

Planejamento fatorial sob uma perspectiva investigativa com base na teoria de falseamento de Karl R. Popper

RESUMO

Evelyn Jeniffer de Lima Toledo

jeniffer.toledo@gmail.com

0000-0003-4266-4377

Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Luiz Henrique Ferreira

ferreiraufscar@gmail.com

0000-0002-5737-9723

Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

A aprendizagem e a motivação na sala de aula podem ser fortalecidas pela inserção de atividades experimentais pautadas na participação do aluno como agente ativo. Para isso, embora o objetivo não seja o mesmo da ciência, não se deve abrir mão dos pressupostos teóricos mínimos, tanto da teoria quanto dos procedimentos e dos instrumentos de coleta de dados. Uma possibilidade para verificar a adequabilidade da atividade é através de ferramentas estatísticas como o planejamento fatorial de forma concomitante com a teoria de falseamento de Popper. Quando ambas as teorias são usadas juntas é possível explorar o potencial para testar não apenas o experimento como um todo, mas os próprios instrumentos de coleta de dados. Assim, neste trabalho os instrumentos de coleta de dados de um experimento da literatura nacional foram submetidos à análise fatorial resultando em evidências da sua inadequabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Efeito Estufa. Experimento. Planejamento Fatorial.

INTRODUÇÃO

A atividade experimental na sala de aula vem sendo superestimada pela comunidade em geral, o que pode ser verificado através das propagandas de várias escolas que fazem uso das imagens de seus reagentes e laboratórios correlacionando a simples presença com a ideia de qualidade (SUART, 2008). É consenso entre professores, ingênuos, que as atividades práticas possuem uma alta capacidade motivacional e conseqüentemente resultam em um ganho em habilidades manuais e cognitivas (GIORDAN, 1999). Esse consenso não está apenas entre os professores que fazem uso de tais práticas, mas também se encontra entre aqueles que não as incluem em suas aulas e estes se justificam com a falta de tempo, materiais e outras ausências (LABURU; BARROS; KANBACH, 2007; SILVA et al., 2009). Porém, a simples presença das atividades práticas pouco tem a ver com melhores processos de ensino e aprendizagem, sua inserção na sala de aula não se justifica absolutamente nem no quesito motivacional, afinal há alunos que a intitulam como desinteressante, seja pelo demorado tempo de execução ou pela falta de cores, e outros que a consideram uma perda de tempo (THOMAZ, 2000; BORGES, 2002). Assim, as pesquisas têm sugerido que não é a presença de experimento em si a geradora de ganho cognitivo aos alunos, mas a natureza de tais atividades práticas a responsável por estes resultados. A melhora nessas habilidades está mais relacionada com o envolvimento do aluno do que com a execução de protocolos (SUART, 2008). O sujeito aprende quando pensa, reflete, se questiona, age, ou seja, quando ele é o protagonista da atividade (BORGES, 2002). Por outro lado, ele não aprende e sim é adestrado quando é simplesmente treinado para a execução de um roteiro (GIOPPPO; SCHEFFER; NEVES, 1998).

Essa autonomia é característica básica de atividades denominadas investigativas, tanto em processos de ensino teórico quanto em aulas práticas. Em ambas as situações os alunos são expostos a uma questão problema e devem ser capazes de elaborar uma hipótese, planejar e executar seu teste e a partir dos dados obtidos chegar a conclusões (ZOMPERO; LABURU, 2011).

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratório como "projetos de investigação", favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas afirmações, a confrontar resultados, e obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais (LEWIN; LOMASCÓLOGO, 1998 apud CARVALHO, 2004).

Todo o processo, desde a elaboração da hipótese até as conclusões finais e temporárias, exige que o aluno se coloque em uma posição ativa sendo o principal responsável pelo próprio aprendizado. Dentro desse escopo, a elaboração da metodologia para se testar a hipótese é um ponto fundamental na construção de modelo, embora muitas vezes uma atenção maior é dispensada aos resultados finais privilegiando o produto em detrimento do processo (CARVALHO, 2004). Resultados sem um processo de qualidade não têm valor científico. Sendo assim, processo e produto são indissociáveis e relegar qualquer um destes é uma postura equivocada.

Portanto, atribuir ao processo à pertinência que ele merece é um aspecto fundamental da construção de modelos, e uma evidência de que há falhas nessa atribuição é o número de experimentos presentes na literatura que afirmam

simular determinado fenômeno quando na verdade pouco se correlacionam a ele (TOLEDO; FERREIRA, 2014; TOLEDO; FERREIRA, 2015; TOLEDO; FERREIRA, 2016).

Assim, tendo em mente a hipótese, é necessário que o experimentador se atente para o planejamento do experimento e este envolve não apenas o domínio teórico do modelo em questão, mas também o domínio teórico do procedimento e concomitantemente o controle sobre os instrumentos de coleta de dados. Afinal, mesmo que a teoria esteja clara para o experimentador, lapsos sobre o procedimento e seus instrumentos de coleta podem resultar em dados desprovidos de concordância com a teoria e, portanto sem significado relevante para a hipótese. Logo, é importante chamar a atenção para a necessidade do cuidado na escolha dos equipamentos, pois caso esse passo não seja feito com cautela mesmo que os sujeitos não estejam fazendo uso de má fé podem ser iludidos pelos seus próprios dados, pois o que parece ser uma confirmação pode significar uma simples coincidência.

Testar um experimento não é apenas buscar dados que corroborem com a teoria, mas "desafiá-lo". Segundo Popper (1980) obter dados confirmatórios é relativamente trivial, por isso as verificações só devem ser consideradas quando são resultados de predições audaciosas, afinal afirmações muito gerais que incluem diversas possibilidades, segundo este mesmo autor, são pseudocientíficas.

Ainda, segundo Popper (1972), um modelo só é bom se resistir a testes, não basta que existam dados corroborativos, é preciso que haja sustentabilidade dos mesmos quando submetido a provas.

Se a decisão for positiva, isto é, se as conclusões singulares se mostrarem aceitáveis ou comprovadas, a teoria terá, pelo menos provisoriamente, passado pela prova: não se descobriu motivo para rejeitá-la. Contudo, se a decisão for negativa, ou, em outras palavras, se as conclusões tiverem sido falseadas, esse resultado falseará também a teoria da qual as conclusões foram logicamente deduzidas.

Importa acentuar que uma decisão positiva só pode proporcionar alívio temporário à teoria, pois subsequentes decisões negativas sempre poderão constituir-se em motivo para rejeitá-la. Na medida em que a teoria resista a provas pormenorizadas e severas, e não seja suplantada por outra, no curso do progresso científico, poderemos dizer que ela "comprovou sua qualidade" ou foi "corroborada" pela experiência passada (POPPER, 1972).

Desse modo é imprescindível que um modelo seja submetido a provas, pois um resultado favorável pode ser apenas obra do acaso, afinal como sugerido por Descartes é possível chegar a respostas verdadeiras através de premissas falsas (CHIBENI, 1993).

É importante salientar que um resultado que não corrobore com uma teoria consolidada não é suficiente para refutá-la, até mesmo porque não existe teoria sem alguns resultados anômalos. Igualmente, o professor deve destacar aos alunos que os experimentos que executam em sala de aula não são meios seguros para se optar entre modelos, visto que não são adotados todos os rigores científicos necessários (HODSON, 1988).

Uma possibilidade para se testar um modelo é variar seus parâmetros e determinar se as respostas obtidas se encontram dentro da faixa predita e, caso o resultado seja afirmativo, o modelo ganha consistência. Em geral, quando existe mais de uma variável conhecida que afete o sistema, a intuição primeira diz que é

suficiente alterar um parâmetro enquanto se “congela” os outros. Porém, esse procedimento impede que se perceba o efeito que uma variável tem sobre a outra e uma alternativa para contornar essa limitação é através de um modelo estatístico intitulado planejamento fatorial. No planejamento fatorial é preciso elencar as variáveis importantes para o sistema, construir uma matriz experimental e então, através das respostas, estimar o efeito que cada variável tem sobre o sistema e a influência que uma gera na outra (NETO; SCARMINIO; BRUNS; 2001).

Portanto, o intuito deste trabalho é mostrar como o planejamento fatorial pode ser uma ferramenta positiva no teste de um modelo, dando subsídios para o domínio do conteúdo metodológico e instrumental e assim, prever se a escolha do equipamento é adequada para o que se pretende avaliar.

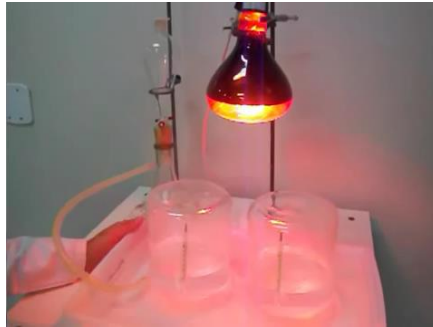
METODOLOGIA

Tendo em vista a importância da Teoria do Efeito estufa para o meio ambiente e a complexidade do assunto em questão, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os experimentos que pretendem simulá-lo no banco de dados do Google Acadêmico e da Web of Science sendo localizados aproximadamente 10 protocolos. Para este trabalho foi escolhido um único experimento que atendeu aos critérios: (a) fazer parte da literatura nacional; (b) facilidade de acesso ao seu protocolo pela comunidade acadêmica e leiga e (c) facilidade de acesso aos materiais e reagentes.

Assim, considerando que este experimento se encontra disponível em uma revista nacional não paga e na forma de vídeo no site Youtube e que seus materiais e reagentes são comuns em laboratórios de química geral, exceto a lâmpada de I.V. que pode ser adquirida facilmente no comércio por aproximadamente R\$70,00, o mesmo foi considerado ideal para os objetivos deste trabalho. Além disso, o experimento foi premiado pela Sociedade Brasileira de Química no ano de 2011, conferindo ao mesmo uma relativa confiabilidade e popularidade (COELHO, BARBALHO; ESCREMIN, 2014).

RESULTADOS

O protocolo do artigo em questão, resumidamente, foi: Um béquer é preenchido com água até a metade e em seu interior há um termômetro farmacêutico. Um segundo béquer, também com um termômetro, é totalmente preenchido com água. Ambos os béqueres são vertidos em uma bacia semipreenchida com água. No béquer completamente preenchido é inserida uma mangueira por onde é injetado CO_2 , produzido através de uma reação entre bicarbonato de sódio e ácido acético, que pressiona a coluna de água até que a altura dos gases se iguale em ambos os recipientes. Neste momento, o fluxo de entrada do gás é interrompido, uma lâmpada de I.V. de 150W é ligada e a temperatura registrada após 20 minutos. A configuração final do sistema pode ser visualizada na Figura 1



(Fonte: COELHO; BARBALHO; ESCREMIN, 2014).

Como resultado final os autores obtêm uma variação de 2°C a mais para o sistema com CO₂ em relação ao sistema com ar sendo essa diferença atribuída ao efeito estufa. Entretanto, estes autores, assim como grande parte dos experimentadores não submeteram seu modelo a teste o que gera alguns questionamentos:

- Seria o resultado uma coincidência com o modelo teórico que afirma que uma atmosfera rica em CO₂ aquece mais do que um sistema pobre nesse gás? Ou uma plausível comprovação para o modelo em questão?

O primeiro aspecto a se testar é a adequação das condições experimentais, pois se elas já forem indevidas não é possível seguir adiante. Assim uma alternativa é submeter os equipamentos a uma análise fatorial.

Para que o teste seja realizado apenas com o aparato experimental, ignorando o fator efeito estufa, o CO₂ não deve ser injetado em nenhum dos recipientes e estes devem conter apenas ar atmosférico no mesmo volume e, portanto, a variação da temperatura, denominada resposta, deve ser estatisticamente equivalente.

Deste modo, os fatores deste sistema são: termômetros, posição da lâmpada e o recipiente em que o ar está contido. Enquanto isso, o volume de água e ar em ambos os sistemas são mantidos constantes.

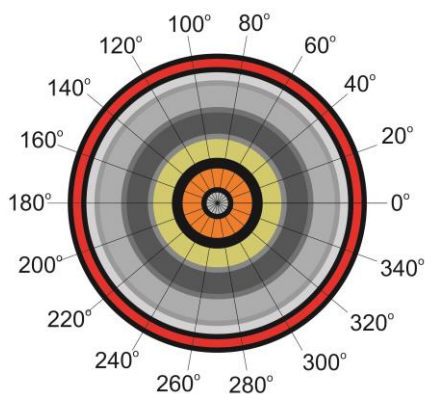
A vantagem de se utilizar a análise fatorial ao invés do senso comum, que diz que basta fixar um fator enquanto se varia o outro, é poder variar todos os fatores ao mesmo tempo e assim obter dados sobre como as variáveis se influenciam mutuamente. A influência de uma variável sobre a outra é chamada de interação, sendo mais comum do que a situação em que as variáveis atuam de forma independente (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

Para este caso, a situação ideal seria que as variáveis não agissem umas sobre as outras ou o fizessem de forma mínima, pois o objetivo deste sistema é que o termômetro, a posição da lâmpada ou a alternância entre os dois recipientes não alterem a resposta de forma significativa. Afinal, como o intuito de um experimento que simule o efeito estufa é mostrar que há uma variação de temperatura ocasionada pela mudança na composição atmosférica, quando a atmosfera é única às temperaturas também devem se equivaler.

Após definir quais são os fatores é preciso definir também em quantos e quais níveis eles irão ser variados. Por exemplo, a lâmpada pode ser reposicionada de grau em grau em relação a sua posição inicial o que resultaria em 360 possibilidades (Figura 2). Este procedimento é recomendável porque o vidro pelo

qual a luz atravessa em direção à parte externa da lâmpada é bastante irregular quanto à espessura, o que pode gerar diferentes intensidades de luz em pontos isolados de uma mesma área iluminada.

Figura 2- Desenho esquemático da visão que se tem da parte superior da lâmpada de I.V. representando algumas das possibilidades para que seja posicionada em relação a ela mesma, ou seja, cada giro de um único grau ou fração de grau representa uma nova posição.



(Fonte: imagem autoral)









Neste trabalho foi feita a opção por usar somente 2 níveis para todas as variáveis. Assim o número de experimentos mínimos a serem executados equivale a 2^x , sendo x igual ao número de variáveis, o que neste caso equivale a 3. Logo, serão necessários $2^3 = 8$ experimentos.

Dessa forma, para fazer um planejamento fatorial completo devem-se realizar experimentos com todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores, sendo que as combinações neste trabalho referem-se às possibilidades de posição em relação a posição inicial. Convencionalmente, para representar os níveis de alta ordem e de baixa ordem utilizam-se os números +1 e -1, respectivamente. Arbitrariamente foi adotado um ponto fixo na lâmpada e este foi denominado LE sendo -1 quando este ponto situa-se ao lado esquerdo do observador e +1 quando este mesmo ponto se encontra do lado direito do observador. O ponto localizado a 180° do LE na lâmpada foi intitulado LD.

O mesmo critério foi seguido para as outras variáveis. Assim, um termômetro e um recipiente foram denominados arbitrariamente TE e PE enquanto que a 180° destes pontos foram feitas marcações intituladas TD e PD, respectivamente. Quando o TE ou o PE estivessem alocados no lado esquerdo do observador eram considerados estarem no nível de baixa ordem -1, e quando estivessem ao lado direito estariam no nível de alta ordem +1. Os nomes, posições e respectivos níveis podem ser visualizados na Figura 3.

Figura 3- Fatores analisados com seus respectivos níveis e a representação numérica referente as posições adotadas, tendo como referencial o observador. LE = Ponto da Lâmpada posicionado inicialmente a esquerda do observador, LD = Ponto da Lâmpada posicionado inicialmente a direita do observador, TE = Termômetro posicionado inicialmente a esquerda do observador, TD = Termômetro inicialmente posicionado a

direita do observador, PE = Recipiente posicionado inicialmente a esquerda do observador; PD = Recipiente posicionado inicialmente a direita do observador.

Lâmpada		Recipiente		Termômetro	
LE	LD	PE	PD	TE	TD
					
-1	-1	-1	-1	-1	-1
LD	LE	PD	PE	TD	TE
					
+1	+1	+1	+1	+1	+1

(Fonte: imagem autoral)

As palavras "baixa" e "alta" ordem são apenas convencionais e, portanto, não se relacionam com a amplitude da resposta.

O passo seguinte consiste em construir uma tabela com todas as combinações de fatores possíveis, ou seja, com todos os experimentos que podem ser realizados. E para isso colocam-se na primeira coluna os experimentos e na primeira linha de cada coluna as variáveis que serão analisadas. Neste caso, experimentos de 1 a 8 e variáveis de 1 a 3. Para preenchê-la, na primeira coluna inserem-se alternadamente os fatores -1 e +1; na segunda coluna duas vezes "-1" e duas vezes "+1", na terceira coluna quatro vezes "-1" e quatro vezes "+1" (Tabela 1). Caso houvesse uma quarta coluna esta teria 8 sinais negativos seguidos por 8 sinais positivos e assim sucessivamente.

Tabela 1- Matriz de planejamento fatorial para um sistema do tipo 2³.

Experimento	Variável 1 (Lâmpada)	Variável 2 (Recipiente)	Variável 3 (Termômetro)
1	-	-	-

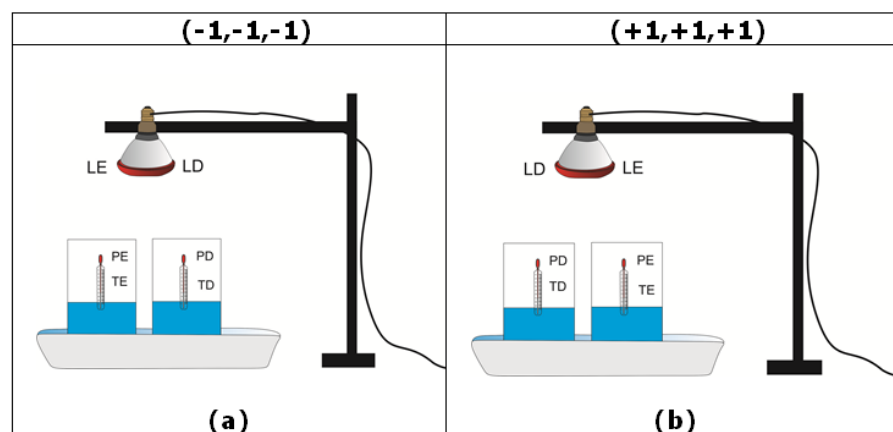
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Em posse dessas combinações está definido como os sistemas devem ser planejados. Caso o número de variáveis seja relativamente grande é possível simplificá-las através de outras técnicas de análise fatorial, como análise fracionada em que dezenas de fatores podem ser estudadas de uma única vez. Detalhes dessa técnica podem ser encontrados no livro de Neto, Scarminio e Bruns (2001).

A tabela dos experimentos é denominada matriz de planejamento fatorial e é padronizada, ou seja, é independente da natureza do experimento, pois para construí-la as informações necessárias são os números de variáveis e em quantos graus eles irão variar.

Assim, para se referir, por exemplo, ao experimento 1, usa-se o seguinte código: (-1,-1,-1) (Figura 4a), enquanto seu oposto (Figura 4b) é representado pelo código (+1,+1,+1).

Figura 4- Representação esquemática do sistema experimental (a) (-1,-1,-1) e do sistema (b) (+1,+1,+1)



(Fonte: imagem autoral)

Apesar da possibilidade de controle dessas variáveis, como citado antecipadamente, é impossível ter controle completo do sistema seja devido a variáveis desconhecidas ou a ocorrência de pequenas variações aleatórias como o ângulo ou altura dos olhos na leitura do termômetro, do volume de água, do

deslocamento da lâmpada. Assim, em conjunto, essas perturbações provocam erros e por isso é importante que os experimentos sejam executados aleatoriamente.

A aleatorização é outro princípio experimental extremamente importante que nos ajuda a impedir que fatores indesejáveis, dos quais não estamos cientes, contaminem os efeitos que queremos investigar. Se nós sorteamos a ordem de realização dos ensaios, a probabilidade de um desses fatores afetar uma resposta é a mesma para todas as respostas, e assim sua atuação ficará diluída (NETO; SCARMINIO; BRUNS; 2001).

Portanto, após a matriz estar completa os experimentos podem ser iniciados, preferencialmente, de forma aleatória.

Ao se executar inicialmente o Experimento 5 (-1,-1,+1), a variação de temperatura mensurada entre os termômetros TE e TD foi de 0,5°C. Considerando que a menor divisão do termômetro é de 1°C e portanto seu erro é 1°C/2, pode-se considerar que este sistema está de acordo com a teoria pois não houve diferença de temperatura significativa entre ambas as atmosferas. Neste caso, como discutido na introdução, muitos experimentadores se sentiriam satisfeitos e partiriam para a injeção de CO₂ em um dos recipientes, entretanto este é um procedimento inadequado, o que pode ser verificado ao se executar os outros experimentos. Todas as respostas obtidas para as 8 combinações de fatores podem ser verificadas na Tabela 2. As temperaturas máximas foram mensuradas após 50 minutos sob a radiação I.V. e a resposta (R) refere-se à variação de temperatura considerando TD-TE.

Tabela 2- Matriz de planejamento fatorial com suas respectivas respostas, sendo a resposta calculada pela variação de temperatura (TD-TE) após 50 minutos sob a incidência de radiação I.V.

Experimento	Variável 1 (Lâmpada)	Variável 2 (Recipiente)	Variável 3 (Termômetro)	R (Δ °C)
1	-1	-1	-1	4
2	+1	-1	-1	4
3	-1	+1	-1	3
4	+1	+1	-1	2
5	-1	-1	+1	0,5
6	+1	-1	+1	2
7	-1	+1	+1	3,5
8	+1	+1	+1	-1,5

Portanto, o resultado inicial, mesmo sendo favorável a teoria, foi apenas uma coincidência. Somente a partir das provas realizadas através da análise fatorial pode-se perceber a inadequação deste sistema para se mensurar a temperatura atmosférica. Este fato seria suficiente para justificar o abandono do experimento, mas a análise fatorial fornece outros detalhes importantes para a discussão dos resultados.

A partir da matriz de planejamento fatorial é possível construir uma tabela de coeficientes de contrastes, que expressa o efeito que as variáveis têm sobre o sistema de forma individual (efeitos principais) e de forma concomitante (efeitos de interação). Para isso, primeiramente coloca-se os efeitos principais, que neste

caso são: 1, 2 e 3; em seguida, os efeitos de interação de segunda ordem: 12, 13, 23, e por fim, o de interação de terceira ordem: 123 (Tabela 3).

Tabela 3- Tabela de coeficiente de contrastes para uma matriz de planejamento fatorial 2^3 . Exp = Experimento, Resp = Respostas.

Exp	Variáveis			Resp	Efeitos							
	V1	V2	V3		1	2	3	12	13	23	123	
1	-1	-1	-1	4								
2	+1	-1	-1	4								
3	-1	+1	-1	3								
4	+1	+1	-1	2								
5	-1	-1	+1	0,5								
6	+1	-1	+1	2								
7	-1	+1	+1	3,5								
8	+1	+1	+1	-1,5								

Para calcular os efeitos basta multiplicar as colunas correspondentes com a resposta através das seguintes fórmulas:

Efeito 1: $V1 \cdot R$

Efeito2: $V2 \cdot R$

Efeito 3: $V3 \cdot R$

Efeito 12: $V1 \cdot V2 \cdot R$

Efeito 13: $V1 \cdot V3 \cdot R$

Efeito 23: $V2 \cdot V3 \cdot R$

Efeito 123: $V1 \cdot V2 \cdot V3 \cdot R$

Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4- Tabela de coeficiente de contrastes para uma matriz de planejamento fatorial 2^3 com os efeitos calculados de cada experimento. Exp= Experimento, Resp= Respostas.

Exp	Variáveis			Resp	Efeitos							
	V1	V2	V3		1	2	3	12	13	23	123	
1	-1	-1	-1	4	-4	-4	-4	4	4	4	-4	
2	+1	-1	-1	4	4	-4	-4	-4	-4	4	4	
3	-1	+1	-1	3	-3	3	-3	-3	3	-3	3	
4	+1	+1	-1	2	2	2	-2	2	-2	-2	-2	
5	-1	-1	+1	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,5	0,5	
6	+1	-1	+1	2	2	-2	2	-2	2	-2	-2	
7	-1	+1	+1	3,5	-3,5	3,5	3,5	-3,5	-3,5	3,5	-3,5	
8	+1	+1	+1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	

O próximo passo é somar os valores de cada efeito (coluna) e dividi-los por 4, pois foram realizados 4 experimentos no nível alto e 4 no nível baixo, ou seja, essa é uma fórmula para calcular a média dos efeitos (Tabela 5).

Tabela 5- Tabela de coeficiente de contrastes para uma matriz de planejamento fatorial 2^3 com a média dos efeitos calculados. Exp = Experimento, Resp = Respostas.

Exp	Variáveis			Resp	Efeitos						
	V1	V2	V3		1	2	3	12	13	23	123
1	-1	-1	-1	4	-4	-4	-4	4	4	4	-4
2	+1	-1	-1	4	4	-4	-4	-4	-4	4	4
3	-1	+1	-1	3	-3	3	-3	-3	3	-3	3
4	+1	+1	-1	2	2	2	-2	2	-2	-2	-2
5	-1	-1	+1	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,5	0,5
6	+1	-1	+1	2	2	-2	2	-2	2	-2	-2
7	-1	+1	+1	3,5	-3,5	3,5	3,5	-3,5	-3,5	3,5	-3,5
8	+1	+1	+1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
Soma/4					-1,1	-0,9	-2,1	-1,9	-0,6	0,6	-1,4

Assim, pode-se observar que o efeito principal da variável 3 preponderou em relação aos efeitos sobre as variáveis 1 e 2, ou seja, a posição do termômetro influi em aproximadamente 2°C na variação da temperatura do sistema, enquanto as variáveis 1 e 2 influem em aproximadamente 1°C .

Pelos valores da interação é possível inferir que quando as variáveis 1 e 2 estiverem no mesmo nível (alta ordem ou baixa ordem) elas influirão aproximadamente 2°C na temperatura do sistema, e quando as 3 variáveis estiverem no mesmo nível influirão aproximadamente $1,5^{\circ}\text{C}$ no sistema.

Para facilitar a compreensão, pode-se calcular a porcentagem que cada efeito representa no sistema como um todo. Para isso elevam-se os efeitos ao quadrado, realiza-se a somatória destes e então através de um cálculo simples de porcentagem $[(\text{Quadrado do Efeito}/\text{Soma do quadrado do efeito}) * 100]$ é obtida a representatividade de cada Efeito (Tabela 6).

Tabela 6- Representatividade dos Efeitos em ordem crescente.

Variáveis	Efeito	Efeito ²	% Efeito
13	-0,6	0,4	3,1
23	0,6	0,4	3,1
2	-0,9	0,8	6,0
1	-1,1	1,3	9,9
123	-1,4	1,9	14,8
12	-1,9	3,5	27,6
3	-2,1	4,5	35,5
Soma		12,7	

Desta forma torna-se claro que todas essas variáveis contribuem para a variação da temperatura, sendo o termômetro o mais preponderante. Deste modo, conclui-se que tal sistema é inadequado para o que se pretende mensurar, o que dispensa a necessidade de se incluir CO_2 , afinal se o sistema é incapaz de se ajustar ao ar atmosférico não será eficiente para sistemas com atmosferas ainda mais complexas.

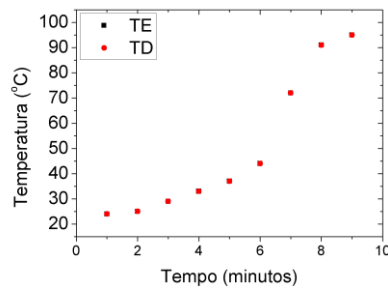
Como entre as três variáveis o efeito do termômetro se sobressaiu, foi feita a opção pela realização de uma investigação mais aprofundada sobre este instrumento. Assim, era necessária a elaboração de uma nova hipótese:

- A diferença entre a temperatura mensurada estaria sendo ocasionada por que os termômetros apresentam erro muito grande?

Se a resposta para esta hipótese fosse afirmativa, desde que essa variabilidade fosse sistemática, seria possível calibrar os termômetros ou testar todos os outros disponíveis no laboratório.

Assim, para submeter o termômetro e a hipótese a prova foi feita a opção por fazer uso de um sistema já conhecido e bem sucedido no uso de termômetros de mercúrio: um béquer com água foi aquecido com auxílio de um bico de Bunsen até a quase ebulição (95°C) sendo as temperaturas monitoradas constantemente. Como resultado, ambos os termômetros variaram identicamente (Figura 5).

Figura 5- Gráfico da variação da temperatura da água aquecida com um bico de busen e mensuradas pelo TE e TD. TE = Termômetro posicionado inicialmente a esquerda do observador, TD = Termômetro inicialmente posicionado a direita do observador

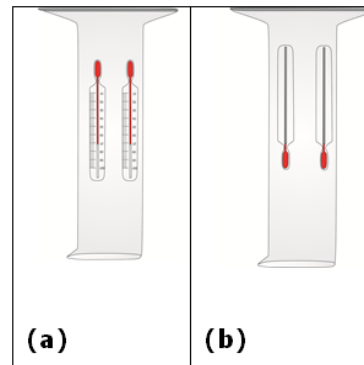


(Fonte: imagem autoral)

Esses resultados indicam que para mensurar a temperatura de um sistema homogêneo como água, o termômetro se mostrou ideal, o que conflitava com a hipótese. Porém, como um único dado não é aceitável para corroborar com uma teoria ele também não é suficiente para refutá-la.

Para dar continuidade ao teste de variabilidade da temperatura dos termômetros, ambos foram inseridos simultaneamente dentro do mesmo recipiente contendo apenas ar e tendo sua temperatura monitorada, estando ambos os termômetros com a mesma temperatura inicial. Neste caso não foi preciso considerar o lado direito ou esquerdo da lâmpada, pois no intuito de se obter o máximo de incidência de radiação e considerando que apenas um recipiente seria utilizado, esse foi alocado embaixo da lâmpada, sendo repetido para os dois recipientes (PE e PD), conforme a Figura 6.

Figura 6- Representação gráfica da posição dos termômetros dentro de um único recipiente, sendo (a) a representação dos termômetros posicionados frontalmente para o observador e (b) os termômetros posicionados de forma perpendicular ao observador.



(Fonte: imagem autoral)

Para o recipiente PE a variação de temperatura foi de: 2,5°C para os sistema (a) e 1,5°C para os sistemas (b). Já para o recipiente PD a variação de temperatura foi de: 2°C para o sistema (a) e de 1°C para o sistema (b).

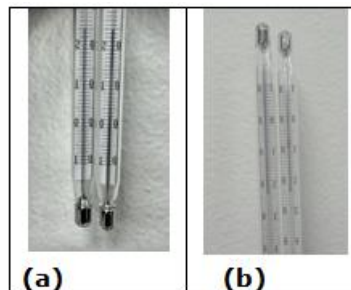
Resultados estes que reforçam a hipótese de existir uma diferença significativa entre os termômetros e os recipientes. Portanto esses dados indicaram uma variabilidade na mensuração de temperatura mesmo dentro de um único sistema.

Portanto, embora os termômetros sejam adequados para medir a variação de temperatura da água no estado líquido, os mesmos apresentaram-se insatisfatórios quando o sistema em estudo é a atmosfera.

Foi realizado um último teste para indicar a inadequabilidade do termômetro para esse sistema:

Os termômetros foram posicionados de forma a manter o bulbo para baixo, posição de uso comum, deixando que entrassem em equilíbrio com a temperatura do ambiente. Após a estabilização, ambos indicavam a temperatura de 25°C (Figura 7a). Os termômetros então foram vertidos de forma a ficarem com o bulbo para cima, igual ao sistema analisado, e após alguns instantes os termômetros indicavam uma diferença de temperatura de 1°C (24°C e 25°C) (Figura 7b)

Figura 7.- (a) Termômetros com o bulbo para baixo indicando a mesma temperatura (b) Termômetros com o bulbo para cima indicando uma diferença de temperatura de 1°C.



(Fonte: imagem autoral)

Apesar da impossibilidade de se afirmar categoricamente a razão para essa diferença, a hipótese é de que o vácuo no capilar dos termômetros é diferente. Assim, sob o efeito da gravidade a coluna de mercúrio de um termômetro consegue percorrer um caminho maior.

Com isso conclui-se que o uso deste sistema para mensurar a variação da temperatura atmosférica é inconsistente. Os valores obtidos por Coelho, Barbalho e Escremin (2014) indicam uma coincidência entre a teoria do efeito estufa e o arranjo experimental utilizado pelos autores. É importante destacar que os autores obtiveram um valor que se enquadra dentro da faixa de erro experimental do próprio sistema. Assim, não há como mensurar variações de temperaturas tão ínfimas da complexa teoria do efeito estufa através de um aparato experimental tão precário. Além disso, para o experimento original, devem-se somar aos problemas do próprio equipamento experimental novos fatores quando os autores acrescentam o CO₂, pois neste caso a complexidade do sistema se eleva. Portanto devem ser acrescentadas às três variáveis discutidas neste trabalho à presença do CO₂ que reage com a água resultando em uma pressão de vapor diferente nos dois recipientes.

Dessa forma, como já citado, é necessário que experimentadores se atentem para importância e necessidade de se submeter um modelo a testes, pois um experimento só é adequado para representar uma teoria quando após ser submetido a provas é capaz de vencê-las.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a construção de modelos pode ser favorecida fazendo uso do planejamento fatorial para analisar a adequabilidade do aparato experimental. O planejamento estatístico é uma alternativa para submeter o modelo a testes e neste caso evidenciou a inadequabilidade do sistema em questão para mensurar variações de temperatura tão ínfimas diante da complexidade do sistema. Assim, pode-se perceber que todo equipamento utilizado neste sistema trouxe consigo um erro que se mostrou maior do que a esperada variação de temperatura ocasionada pelo efeito estufa. Sugere-se então que o professor através de atividades investigativas trabalhe o uso da análise fatorial para o planejamento de experimentos e a teoria de falseamento de Karl R. Popper, pois estas se mostraram adequadas para um estudo concomitante.

Caso o resultado deste planejamento tivesse sido favorável, ou seja, a variação de temperatura do equipamento fosse significativamente inferior a temperatura esperada para o efeito estufa, o professor poderia dar continuidade ao teste de hipóteses fazendo uso de diferentes proporções de CO_2 ou substituindo esse gás por um que não absorva na região do infravermelho, como é o caso do oxigênio que pode ser obtido através da decomposição do peróxido de hidrogênio com auxílio de um catalisador como o MnO_2 ou KI .

Os resultados obtidos foram, em síntese, fruto de um trabalho de investigação que considera a necessidade de constantes questionamentos ao longo de sua execução. Por meio de procedimentos similares, alguns experimentos simples e bastante conhecidos, como o da determinação do teor de oxigênio no ar por meio da utilização de uma vela, um copo e um prato (BIRK E LAWSON, 1999) foram postos em xeque e se mostraram inviáveis para a finalidade pretendida. Cabe ressaltar que casos assim podem perfeitamente serem trabalhados por professores de Ciências que adotam a metodologia investigativa como forma de ensinar "conteúdos de" e "sobre" Ciências. Por outro lado, as possibilidades de trabalho com planejamento fatorial têm sido exploradas - inexplicavelmente - apenas por cientistas, embora o conhecimento matemático necessário seja basicamente o contemplado pelo Ensino Médio, onde raramente o assunto é abordado.

Factorial design in an investigative perspective based on falsification theory of Karl R. Popper

ABSTRACT

The learning and motivation in the classroom can be strengthened by the inclusion of experimental activities guided by the participation of the student as an active agent. For that, although the goal is not the same science, one should not give up the minimum theoretical assumptions of the theory, procedures and data collection instruments. One possibility to check the suitability of the activity is through statistical tools such as factorial design concomitantly with distortion theory Popper. When both theories are used together to explore the potential to test not only the experiment as a whole, but their own data collection instruments. In this work the data collection instruments of an experiment of national literature were subjected to factor analysis resulting in evidence of its inadequacy.

KEYWORDS: Greenhouse. Experiment. Factorial Design.

REFERÊNCIAS

BIRK, J. P.; LAWSON, A. E. The persistence of the Candle-and-Cylinder Misconception. **Journal of Chemical Education**. v.76, n.7, p.914-916, 1999.

BORGES, A.T. Novos Rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.3, p.291-314, 2002.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2004.

CHIBENI, S. S. Descartes e o realismo científico. **Reflexão**. 57, 35-53, 1993.

COELHO, A.; BARBALHO, E.S.; ESCREMIN, J.V. Desenvolvimento de um experimento sobre o efeito estufa: uma proposta para o ensino. **Revista virtual de química**, v.6, n.1, p.142-151, 2014.

GIOPPO, C.; SCHEFFER, E.W.O.; NEVES, M.C.D. O ensino experimental na escola fundamental: uma reflexão de caso no Paraná. **Educar**, v.14, p.39-58, 1998.

GIORDAN, M. O papel da Experimentação no ensino de ciência. **Química Nova na Escola**, v.2, n.10, p.43-50, 1999.

HODSON, D. Experiments in Science and Science teaching. **Educational Philosophy and Theory**. v.20, n.2, p.53-66, 1988.

LABURU, C.E.; BARROS, M.A.; KANBACH, B.G. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. **Investigação em ensino de ciências**, v.12, n.3, p.305-320, 2007.

NETO, B. DE B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da Unicamp, 2001.

POPPER, K.R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Editora Pensamento Cultrix LTDA, 1972.

POPPER, K.R. **Conjecturas e Refutações (O progresso do Conhecimento Científico)**. Brasília: Editora da UnB, 1980.

SILVA, R.T.; CURSINO, A.C.; AIRES, J.A.; GUIMARÃES, O.M. Contextualização e experimentação uma análise dos artigos publicados na seção "experimentação no ensino de química" da revista química nova na escola 2000-2008. **Ensaio-Pesquisa em Educação em ciências**, v.11, n.2, p.1-22, 2009.

SUART, R.C. **Habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em atividades experimentais investigativas**. 2008. 218f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

THOMAZ, M.F. A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.17, n.3, p.360-370, 2000.

TOLEDO, E.J.L.; FERREIRA, L. H. **Atividade experimental na Web: propagação de erros conceituais na teoria do efeito estufa**. Ouro Preto: XVII Encontro Nacional de Ensino de Química, 2014.

TOLEDO, E.J.L.; FERREIRA, L. H. Transposição didática como reforço de obstáculos epistemológicos em livro texto e em experimentos didáticos. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v.14, n.2, p. 223-245, 2015.

TOLEDO, E.J.L.; FERREIRA, L. H. A atividade investigativa na elaboração e análise de experimentos didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.9, n.2, p.108-130, 2016.

ZOMPERO, A.F.; LABURU, C.E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio-Pesquisa em Educação em ciências**, v.13, n.3, p.67-81, 2011.

Recebido: 07 mai. 2015.

Aprovado: 02 ago. 2016.

DOI: 10.3895/rbect.v9n3.2933

Como citar:

TOLEDO, E. J. L.; FERREIRA, L. H. Planejamento fatorial sob uma perspectiva investigativa com base na teoria de falseamento de Karl R. Popper. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 9, n. 3, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/2933>>. Acesso em: xxx.

Correspondência:

Evelyn Jeniffer de Lima Toledo

Rodovia Washington Luís, 310, São Carlos-SP, CEP: 13565-905

Luiz Henrique Ferreira

Rodovia Washington Luís, 310, São Carlos-SP, CEP: 13565-905

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

