

IDENTIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE OPOSIÇÃO AO REDUCIONISMO EM UMA EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA

Thales Mendes (1); Bruno Martins (1); Kelison Teixeira (1)

(1) Fundação Universidade Federal de Mato Grasso do Sul, thacermen@gmail.com;

Resumo: A abordagem de leis da Física de forma reducionista distancia a compreensão dos fenômenos naturais, distinto daquilo que ele realmente é. A valorização dos erros contrapõe essa realidade e coloca os métodos de análise estatísticos como uma ferramenta de interesse para entendimento sobre a modelagem das leis. Dessa forma, através da análise de uma atividade experimental investigativa sobre o Movimento Harmônico Simples, aplicada com alunos do Ensino Médio, buscou-se identificar as situações onde os erros estatísticos contribuíram para amenizar os efeitos do reducionismo. Os dados para essa identificação advêm das anotações (em diário de campo) do professor-orientador e das apresentações (elaboração da exposição, textos dos resumos e vídeos) dos alunos. Nesse artigo, far-se-á uma explanação da experimentação (incluindo os dados e análise estatística) concomitante com relações que permitem emergir as situações que se opõem ao reducionismo.

Palavras-chave: Ensino de Física, Ensino Médio, Experiência investigativa.

INTRODUÇÃO

Algumas críticas são registradas na comunidade científica quanto à experimentação no ensino de Física. Nessas aplicações as Leis são denotadas de uma perfeição que gera no aluno uma realidade distinta do seu cotidiano, por exemplo: “despreze a resistência do ar”, “adote a aceleração da gravidade constante”, “considere o corpo como um ponto”, “despreze o atrito”. Essas críticas são contrárias ao reducionismo presentes nos livros didáticos. Da experimentação se emergem os erros (seja do instrumento, do operador, da propagação devido à operação matemática ou da estatística) e isso ajuda a amenizar esse contexto (CACHAPUZ *et al*, 2005).

Nesse sentido, deve-se evitar a abordagem de fenômenos físicos de forma desconexa e independente, dissociada da realidade e aplicação no cotidiano, tal como no corriqueiro exemplo de um carro que supostamente segue em movimento, com velocidade constante, descartada todas as condições de interações dissipativas depois de aplicada uma força, numa pista retilínea; isso, raramente é trabalhado na perspectiva de uma modelização, em um processo em que se constrói uma realidade imaginária diferente daquela em que não se tem, objetivamente, movimentos retilíneos uniformes. Essas variáveis podem e devem ser consideradas no processo de ensino-aprendizagem, levando as leis físicas à aplicabilidade no cotidiano e no mundo real (OFUGI, 2001).

As valorizações dessas variáveis não descreditam as Leis, pelo contrário, imprimem realidade e contextualização para compreensão das suas modelizações. Nesse sentido, busca-se

identificar as situações de oposição ao reducionismo, numa experimentação sobre o Movimento Harmônico Simples.

METODOLOGIA

Essa pesquisa é qualitativa e busca identificar numa análise de conteúdo, que se aproxima com o proposto por Bardin (2009), as situações de oposição ao reducionismo que emergem nas anotações do diário de campo do professor-orientador e das apresentações de dois alunos do curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano – campus Senhor do Bonfim. Eles executaram um experimento sobre MHS em momentos extraclasse.

Adiante, far-se-á a explanação da experimentação identificando as situações de oposição ao reducionismo. Depois, aglomeram-se as principais informações e emergem as inferências quanto a essa oposição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme exposto anteriormente, se fará uma exposição da experimentação e quando do surgimento das situações que se opõem ao reducionismo, serão pontuadas. Utilizar-se-á logo após ao parágrafo da situação, a notação “*Identificação de oposição ao reducionismo 1*” seguida de uma explanação. O número 1 representa um índice do número de identificação.

Exposição do experimento e identificação de situações de oposição ao reducionismo

Os alunos envolvidos nesse projeto tinham contato com o programa de tabulação de dados e de análise estatística, um facilitador na execução da experimentação. Registra-se que a motivação para a experimentação partiu dos alunos envolvidos e teve como objetivo: determinar e comparar a aceleração da gravidade local do município de Senhor do Bonfim – BA através de um experimento de MHS.

Foi realizada avaliação diagnóstica (para verificar as concepções dos alunos) dos principais conteúdos que seriam abordados na experimentação: o MHS e a Lei de Gravitação. A partir dessa avaliação foi feito um estudo sobre o pêndulo simples e surgiu a necessidade da análise trigonométrica, motivada pela aproximação realizada para ângulos menores que dez graus. Para essa demonstração, foi calculado, no programa de tabulação de dados, os valores de alguns ângulos (entre 0° e 10°) no SI, do seno e da tangente desses ângulos. Para melhor associação dessa aproximação (entre o ângulo, o seno e a tangente), fez-se uma exposição

dinâmica de figuras. Nessas figuras também constam uma dedução para o período do pêndulo simples¹ (equação 1).

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

período \downarrow
 T \leftarrow comprimento L
 g \leftarrow aceleração da gravidade

(1)

Identificação de oposição ao reducionismo 1: para a dedução da fórmula do período do pêndulo simples foi necessária uma “aproximação” entre seno e tangente.

Segue a execução do experimento para coleta de dados, realizadas individualmente pelos dois alunos. Foi montado um pêndulo simples, com o auxílio de linha e bola de chumbo (figura 1).

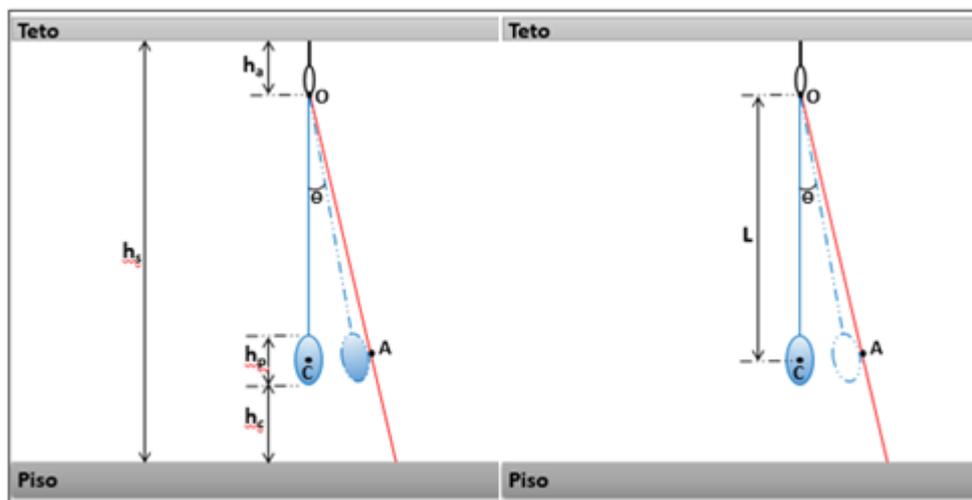


Figura 1. Experimento: alturas coletadas (esquerda) para determinar L (direita).

Posteriormente, com o uso de uma linha auxiliar, foi demarcado com o transferidor o ângulo θ (aproximadamente 10°) e mensurada numa trena as alturas h_s , h_a e h_p , fixas, e h_c , variável. Essas alturas são: do teto ao chão, do teto até o ponto de oscilação O, da massa de chumbo na posição exposta para determinação do centro de massa e do chão até a massa de chumbo, respectivamente. Elas compõem as medidas necessárias para determinar o comprimento do fio, L (equação 2).

$$L = h_s - h_a - \frac{h_p}{2} - h_c$$

constantes \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow
 variável \rightarrow L \leftarrow h_s \leftarrow h_a \leftarrow $\frac{h_p}{2}$ \leftarrow h_c \leftarrow variável

$\frac{h_p}{2}$ \leftarrow centro de massa do chumbo

(2)

O pêndulo foi solto da posição A e depois da próxima passagem por essa posição, disparase o cronômetro digital. Depois de 10 oscilações, coleta-se o tempo. O comprimento da linha

¹ Ver Apêndice B em <https://goo.gl/ny2CE>.

foi modificado e se repete o passo anterior. Dessa forma, foram coletados 10 tempos para 10 comprimentos diferentes. Foram construídos pelos alunos dois aparatos experimentais, um para cada. Dessa forma, obteve-se o dobro dos dados.

Os dados coletados, compilados em planilha no *software*, seguem na *tabela 1*.

	$h_c \pm 0,05$ (cm) ²	$t_1 \pm 0,01$ (s)	$t_2 \pm 0,01$ (s)	$t_3 \pm 0,01$ (s)	$t_4 \pm 0,01$ (s)	$t_5 \pm 0,01$ (s)	$t_6 \pm 0,01$ (s)	$t_7 \pm 0,01$ (s)	$t_8 \pm 0,01$ (s)	$t_9 \pm 0,01$ (s)	$t_{10} \pm 0,01$ (s)
Série 1	66,70	27,52	28,03	26,18	27,60	28,05	27,42	26,75	27,10	26,27	27,17
	71,80	26,50	25,95	25,95	27,11	26,01	25,93	26,78	26,61	26,54	26,31
	75,80	26,18	28,38	26,11	25,70	26,27	25,87	26,53	26,50	26,57	26,20
	82,00	26,06	25,32	25,62	25,91	25,25	25,71	25,87	25,26	25,30	25,50
	89,00	25,37	24,91	25,82	25,54	25,28	24,92	24,39	25,29	25,05	24,80
	90,00	25,43	25,11	24,80	25,73	25,32	25,06	24,81	25,34	24,65	25,27
	97,50	24,10	25,08	24,65	24,80	24,92	25,04	24,16	24,25	24,23	24,44
	105,80	23,95	23,56	24,00	23,57	24,04	23,78	24,34	23,91	24,26	24,28
	114,50	23,38	23,36	23,34	23,41	23,09	23,17	23,17	23,08	23,20	23,32
	123,80	23,27	22,56	22,52	22,79	23,24	22,63	23,06	22,38	23,04	22,49
Série 2	42,60	30,85	31,77	31,63	31,34	31,27	31,00	30,81	31,40	31,01	31,22
	48,20	30,39	30,93	30,42	30,76	30,32	30,70	30,90	30,25	30,54	30,95
	55,60	29,77	30,56	30,35	30,33	30,17	29,92	29,91	30,54	30,44	30,47
	60,00	29,62	30,20	29,70	30,23	29,63	30,03	29,52	30,05	29,74	30,19
	62,10	29,71	30,00	29,40	29,86	29,70	29,75	30,04	29,60	29,91	29,69
	70,30	29,61	29,47	29,36	29,13	29,74	29,48	29,37	29,37	29,21	29,03
	77,70	28,42	28,73	28,41	28,76	28,47	28,89	28,68	28,47	28,79	28,53
	87,50	28,07	27,77	28,03	27,72	27,91	27,68	28,30	28,10	27,72	28,40
	97,60	27,18	27,08	27,00	27,60	27,42	27,47	27,49	27,49	27,47	27,23
	107,40	26,30	26,56	26,68	26,14	26,31	26,48	26,54	26,22	26,42	26,61

Tabela 1. Dados coletados nos dois experimentos de pêndulo simples.

Identificação de oposição ao reducionismo 2: a *tabela 1* expõe os valores dos erros instrumentais. Esse tema foi abordado para instrumentos analógicos e digitais. Nesse caso 0,05cm para a trena e 0,01s para o cronômetro.

A série 1 refere-se aos dados coletados no experimento pelo aluno A1 e a série 2 pelo A2. Neste momento buscou-se relacionar os dados com equação do período. Observa-se que h_c e o tempo estão inversamente proporcionais. Essa altura não representa o comprimento, L (h_c e L também são inversamente proporcionais). Dessa forma, L e o tempo são diretamente proporcionais.

Na *tabela 2* foi adicionado o valor do período, T, obtido pela média aritmética simples dos tempos e ainda dividido por 10 (número de oscilações). Também foi calculado o

² Devido às condições experimentais foi utilizado o erro instrumental, que difere do erro propagado pelo condicionamento da equação 1.

comprimento do fio, L, dado pela *equação 2*. Para a série 1 : $h_s = 280,00 \pm 0,05$ cm; $h_a = 3,00 \pm 0,05$ cm; $h_p = 3,30 \pm 0,05$ cm. Para a série 2: $h_s = 281,00 \pm 0,05$ cm; $h_a = 3,00 \pm 0,05$ cm; $h_p = 3,40 \pm 0,05$ cm.

Identificação de oposição ao reducionismo 3: obtenção da média aritmética simples dos tempos para determinar o período.

	T (s)	lnT	L (10 ⁻² m)	4π ² .L	ln(4π ² .L)
Série 1	2,72	1,0006	208,65	82,37	4,4112
	2,64	0,9708	203,55	80,36	4,3865
	2,64	0,9708	199,55	78,78	4,3667
	2,56	0,9400	193,35	76,33	4,3351
	2,51	0,9203	186,35	73,57	4,2982
	2,52	0,9243	185,35	73,17	4,2928
	2,46	0,9002	177,85	70,21	4,2515
	2,40	0,8755	169,55	66,94	4,2038
	2,33	0,8459	160,85	63,50	4,1510
	2,28	0,8242	151,55	59,83	4,0915
Série 2	3,12	1,1378	233,70	92,26	4,5246
	3,06	1,1184	228,10	90,05	4,5004
	3,02	1,1053	220,70	87,13	4,4674
	2,99	1,0953	216,30	85,39	4,4472
	2,98	1,0919	214,20	84,56	4,4375
	2,94	1,0784	206,00	81,33	4,3985
	2,86	1,0508	198,60	78,40	4,3618
	2,80	1,0296	188,80	74,54	4,3113
	2,73	1,0043	178,70	70,55	4,2563
	2,64	0,9708	168,90	66,68	4,1999

Tabela 2. Processamento dos dados coletados no pêndulo simples.

Além da associação do período e do comprimento na *tabela 2*, está exposto os dados necessários para as regressões conforme a *equação 3 e 4*.

$$4\pi^2 \cdot L = g \cdot T^2 \quad (3)$$

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

Nesse caso: $g = A$ e $B=C=0$.

$$\ln(4\pi^2 \cdot L) = 2 \cdot \ln T + \ln g \quad (4)$$

$$y = Dx + E$$

Agora: $D=2$ e $g = e^E$.

Para a regressão com tendência quadrática -correspondência da *equação 3*- temos o par ordenado $(T, 4\pi^2.L)$ e para linear -correspondência da *equação 4*- $(\ln T, \ln(4\pi^2.L))$.

Destaca-se que não houve preocupação com a propagação de erros para determinação desses valores, uma vez que o resultado será dado pelas regressões. Esses dados não foram inseridos simultaneamente: primeiro, foi calculado T e L ; segundo, o par para a tendência quadrática; por último, o par da tendência linear. Ver-se-á que a utilização da linear, aplica ao logaritmo, surgiu da análise do resultado da quadrática.

Identificação de oposição ao reducionismo 4: foi discutida a propagação de erros mas não foi calculada. Para explanação desse erro seria necessário a utilização de derivadas (lembra-se que são alunos do Ensino Médio).

Foi realizada a regressão quadrática (*figura 2*), que retornou para série 1, $g=A= -30,20 \text{ m/s}^2$, com $R^2=0,9946$ e para série 2, $g = 12,12 \text{ m/s}^2$, com $R^2=0,996$.

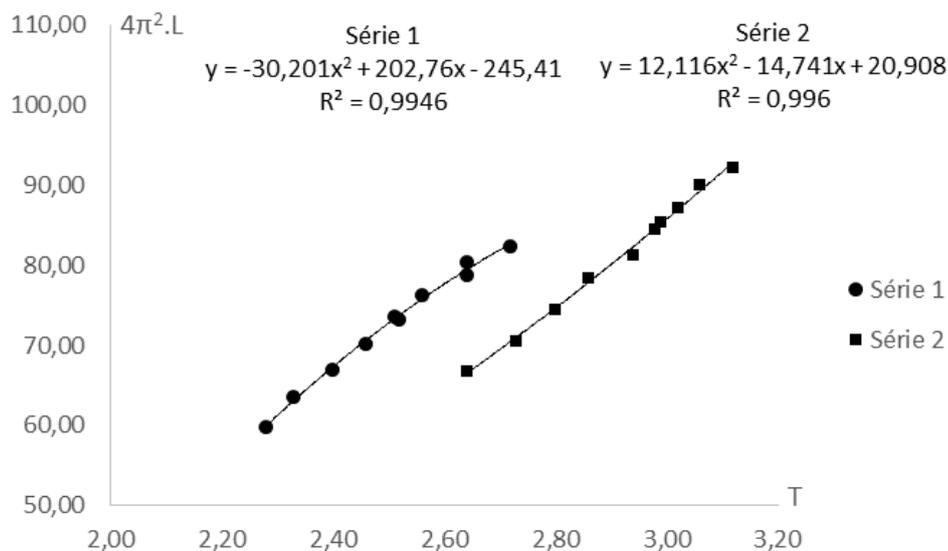


Figura 2. Gráfico da regressão com tendência quadrática.

Os resultados foram discutidos com os alunos. O valor de g na série 1 está negativo – nesse caso tinha que ser positivo – embora o coeficiente de determinação esteja acima de 99%. Para a série 2, os resultados estão mais coerentes. Porém o resultado da série 1 levantou questionamentos sobre a coleta de dados e o tratamento estatístico. Um fator levantado foi a pouca variação do comprimento do fio. Essa variação pequena pode ter influenciado, uma vez que a curva descrita no programa para série 1 têm parábola voltada para baixo.

Ver-se-á que esse modelo não se mostrou eficiente, não pelo valor do coeficiente de determinação, mas pela pouca variação dos valores correspondentes a x e a y . Para variações

muito pequenas de x , uma curva pode tender a uma reta, mascarando a real equação que descreve o fenômeno. Dessa forma, buscou-se outra maneira de se processar os dados.

Identificação de oposição ao reducionismo 5: utilização do coeficiente de determinação e do coeficiente de correlação que diferem de 100%. Obtém-se gráficos distintos para um mesmo objetivo (e uma mesma Lei). Existe uma inadequação da série 1 e a Lei (equação 2) devido a aceleração da gravidade negativa.

A decisão foi de utilizar o logaritmo aplicado a equação quadrática para reduzi-la a uma equação linear. Foi necessário estudo, sobre o logaritmo, com os alunos.

Assim, foi aplicada a regressão linear (*figura 3*), conforme correlação da *equação 4*. O valor de E é o coeficiente de intercepção da equação e fica: para série 1, $E = \ln g = 2,6025$ e $g = e^E = 13,50 \text{ m/s}^2$; para série 2, $E = 2,2491$ e $g = 9,48 \text{ m/s}^2$. O problema com interpolação dos pontos foi resolvido com esse método, mas o resultado da série 1 corrobora para algum erro sistêmico na realização do experimento. O R^2 (98,65%) dessa série é menor que o da série 2 (99,63%). Logicamente, o coeficiente de correlação, R , também é menor para série 1 (99,32% para este e 99,81% para aquele).

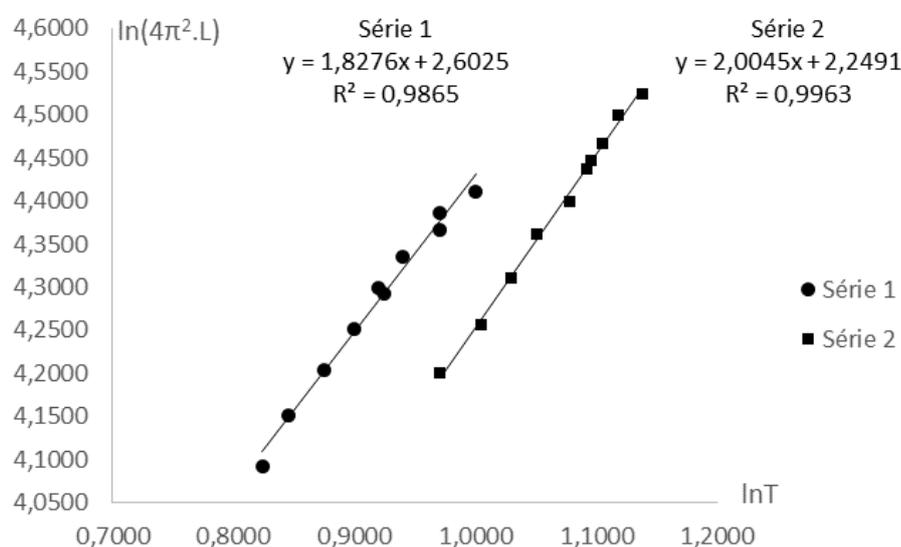


Figura 3. Gráfico da regressão com tendência linear aplicada ao logaritmo.

Identificação de oposição ao reducionismo 6: novamente a utilização do coeficiente de determinação e do coeficiente de correlação que diferem de 100%. Também, obtém-se gráficos distintos para um mesmo objetivo. Parece haver um erro sistêmico (talvez do operador) – observa-se que as retas das regressões são quase paralelas.

Diante desse contexto, dos resultados da série 1, optou-se por seguir com os dados da série 2. Enfatiza-se que essa decisão não foi pelo resultado dos coeficientes de determinação e correlação, mas principalmente pelo valor de g encontrado, $13,50 \text{ m/s}^2$.

Posteriormente, foi feita análise estatística pelo método da média aritmética simples utilizando a equação 5 (deduzida da equação 1):

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot L}{T^2} \quad (5)$$

O valor de g calculado pela média aritmética simples, foi $9,53 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,06 \text{ m/s}^2$.

Identificação de oposição ao reducionismo 7: utilização da média aritmética simples e do desvio padrão.

Nos dados da estação meteorológica instalada no IF Baiano – *campus* Senhor do Bonfim, foi encontrado o valor da altitude local igual 532 m. Esse valor foi utilizado para se determinar o valor da aceleração da gravidade local pela Lei da Gravitação de Newton. O valor de g calculado é $9,83 \text{ m/s}^2$.

Identificação de oposição ao reducionismo 8: o valor difere do normalmente adotado. Ainda, é maior, o que é distinto da Lei.

Já se obteve a aceleração da gravidade pela regressão quadrática ($12,12 \text{ m/s}^2$), pela regressão linear aplicada ao logaritmo ($9,48 \text{ m/s}^2$), pela média aritmética simples ($9,53 \text{ m/s}^2$) e pela Lei da Gravitação Universal de Newton ($9,83 \text{ m/s}^2$). Assim, foi realizada comparação, pelo erro relativo percentual, dos três primeiros métodos em relação ao teorizado pela Lei da Gravitação (tabela 3).

	Método Utilizado			
	Regressão Quadrática	Regressão Linear	Média Aritmética	Lei da Gravitação
$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	12,12	9,48	9,53	9,83
E_r	23,30%	3,56%	3,05%	-

Tabela 3. Comparação dos métodos pelo erro relativo percentual (E_r).

Identificação de oposição ao reducionismo 9: valores diferentes para métodos diferentes e a utilização do erro relativo percentual.

Observe que o valor da regressão quadrática confirma o que já se tinha inferido antes (que o método não estava adequado aos dados experimentais). O valor encontrado, de g , pela média aritmética se mostra mais preciso que o da regressão linear (onde foi aplicado o logaritmo natural). Este com erro relativo percentual de 3,56% e aquele com 3,05%.

Sobre as situações de oposição ao reducionismo

O quadro 1 expõe as principais situações de oposição ao reducionismo, anteriormente destacadas.

Índice da identificação	Descrição da situação que se opõe ao reducionismo
1	Aproximações do seno e da tangente.
2	Erros instrumentais.
3	Média aritmética simples.
4	Propagação de erros.
5	Coefficiente de determinação, coeficiente de correlação, gráficos distintos para uma mesma Lei, valor inconsistente com a Lei.
6	Coefficiente de determinação, coeficiente de correlação, gráficos distintos para uma mesma Lei, valor inconsistente com a Lei, erro sistêmico (operador).
7	Média aritmética simples e desvio padrão.
8	Valor inconsistente com a Lei.
9	Valores diferentes para um mesma Lei e erro relativo percentual.

Quadro 1. Principais situações destacadas.

Em todas essas situações foi identificado que somente após a superação dos questionamentos inerentes a elas, foi possível avançar na experimentação. As considerações aqui feitas buscam introduzir o estudante ao mundo real, dos erros, a uma Física aplicada do cotidiano, sem idealizações, que são importantes, mas têm suas limitações.

Cada situação listada têm um papel importante na desconstrução das idealizações, mas o coeficiente de determinação se destaca. O não acoplamento do ponto a curva (não trabalhada nos livros do Ensino Médio) impõe confiabilidade científica e dificilmente será 100%. Acredita-se que o mundo dos erros pode ajudar na quebra de uma concepção de ciência acabada e perfeita (idealizada).

CONCLUSÕES

Embora se tenha chegado a um resultado, os pontos altos desse trabalho não estão em se achar valores ou comparar os métodos utilizados. Concentram-se nas problemáticas levantadas: o valor de g negativo na 1ª regressão para a série 1; o gráfico parecer uma reta, também na 1ª regressão para as duas séries; a readequação da equação quadrática para linear, utilizando o logaritmo; a elaboração do material, por parte dos alunos, para fazer-se compreender nos eventos; o relato das experiências que eles tiveram.

Buscou-se dar importância aos erros correlatos aos instrumentos, aos da propagação, aos do operador do experimento e os dos métodos estatísticos utilizados. Essa abordagem, intencional, no sentido contrário do reducionismo, eleva o cunho de aplicabilidade das Leis.

Várias aproximações foram feitas nos dados e para análise dos resultados dos experimentos, mas tentado minimizar os erros e ainda assim discuti-los.

REFERÊNCIAS

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: LDA, 2009.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A.M.P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. A
Necessária renovação do ensino das ciências. São Paulo: Cortez, 2005.

OFUGI, R. C. Inserção da teoria da Relatividade no Ensino Médio: uma nova proposta.
Florianópolis: UFSC, 2001.