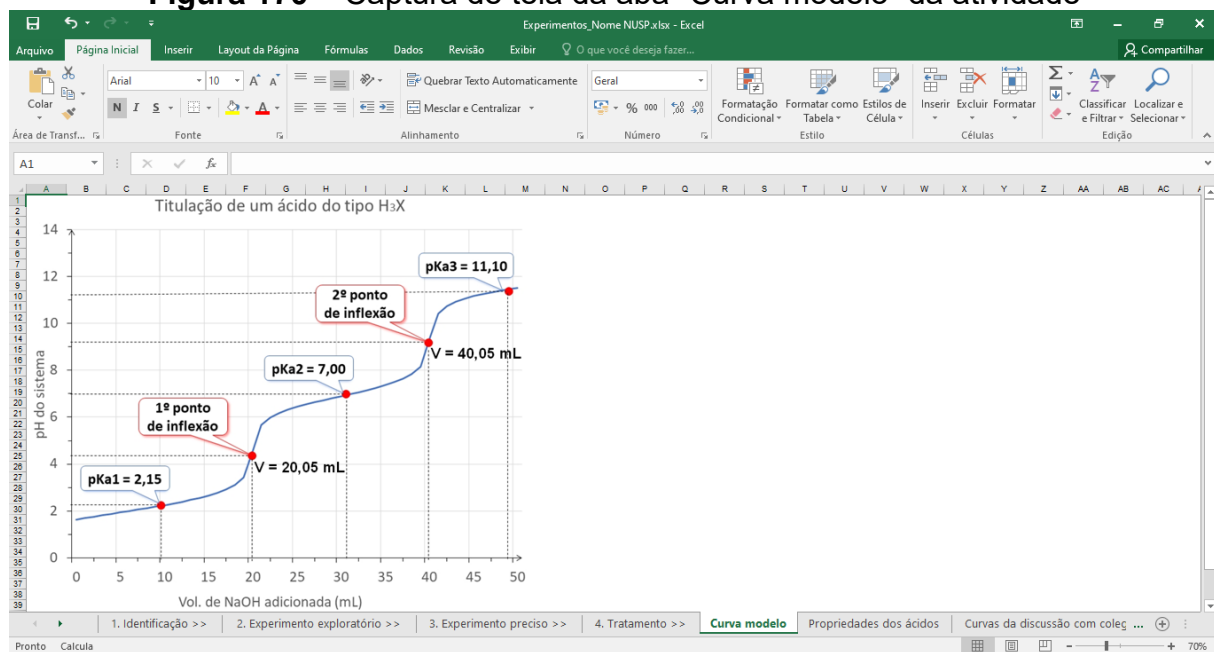


Figura 171 – Captura de tela da aba “Propriedades dos ácidos” da atividade

Ácido	F. Molecular	M. Molar g/mol	Densidade g/cm³	T. Fusão °C	T. Ebulição °C	pKa1	pKa2	Força
Sulfúrico	H_2SO_4	98,1	1,8	10	337	-3	2	Forte
Sulfuroso	H_2SO_3	82,1	1	-	-	1,8	7,2	Fraco
Metanosulfônico	CH_3O_3S	96,1	1,5	20	167	-1,9	-	Forte
Benzenosulfônico	$C_6H_5O_3S$	158,2	1,3	51	190	-2,8	-	Forte

Fonte: [PubChem](#)

1. Identificação >> 2. Experimento exploratório >> 3. Experimento preciso >> 4. Tratamento >> Curva modelo Propriedades dos ácidos

Figura 172 – Captura de tela da aba “Curva da discussão com colegas” da atividade

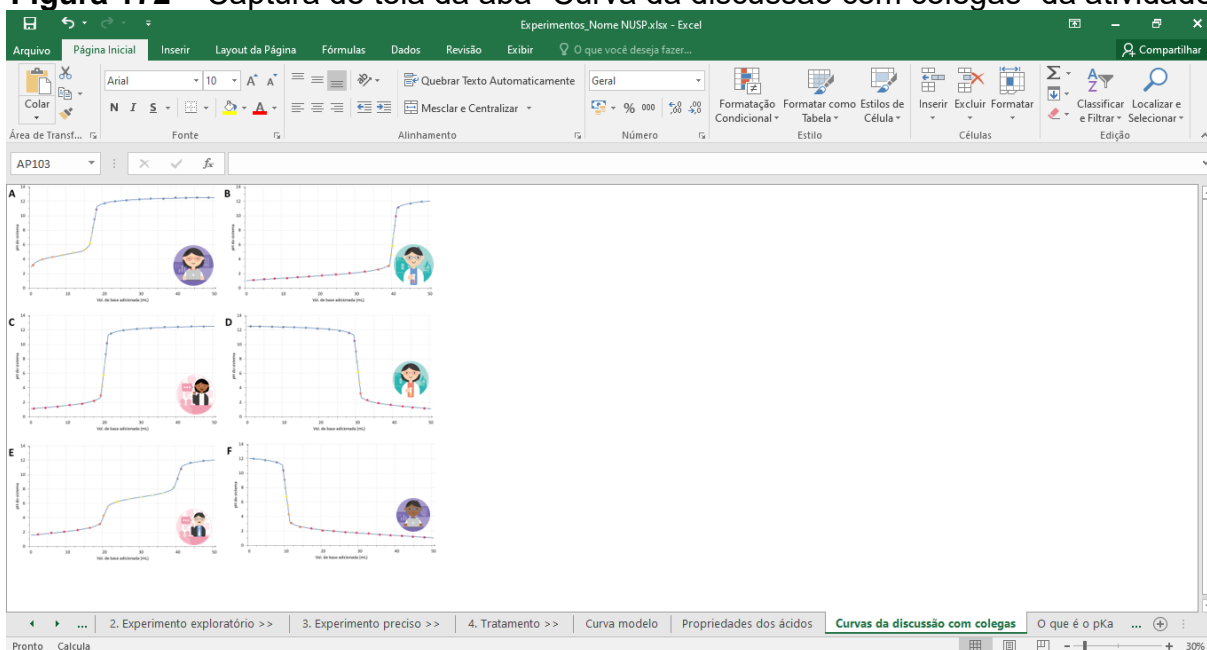


Figura 173 – Captura de tela da aba “O que é pKa” da atividade: parte 1

O que é o pKa?

pKa é a forma logarítmica da constante de ionização de um ácido, Ka:

$$pKa = -\log Ka$$

O prefixo “p” indica então, -log de alguma coisa. Lembrando que Ka pode ser escrito como:

$$Ka = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$$

A forma logarítmica desta equação torna-se:

$$\log Ka = \log [H^+] + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Rearranjando, temos:

$$-\log [H^+] = -\log Ka + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \text{ou} \quad pH = pKa + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Figura 174 – Captura de tela da aba “O que é pKa” da atividade: parte 2

Teoricamente, pKa corresponde a composição de máximo tamponamento, isto é, composição na qual a variação no pH é menos sensível à adição de ácidos ou bases ao sistema. Isto ocorre quando $[A^-] = [HA]$.

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

se $[A^-] = [HA]$:

$$\frac{[A^-]}{[HA]} = 1$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log 1$$

$$\log 1 = 0$$

$$\text{pH} = \text{pKa}$$

Figura 175 – Captura de tela do laudo pericial a ser preenchido após experimentos

LAUDO PERICIAL

1 – IDENTIFICAÇÃO
 Nome:
 Nº USP:

2 – OBJETIVO
 Tem este laudo pericial o objetivo de ...

3 – METODOLOGIA
 A identificação do ácido se deu por meio do seguinte experimento:
(descreva o experimento realizado para obter as informações usadas neste laudo)

4 – CONCLUSÕES
(Indique qual ácido foi derramado e justifique sua indicação baseando-se nos resultados obtidos no experimento virtual comparando com aqueles presentes na literatura)

Pindaíatuba da Serra, de de 2021

APÊNDICE F – Entendendo os Conceitos

Figura 176 – Captura da tela inicial da atividade 3: Entendendo os conceitos

The screenshot shows a web interface for a course. At the top, there is a navigation bar with the USP logo, 'DISCIPLINAS Apoio às Disciplinas', and user information 'Yuri Barros de Araujo'. Below this, the page title is '4. Entendendo os conceitos'. The main content area features a video player with a play button and the title 'Título: Titulação HAC x NaOH'. To the right of the video is a color calibration strip with pH values from 1 to 9. On the left side, there is a sidebar menu with 'Administração' and 'Navegação' sections. The 'Administração' section includes options like 'HSP', 'Editar configurações', 'Papéis atribuídos localmente', 'Permissões', 'Verificar permissões', 'Filtros', 'Logs', 'Backup', and 'Restaurar'. The 'Navegação' section includes 'Início', 'Painel', 'e-Disciplinas', 'Meus Ambientes', and '2021'.

Figura 177 – Captura de tela com as instruções do experimento da atividade 3

The screenshot shows the same video player as in Figure 176, but with a blue overlay box containing the following text:

Experimento virtual - Leia

Titulação de ácido acético (HAc, $K_a = 1,8 \times 10^{-5}$) a 0,1M com NaOH de mesma molaridade.

Indicador: extrato de repolho roxo.

Há questões no vídeo. Ao terminar, aperte o ícone da estrela para enviar suas respostas.

INICIAR

The video player interface is visible in the background, showing a beaker with a pink liquid and a color calibration strip with pH values from 1 to 12. The video player controls at the bottom show a progress bar at 0:00 / 6:03.

Figura 178 – Captura de tela com a apresentação das escolhas para a atividade 3
Nesta Simulação, o objetivo é terminar um percurso.

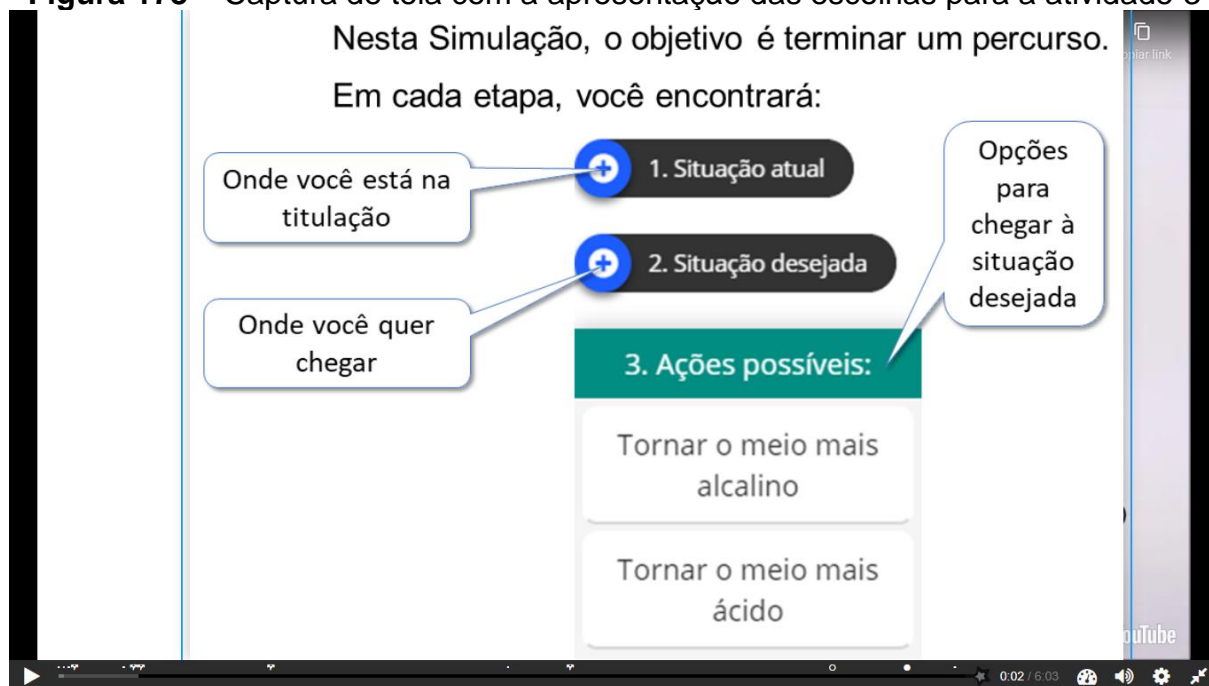


Figura 179 – Captura de tela com a apresentação dos componentes do simulador

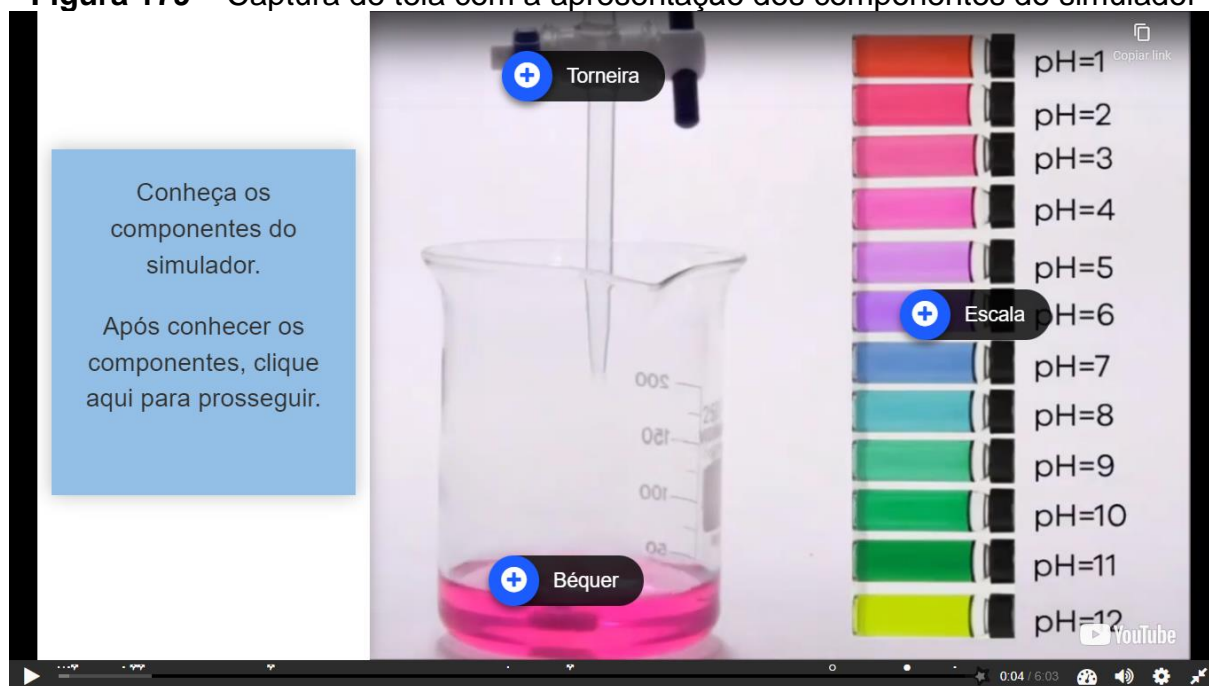


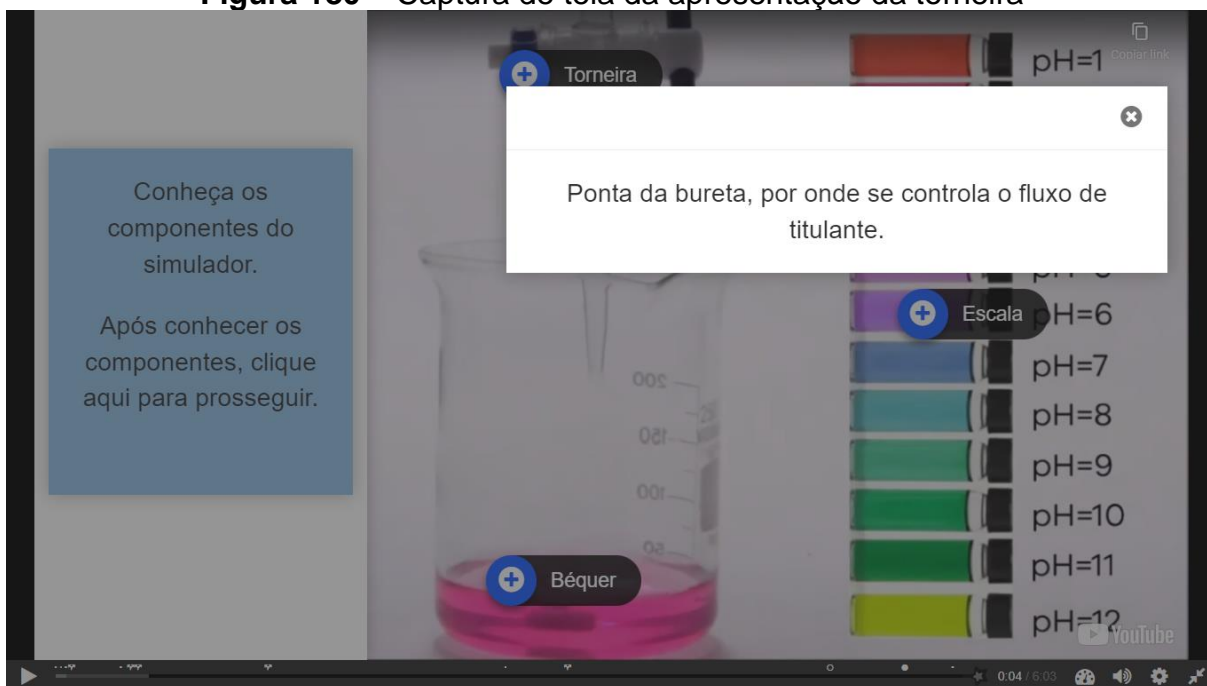
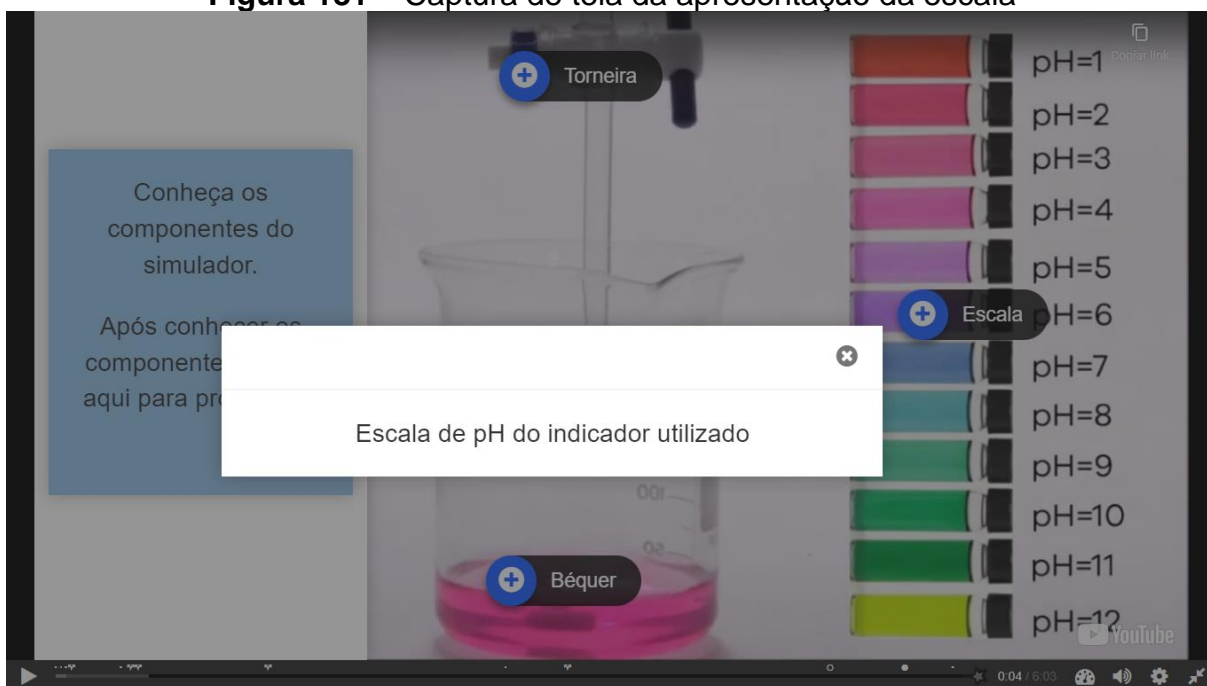
Figura 180 – Captura de tela da apresentação da torneira**Figura 181 – Captura de tela da apresentação da escala**

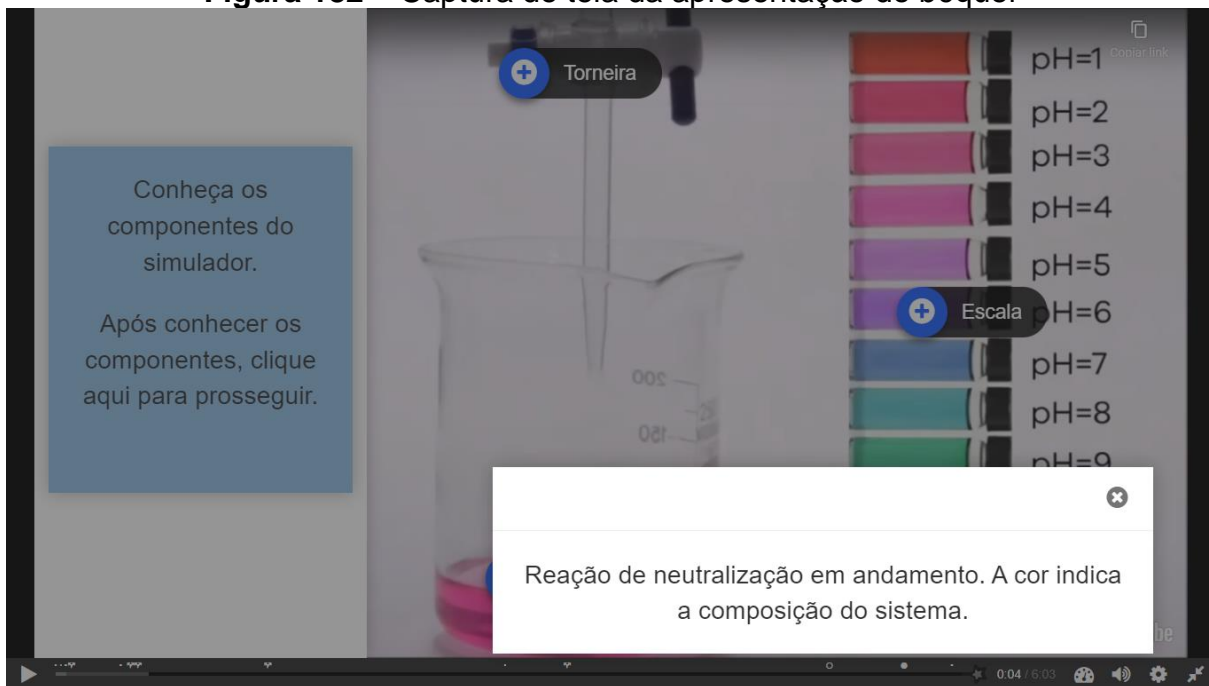
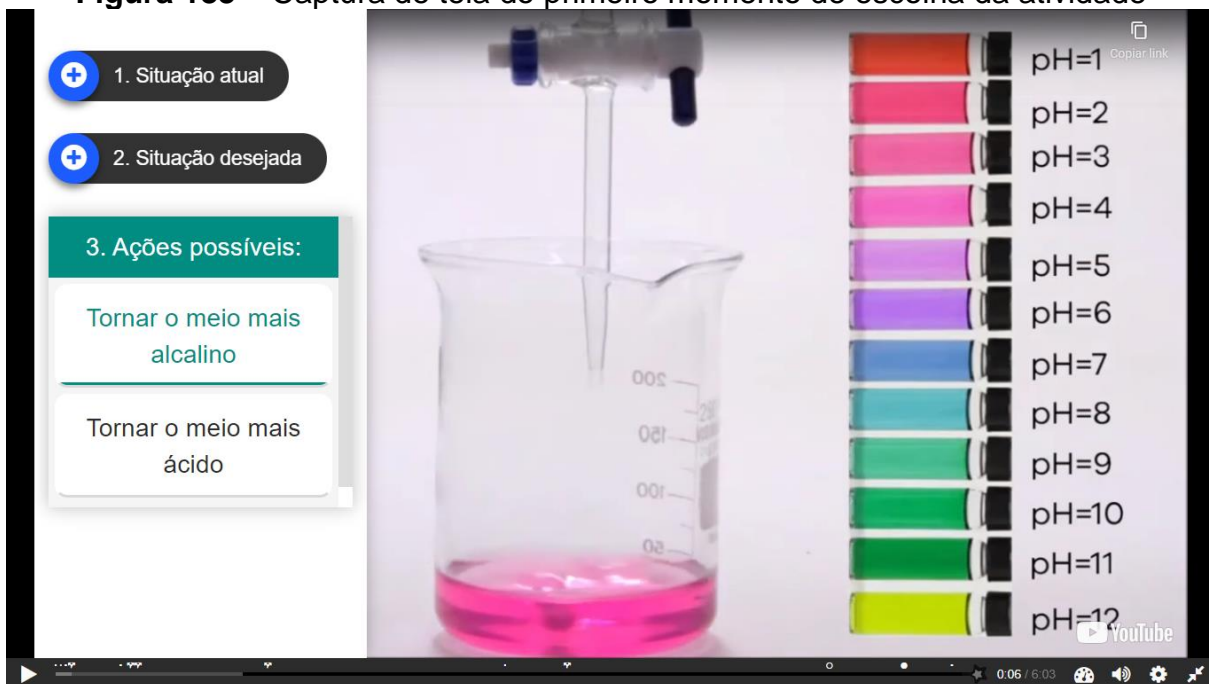
Figura 182 – Captura de tela da apresentação do béquer**Figura 183** – Captura de tela do primeiro momento de escolha da atividade

Figura 184 – Captura de tela da situação atual no primeiro momento de escolha da atividade

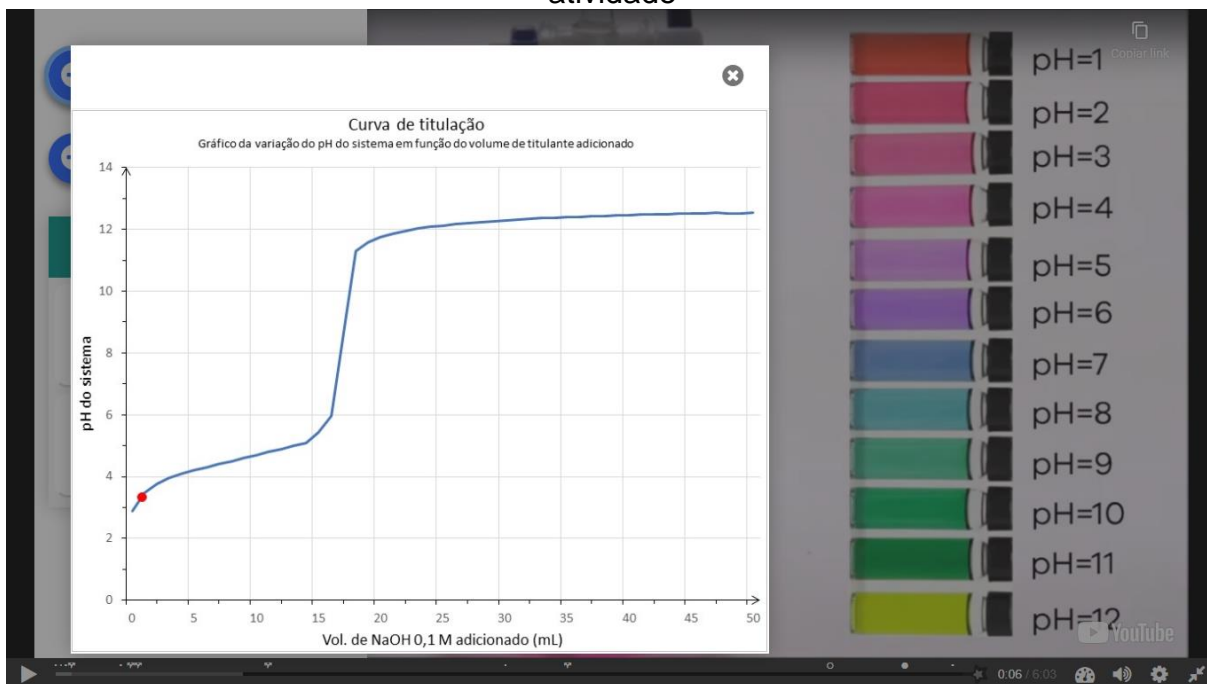


Figura 185 – Captura de tela da situação desejada no primeiro momento de escolha da atividade

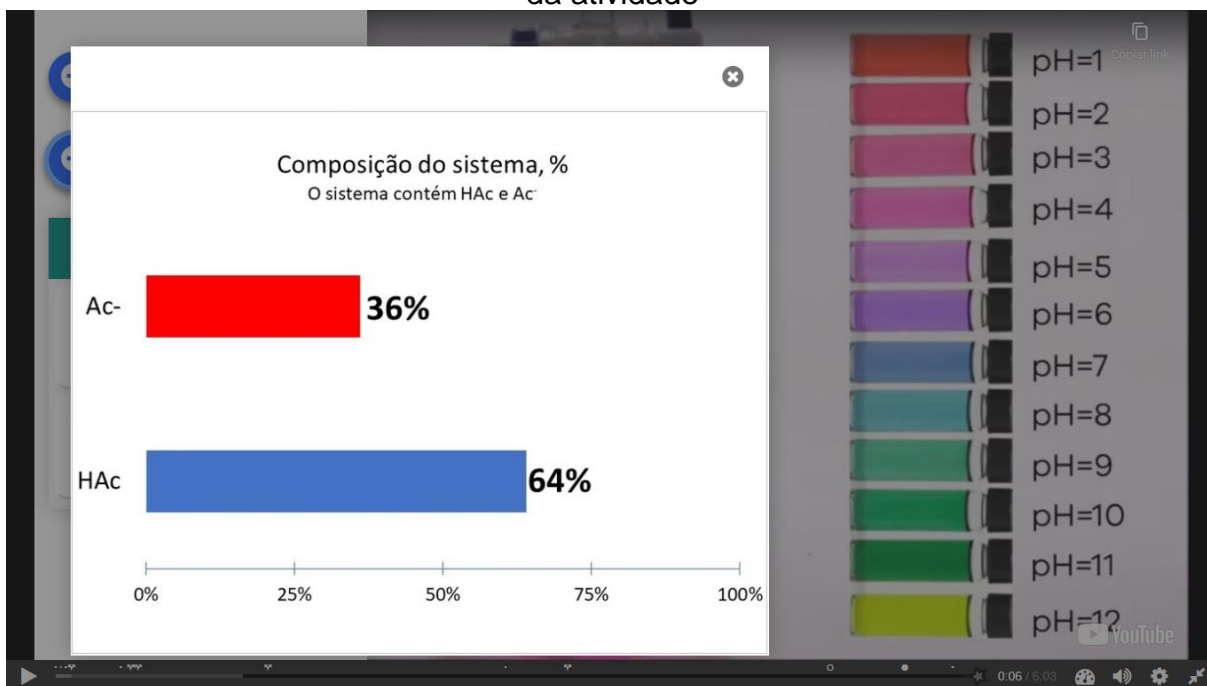
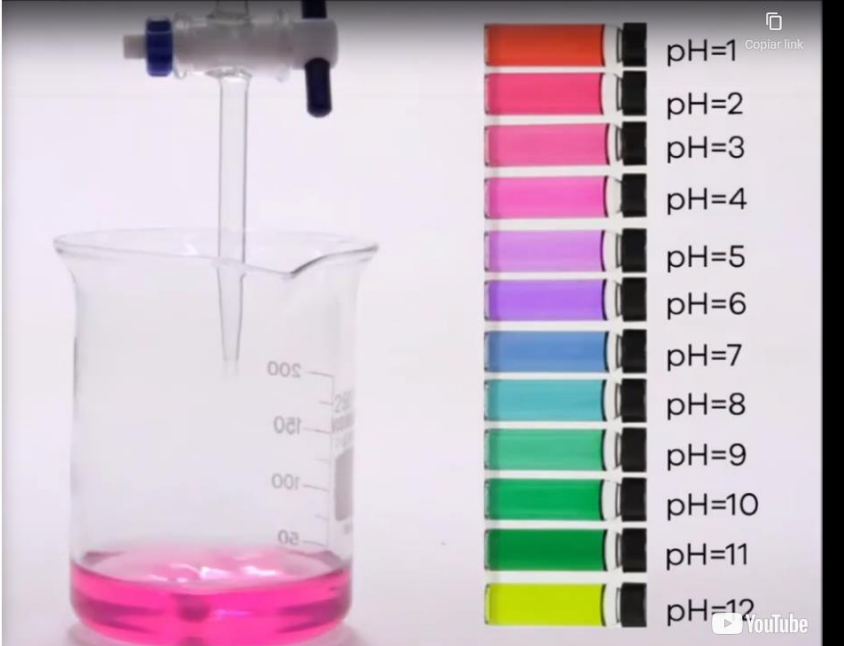


Figura 186 – Captura de tela da resposta esperada para o primeiro momento de escolha da atividade: tornar o meio mais alcalino



The screenshot shows a titration setup with a burette and a beaker containing a pink solution. To the right is a vertical pH color scale with 12 steps, labeled from pH=1 to pH=12. The colors transition from red at the top to yellow at the bottom. The beaker's liquid is currently a bright pink, corresponding to a pH of approximately 3-4.

1. Situação atual

2. Situação desejada

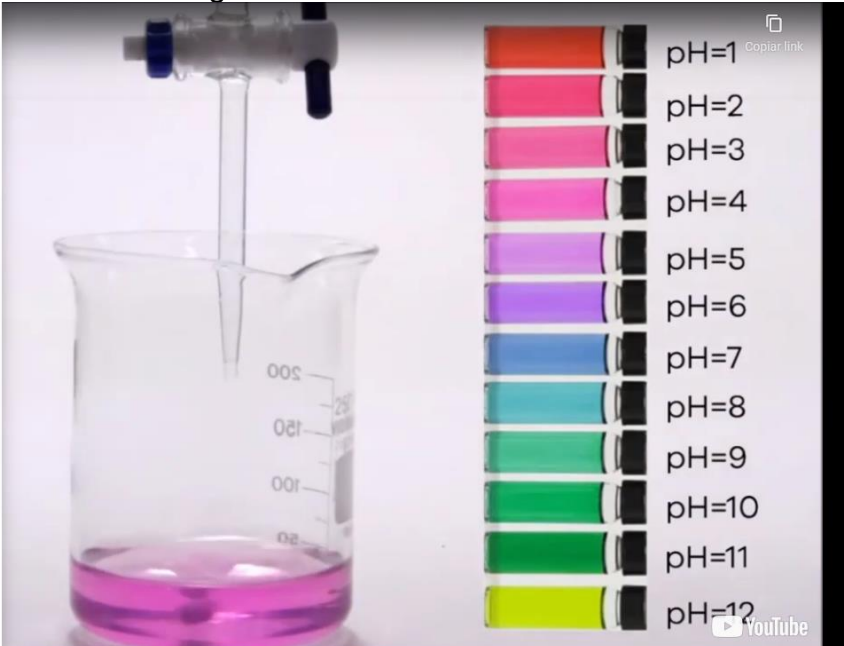
3. Ações possíveis:
Tornar o meio mais alcalino

Adicionar mais base

▶ Continuar

0:06 / 6:03

Figura 187 – Captura de tela do segundo momento de escolha da atividade



The screenshot shows the same titration setup as in Figure 186. The beaker now contains a lighter pink solution, indicating a higher pH. The pH color scale on the right remains the same.

1. Situação atual

2. Situação desejada

3. Ações possíveis:
Tornar o meio mais alcalino
Tornar o meio mais ácido

0:30 / 6:03

Figura 188 – Captura de tela da situação atual no segundo momento de escolha da atividade

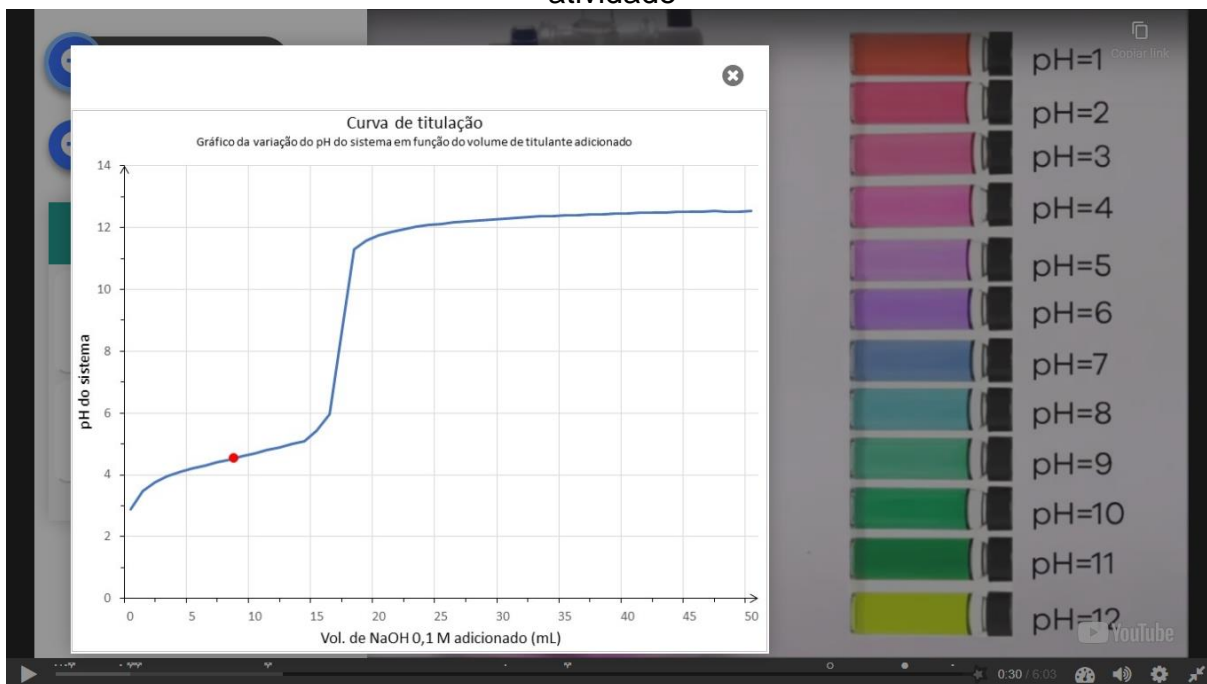


Figura 189 – Captura de tela da situação desejada no segundo momento de escolha da atividade

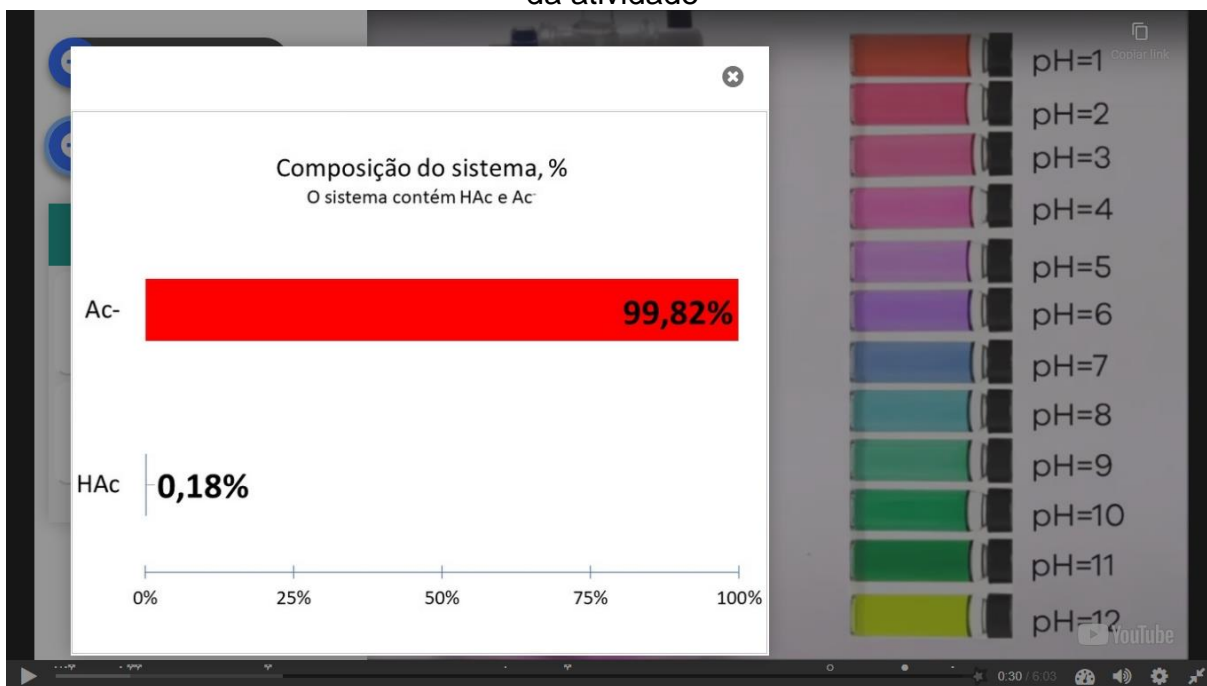


Figura 190 – Captura de tela da resposta esperada para o segundo momento de escolha da atividade: tornar o meio mais alcalino

The screenshot shows a digital interface for a chemistry simulation. On the left, a control panel contains three sections: '1. Situação atual', '2. Situação desejada', and '3. Ações possíveis:'. Under '3. Ações possíveis:', there is a green button labeled 'Tornar o meio mais alcalino', a blue button labeled 'Adicionar mais base', and a blue button labeled 'Continuar'. The main area displays a glass beaker with a pink liquid inside, being filled by a burette. To the right of the beaker is a vertical color scale for pH, ranging from pH=1 (red) to pH=12 (yellow-green). The current color of the liquid in the beaker corresponds to a pH value between 4 and 5.

Figura 191 – Captura de tela do terceiro momento de escolha da atividade

The screenshot shows the same digital interface as in Figure 190. The control panel now shows '3. Ações possíveis:' with three options: 'Tornar o meio mais alcalino' (highlighted in green), 'Tornar o meio mais ácido', and 'Não é possível, pois todo o ácido já foi neutralizado'. The main area shows the beaker with a light blue liquid, and the pH color scale on the right. The current color of the liquid in the beaker corresponds to a pH value between 7 and 8.

Figura 192 – Captura de tela da situação atual no terceiro momento de escolha da atividade

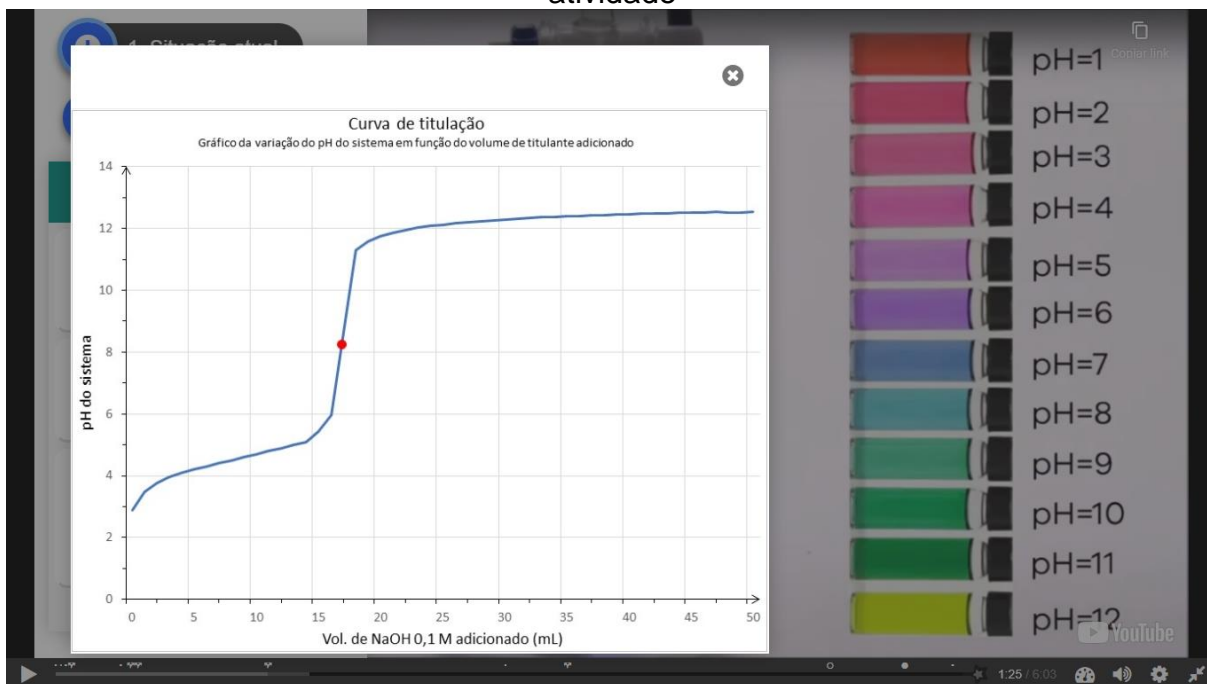


Figura 193 – Captura de tela da situação desejada no terceiro momento de escolha da atividade

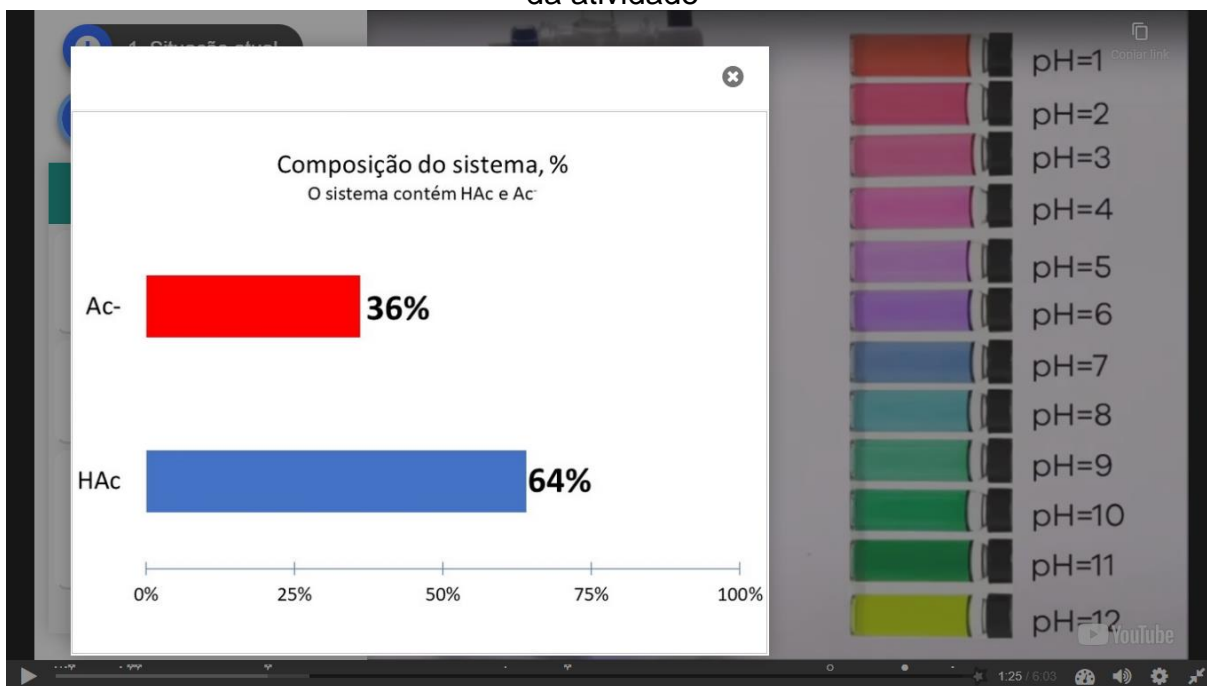
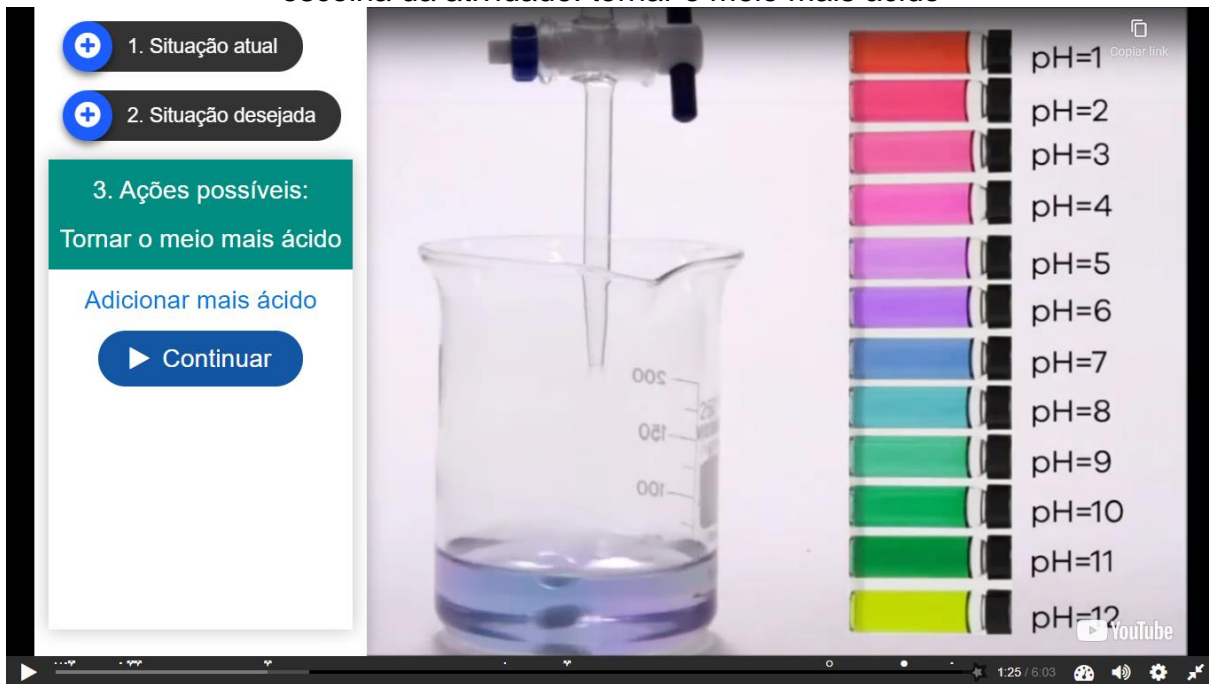
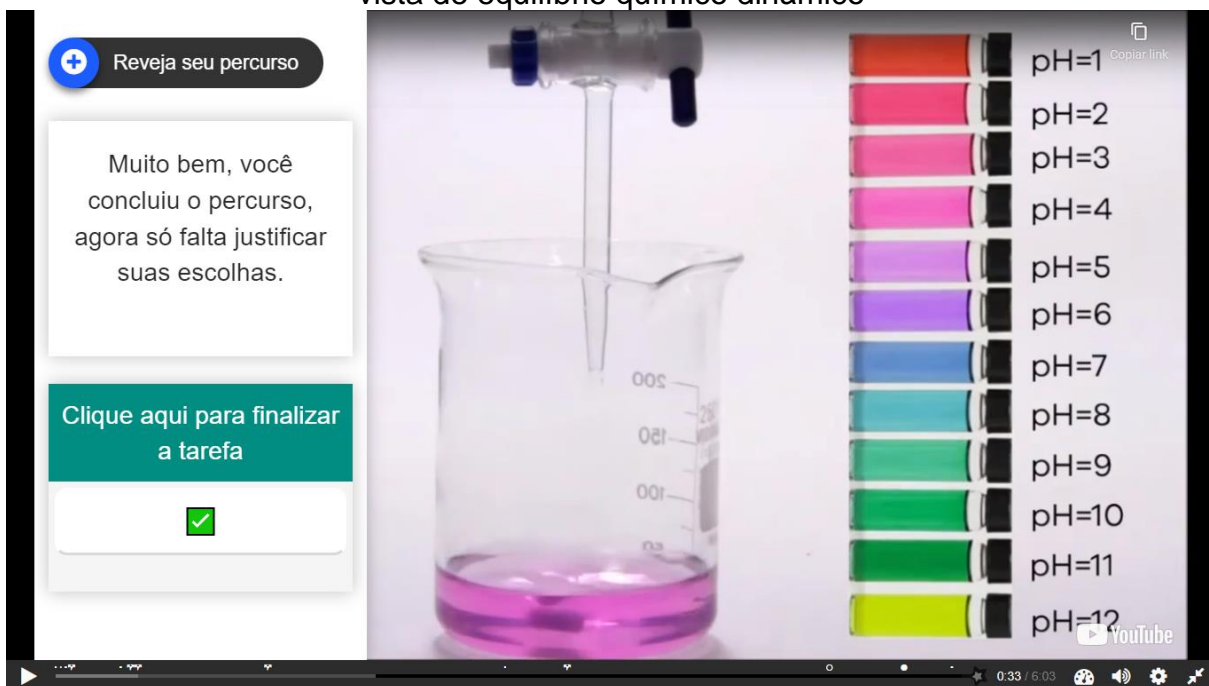


Figura 194 – Captura de tela da resposta esperada para o terceiro momento de escolha da atividade: tornar o meio mais ácido



The screenshot displays an interactive learning interface. On the left, a sidebar contains three sections: '1. Situação atual', '2. Situação desejada', and '3. Ações possíveis: Tornar o meio mais ácido'. Under the third section, there is a button labeled 'Adicionar mais ácido' and a 'Continuar' button. The main area shows a video of a titration setup with a burette and a beaker containing a blue liquid. To the right of the beaker is a vertical color scale for pH, ranging from pH=1 (red) to pH=12 (yellow-green). The video player interface at the bottom shows a progress bar at 1:25 / 6:03.

Figura 195 – Captura de tela da finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico



The screenshot displays the same interactive learning interface as Figure 194, but at the end of the activity. The sidebar now shows a 'Reveja seu percurso' button and a message: 'Muito bem, você concluiu o percurso, agora só falta justificar suas escolhas.' Below this is a green button labeled 'Clique aqui para finalizar a tarefa' and a green checkmark icon. The main area shows the same titration setup, but the liquid in the beaker is now pink, indicating a higher pH. The video player interface at the bottom shows a progress bar at 0:33 / 6:03.

Figura 196 – Captura de tela do percurso realizado pelo ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico

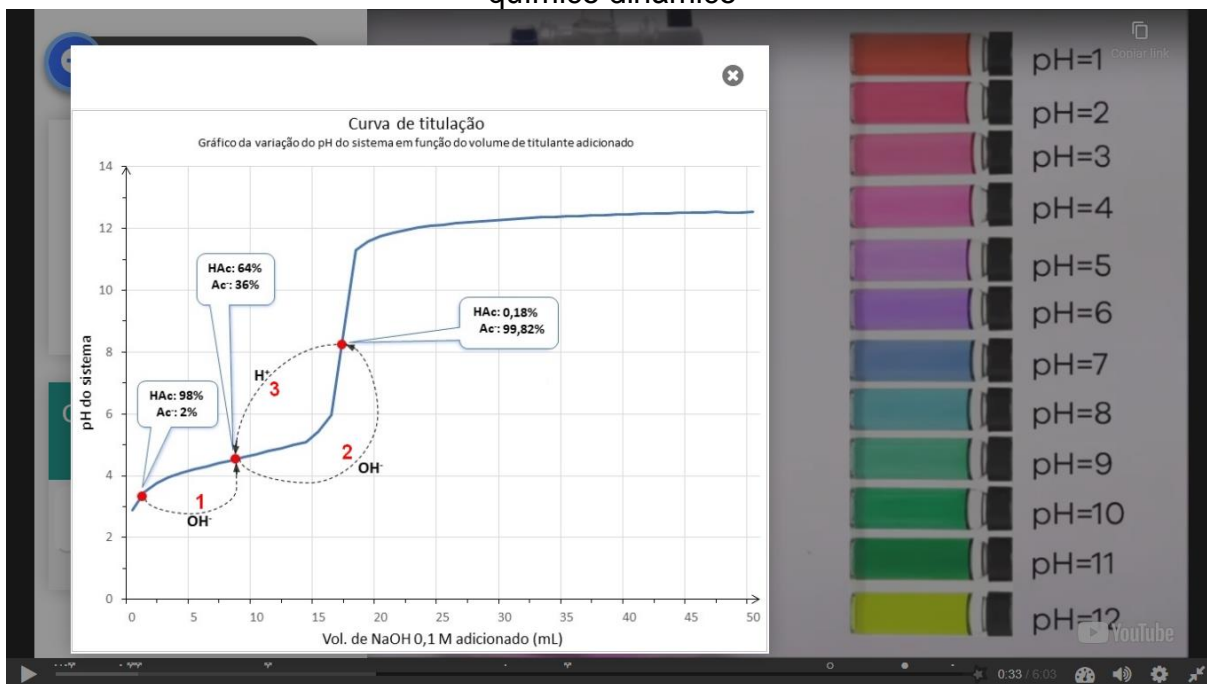


Figura 197 – Captura de tela da resposta alternativa para o terceiro momento de escolha da atividade: não é possível

1. Situação atual

2. Situação desejada

3. Ações possíveis:
Não é possível, pois todo o ácido já foi neutralizado

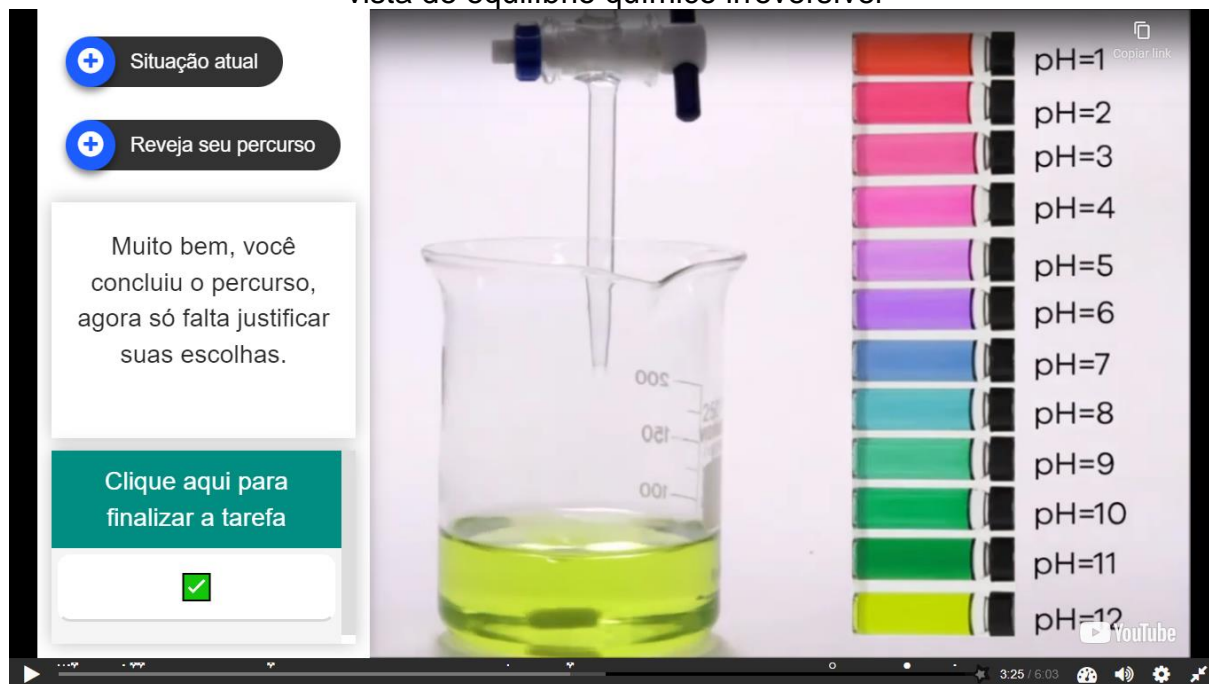
Então a única opção seria jogar mais base para finalizar essa titulação

Continuar

Titration setup: A burette is positioned above a beaker containing a blue liquid.

Color scale on the right: pH=1 to pH=12

Figura 198 – Captura de tela da finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico irreversível



The screenshot displays a chemistry simulation interface. On the left, there are two buttons: "Situação atual" (Current Situation) and "Reveja seu percurso" (Review your path). Below these is a text box that reads: "Muito bem, você concluiu o percurso, agora só falta justificar suas escolhas." (Very good, you have completed the path, now only need to justify your choices). A green button says "Clique aqui para finalizar a tarefa" (Click here to finish the task). A green checkmark is visible below the button. The main area shows a glass beaker containing a yellow liquid, with a burette above it. To the right is a vertical color scale for pH, ranging from pH=1 (red) to pH=12 (yellow-green). The current pH is indicated as 12. The interface also includes a "Copiar link" (Copy link) button and a "YouTube" logo.

Figura 199 – Captura de tela da situação atual na curva de titulação após finalização da atividade pelo percurso do ponto de vista de equilíbrio químico irreversível

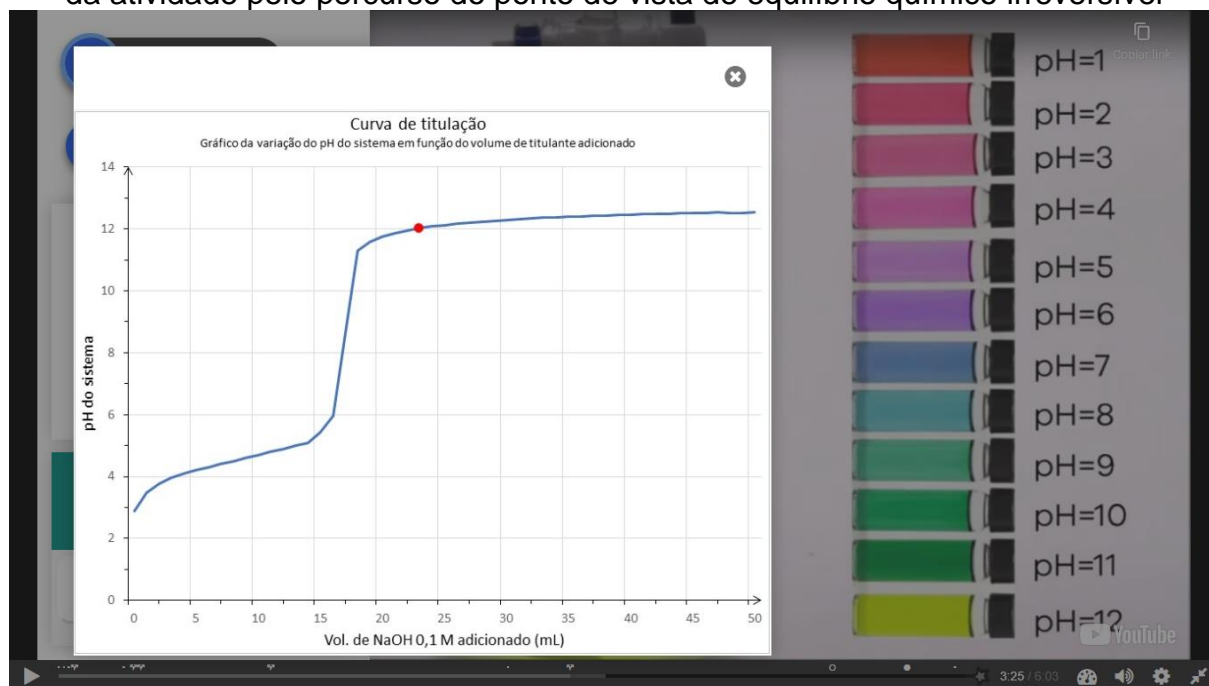


Figura 200 – Captura de tela do percurso realizado pelo ponto de vista de equilíbrio químico irreversível

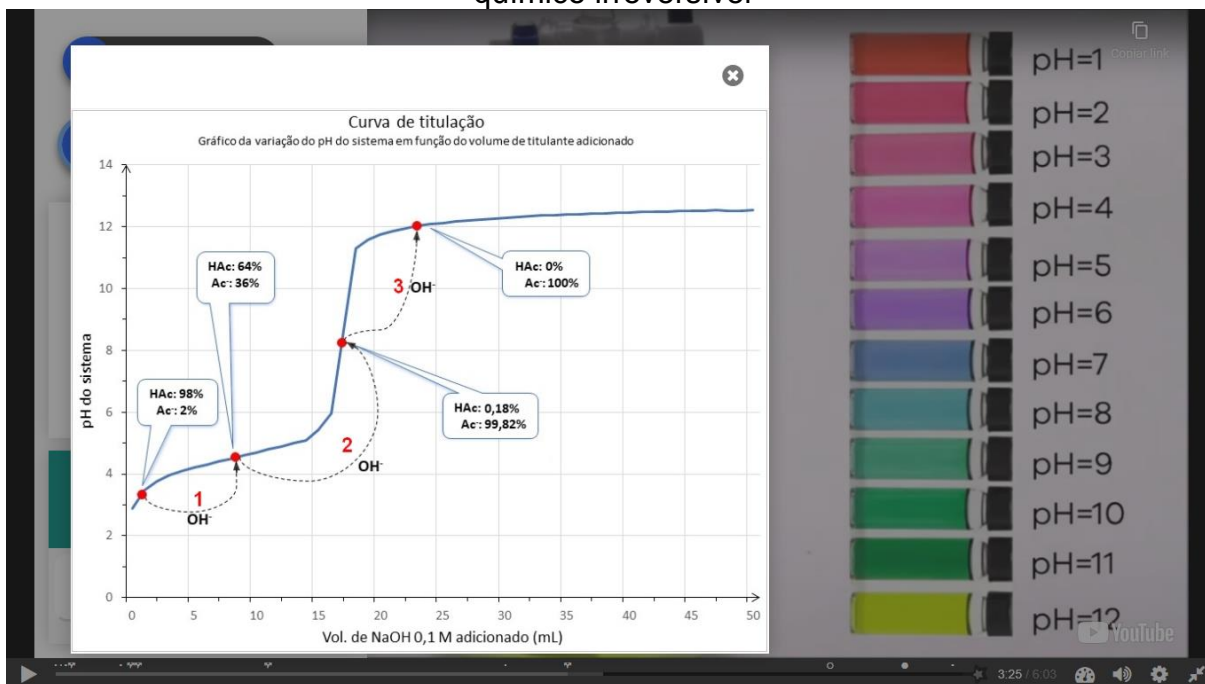


Figura 201 – Captura de tela da questão em que o estudante deve justificar seu percurso

Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético.

Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado.

As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato.

Figura 202 – Captura de tela da resposta esperada sob um ponto de vista de equilíbrio químico dinâmico para a questão em que o estudante deve justificar seu percurso

Selecione qual dos argumentos abaixo melhor explica as respostas anteriores:

Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo parcial. É possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos enquanto houver ácido acético e acetato no sistema. Então, após a total conversão do ácido acético em acetato, a adição de ácido não regenera o ácido acético.

Após neutralização total do ácido acético e sua conversão em acetato, a adição de um ácido forte ao sistema apenas neutralizará o excesso de base. O meio ficará ácido, mas o ácido acético em si não será regenerado.

As quantidades relativas de ácido acético e acetato dependem do pH do sistema. Sendo um ácido fraco, a ionização do ácido acético é um processo reversível, portanto, é possível alterar a composição do sistema por meio da adição de bases ou ácidos, mesmo após a total conversão do ácido acético em acetato. ✓

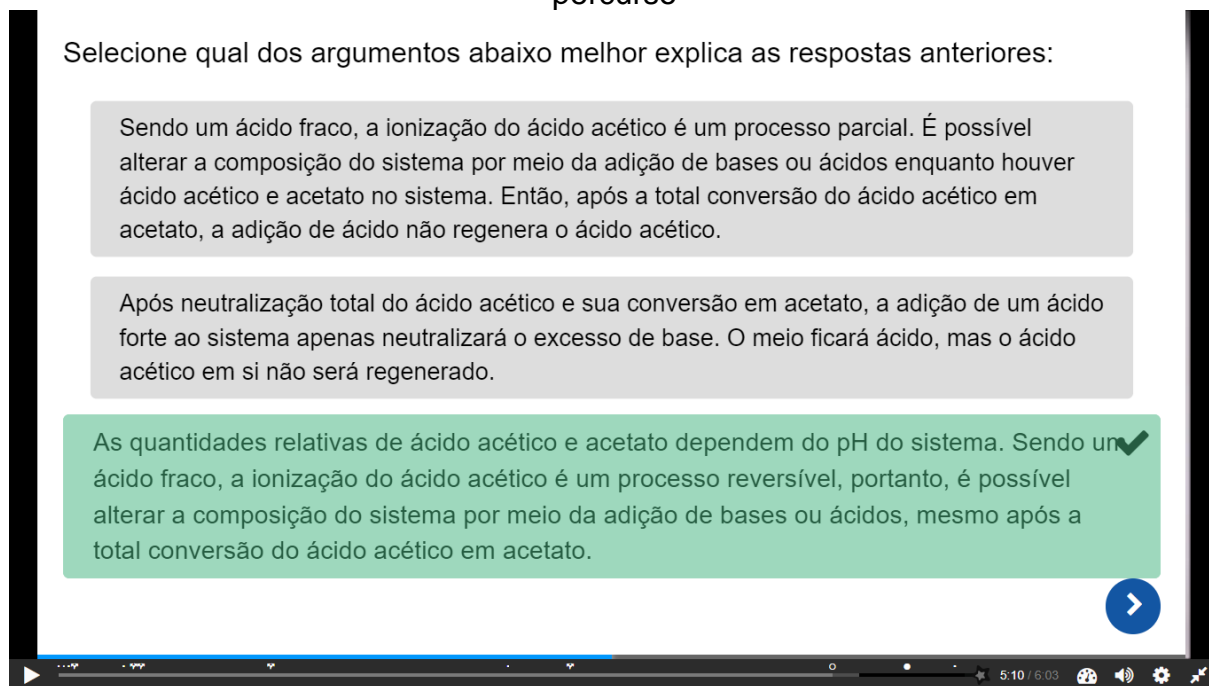
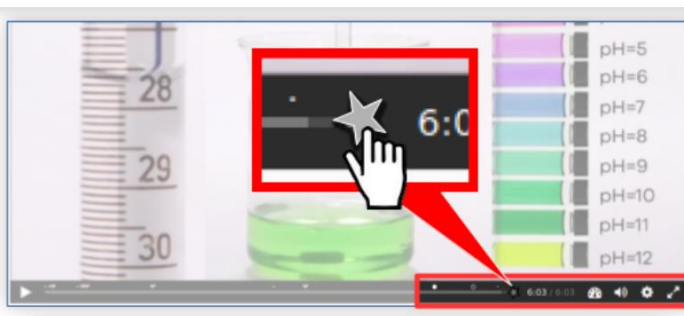



Figura 203 – Captura de tela com instrução para submeter resposta e finalizar a atividade

Clique na estrela para submeter sua resposta e, após isso, dê play para finalizar o vídeo e a atividade.



★ 1 questão(ões) respondida(s)
Você respondeu 1 questões, clique abaixo para submeter suas respostas.

Submeter respostas



APÊNDICE G – Percepção dos Estudantes

Figura 204 – Captura da tela inicial da atividade final

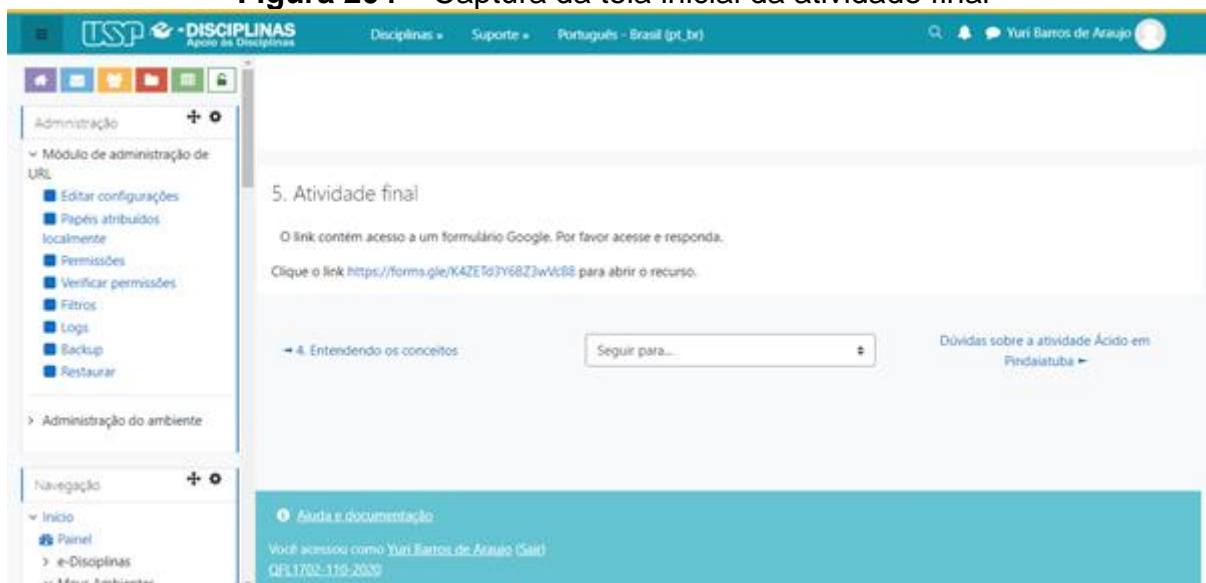


Figura 205 – Captura de tela do questionário da atividade final no *Google Forms*

The image shows a Google Form titled "5. Atividade Final". At the top right, there are icons for closing the form (an 'X') and a menu (three vertical dots). Below the title is a message: "Sua contribuição é fundamental para melhorarmos o ensino da química. Agradecemos muito a sua colaboração!". The form contains four required text input fields, each marked with a red asterisk (*):

- Endereço de e-mail ***: The label is followed by "Endereço de e-mail válido" and a dotted line for the input field. Below it, a note states: "Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)".
- NUSP ***: The label is followed by "Texto de resposta curta" and a dotted line for the input field.
- Nome ***: The label is followed by "Texto de resposta curta" and a dotted line for the input field.
- Disciplina ***: The label is followed by "Texto de resposta curta" and a dotted line for the input field.

Figura 206 – Captura de tela das questões sobre a dificuldade dos conceitos apresentados nas atividades

Sobre os conceitos e ações

Esta atividade envolve diversos conceitos. Classifique os conceitos e ações quanto aos diferentes aspectos abaixo.

Dificuldade dos conceitos *

	Muito difícil, não entendo	Difícil, com ajuda entendo	Fácil, entendo sozinho	Muito fácil, ajudo colegas
Ácidos e bases	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ponto estequimétrico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reação química	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fim de uma reação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ácidos de Arrhenius	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ponto de inflexão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equilíbrio químico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reação química reversível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

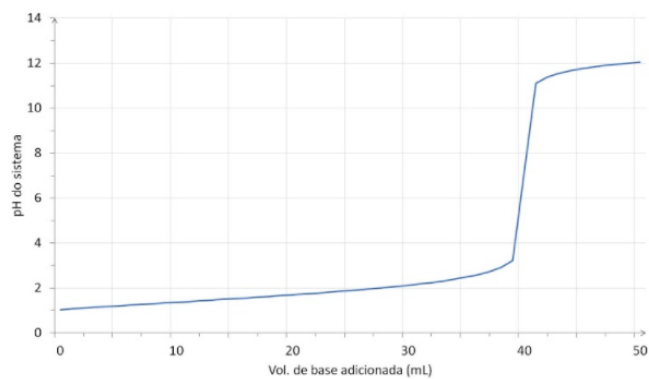
Figura 207 – Captura de tela das questões sobre a familiaridade com os conceitos apresentados nas atividades

Familiaridade com os conceitos *

	Nunca havia estudado antes	Estudei antes, mas não lembro quase nada	Eu lembrava, mas não sabia direito o que significava	Lembrava e achava que entendia um pouco	Lembrava e entendia completamente
Ácidos e bases	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ponto estequiométrico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reação química	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fim de uma reação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ácidos de Arrhenius	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ponto de inflexão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equilíbrio químico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reação química reversível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 208 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a uma curva de titulação

Considere a imagem abaixo. Classifique cada uma das frases abaixo em relação ao seu grau de concordância *



Discordo totalmente Discordo parcialmente Não concordo, nem discordo Concordo parcialmente Concordo totalmente

Antes da atividade, era mais difícil interpretar este tipo de imagem.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Já conhecia este tipo de imagem antes da atividade.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A imagem e o vídeo são duas formas de mostrar o experimento.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Na imagem, LOCALIZO facilmente o fim da reação, e a variação aproximada da composição do sistema.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Com os dados da imagem, CALCULO facilmente o fim da reação e a composição do sistema.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A imagem pode ser explicada pela equação do equilíbrio químico.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A imagem depende das propriedades dos ácidos da atividade.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A simulação com vídeo e planilha ajudou muito a interpretar este tipo de imagem.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 209 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a um gráfico de composição das espécies do sistema

Considere a imagem abaixo. Classifique cada uma das frases abaixo em relação ao seu grau de concordância *

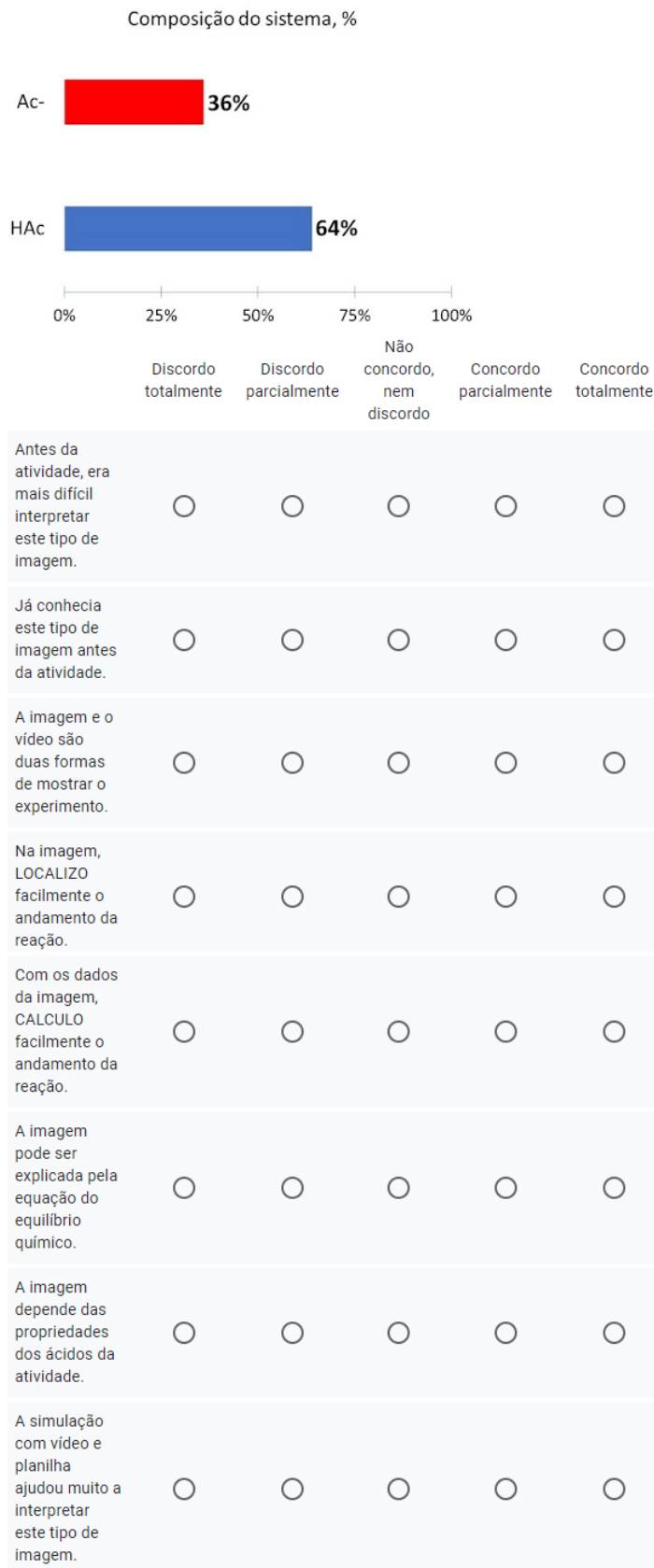


Figura 210 – Captura de tela a respeito da percepção dos estudantes com relação a simulação realizada a partir dos vídeos

Sobre a simulação realizada a partir dos vídeos, classifique cada uma das frases abaixo em relação ao seu grau de concordância *

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
A simulação facilita relacionar todas as imagens anteriores com a reação química.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A simulação facilita usar as imagens anteriores para os calculos com a reação química.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A simulação facilita entender o que é equilíbrio químico.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A simulação deixa claro como as propriedades dos ácidos interferem no equilíbrio químico.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 211 – Captura de tela do interesse dos estudantes por cada atividade**Sobres as atividades do módulo "Ácido em Pindaiaatuba"**

Quão interessante foi cada atividade? *

	Um suplício	Desinteressante	Indiferente	Interessante	Muito interessante
Atividade inicial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O caso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experimentos com vídeo e planilha	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Laudo técnico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entendendo os conceitos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Este questionário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 212 – Captura de tela da contribuição de cada atividade para a formação dos estudantes

Quanto cada atividade contribuiu para sua formação? *

	Nada	Quase nada	Pouco	Consideravelmente	Muito
Atividade inicial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O caso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experimentos com vídeo e planilha	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Laudos técnicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entendendo os conceitos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Este questionário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 213 – Captura de tela da percepção dos estudantes ao realizarem a atividade
Classifique cada uma das frases abaixo em relação ao seu grau de concordância

*

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
Este tipo de atividade é completamente nova para mim.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eu gostaria de ter mais atividades deste tipo no meu curso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se eu fosse professor, faria atividades desse tipo com os meus alunos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O módulo foi cansativo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O módulo foi longo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 214 – Captura de tela a respeito da apreciação dos estudantes pela atividade e seus recursos didáticos

Apreciação sobre a atividade e seus recursos didáticos

Classifique cada uma das frases abaixo em relação ao seu grau de concordância *

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
Os ícones, desenhos e instruções das atividades online foram fáceis de entender e usar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meus conhecimentos prévios com computador me permitiram realizar as atividades com facilidade.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meu acesso à internet foi suficiente para realizar todas as atividades.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
As instruções fornecidas nos roteiros e explicações me ajudaram a realizar as atividades com sucesso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Em nenhum momento precisei de ajuda para usar os recursos didáticos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A ajuda de colegas foi fundamental para eu usar os recursos didáticos da atividade.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 215 – Captura de tela sobre o dispositivo em que a atividade foi realizada
Em que tipo de dispositivo você realizou a atividade? *

- Notebook/Desktop
- Celular
- Tablet/iPad

Figura 216 – Captura de tela sobre a dificuldade da atividade
No geral, você avalia a atividade como: *

- Muito fácil
- Fácil
- Intermediária
- Difícil
- Muito difícil

Figura 217 – Captura de tela sobre a disponibilidade dos estudantes em fornecer uma entrevista e escrever comentários e outras informações que julguem pertinentes

Comentários

Você estaria disponível para uma entrevista rápida para nos fornecer informações adicionais sobre a atividade? *

- Sim
- Não

Escreva aqui quaisquer outras informações ou opiniões que julgue importantes.

Sua resposta

SÚMULA CURRICULAR

DADOS PESSOAIS

Nome: Yuri Barros de Araujo

Local e data de nascimento: São Paulo, 11/02/1995

EDUCAÇÃO

Ensino médio: Colégio Externato São Paulo, São Paulo, 2012.

Graduação: Licenciatura plena e Bacharelado com atribuições tecnológicas em Química: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.

OCUPAÇÃO

Professor de química para o Ensino Fundamental II e Ensino Médio, Colégio Betel Brasileiro, 2015 - 2022.

Professor de química, itinerário formativo de ciências da natureza e laboratório para o Ensino Médio e professor de ciências para o Ensino Fundamental II, Colégio Passionista São Paulo da Cruz, 2019 - 2022.

PUBLICAÇÕES

3rd RIDC Redoxoma Meeting with the Advisory Committee. São Paulo – São Paulo. 2020.

IV Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação. São Paulo – São Paulo. 2019.

5^o Congresso de Graduação USP (Faculdade de Direito de Ribeirão Preto). Ribeirão Preto – São Paulo. 2019.

6^o Congresso de Graduação USP (Universidade de São Paulo). Virtual. 2021.

42^a RASBQ: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Joinville – Santa Catarina. 2019.

44^a RASBQ: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Virtual. 2021.

XIV Encontro do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP (EPIEC). São Paulo – São Paulo. 2019.