Determinação da Energia Cinética de Projéteis Disparados por Brinquedos Utilizando Sensores Ópticos

Karlo Homero Ferreira Santos[1], Alex Ivan da Silva Maia[2], Marcelo de Moraes Steinhagen[3]

[1] Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica, Manaus-AM, Brasil, karlo.homero@fucapi.br
[2] Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica, Manaus-AM, Brasil, alex.maia@fucapi.br
[3] Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica, Manaus-AM, Brasil, marcelo.steinhagen@fucapi.br

Resumo: Neste trabalho, é apresentado um procedimento de determinação da energia cinética de projéteis disparados por brinquedos, de acordo com a Norma ABNT/NBR/NM/300-1 - propriedades gerais, mecânicas e físicas [1], utilizando sensores de passagem por infravermelho e cronômetro.

Palavras chave: energia cinética, brinquedos, projéteis.

1. INTRODUÇÃO

Na determinação da energia cinética final de um projétil disparado por um brinquedo, é muito importante se obter a velocidade final com erro de exatidão e precisão minimizados. Por exemplo, em procedimentos onde a velocidade final é calculada a partir do tempo decorrido, o qual é medido com o auxílio de um cronômetro de mão, a energia cinética final é calculada com erro de exatidão maior, em virtude do reflexo do operador. Da mesma forma, há outros métodos onde a velocidade final é obtida com erro de precisão maior, como por exemplo, através da medição do alcance e do ângulo de disparo de um movimento oblíquo. Neste caso, quanto maiores forem as quantidades de fonte de erro, maior será o erro de precisão.

2. OBJETIVO

Neste trabalho, é mostrado um procedimento no qual a energia cinética final de um projétil disparado por um brinquedo é calculada em um cenário que possui uma quantidade mínima de fontes de erro de exatidão e precisão. Além do mais, comprova-se que o método de obtenção da velocidade final em questão possibilita o cálculo da energia cinética final com incerteza relativa inferior do que a energia cinética final calculada a partir do método baseado em um movimento oblíquo.

A seção Métodos descreve o procedimento utilizado para o cálculo da energia cinética, através de equações e de suas incertezas propagadas. A seção Resultados mostra que o referido método possui uma incerteza menor que um método baseado em movimento oblíquo. A seção Discussão mostra as limitações deste método, confrontando as fontes de erro dos métodos citados. Finalmente, a seção Conclusões faz uma análise dos resultados obtidos para o valor da energia cinética, analisando a influência das principais limitações do método proposto, além de mostrar as vantagens deste método em relação ao método baseado em movimento oblíquo.

3. MÉTODOS

Neste método, dispara-se um projétil, a partir do repouso ($v_o = 0$), em uma distância reta e igual a (300 ± 5) mm. Ao atingir esta distância, o projétil colide com um anteparo. A aceleração, em m/s^2, é calculada a partir da fórmula 1 [2]:

$$S = S_o + v_o t + \frac{at^2}{2} \tag{1}$$

Onde S_o é o espaço inicial em m, v_o é a velocidade inicial em m/s, a é a aceleração em m/s^2, e t é o tempo decorrido em s. Como $S_o = 0$ e $v_o = 0$, a aceleração pode ser obtida a partir da equação 2 [2]:

$$a = \frac{2S}{t^2} \tag{2}$$

A incerteza da aceleração, u_a, em m/s^2, é calculada a partir da fórmula 3 [3]:

$$u_a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial S} u_S\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t} u_t\right)^2} \tag{3}$$

Onde u_S e u_t são as incertezas do espaço percorrido e do tempo decorrido, em m e em s, respectivamente. Com base na equação 2, obtém-se a equação 4 [3]:

$$u_a = \sqrt{\left(\frac{2}{t^2} u_S\right)^2 + \left(-\frac{4S}{t^3} u_t\right)^2} \tag{4}$$

A velocidade final do projétil, v, em m/s, é calculada através da equação 5 [2]:

$$v = at \tag{5}$$

A incerteza da velocidade, u_v, em m/s, é calculada através da equação 6 [3]:

$$u_v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial a} u_a\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} u_t\right)^2} = \sqrt{(tu_a)^2 + (au_t)^2} \tag{6}$$

A energia cinética, K, em J, é calculada a partir da equação 7 [2]:

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (7)$$

Onde m é a massa do projétil, em kg. A incerteza u_K, em J, é calculada a partir da equação 8 [3]:

$$u_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m} um\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial v} u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{2} um\right)^2 + (mvu_v)^2} \quad (8)$$

Onde u_m, u_v e u_K são as incertezas da massa, da velocidade e da energia cinética, em kg, em m/s e em J, respectivamente.

Com base nas equações 7 e 8, a energia cinética final, em J, é declarada de acordo com a equação 9:

$$K_f = K \pm u_K \quad (9)$$

No método baseado em um movimento oblíquo, o projétil é lançado com ângulo de disparo θ em relação à horizontal. Após o seu lançamento, é medido o alcance, em m, do projétil. A velocidade final do projétil é medida através da fórmula 10 [2]:

$$A = \frac{v_o^2 sen2\theta}{g} \quad (10)$$

Onde v_o é a velocidade inicial do projétil, em m/s, θ é o ângulo de disparo com a horizontal, em graus, g é a aceleração da gravidade no local, em m/s^2 e A é o alcance, em m. Considera-se que a velocidade final do projétil, v, é igual à velocidade inicial, em virtude do alcance ser medido no mesmo nível horizontal. São realizados cinco lançamentos oblíquos, sendo medidos os alcances de A_1 a A_5. A partir da equação 10:

$$v = v_o = \sqrt{\frac{gA}{sen2\theta}} \quad (11)$$

A incerteza da velocidade é dada pela equação 12 [3]:

$$u_v = \sqrt{\frac{\partial v}{\partial g} u_g + \frac{\partial v}{\partial A} u_A + \frac{\partial v}{\partial \theta} u_\theta} \quad (12)$$

Onde os coeficientes de sensibilidade são obtidos a partir das equações de 13 a 15, respectivamente:

$$\frac{\partial v}{\partial g} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{A}{gsen2\theta}} \quad (13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial A} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{Asen2\theta}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \theta} = -\sqrt{\frac{gA}{(sen2\theta)^3}} \cos 2\theta \quad (15)$$

A energia cinética, K, em J, é calculada a partir das equações 7 e 8 [2], respectivamente, repetidas aqui por conveniência, sendo declarada, em J, de acordo com a equação 18:

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (16)$$

$$u_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m} um\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial v} u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{2} um\right)^2 + (mvu_v)^2} \quad (17)$$

$$K_f = K \pm U_K \quad (18)$$

4. RESULTADOS

No método de determinação da energia cinética final, baseado na medição de tempo utilizando-se 01 (um) cronômetro digital conectado a 03 (três) sensores fotoelétricos, realizou-se 05 (cinco) tomadas de tempo, para um percurso igual a (300 ± 5) mm, obtendo-se os valores mostrados na tabela 1:

Tabela 1. Leituras do tempo decorrido, obtidas a partir de um cronômetro digital com três casas decimais

Leituras (n)	1	2	3	4	5
Tempo medido (s)	0,070	0,067	0,070	0,066	0,069

A média das leituras de tempo é obtida de acordo com a equação 19, para n=5:

$$t_m = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} t_k = 0{,}0684\ s \quad (19)$$

O desvio padrão das leituras de tempo é obtido de acordo com a equação 20:

$$s(t_m) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(t_i - t_m)^2} = 0{,}00182\ s \quad (20)$$

A incerteza tipo A, obtida através do desvio padrão da média, $s(\overline{t_m})$, é dada através da equação 21:

$$u_A(t) = s(\overline{t_m}) = \frac{s(t_m)}{\sqrt{n}} = 0{,}008\ s \quad (21)$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da incerteza declarada no certificado de calibração do equipamento, o qual declara k = 2,43 e da incerteza de sua resolução, ± ½ divisão, considerando distribuição retangular, conforme as equações 22 e 23, respectivamente.

$$u_{cal}(t) = \frac{incerteza\ da\ faixa}{k\ declarado} = \frac{0{,}007}{2{,}43} = 0{,}0029\ s \quad (22)$$

$$u_{res}(t) = \frac{\pm 1/2\ divisão}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}0005}{\sqrt{3}} = 0{,}00029\ s \quad (23)$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da equação 24:

$$u_B(t) = \sqrt{u_{cal}^2(t) + u_{res}^2(t)} = 0{,}0029\ s \quad (24)$$

A incerteza combinada é obtida a partir da equação 25:

$$u_C(t) = \sqrt{u_A^2(t) + u_B^2(t)} = 0{,}003\ s \quad (25)$$

Em virtude da incerteza tipo A ter sido obtida com cinco repetições, o grau de liberdade efetivo é obtido a partir da equação 26:

$$v_{eff} = \frac{u_C^4(t)}{\sum_{i=1}^{3}\frac{u_i^4(t)}{v_i}} \quad (26)$$

Onde:

$$u_1(t) = u_A(t) = 0{,}0008\ s \quad (27)$$

$$u_2(t) = u_{cal}(t) = 0{,}0029\ s \tag{28}$$

$$u_3(t) = u_{res}(t) = 0{,}00029\ s \tag{29}$$

$$\nu_1 = 5 - 1 = 4 \tag{30}$$

$$\nu_2 = \infty \tag{31}$$

$$\nu_3 = \infty \tag{32}$$

Substituindo os valores nas equações 25 e 27 a 32 na equação 33, obtém-se:

$$\nu_{eff} = 49{,}4398 \tag{33}$$

Para um nível de confiança igual a 95%, o fator de abrangência k é mostrado a partir da equação 34:

$$k = 2{,}01 \tag{34}$$

A incerteza expandida é obtida a partir da equação 35

$$U_{95\%}(t) = k.u_C(t) = 2{,}01.(0{,}003) = 0{,}006\ s \tag{35}$$

Portanto, o tempo medido é declarado conforme a equação 36:

$$t = \ (0{,}068\ \pm\ 0{,}006)\ s \tag{36}$$

Para S = (0,300 ± 0,005) m, a aceleração e sua incerteza são calculadas de acordo com a equações 2 e 3, repetidas aqui por conveniência:

$$a = \frac{2S}{t^2} = 129{,}8\ m/s^2 \tag{37}$$

$$u_a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial S}u_S\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t}u_t\right)^2} \tag{38}$$

Onde:

$$\frac{\partial a}{\partial S} = \frac{2}{t^2} = 432{,}53\ s^{-2} \tag{39}$$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{4S}{t^3} = -3816{,}41\ m/s^3 \tag{40}$$

$$u_S = 0{,}005\ m \tag{41}$$

$$u_t = \frac{0{,}006}{2{,}31} = 0{,}003s \tag{42}$$

Substituindo os valores constantes nas equações de 39 a 42 na equação 44, o valor da aceleração do projétil (suposta constante) é declarado de acordo com a equação 43:

$$a = (129{,}8 \pm 10{,}1)\ m/s^2 \tag{43}$$

A velocidade final do projétil ao final do trajeto é obtida a partir das equações 5 e 6, repetidas aqui por conveniência:

$$v = at \tag{44}$$

$$u_v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial a}u_a\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t}u_t\right)^2} \tag{45}$$

Onde:

$$\frac{\partial v}{\partial a} = t = 0{,}068\ s \tag{46}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a = 129{,}8\ m/s^2 \tag{47}$$

$$u_a = 10{,}1\ m/s^2 \tag{48}$$

$$u_t = \frac{0{,}006}{2{,}31} = 0{,}003s \tag{49}$$

Substituindo os valores constantes nas equações de 46 a 49 nas equações 44 e 45, o valor da velocidade final do projétil é declarado de acordo com a equação 50:

$$v = \ (8{,}8\ \pm\ 0{,}8)\ \ m/s \tag{50}$$

Para se calcular a energia cinética final do projétil, é necessário medir sua massa, cujos valores são mostrados na tabela 2:

Tabela 2. Leituras da massa do projétil, obtidas a partir de uma balança analítica com cinco casas decimais.

Leituras (n)	1	2	3	4	5
Massa (kg)	0,00645	0,00645	0,00645	0,00645	0,00645

A média das leituras da massa do projétil é obtida de acordo com a equação 51, para n=5:

$$m_m = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} m_k = 0{,}00645\ kg \tag{51}$$

O desvio padrão das leituras é obtido de acordo com a equação 52:

$$s(m_m) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(m_i - m_m)^2} = 0\ kg \tag{52}$$

A incerteza tipo A, obtida através do desvio padrão da média, $s(\overline{m_m})$, é dada através da equação 53:

$$u_A(m) = s(\overline{m_m}) = \frac{s(m_m)}{\sqrt{n}} = 0\ kg \tag{53}$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da incerteza declarada no certificado de calibração do equipamento, o qual declara k = 2 e da incerteza de sua resolução, ± ½ divisão, considerando distribuição retangular, conforme as equações 54 e 55, respectivamente.

$$u_{cal}(m) = \frac{incerteza\ faixa}{k\ declarado} = \frac{0{,}00005}{2} = 0{,}000025\ kg \tag{54}$$

$$u_{res}(m) = \frac{\pm 1/2\ divisão}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}00001}{\sqrt{3}} = 0{,}00006\ kg \tag{55}$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da equação 56:

$$u_B(m) = \sqrt{u_{cal}^2(m) + u_{res}^2(m)} = 0{,}00003\ kg \tag{56}$$

A incerteza combinada é obtida a partir da equação 57:

$$u_C(m) = \sqrt{u_A^2(m) + u_B^2(m)} = 0{,}00003\ kg \tag{57}$$

Em virtude da incerteza tipo A ter sido obtida com cinco repetições, o grau de liberdade efetivo é obtido a partir da equação 58:

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4(m)}{\sum_{i=1}^{3} \frac{u_i^4(m)}{\nu_i}} \quad (58)$$

Onde:

$$u_1(m) = u_A(m) = 0\,kg \quad (59)$$

$$u_2(m) = u_{cal}(m) = 0{,}000025\,kg \quad (60)$$

$$u_3(m) = u_{res}(m) = 0{,}00006\,kg \quad (61)$$

$$\nu_1 = 5 - 1 = 4 \quad (62)$$

$$\nu_2 = \infty \quad (63)$$

$$\nu_3 = \infty \quad (64)$$

Substituindo os valores nas equações 57 e 59 a 64 na equação 58, obtém-se:

$$\nu_{eff} = \infty \quad (65)$$

Para um nível de confiança igual a 95%, o fator de abrangência k é mostrado a partir da equação 66:

$$k = 2 \quad (66)$$

A incerteza expandida é obtida a partir da equação 67:

$$U_{95\%}(t) = k.u_C(m) = 2.(0{,}003) = 0{,}00006\,kg \quad (67)$$

Portanto, a massa é declarada conforme a equação 68

$$m = \ (0{,}00645 \ \pm \ 0{,}00006) \ kg \quad (68)$$

A energia cinética do projétil ao final do trajeto é obtida a partir das equações 7 e 8, repetidas aqui por conveniência:

$$K = \frac{mv^2}{2} = 0{,}25\,J \quad (69)$$

$$u_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m}u_m\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial v}u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{2}u_m\right)^2 + (mvu_v)^2} \quad (70)$$

Onde:

$$\frac{\partial K}{\partial m} = \frac{v^2}{2} = 38{,}93\,m^2/s^2 \quad (71)$$

$$\frac{\partial K}{\partial v} = mv = 0{,}06\,kg \cdot m/s \quad (72)$$

$$u_m = \frac{0{,}00006}{2} = 0{,}00003\,kg \quad (73)$$

$$u_v = 0{,}8\,m/s \quad (74)$$

Substituindo os valores constantes nas equações de 71 a 74 na equação 70, o valor da energia cinética final do projétil é declarado de acordo com a equação 75:

$$K = \ (0{,}25 \ \pm \ 0{,}04) \ J \quad (75)$$

No procedimento onde a energia cinética final é calculada a partir de medições em um movimento oblíquo, mediu-se os seguintes alcances, em m, mostrados na tabela 3, considerando um ângulo de disparo θ, medido com o auxílio de um goniômetro, conforme equação 76.

$$\theta = \ (75{,}0 \ \pm \ 0{,}1)^\circ \quad (76)$$

Para se calcular a energia cinética final do projétil, é necessário medir seu alcance, cujos valores são mostrados na tabela 3:

Tabela 3. Leituras do alcance do alcance do projétil, obtidas a partir de uma escala metálica de resolução 0,5 mm.

Leituras (n)	1	2	3	4	5
Alcance (mm)	1005,0	995,0	740,0	970,0	778,0

A média das leituras da massa do projétil é obtida de acordo com a equação 77, para n=5:

$$A_m = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{5} A_n = 897{,}6\,mm \quad (77)$$

O desvio padrão das leituras é obtido de acordo com a equação 78:

$$s(A_m) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(A_i - A_m)^2} = 127{,}9\,mm \quad (78)$$

A incerteza tipo A, obtida através do desvio padrão da média, $s(\overline{A_m})$, é dada através da equação 79:

$$u_A(A) = s(\overline{A_m}) = \frac{s(A_m)}{\sqrt{n}} = 57{,}2\,mm \quad (79)$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da incerteza declarada no certificado de calibração do equipamento, o qual declara k = 2 e da incerteza de sua resolução, ± ½ divisão, considerando distribuição retangular, conforme as equações 80 e 81, respectivamente.

$$u_{cal}(A) = \frac{incerteza\ faixa}{k\ declarado} = \frac{0{,}02}{2} = 0{,}01\,mm \quad (80)$$

$$u_{res}(A) = \frac{\pm 1/2\ divis\tilde{a}o}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}5}{\sqrt{3}} = 0{,}3\,mm \quad (81)$$

A incerteza tipo B é obtida a partir da equação 82:

$$u_B(A) = \sqrt{u_{cal}^2(A) + u_{res}^2(A)} = 0{,}3\,mm \quad (82)$$

A incerteza combinada é obtida a partir da equação 83:

$$u_C(A) = \sqrt{u_A^2(A) + u_B^2(A)} = 57{,}2\,mm \quad (83)$$

Em virtude da incerteza tipo A ter sido obtida com cinco repetições, o grau de liberdade efetivo é obtido a partir da equação 84:

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4(A)}{\sum_{i=1}^{3} \frac{u_i^4(A)}{\nu_i}} \quad (84)$$

Onde:

$$u_1(A) = u_A(A) = 57{,}2\,mm \quad (85)$$

$$u_2(A) = u_{cal}(A) = 0{,}01\,mm \quad (86)$$

$$u_3(A) = u_{res}(A) = 0{,}3\,mm \quad (87)$$

$$\nu_1 = 5 - 1 = 4 \quad (88)$$

$$\nu_2 = \infty \tag{89}$$

$$\nu_3 = \infty \tag{90}$$

Substituindo os valores nas equações 83 e 85 a 90 na equação 84, obtém-se:

$$\nu_{eff} = 4 \tag{91}$$

Para um nível de confiança igual a 95%, o fator de abrangência k é mostrado a partir da equação 92:

$$k = 2{,}78 \tag{92}$$

A incerteza expandida é obtida a partir da equação 93

$$U_{95\%}(A) = k.u_C(A) = 2{,}78.(57{,}2) = 159{,}0\ mm \tag{93}$$

Portanto, a massa é declarada conforme a equação 94:

$$A = \ (897{,}6\ \pm\ 159{,}0)\ mm = (0{,}8976 \pm 0{,}1590)\ mm \tag{94}$$

A aceleração média da gravidade na cidade de Manaus é mostrada de acordo com a equação 95 [4].

$$g = (9{,}780459 \pm 0{,}000001)\ m/s^2 \tag{95}$$

A velocidade final do projétil ao final do movimento oblíquo é obtida a partir das equações 11 e 12, repetidas aqui por conveniência:

$$v = \sqrt{\frac{gA}{sen2\theta}} = 4{,}2\ m/s \tag{96}$$

$$u_v = \sqrt{\frac{\partial v}{\partial g}u_g + \frac{\partial v}{\partial A}u_A + \frac{\partial v}{\partial \theta}u_\theta} \tag{97}$$

Onde:

$$\frac{\partial v}{\partial g} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{A}{gsen2\theta}} = 0{,}2\ s \tag{98}$$

$$\frac{\partial v}{\partial A} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{Asen2\theta}} = 2{,}3\ s^{-1} \tag{99}$$

$$\frac{\partial v}{\partial \theta} = -\sqrt{\frac{gA}{(sen2\theta)^3}}\cos 2\theta = 7{,}3\ m/{}^\circ\ s \tag{100}$$

Substituindo os valores constantes nas equações de 96 e nas equações de 98 a 100, o valor da velocidade final do projétil é declarado de acordo com a equação 101:

$$v = \ (4{,}2\ \pm\ 0{,}7)\ m/s \tag{101}$$

A energia cinética do projétil ao final do trajeto é obtida a partir das equações 7 e 8, repetidas aqui por conveniência:

$$K = \frac{mv^2}{2} = 0{,}06\ J \tag{102}$$

$$u_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m}u_m\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial v}u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{2}u_m\right)^2 + (mvu_v)^2} \tag{103}$$

Onde:

$$\frac{\partial K}{\partial m} = \frac{v^2}{2} = 8{,}8\ m^2/s^2 \tag{104}$$

$$\frac{\partial K}{\partial v} = mv = 0{,}03\ kg \cdot m/s \tag{105}$$

$$u_m = \frac{0{,}00006}{2} = 0{,}00003\ kg \tag{106}$$

$$u_v = 0{,}8\ m/s \tag{107}$$

Substituindo os valores constantes nas equações 102 e 104 a 107 na equação 103, o valor da energia cinética final do projétil é declarado de acordo com a equação 108:

$$K = \ (0{,}06\ \pm\ 0{,}02)\ J \tag{108}$$.

5. DISCUSSÃO

A tabela 4 mostra os valores calculados da energia cinética final de um projétil disparado por um brinquedo, antes do referido projétil colidir com um anteparo situado a uma distância de (300 ± 5) mm, através dos dois procedimentos citados anteriormente, ou seja, o primeiro método calcula a energia cinética final baseada na medição do tempo em um movimento retilíneo uniformemente uniforme (aceleração constante) e o segundo método calcula a energia cinética final baseada na medição do alcance em um movimento oblíquo.

Tabela 4. Valores calculados da energia cinética em dois métodos diferentes.

Método	K (J)
Movimento retilíneo uniformemente variável	(0,25 ± 0,04)
Movimento oblíquo	(0,06 ± 0,02)

Conforme os resultados mostrados na tabela 4, verifica-se que o primeiro método apresenta incerteza relativa igual a 16% e o segundo método apresenta incerteza relativa igual a 33%. Além do mais, verifica-se que o primeiro método apresenta valor calculado de energia cinética 317% maior que o segundo método ou, equivalentemente, o segundo método possui valor calculado de energia cinética 76% menor que o primeiro.

No primeiro método, considerou-se que a distância percorrida pelo projétil é (300 ± 5) mm é fixa, não se propagando a incerteza devido à medição da distância, o que pode até diminuir a precisão do valor da energia cinética calculada. Neste método, fatores como considerar o movimento retilíneo (ou seja, supondo que o disparo foi feito com trajetória de direção paralela ao plano horizontal, desprezando a descida do projétil) e ausência de forças dissipativas (tais como a resistência do ar, a qual aumenta com o aumento da velocidade) foram considerados. Isto é razoável, em virtude da distância relativamente pequena.

No segundo método, desconsiderou-se a variação do ângulo inicial de disparo (considerado como constante e igual a (75,0 ± 0,1)°. Semelhantemente, desconsiderou-se a influência de forças dissipativas (tais como a resistência do ar). Além do mais, este método é dependente do valor da aceleração da gravidade, cujo resultado é obtido com o auxílio de tabelas, não sendo possível realizar uma medição para obtê-la.

6. CONCLUSÃO

Com base no exposto, pode-se constatar que o método de determinação do valor da energia cinética final, baseado na medição do tempo decorrido de um movimento uniformemente variável apresenta valores mais precisos e mais exatos que o método baseado na medição do valor da energia cinética final, baseado em um movimento oblíquo. Além de ser mais preciso e exato, o primeiro método possibilita determinar um valor menor para a energia cinética de projéteis disparados por brinquedos. Em virtude do considerável desvio existente entre os dois métodos (o primeiro método mostra um valor de energia cinética final 317% maior que o segundo método). No primeiro método, o percurso realizado pelo projétil é sempre o mesmo, diferente do que ocorre para o segundo método, onde constatou-se significativa variância entre os valores de alcance medidos. Em ambos os métodos, forças dissipativas, tais como a força de atrito, foram desconsideradas, o que é razoável admitir para trajetos curtos, tais como 300 mm, definido no primeiro método e para alcances menores que 1000 mm, para segundo método. Tem-se a informar que, no segundo método, houve medição de alcance superior a 1000 mm, para o mesmo ângulo de disparo.

Tais discrepâncias devem ser levadas em conta, pois atualmente há normas que limitam o valor da energia cinética final por unidade de área (J/cm^2), o que pode aprovar certos brinquedos ao se utilizar o segundo método, ao passo que o mesmo brinquedo pode ser reprovado, se considerar o segundo método.

AGRADECIMENTOS

A Fapeam – Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Amazonas, pelo apoio prestado na participação no VIII Semetro, através do Programa de Apoio à Participação de Eventos Científicos e Tecnológicos – Pape,. À Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (Fucapi) / Departamento de Tecnologia (Detec) / Centro de Laboratórios (Clab) pela disponibilização da infra-estrutura. Ao Inmetro, pelo apoio, orientação e partilha de conhecimentos. Ao Inmetro, pelo apoio, orientação e partilha de conhecimentos. À Finep pelo apoio na aquisição de equipamentos.

REFERÊNCIAS

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas "Segurança de Brinquedos – Parte 1: Propriedades derais, mecânicas e físicas - ABNT NBR NM 300-1", Rio de Janeiro-RJ, 2004.

[2]. Halliday, Resnick, e Walker "Fundamentos de Física - Mecânica", Vol. 1, 6a edição, Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Brasil, 1996.

[3]. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial;"Guia para a expressão da incerteza de medição", Rio de Janeiro – RJ, 2002.

[4] http://www.banasmetrologia.com.br/imprime.asp?codigo=883, acessado em Dezembro de 2008.