



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Karine Rover

VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA LEI DE BOYLE UTILIZANDO
MATERIAIS ALTERNATIVOS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Brasília – DF

2º/2011



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Karine Rover

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA LEI DE BOYLE UTILIZANDO
MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador: José Roberto dos Santos Politi

2º/2011

*“TORNAMOS NOSSO MUNDO SIGNIFICATIVO PELA CORAGEM
DE NOSSAS PERGUNTAS E PELA PROFUNDIDADE DE NOSSAS
RESPOSTAS.” CARL SAGAN*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus por me dar saúde e perseverança. Agradeço à minha família, meus pais, Altair e Berenice, e meus irmãos, Kevin e Kimberly, que muito me apoiaram nessa jornada. Ao meu namorado, Ewerton, que esteve ao meu lado ao longo de todo o caminho. Aos meus amigos, que participaram dessa etapa da minha vida, me ajudando e participando ativamente dos bons e maus momentos. Aos meus professores que me conduziram ao longo do tempo, em especial ao meu orientador, Politi, e ao professor Bob, que muito auxiliaram na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

Introdução.....	7
Lei de Boyle: Histórico e conceitos.....	9
1.1 Biografia de Robert Boyle.....	11
1.2 A Experimentação no Ensino de Química: Importância e Desafios	13
Metodologia.....	15
Análise	19
3.1 Análise do observado na escola de Ensino Médio	19
3.2 Análise do observado no Ensino Superior.....	31
Considerações finais	34
Referências	37
Apêndice 1	39
Apêndice 2.....	40

RESUMO

A experimentação no ensino de química vem sendo um tema bastante abordado ao longo dos anos. Mostra-se uma ferramenta eficiente para auxiliar na aprendizagem significativa e aumenta o interesse do aluno para conceitos não tão triviais. Um dos conceitos que permite esse tipo de abordagem é a Lei de Boyle para gases ideais. Nesse trabalho há uma proposta de experimento simples, de baixo custo, que busca reproduzir o experimento original de Robert Boyle, e auxiliar os alunos a chegarem aos mesmos conhecimentos que esse cientista postulou sobre o comportamento das moléculas gasosas. Encontra-se, ainda, a análise a respeito das percepções de alunos do ensino médio e superior, obtida por meio da condução dialógica do experimento e da aplicação de questionários.

Palavras-chaves: experimentação no ensino de química, lei de Boyle, lei dos gases ideais.

INTRODUÇÃO

Atualmente, muitos professores de Química utilizam a experimentação como estratégia de ensino, para que o aluno compreenda determinado assunto mais facilmente através da visualização no fenômeno. “No ensino de ciências a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação.”(GUIMARÃES, 2009) O uso desta estratégia estimula a curiosidade do estudante para que ele se interesse pelo assunto, e assim, possa se interessar pela teoria que está associada à observação experimental. Além disso, estimula a cognição que possui um papel motivador no processo de aprendizagem.

No Ensino da Química a experimentação pode ser uma estratégia para motivar os alunos e para contribuir com a aprendizagem significativa. Segundo Paulo Freire “... o professor deve suscitar nos estudantes o espírito crítico, a curiosidade, a não aceitação do conhecimento simplesmente transferido.”(FRNACISCO JR, *et al*, 2008). Nesse sentido, a experimentação tem papel relevante no que se diz respeito a suscitar a curiosidade e deve dar espaço para que os alunos tirem suas próprias conclusões a respeito do observado, orientados pelo professor, instigando o espírito crítico do estudante.

Reproduzindo experimentos clássicos, pode-se instigar no aluno os mesmos questionamentos que o pesquisador obteve ao realizá-lo pela primeira vez, e por meio de suas próprias observações, chegar às conclusões de interpretação do fenômeno, contribuindo com o processo de ensino-aprendizagem.

Francisco Junior, em seu artigo, afirma que só é possível explicar um fenômeno se este for significativo para o aluno, ou seja, o interesse no que se vai ensinar é fundamental. Nesse contexto, a experimentação se torna uma importante ferramenta na mão do professor, que utilizando-a de forma investigativa, pode contribuir para a aprendizagem significativa de seus alunos.

O entendimento da Lei de Boyle no ensino médio e nas disciplinas iniciais nos cursos de graduação exige grande abstração, porém, recebe pouca atenção, devido à crença de

que esse conhecimento é trivial. Além disso, a observação do fenômeno é de grande dificuldade, devido aos obstáculos inerentes à experimentação e à precisão dessas práticas. Porém, deve-se buscar o desenvolvimento dessas para que seja possível uma maior compreensão dessas leis através da investigação do observado e do estudo dos resultados.

A obstância na compreensão das leis dos gases ideais e a importância e relevância da experimentação para facilitar o entendimento dos fenômenos, está ilustrada no trecho escrito por Rhodes, (1992): “Ao estudante não foi dada base alguma para acreditar que um gás irá se comportar idealmente, mesmo se realmente for composto por pontos maciços que se movem aleatoriamente e colidem com as paredes do recipiente para exercer uma força que pode ser observada como pressão.”(p. 16)

A relação entre os resultados obtidos, e as leis formuladas não é de fácil compreensão ou aceitação, portanto, quando completo o ciclo de observação e raciocínio, que tem início no uso da experimentação, essa compreensão é facilitada.

Nesse contexto, neste trabalho foi desenvolvido um experimento simples, de baixo custo, em que é possível evidenciar a primeira lei postulada para gases ideais, a Lei de Boyle. Teve-se como objetivos principais: verificar o nível de conhecimento sobre a Lei de Boyle por parte dos alunos; verificar se os alunos conseguem interpretar corretamente a Lei de Boyle; verificar a capacidade dos alunos em promover a transposição da observação macroscópica para a interpretação microscópica.

No primeiro capítulo foi feita uma explanação teórica, os modos de abordagem da lei dos gases no ensino médio, e a biografia do cientista Robert Boyle, com o objetivo de situar o leitor na problemática e contexto do tema abordado.

O capítulo 2 explora a metodologia utilizada, explicamos como foi realizado o experimento e auxilia na montagem de sua execução. Mostra o método de avaliação realizado e como foi aplicado.

O capítulo seguinte fornecerá as observações em relação ao que foi aplicado e uma análise dos dados obtidos a respeito da compreensão dos alunos sobre o fenômeno.

O último capítulo consiste nas considerações finais elaboradas, tendo como fundamento as observações e análises realizadas ao longo da execução da atividade experimental e da leitura dos questionários.

CAPÍTULO 1

LEI DE BOYLE: HISTÓRICO E CONCEITOS

Desde a Idade Antiga o homem procura uma explicação para a natureza da matéria. Uma das primeiras teorias é a de Aristóteles, em que ele define quatro qualidades para cada um dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) e propõe um novo elemento, o éter. Greenberg (2009) escreve sobre Aristóteles:

Aristóteles (384 – 322 a.C.) é considerado como um dos dois maiores pensadores da Antiguidade, ao lado de Platão. Aristóteles propôs a existência de uma espécie de elemento celeste primordial, o “éter”, e a cada um dos quatro elementos terrestres atribuiu-se um par de “qualidades” opostas ou contrárias (úmido *versus* seco; quente *versus* frio).

Aristóteles era antiatomista, em parte por não acreditar que o espaço pudesse ser vazio. (...) nos séculos XVII e XVIII houve conflito intelectual entre os cartesianos (a escola de Descartes) e a escola corpuscular (corpúsculos seriam conceitualmente similares aos átomos), que incluía Robert Boyle e Isaac Newton. (GREENBERG, 2009, p.5)

Retomando as ideias atomistas, já em meados do século XVII, e contrapondo assim a Teoria do Flogisto – de que flogisto saía da substância quando sua massa diminuía e que entrava na substância quando essa massa aumentava –, Robert Boyle apresenta uma lei elaborada a partir da utilização de instrumentos precisos e experimentação cuidadosa. Em seus trabalhos, Boyle utilizava dados confiáveis, realizava práticas reprodutíveis explicava os fenômenos observados através da racionalidade em contraste com o misticismo utilizado na alquimia.

Nascido em família abastada, obteve recursos para a realização de suas pesquisas e é considerado por muitos estudiosos como o verdadeiro pai da química. Escreveu alguns livros, sendo o mais famoso *The septical chemist* (1661), onde contrapõem o conceito aristotélico dos quatro elementos (terra, água, fogo e ar) e o conceito paracelista dos Três Princípios (mercúrio, enxofre, sal). Seus estudos com o ar atmosférico muito contribuiu para descobertas posteriores.

Uma questão importante é a razão pela qual estudamos os gases em química. Greenberg indaga em seu livro:

“Por que aprender a leis dos gases em química? Sabemos, desde o início do século XIX, que o estado gasoso é aquele no qual as moléculas vagueiam individual e livremente. Isso permite a compreensão de seu comportamento físico e químico nos níveis mais simples. Também aprendemos que dois balões de mesmo tamanho de gás oxigênio reagem totalmente, e na quantidade precisa, com um balão de mesmo tamanho de gás oxigênio, produzindo água com massa idêntica à soma das massas dos dois gases.”(GREENBERG, 2009, p.103)

No trecho acima, Greenberg enuncia a Lei de Avogrado, que traz a proporcionalidade do volume e número de mol. Nota-se a importância das Leis dos gases e a necessidade de verificação, de forma palpável, opondo-se a abstração dos estudos dos gases, substâncias não palpáveis e de difícil visualização.

É possível perceber a relevância no tema, que muitas vezes não é compreendida por alunos e educadores. O entendimento da Primeira Lei para Gases Ideais é fundamental para a compreensão de diversos fenômenos, e junto com as demais (as Leis de Charles e hipótese de Avogrado) auxilia a concepção das teorias atômicas.

As abordagens em livros didáticos sobre esse tema muitas vezes não trazem contexto histórico e sugestões para a visualização desses fenômenos, como experimentos por exemplo. Mostram apenas gráficos, o conceito e a fórmula química.

Seguindo a mesma tendência dos livros, a aprendizagem nas escolas, a respeito da Lei de Boyle, em diversos casos, se restringe a reprodução mecânica dos conceitos e aplicações de fórmula, sem que haja a compreensão do real significado da lei, e a completa compreensão do fenômeno.

Habilidades de resolução de problemas, a aplicação desses conceitos no cotidiano e o despertar do interesse no aluno em aprender a Lei de Boyle são pontos importantes a serem discutidos, sendo a experimentação uma possibilidade de alcançar esses objetivos.

Compreender a lei que deu origem à teoria de gases que utilizamos, auxilia o aluno a identificar as transformações ocorridas com gases reais, quando esses possuem um comportamento aproximado com o dos gases ideais. A verificação experimental dessa lei faz com que o aluno observe a ocorrência do que eles costumam ver apenas na teoria, fazendo com que a visualização do fenômeno contribua para a aprendizagem significativa do educando.

Assim, pode-se enunciar a Lei de Boyle:

“O volume de uma massa fixa de gás confinado mantido a uma temperatura fixa é inversamente proporcional a pressão do gás. Essa relação é usualmente chamada de lei de Boyle em homenagem a Robert Boyle (1627-1691), um contemporâneo de Isaac Newton (1642-1727).” (LEWIS, 1997 p. 209).

1.1 Biografia de Robert Boyle

Robert Boyle nasceu em 25 de janeiro de 1627, no castelo de Lismore, Irlanda. Era o sétimo dos catorze filhos do duque de Cork. Seu pai era rico, senhor de terras e um influente membro da corte irlandesa. Boyle foi educado como um nobre. Aprendeu latim e francês e com oito anos de idade foi estudar na escola tradicional de Eton, frequentada pelos filhos das mais abastadas famílias inglesas.

Em 1638, finalizou os estudos no colégio interno e começou a viajar pela Europa com seu tutor francês. Foi a Florença (de 1641 a 1642), onde conheceu Galileu Galilei e estudou de "os paradoxos do grande espectador de estrelas". Essa estada em Florença teve grande influência em sua formação. A partir dos conhecimentos obtidos na Itália, assimilou uma posição crítica perante a filosofia de Aristóteles, e adotou a experimentação como um método claro e objetivo para o conhecimento científico.

Após a morte de Galileu, viajou a França e conheceu a obra de Pierre Gessendi – cientista e professor de matemática no Collège de France, defensor da teoria atomística –, e a obra de René Descartes, no qual não partilhava da mesma opinião (de que o Universo era completamente preenchido com “éter” e a matéria era descontínua). Apesar das diferenças, Boyle se identificou com o método cartesiano, criado por Descarte, e procurou, em exemplo ao filósofo francês, expressar suas idéias de forma clara e precisa.

Voltou à Inglaterra onde começou sua produção científica. Com os conhecimentos adquiridos por suas viagens pela Europa, e sendo um homem de posses, dedicou-se completamente à produção de conhecimento científico.

Em 1644, em Oxford, Boyle começou a frequentar reuniões de um grupo de jovens interessados em desenvolver a “Filosofia Experimental”. Desse grupo faziam parte John Wilkins (teólogo e filósofo), John Wallis (teólogo e geômetra), Samuel Foster (astrônomo), Jonathan Goddard (professor de Medicina). Os encontros eram realizados primeiramente na Bull Head Tavern (Taverna da Cabeça de Touro) e em seguida no Gresham College.

O grupo fundou a então chamada Philosophical College, que depois se tornou Philosophical Society. Muitos de seus membros, Boyle inclusive, se juntaram para fundar a Royal Society of London – Sociedade Real de Londres – que tinha como objetivo a discussão de ciência produzida por seus membros.

Oxford foi um local de grande produção científica para Boyle. Por seu laboratório passaram grandes nomes da ciência como Robert Hooke e Denis Papin.

Sua primeira publicação científica aconteceu em 1660, e chamava-se “Novas Experiências Físico-Mecânicas, Concernentes à Elasticidade do Ar e Seus Efeitos”. Nela, Boyle relata uma série de estudos e observações utilizando como referência os trabalhos de Galileu, Pascal e Torricelli, sobre o peso do ar (pressão atmosférica) e o vácuo. Para realizar seus experimentos, utilizou a bomba pneumática, idealizada por Otto von Guericke e adaptada por Hooke.

A obra provocou grande alvoroço por se tratar de uma obra essencialmente não aristotélica. A reação foi a publicação de dois livros atacando violentamente as experiências e as interpretações de Boyle. Uma dessas publicações foi feita por Thomas Hobbes (famoso teórico de Filosofia Política). Hobbes era defensor da teoria do “éter” de Descartes e da não existência de vácuo. O outro livro foi escrito por Franciscus Linus, adepto das postulações de Aristóteles, que tinha objeções a todo o esquema conceitual sobre o peso do ar e o vácuo, desenvolvido por Pascal a partir do barômetro de Torricelli, ao qual Boyle havia feito algumas complementações.

A resposta a esses ataques veio em 1662, em um livro com novas experiências e argumentos que rebatiam Hobbes e Linus. Na segunda metade do Apêndice - intitulado Onde Se Examina a Hipótese Funicular dos Adversários - ele incluiu sua famosa lei da relação entre a pressão e o volume dos gases.

Sua publicação mais famosa foi o livro “The Septical Chemist” (O Químico Cético), publicado em 1661. Nele, com influência das obras de Galileu Galilei, Boyle redigiu um diálogo entre um aristotélico, um defensor das teorias da Química Médica de Paracelso e um químico cético (esse seria Boyle) que antevia novos horizontes para a Química. A obra defendia a teoria atomista de Pierre Gassendi e a utilização de um método de raciocínio científico como o propagado por Descartes, baseado em idéias “claras e distintas”. Boyle, assim, defendia arduosamente a observação como método para produção de conhecimento

científico e entendimento de diversos conceitos não só na química, mas também na astronomia e medicina. Com isso, Boyle acabara de revolucionar o modo de fazer ciência.

Em 1680 foi eleito presidente da Sociedade Real, mas não aceitou por não concordar com termos do juramento de posse. Durante alguns anos dirigiu a Companhia das Índias Orientais e, dedicou seus últimos anos de vida às suas pesquisas e a pregação religiosa.

Morreu em 1691, em Londres. Como nunca foi casado, Boyle deixou em seu testamento, seus equipamentos para a Sociedade Real e fundos para a realização de um ano de palestras com o objetivo de “comprovar a religião cristã contra o ataque de descrentes.”

1.2 A Experimentação no Ensino de Química: Importância e Desafios

A experimentação, ao longo dos séculos, vem sendo um dos pilares da ciência. Desde Aristóteles, na Grécia Antiga que defendia o empirismo como meio de chegar a conclusões, explicações e formular teorias, passando pelo século XVII, quando a experimentação era a base para conhecimento científico, chegando ao século XXI, em que não se usa mais o método científico da forma como foi proposto inicialmente, mas ainda se reconhece a experimentação como etapa importante do processo.

Ao tratar do Ensino de Química, a experimentação toma um papel importante, pois além de estimular o interesse do educando, permite o desenvolvimento cognitivo e social, podendo estimular a discussão em grupo e formulação de conclusões acerca do tema abordado. Elaboração de modelos mentais, os quais os alunos representam o que entendem estar acontecendo microscopicamente, representações das explicações que estão na mente do indivíduo. Giorda (1999) em seu artigo comenta:

Na elaboração de um modelo mental, destacam-se dois componentes, os elementos e as relações, que representam um estado de coisas específico. Os modelos mentais servem de sistemas intermediários entre o mundo e sua representação, uma espécie de filme interno cujas cenas são formadas por imagens animadas e signos, cuja concatenação expressa o estado de coisas e dialoga com a representação que o sujeito confere à realidade. (GIORDA, 1999, p. 47).

Como grande desafio, estão as barreiras físicas, como falta de material e local para realização de determinados experimentos, o que muitas vezes, limita os educadores a experimentos demonstrativos, com muitos alunos presentes e poucos tendo oportunidade de participar ativamente do processo. Outro impedimento é a falta de preparo dos professores, que muitas vezes não se relacionaram com esse tipo de abordagem em seu curso de formação. Tendo superado esses obstáculos, ainda resta saber como será conduzido o processo, se a

abordagem será de ilustração, investigação ou problematização. Segundo Francisco Jr. (2008), a abordagem ilustrativa da experimentação se dá após a explanação teórica do assunto. A investigativa acontece antes da teoria e leva o aluno a formular hipóteses e chegar a conclusões a respeito das observações. A problematizadora baseado na teoria pedagógica de Paulo Freire, em que o aluno é sujeito do processo de aprendizagem, e que esse só acontece quando traz algum significado para o educando.

Devido a todos esses fatores, tem-se a conscientização dos professores de que a experimentação é relevante e auxilia o processo de ensino-aprendizagem, porém a necessidade de transpor as barreiras, muitas vezes inibe a realização de diversos experimentos em sala de aula.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

Para atingir os objetivos estabelecidos, foi desenvolvida uma atividade que envolvia diversas etapas, a saber:

Inicialmente, o experimento foi realizado em um laboratório, com grupos pequenos de quatro a seis alunos, do 2º ano do Ensino Médio. Um dos alunos participava diretamente enquanto os outros observavam de perto o que ocorrera.

Foram feitas perguntas ao longo de toda a atividade. Antes de iniciar o experimento, foi perguntado aos alunos se eles lembravam do que se tratava a Lei de Boyle. Os alunos não utilizaram roteiro escrito, foram orientados ao longo da atividade.

Ao final, foi feita a aplicação do questionário que se encontra no apêndice 1 para apreciação.

Após o experimento, foi aplicado um questionário a fim de averiguar a capacidade dos alunos de elaborar respostas e transpor a observação macroscópica para a microscópica.

Experimento da Lei de Boyle.

O experimento realizado sobre a lei de Boyle pode ser observado a seguir:

Materiais utilizados:

- Recipiente de vidro de aproximadamente 100 mL (p.e. pote de comida comercial para bebês);
- água;
- corante alimentício;
- 3 mangueiras de aquário;
- 2 garras;
- 2 suportes;
- 3 pipetas (1 de pasteur, 2 graduadas de 5 mL);
- rolha com três furos para o vidro;
- 1 canudo;
- 1 balão volumétrico;

- 1 rolha com um furo para o balão;

Para a construção do manômetro foram posicionados dois suportes, com uma garra de cada lado, como mostra a figura 1. Prendeu-se a mangueira com uma extremidade em cada garra, formando-se um “U”.



Figura 1: Manômetro confeccionado com mangueira de aquário com líquido composto de água e corante.

A construção do aparato experimental pode ser visto na figura 2:

O aparato deve ser vedado para que não haja vazamento de gás (ar atmosférico). Uma mangueira (1) será conectada a uma das pipetas (2) e ao manômetro (3). A outra mangueira (4) será conectada à pipeta graduada de 5 mL (5) e ao balão (pode ser substituído por uma garrafa pet de 250 mL) (6), que também deve ser tampado com uma rolha (pode ser a própria tampa da garrafa PET anteriormente utilizada) (7). Nessa rolha, deve ser colocada uma pipeta de Pasteur de vidro (8), para que haja uma conexão entre o balão e a mangueira, sem que haja vazamento. Na terceira pipeta (9), que também pode ser uma pipeta de Pasteur, foi conectado o canudo (10). Uma rolha com três furos onde previamente foram conectadas as pipetas (11) deverá ser vedado, exercendo uma pressão no vidro já cheio de água (12).

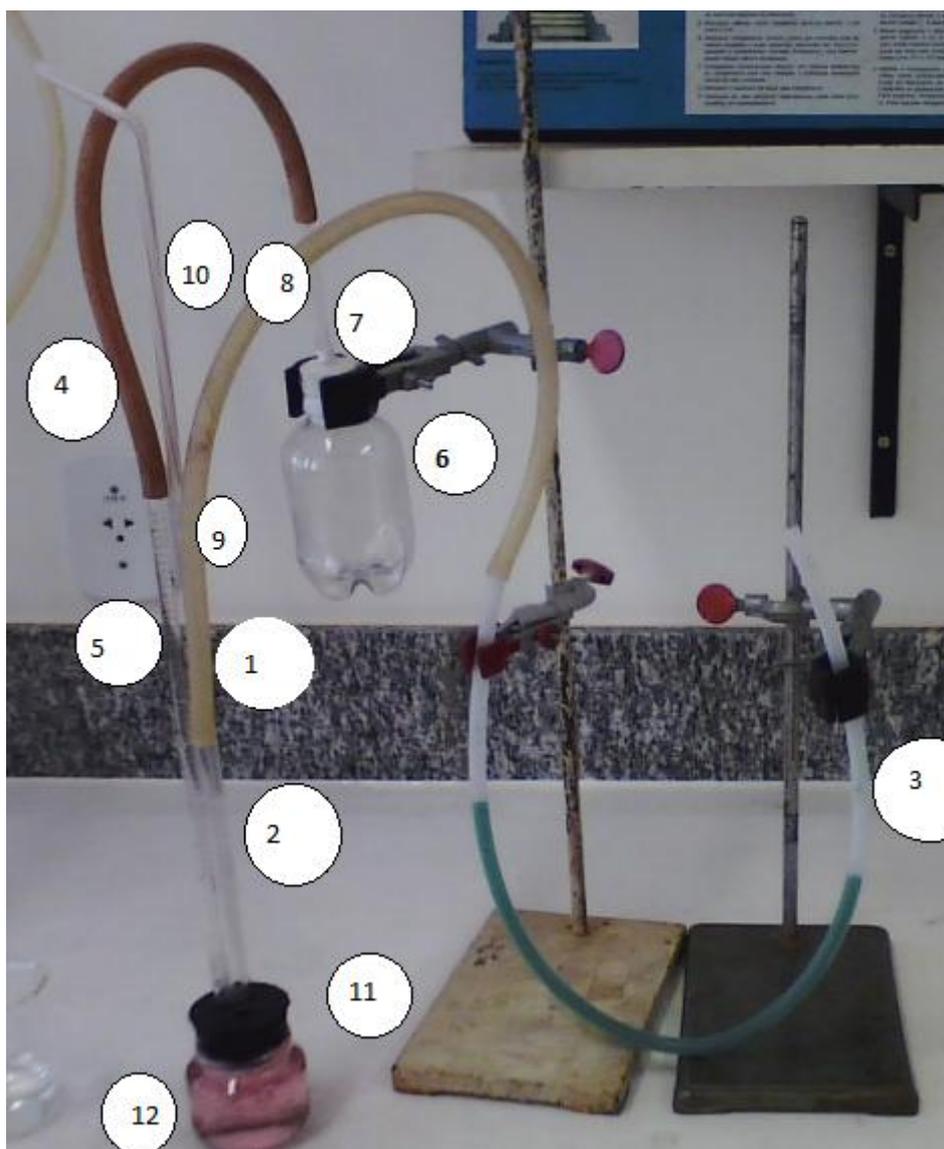


Figura 2: esquema do aparato experimental.

Para a realização do experimento coloca-se água no recipiente de vidro e pressiona-se a rolha até que a água suba até o marco zero da pipeta. O sistema então será vedado. Sobre repetidas vezes pelo canudo e tampe-o, com uma pinça ou prendedor de roupas, sem deixar a pressão variar. Esse procedimento é repetido quantas vezes o aluno ou professor desejar, até que seja possível a compreensão do experimento.

Para executar a atividade planejada foi uma escola da Regional de Taguatinga no Distrito Federal. A opção pela escola se deu pela receptividade da professora e da direção. Também colaboraram para a escolha o prévio conhecimento da professora e das atividades que ela realiza. As turmas foram selecionadas de acordo com a disponibilidade de realização do experimento no cronograma de atividades da turma, e das aulas que a professora

ministraria no dia. Os alunos se organizaram em grupos de 3 a 5 pessoas, e foram levados ao laboratório da escola para a realização do experimento.

O mesmo experimento foi realizado com alunos do ensino que recém-ingressados no ensino superior, um questionário específico foi aplicado (apêndice 2), em que além de perguntas sobre o observado continha também perguntas a respeito do conceito da Lei de Boyle e das percepções sobre a importância da experimentação no ensino de Química. A realização do experimento fez parte de um projeto realizado na graduação em que contava com a participação voluntária de alunos interessados em experimentação em físico-química. Os dados obtidos foram poucos, porém permitem uma análise a respeito do conhecimento sobre a Lei de Boyle no início do ensino superior.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE

3.1 Análise do observado na escola de Ensino Médio

No início do experimento, primeira etapa da metodologia aplicada, foi revelada aos alunos que se tratava de um método para verificar a Lei de Boyle. A seguir, o aparato experimental foi apresentado e o seu correto manuseio explicado. Um aluno de cada grupo realizou o experimento, e o restante observou o fenômeno. Os resultados foram observados de forma qualitativa, devido à falta de precisão do aparato experimental. Após o término do experimento, foi feita a condução de uma discussão em torno do observado macroscopicamente e microscopicamente.

Após a realização do experimento, se desenvolveu uma interação com os alunos, inicialmente na forma de uma aula expositiva que evoluiu para uma dinâmica de perguntas e respostas, para estimular a análise crítica do fenômeno observado. Ao serem perguntados se lembravam do que tratava a Lei de Boyle, a maioria dos alunos negou lembrar-se da lei. Porém, quando foi recordado de que era uma lei para gases ideais, à temperatura constante, os alunos foram capazes de enunciá-la, em no entanto saber relacioná-la. Ainda nesse processo, com o intuito de verificar a compreensão do experimento pelos alunos, eles foram estimulados a se manifestarem acerca do que aconteceu com o sistema durante a execução do experimento. A maioria dos alunos disse que a pressão estava aumentando e o ar atmosférico estava se comprimindo. A transposição da observação macroscópica para a interpretação microscópica do fenômeno foi avaliada ao perguntar a eles o que seria compressão. Alguns falaram que o ar estava diminuindo de tamanho, outros que as moléculas de ar estavam mais próximas, e muitos não sabiam o significado da expressão “ar comprimido”.

Após as discussões, a terceira etapa foi iniciada, com a aplicação do questionário. Contudo, devido à dificuldade dos alunos em compreender o que se queria dizer com descrição macroscópica e interpretação microscópica, foi feita uma explicação, com exemplos, sobre o que era macroscópico (a mudança de cor de uma reação, por exemplo) e microscópico (a explicação do rearranjo de átomos para formação de novas moléculas).

As respostas fornecidas foram agrupadas em função das ideias centrais proferidas. Aquelas marcadas em verde são as que apresentaram a interpretação esperada. As respostas marcadas em amarelo apresentam elementos da interpretação esperada, mas deixam dúvidas a respeito da compreensão do fenômeno por parte dos alunos:

As pergunta 1 foi feita com a intenção de obter uma avaliação dos alunos a respeito do respeito do experimento, por isso as respostas não foram analisadas.

Pergunta 2 Descreva o que você vê que acontece no sistema, macroscopicamente.

Respostas	Número de alunos
O ar é comprimido e aumenta o volume de água	3
A pressão aumenta e aumenta o volume de água	2
O líquido recebe pressão e a pressão varia	1
O líquido recebe pressão e sobe	1
O ar é comprimido com a variação de pressão	4
O ar ficou menos comprimido e a água ocupou um espaço maior	1
A água ocupa lugar do ar comprimido	2
O ar comprimiu e empurrou a água	3
O volume aumenta e o ar é comprimido	1
O volume aumenta e a pressão diminui	1
A pressão aumenta e o volume de ar diminui	3
O ar diminui e aumenta o líquido	1
A pressão diminui e aumenta o volume de água	1
A água sobe e a pressão muda	2
A água sobe e ar some	3
A água aumenta e o ar diminui	1
O ar comprimiu e a água mudou o tamanho	1
A água sobe fazendo com que o ar comprima	5
O líquido do manômetro é pressionado com ar e sua pressão aumenta	1
O ar se comprimiu e fez com que a pressão da água suba	1
A pressão da água aumenta e o ar se comprime	1
O nível da água oscila e a pressão varia	1
A pressão aumenta e o volume muda	2

O volume diminui e a pressão muda	1
A pressão aumenta e a água sobe	5
O ar comprimido ficou mais junto	1
A água subiu porque o ar ficou comprimido	2
A água sobe pelo tubo	1
A água se move	2

Gráfico obtido das respostas acima:

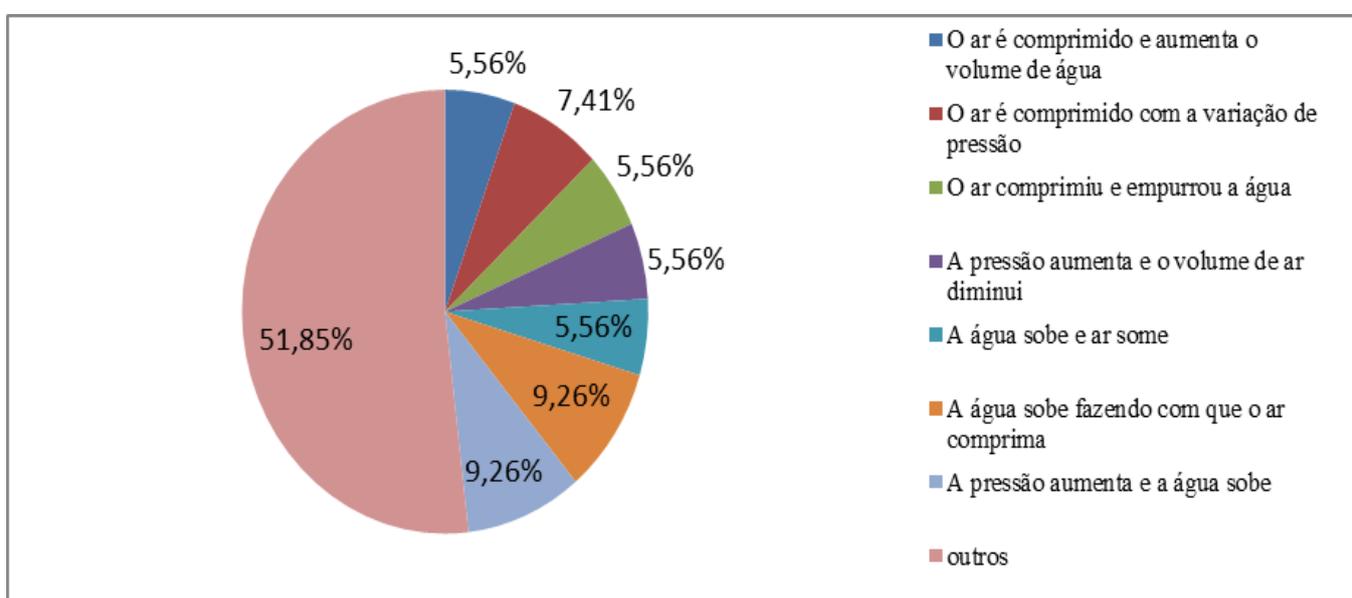


Gráfico 1: Repostas relativas à pergunta 2.

Algumas respostas que despertaram a atenção:

“Quando assoprou o canudo no sistema o ar se comprimiu, e o espaço que era do ar a água ocupou, ocorrendo assim a altura e a pressão.”

Observa-se nessa resposta que a ideia de que a água ocupa o espaço vazio deixado pela compressão do ar está correta, porém há um equívoco em relação ao conceito de pressão. A percepção de que antes não havia pressão, que ela só passou a existir quando soprou-se o canudo, ao invés da variação de pressão aposta mais uma dificuldade no estudo dos gases.

“A água sobe fazendo com que o ar comprima.”

“Quando assopramos no canudo, empurramos o ar para o recipiente, e assim, a água do recipiente subiu na pipeta, o que fez com que o ar que nela estava se comprimisse.”

Nas duas respostas acima, é possível constatar a distorcida relação de causa e consequência percebida pelos estudantes. O ar se comprime em virtude da água subir, ou seja, para eles, a água faz com que as moléculas de ar fiquem mais próximas, ignorando o efeito da pressão.

Constata-se o grande número de respostas em relação a compressão do ar. Curiosamente, ela é obtida prontamente quando questionados sobre o que ocorre no sistema. Percebendo essa tendência, perguntei aos alunos sobre o que significa compressão, e a maioria não soube responder. Isso evidencia a constatação de que eles sabem o que responder, porém não compreendem os conceitos e até o significado dessas respostas.

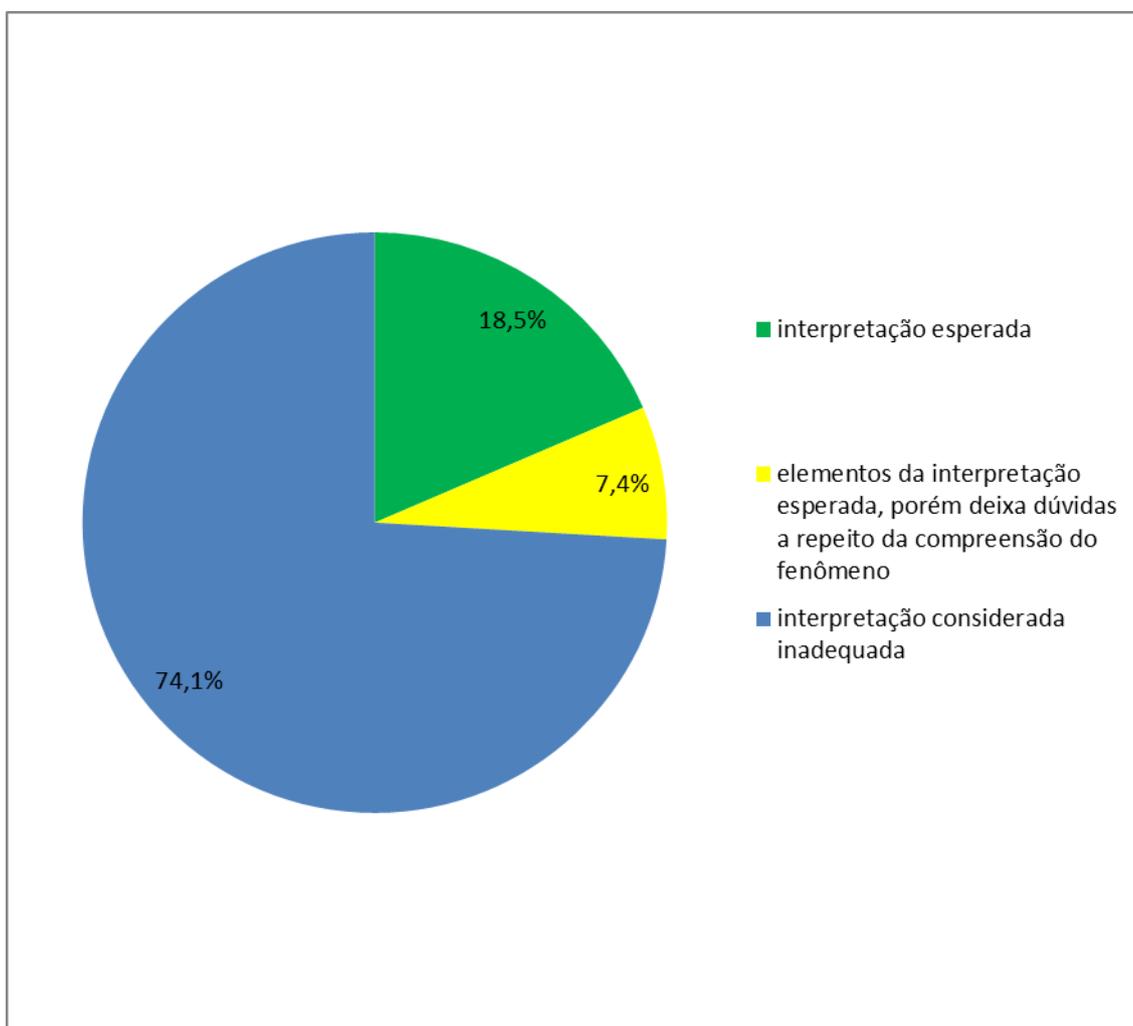


Gráfico 2: Relativo às respostas da pergunta 2, consideradas adequadas e inadequadas.

Foram consideradas adequadas 25,9% das respostas (soma entre as respostas marcadas em verde – 18,5% – e as marcadas em amarelo – 7,4%). Observa-se que muitas respostas descrevia o fenômeno microscopicamente, mesmo após a explicação da diferença entre observação macroscópica e interpretação microscópica. Alguns alunos não conseguiram

transcender os exemplos apresentados de descrição macroscópica para o sistema e identificar o fenômeno macroscopicamente. Outra dificuldade observada foi sobre a delimitação do sistema em si a ser avaliado, ou seja, o que deve ser levado em consideração para descrever o fenômeno de interesse adequadamente. Muitos alunos focaram sua atenção no manômetro, ou seja o instrumento utilizado para fazer a medida, ao invés de se aterem mais ao que estava acontecendo com o gás, o sistema propriamente dito. Isto se refletiu nas diversas respostas que envolveram o líquido ou a água na sua explicação.

Respostas afirmando que o ar some, ou que ele diminui também foram encontradas nessa questão.

Pergunta 3 O que você acha que aconteceu no sistema microscopicamente?

Respostas	Número de alunos
A pressão fez com que a água subisse	3
O ar foi comprimido	28
Dentro do experimento continham moléculas. Quando recebeu pressão, as moléculas se pressionaram	1
O ar se comprimiu e deu espaço para água	4
A pressão do ar foi grande e empurrou a água	2
O ar ocupou o lugar da água	2
O volume aumentou e a pressão diminuiu	1
A água fez com que o ar se comprimisse	4
Com a pressão, as moléculas de água foram comprimidas	1
O ar se comprime fazendo com que a pressão aumente	3
O ar se comprime e as moléculas se juntam fazendo ele ficar “menor”	1
O ar fez as moléculas se aproximarem	1
O ar se comprimiu fazendo com que as moléculas ficassem mais juntas	2
O ar é comprimido ocupando menos espaço e diminuindo seu volume	1
A água elevou seu nível	1
As moléculas ficaram mais próximas diminuindo o ar	1

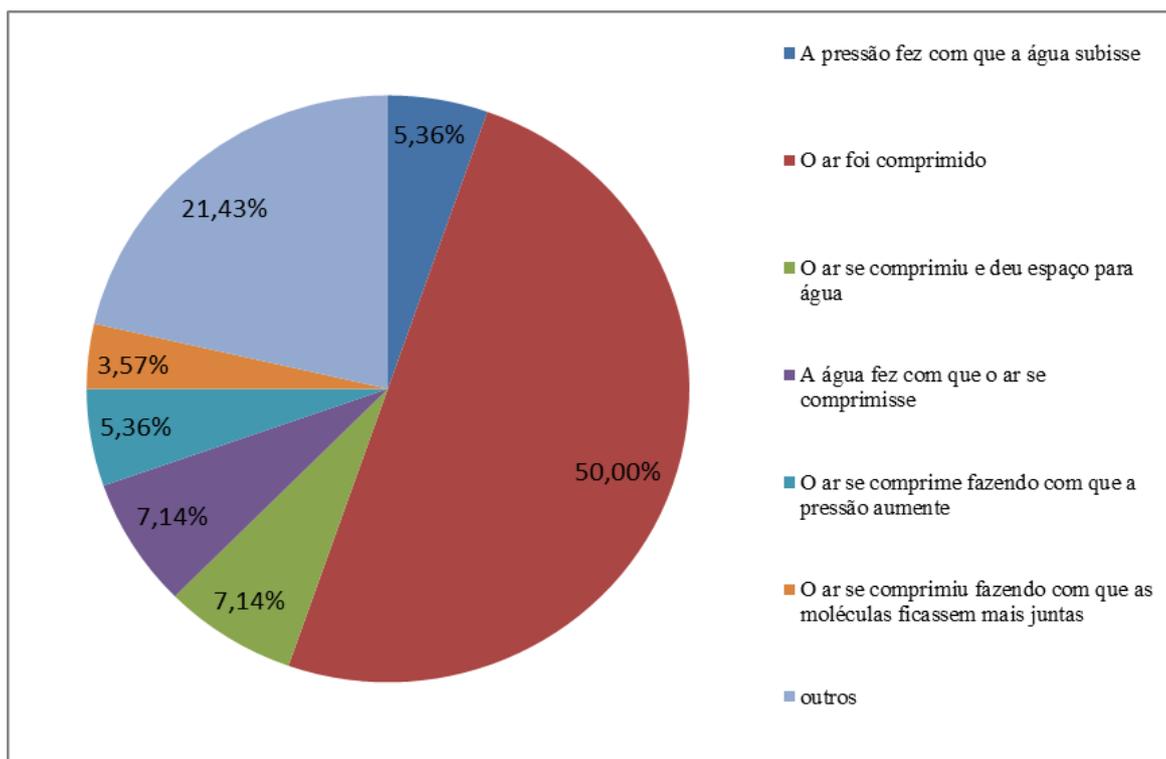


Gráfico 3: Respostas relativas à pergunta 3.

Transcrição de algumas respostas a serem analisadas:

“A pressão fez com que a água subisse, e o ar perdesse o seu espaço. Não é possível ver o ar, mas sabemos que ele foi comprimido.”

Constata-se nessa resposta a não compreensão do que ocorre microscopicamente, porém, novamente, a ideia de causa e consequência aparece equivocada. Para esse aluno, a pressão age na água e ela faz com que o ar seja comprimido.

“As molécula de ar se comprimiram, ou seja, o tamanho do espaço do ar diminui quando aumentou a pressão da água.”

Novamente, aparece a ideia de compressão do ar, porém com atenção para as moléculas, mostrando que esse aluno reconhece o do que se trata uma observação microscópica, e que compressão é a diminuição do espaço vazio entre as moléculas. A ideia de causa e consequência, como na reposta anterior, é distorcida, colocando a água como o “agente” do fenômeno, como se ela fizesse o ar comprimir.

“Ao soprarmos as moléculas de ar se uniram. Com isso, aumentou a pressão e diminuiu seu espaço, deixando a água com espaço maior.”

Há uma confusão entre diminuição dos espaços vazios e união das moléculas. Para esse educando as moléculas se unem e isso causa aumento de pressão. Não ocorreu a

percepção de que foi exercido um aumento de pressão no sistema, e isso fez com que as moléculas ficassem mais próximas umas das outras.

“Que o ar achou um ‘espaço’ para dar lugar a água, e que o gás ficou com suas moléculas mais juntinhas.”

Na resposta acima, observa-se que o aluno vê o ar como sujeito da ação, que ele acha um espaço para a água ocupar, como se o material tivesse vontades e fosse capaz de realizá-las.

“O espaço entre a molécula diminuiu fazendo o ar se comprimir.”

Observa-se na resposta transcrita que o aluno entende, de forma equivocada, que compressão é a diminuição dos espaços dentro da molécula, como ele afirma. O estudante vê a diminuição dos espaços vazios como causa para a compressão, e não como explicação do que é a compressão.

“Sendo o ar comprimido as suas moléculas ficam mais próximas uma das outras e assim a água ocupa espaço que antes era do ar.”

A resposta acima demonstra a compreensão desse estudante sobre o que ocorre microscopicamente no experimento, incluindo a correta relação de causa e consequência, em que a água ocupa o espaço vazio decorrente da compressão do ar.

“O ar que é colocado no aparelho exerce pressão sobre a água que entra na pipeta, e que pressiona o ar de lá. Ao ser pressionado, a suas moléculas se comprimem e passam a ocupar um menor espaço.”

Nessa resposta, observa-se que a ideia de compressão é mantida, porém aparentemente compreendida, diferindo das respostas anteriores. a relação entre volume e pressão também está correta, demonstrando que o aluno percebeu que o aumento da pressão resulta em uma diminuição do volume gasoso.

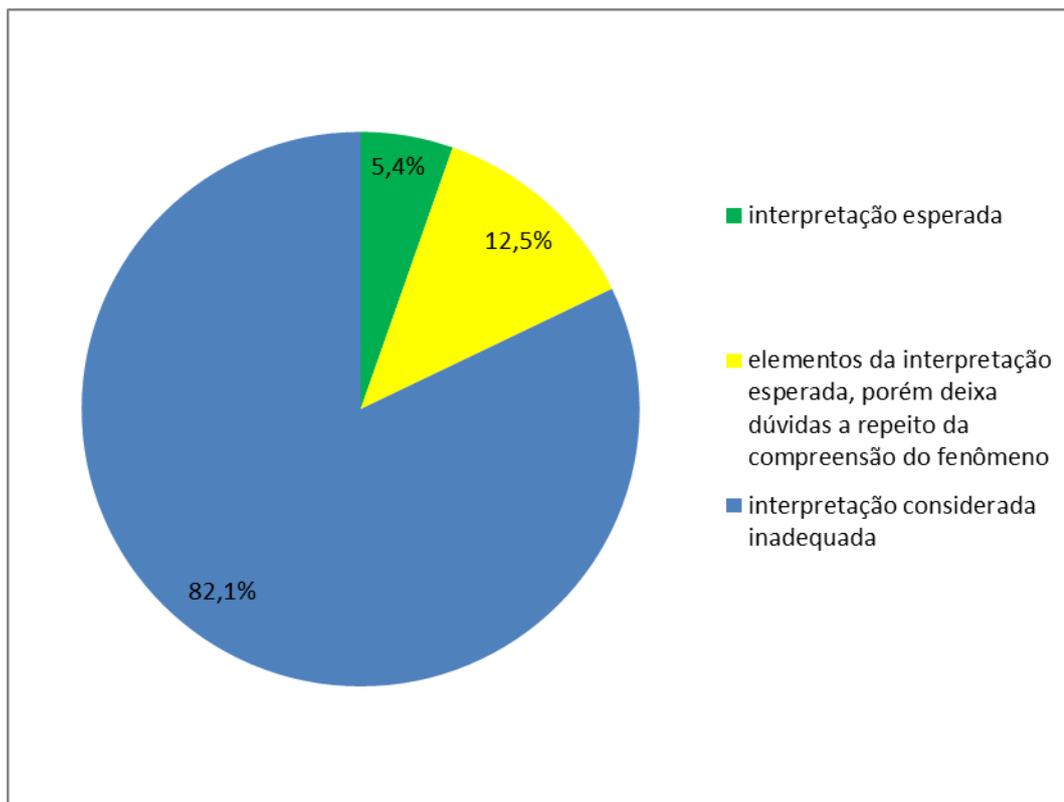


Gráfico 4: Relativo às respostas da pergunta 3, consideradas adequadas e inadequadas.

Dez alunos apresentaram respostas consideradas adequadas, ou 17,9% (5,4% de verde e 12,5% de amarelo). Dentro do núcleo “o ar foi comprimido”, 3 alunos, o correspondente a 5,4% deram respostas completas, consideradas corretas. Observa-se que metade dos alunos que responderam a essa questão no questionário afirma que o ar foi comprimido, alguns explicam o que seria essa compressão, e as respostas vão desde a diminuição dos espaços vazios entre as moléculas, até a diminuição do volume das mesmas. É possível perceber que os educandos confundem volume dos gasoso com volume das moléculas. Para muitos, a diminuição do volume, que seria apenas a redução dos espaços vazios entre as moléculas, se dá através da diminuição do volume delas, evidenciando o desconhecimento de um dos princípios da teoria cinética dos gases (o volume de cada molécula, bem como suas interações intermoleculares, são desprezíveis). Aqui se verifica, mais uma vez, a dificuldade na compreensão do que significa uma descrição microscópica. A grande maioria das respostas apenas relacionava as propriedades diretamente observadas. Apenas sete respostas, correspondendo a oito alunos (14,28%), envolveram moléculas nos seus argumentos.

Pergunta 4 Faça um modelo sobre o que você acha que está acontecendo, ao longo do experimento. (Representar por meio de desenho).

Respostas	Número de alunos
O ar comprimido possui mais moléculas que o ar antes do experimento	18
Representou o manômetro apenas	7
Representou a água subindo	3
Representou apenas o aparato experimental	8
As moléculas de ar estão mais próximas e o número de moléculas antes e depois do experimento é o mesmo	9
O ar possui mais moléculas antes do experimento	1
No final do experimento não há ar	2
Representou apenas o ar comprimido	6

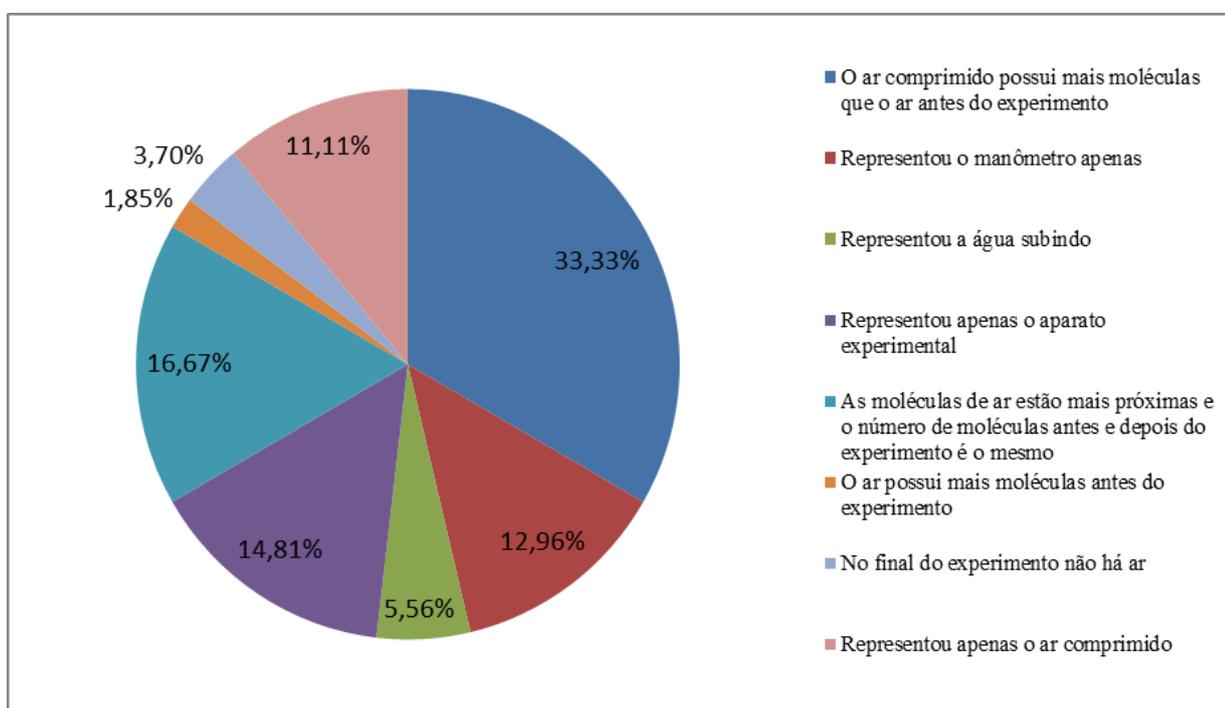


Gráfico 5: Respostas relativas à pergunta 4.

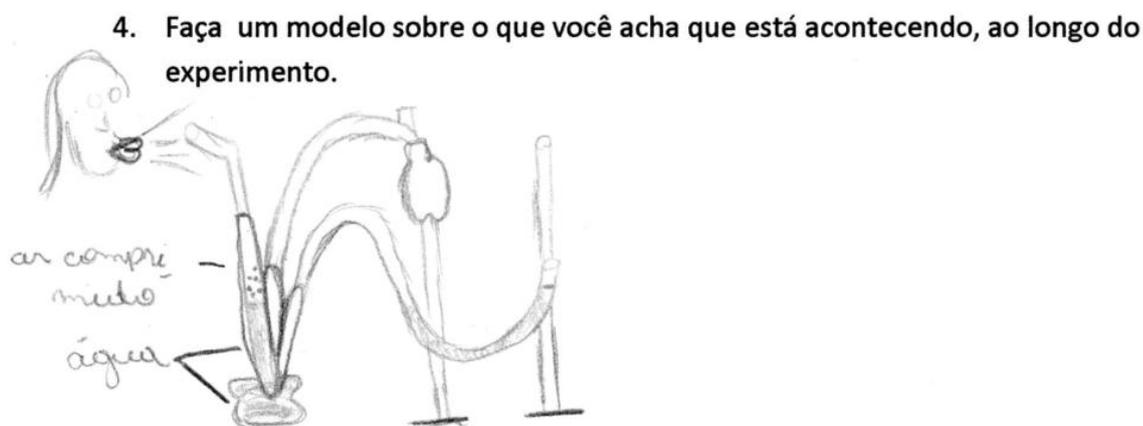
Observa-se que apenas 16,67%, ou nove alunos, fizeram um modelo adequado. A maioria dos alunos não se preocupou em representar o mesmo número de moléculas antes e depois do experimento (33,33%). Dois alunos chegaram a afirmar que o ar desaparece ao longo do experimento. Esses alunos não se atentaram de que o sistema era fechado e por isso não havia liberação de gases para a atmosfera. Foi feito o acompanhamento das aulas de Química da professora das turmas em que o trabalho foi realizado, ministradas antes da realização do experimento, e foi visto que um exercício semelhante foi feito pelos alunos. Na ocasião, um aluno que representou erroneamente o sistema foi corrigido e a professora

explicou que o número de moléculas antes e depois do experimento deveria ser igual, apenas a distância entre elas diminuiria. Mesmo assim, muitos alunos não se lembraram desse fato.

O aparato experimental foi bastante representado mesmo com o esclarecimento do que seria um modelo explicativo – um modelo de representação para a melhor compreensão da interpretação microscópica. O manômetro chamou grande atenção, apesar de ser apenas um instrumento para medir pressão, muitos alunos focaram sua atenção na alteração desse aparelho, em detrimento do ocorrido no experimento em si. Este aspecto mostra a dificuldade dos alunos em delimitar o sistema. Novamente houve confusão no significado de descrição microscópica e macroscópica. Alguns alunos representaram o ocorrido macroscopicamente como modelo representativo.

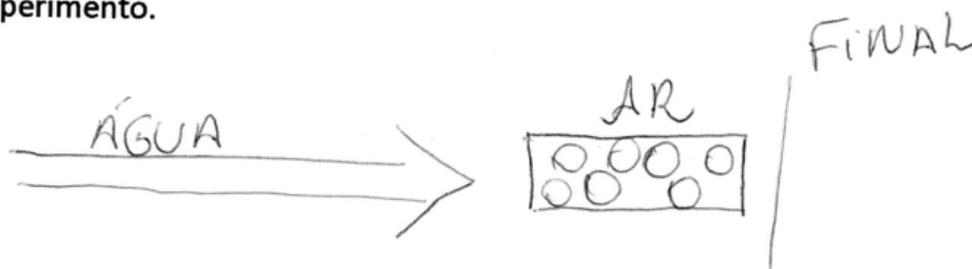
Um dos alunos, em particular, nos chamou a atenção durante a realização do experimento. Ele sabia enunciar a lei e explicou aos colegas o que estava acontecendo, corrigindo-os, inclusive na representação do modelo, atentando para o fato de que a quantidade de moléculas antes e após a variação da pressão deveriam ser as mesmas.

Alguns desenhos dos modelos representados:



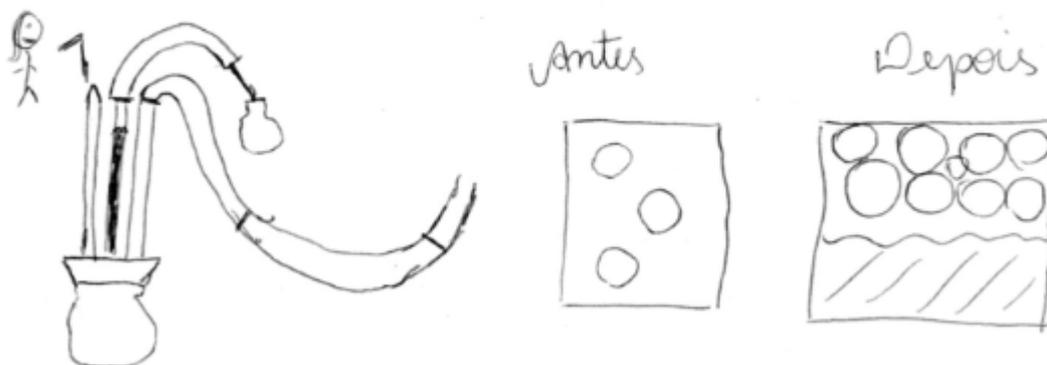
Nota-se que o aluno deu atenção ao aparato experimental, não elaborando um modelo de representação microscópica.

4. Faça um modelo sobre o que você acha que está acontecendo, ao longo do experimento.



Nesse desenho, o aluno mostra que para ele, a água faz o ar desaparecer. Evidencia a não compreensão do fenômeno microscópico.

4. Faça um modelo sobre o que você acha que está acontecendo, ao longo do experimento.



Nesse modelo, o aluno acredita que o número de moléculas antes e depois do experimento é diferente.

4. Faça um modelo sobre o que você acha que está acontecendo, ao longo do experimento.



Na representação acima, o aluno demonstra a preocupação em igualar o número de moléculas antes e depois do experimento, mostrando a diminuição dos espaços vazios entre elas.

Pergunta 5 Você acha que utilizar a experimentação juntamente com as aulas teóricas ajuda na compreensão do conteúdo?

Respostas	Número de alunos
sim	37
bastante, fica bem mais fácil de compreender	8
sim, pois torna as aulas mais dinamicas e mais fáceis de entender	6
sim, porque a gente acompanha de perto o processo	1

sim, mas antes de passar, mandar os alunos estudar a lei	1
sim, pois são duas formas de passar o conteúdo	1
sim, pois quando se demonstra a aula teórica os alunos aprendem mais	2
sim, ajuda na fixação do conteúdo	1

Todos os alunos acham que a experimentação auxilia na compreensão do conteúdo. O que mais chama atenção é ideia de que conhecimento deve ser passado do professor para o aluno e que o aluno deve fixa-lo. Para alguns, obrigatoriamente, a experimentação deve ocorrer após a teoria, e os alunos devem revê-la antes da prática.

Pergunta 6 Você acha que o experimento realizado o ajudou no processo de aprendizagem?

Respostas	Número de alunos
sim, pois sem os experimentos seria mais difícil analisar os acontecimentos	1
sim.	35
sim, pois com a prática fica mais fácil de entender	16
não	1
sim, pois é mais fácil a fixação	2
sim, pois já temos uma básica noção de como se mede pressão	1
sim, mas dependendo pode confundir	1
sim, é mais fácil de memorizar	1

Constata-se que os alunos acham que a experimentação auxilia o processo de aprendizagem e o torna mais interessante. Apenas um aluno afirma que a prática não contribuiu para a sua aprendizagem e outro faz uma ressalva, de que o experimento pode confundi-lo. Mais uma vez a ideia de memorização está presente como sinônimo de aprendizagem, evidenciando a percepção do aluno de que processo de ensino-aprendizagem ocorre através da repetição de conceitos pré-determinados. Um dos alunos mostra o enfoque no aparato experimental, interpretando o objeto de estudo como sendo o manômetro.

Ao longo da realização do experimento, foi possível observar que a maioria dos alunos conseguiu explicar o que estava acontecendo com o ar, que seu volume diminuía quando a

pressão no sistema aumentava, porém, não conseguiram representar por meio de desenho ou escrita.

Através das análises dos questionários, obtiveram-se apenas 1 aluno (o que representa 1,7% do total de questionários respondidos), respondeu corretamente as três questões, enquanto 3 alunos (5,3%) acertaram simultaneamente apenas as questões 2 e 3. Apenas o aluno que acertou as três questões soube descrever a observação macroscópica e propor um modelo corretamente, porém, outros 3 alunos (5,3%), que não acertaram a questão 2, responderam corretamente a 3 e a 4.

Houve muita dificuldade ao diferenciar o microscópico do macroscópico, mesmo com explicação prévia da diferença entre eles.

3.2 Análise do observado no Ensino Superior

O trabalho com o Ensino Superior foi realizado em um projeto do REUNI na Universidade de Brasília. Alunos se voluntariaram para realizar o experimento proposto.

Respostas para o questionário aplicado ao ensino superior:

Pergunta 1. O que achou do experimento realizado?

Respostas	Número de alunos
Interessante	6
Importante	1

Pergunta 2. O que mais gostou em relação ao experimento realizado?

Respostas	Número de alunos
Relação teoria-prática	1
As conclusões claramente observadas em relação à teoria	1
Os equipamentos usados	1
Os gráficos	2

Pergunta 3. A realização do experimento aprimorou seus conhecimentos a respeito do conceito químico apresentado? Como?

Respostas	Número de alunos
-----------	------------------

Sim, provando a lei dos gases	1
Sim, aumentou a percepção pela prática da teoria	1
Sim, a visualização contribuiu para a fixação dos conceitos	1
Sim, no entendimento do conceito	1
Sim, através da análise de dados	1
Novo método para medir pressão	1

Pergunta 4. O que você acha da realização de experimentos paralelamente à disciplina teórica?

Respostas	Número de alunos
Importante por ajudar no entendimento do cotidiano	2
Extremamente importante e necessária	1
Reforça a teoria e melhora o entendimento	2
Melhora o aprendizado e aumenta o interesse	1

Pergunta 5. Descreva conceitualmente o princípio da Lei de Boyle.

Respostas	Número de alunos
A pressão interna do sistema é inversamente proporcional ao volume	2
A pressão varia de acordo com a temperatura, juntamente com o volume e pressão são inversamente proporcionais	1
A variação de pressão é inversamente proporcional à variação de volume	2
Ao aumentar a pressão do sistema diminui-se o volume de gás	1

Pergunta 6. Relacione o fenômeno observado com a teoria.

Respostas	Números de alunos
Ao aumentar a pressão interna o ar atmosférico dentro do balão foi comprimido	3
Ao assoprar no canudo, diminui-se o volume variando a pressão	1
Alterando-se a pressão tem-se uma alteração no volume de água	1

Observa-se que alguns alunos do ensino superior não conseguem compreender claramente a Lei de Boyle, que não demonstra a relação de proporcionalidade entre pressão e volume, sendo o gráfico dessas grandezas uma isoterma, mas na proporcionalidade de suas variações o que se traduz em uma reta.

Na observação e interpretação do fenômeno, 40% dos alunos traduzem erroneamente o que acontece, afirmando que por ação da diminuição do volume acontece um aumento de pressão, sendo que nesse experimento, aplica-se um aumento de pressão e ocorre uma consequente diminuição do volume de ar atmosférico dentro do balão.

É curioso perceber, que a ideia de experimentação reforçando a prática é bastante presente nos estudantes consultados do ensino superior, pois tratam a teoria como se fosse mais relevante que a prática.

Uma das respostas chamou a atenção por ser a mesma obtida por um dos alunos de ensino médio, dizendo que a prática contribuiria como um novo método de medir pressão, focando a atenção no manômetro (equipamento tradicional para medir pressão), colocando-o como objeto de estudo.

A observação dos alunos do ensino superior foi realizada com voluntários através de um projeto de graduação. Por essa razão, o espaço amostral foi pequeno, porém as respostas obtidas foram úteis para a realização do trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se nesse trabalho o nível de conhecimento dos alunos sobre a Lei de Boyle. Observou-se que mesmo tendo estudado anteriormente poucos a reconheciam pelo nome o que sustenta a necessidade de contextualização histórica e de se comentar um pouco mais sobre o cientista que a formulou. Quando explicado que a Lei era para transformações isotérmicas em sistemas ideais, grande parte dos alunos soube a fórmula, porém não mostraram compreensão do que ela realmente significa. Em outras palavras, eles conhecem, porém não compreendem o enunciado das Lei de Boyle.

Os alunos mostraram-se bastante interessados e curiosos em relação ao aparato experimental. Fizeram perguntas sobre o que era cada parte do instrumento e sua função. Constata-se assim, o primeiro passo para a aprendizagem significativa, o despertar do interesse e curiosidade. A medida que os estudantes ficavam indagados, aumentava a atenção e a vontade de aprender sobre o que estava sendo exposto. O experimento mostrou-se um grande aliado do educador nessa etapa do processo educativo.

Ao solicitar um voluntário para a realização do experimento, notou-se que em cada grupo de alunos havia um que se prontificava e os outros o observavam com atenção. Ao observar o colega realizando o experimento os demais se sentiam também parte do processo e não apenas meros espectadores. Esse é mais um ponto relevante a ser comentado, pois em aulas expositivas em que os alunos são solicitados, quando são solicitados, apenas para responder a perguntas realizadas pelo professor, muitos se sentem acanhados e com medo de errar, não interagem, e, portanto não se sentem parte do processo. Com uma atividade mais lúdica e descontraída, a qual foge da rotina desses educandos, e por se tratarem de pequenos grupos, formados a livre escolha deles, o acanhamento diminui e observa-se uma maior participação, inclusive na indagação sobre o que ocorre no experimento.

A discussão foi conduzida com perguntas sobre o ocorrido e as respostas, no início com foco no macroscópico foram se direcionado para o microscópico. O curioso foi que prontamente a maioria dos alunos afirmava que o ar havia sido comprimido com o aumento de pressão, porém poucos souberam explicar o que era compressão, e identificar uma diminuição de volume gasoso com um aumento da pressão exercida no sistema. Na análise dos questionários, ficou evidente essa tendência da “resposta automática” em que os alunos respondiam corretamente, mas representavam em modelos que evidenciavam ideias completamente distintas daquelas escritas.

A confusão entre observação macroscópica e interpretação microscópica também ocorreu, mesmo depois de prévia explicação com exemplos, o que confirma a dificuldade da transposição do observado para a explicação com o uso de conhecimento anteriormente disponibilizado, mas obviamente não adquirido. Essa confusão evidencia a necessidade do uso de experimentos para que os alunos aprendam a fazer essa transposição do macroscópico para o microscópico.

Na questão em que eles deveriam fazer um modelo, representado através de desenho muitos entenderam como modelo o próprio aparato experimental, ao invés da representação microscópica do fenômeno. Dos que representaram microscopicamente, muitos representaram um aumento ou diminuição do número de moléculas. Como a professora já havia feito um exercício semelhante em sala, presume-se que há grande falta de interesse da maioria dos alunos pelas aulas expositivas de Química, mesmo com os esforços da professora para dinamiza-las. Essa é uma comprovação de que o interesse dos alunos é um pré-requisito para que ocorra efetivamente o processo de ensino-aprendizagem.

Em relação aos alunos recém-ingressos no ensino superior, chama atenção a confusão de conceitos em relação à Lei dos gases. A afirmação de que pressão e volume são grandezas inversas e a forma equivocada de relacionar a Lei de Boyle utilizando as três grandezas, são exemplos dessa confusão conceitual. Pode-se propor a utilização desse experimento nas disciplinas iniciais do curso de graduação, que proporciona uma visualização do fenômeno e a exploração do ocorrido pode ajudar a esclarecer e desfazer essas confusões.

Conclui-se que o experimento pode ser um grande aliado do educador no processo de ensino, podendo ser realizado em laboratórios muito ou pouco equipados,

e tanto na educação básica quanto na educação superior. A dificuldade da prática está apenas na correta vedação do sistema, para que não escape ar, o que impossibilitaria a visualização do fenômeno. O experimento de Boyle proporciona uma contextualização histórica, pois é uma reprodução do experimento realizado por Boyle, e mostra aos alunos como muitas vezes é possível chegar a conclusões complexas a partir de mecanismos simples. Uma alternativa, caso o professor tenha acesso a um laboratório mais bem equipado, é a análise quantitativa, podendo-se observar o comportamento da isoterma de Boyle e a não proporcionalidade entre volume e pressão, mas entre suas variações.

REFERÊNCIAS

BRIMHALL, J., NAGA, S. Where did the water go? Boyle's law and pressurized diaphragm water tanks *J. Chem. Edu.* 84, 3, 2007.

CAMPBELL, D. J., BANNON, S. J., GUNTER, M. M. Gas Property Demonstrations Using Plastic Water Bottles, *J. Chem. Edu.*, 88, 2011

CARTER, D.W. Testing Boyle Law – A context for statistical-methods in the undergraduate laboratory. *J. Chem. Edu.*, 62, 6, 1985.

FRANCISCO JR., W. E., FERREIRA, L. H., HARTWING, D. R. Experimentação Problematizadora: Fundamentos Teóricos e práticos para a Aplicação em Salas de Aula de Ciências. *Química Nova na Escola* n.30, p.34-41, 2008.

GIORDA, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências, *Química Nova na Escola* n.10, p.43-49, 1999.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo a Aprendizagem Significativa. *Química Nova na Escola*, v.31, n.3, p. 198-202, 2009.

GREENBERG, A. *Uma breve história da química – da alquimia às ciências moleculares modernas*. 1ª ed. Edgard Blucher, São Paulo – SP, 2009.

RICHMOND, T.G. A U-Tube experiment to discover the curve in Boyle's law *J. Chem. Edu.*, 74, 4, 1997.

http://biografias.netsaber.com.br/ver_biografia_c_4256.html Acesso realizado em 18/11/11, às 10:43.

<http://www.brasilecola.com/biografia/robert-boyle.htm> Acesso realizado em 18/11/11, às 12:09.

<http://www.ahistoria.com.br/biografia-robert-boyle/> Acesso realizado em 18/11/11, às 12:13.

APÊNDICE 1

Questionário para alunos de ensino médio

Série: _____

1. O que achou do experimento observado?

2. Descreva o que você vê que acontece no sistema, macroscopicamente.

3. O que você acha que aconteceu no sistema microscopicamente?

4. Faça um modelo sobre o que você acha que está acontecendo, ao longo do experimento.

5. Você acha que utilizar a experimentação juntamente com as aulas teóricas ajuda na compreensão do conteúdo?

6. Você acha que o experimento realizado o ajudou o processo de aprendizagem?

APÊNDICE 2

Questionário para alunos de graduação

Semestre: _____

Disciplinas cursadas na área de físico-química:

1. O que achou do experimento realizado?

2. O que mais gostou em relação ao experimento realizado?

3. A realização do experimento aprimorou seus conhecimentos a respeito do conceito químico apresentado? Como?

4. O que você acha da utilização de experimentos paralelamente à disciplina teórica?

5. Descreva conceitualmente o princípio da Lei de Boyle.

6. Relacione o fenômeno observado com a teoria.
