

ESTUDO SIMULTÂNEO DOS MOVIMENTOS UNIFORMES RETILÍNEO E CIRCULAR MEDIADO POR VIDEOANÁLISE

E. S. SILVA*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, *Campus Juína*

CEP 78320-000, Juína/MT, Brasil

A. A. V. R. de ARAUJO†

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *Campus Pinheiral*

CEP 27197-000, Pinheiral/RJ, Brasil

A. L. de OLIVEIRA‡

V. L. B. de JESUS§

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *Campus Nilópolis*

CEP 26530-060, Nilópolis/RJ, Brasil

Resumo

Neste artigo são apresentados os resultados de uma intervenção realizada por meio de uma sequência didática, utilizando técnicas de videoanálise no estudo simultâneo dos movimentos uniformes retilíneo e circular, que ocorrem durante o deslocamento de uma bicicleta. Uma câmera foi acoplada na parte dianteira da bicicleta para filmar a roda a partir de um referencial solidário ao eixo de rotação, enquanto outra câmera, apoiada em um tripé fixo ao solo, filmou simultaneamente o movimento retilíneo da bicicleta. A sequência didática foi aplicada em três turmas de ensino médio integrado a cursos técnicos da rede federal. O desempenho das turmas foi avaliado quantitativamente, com base nas soluções apresentadas pelos alunos aos problemas propostos durante a aula, combinada com o desempenho desses alunos em um teste aplicado ao final da sequência didática.

Palavras-chave: Videoanálise, cinemática, ensino de física.

*E-mail: ssf.erick@gmail.com

†E-mail: alexandre.araujo@ifrj.edu.br

‡E-mail: alexandre.oliveira@ifrj.edu.br

§E-mail: vitor.jesus@ifrj.edu.br

Abstract

This article presents the results of an intervention performed through a didactic sequence using video analysis techniques in the simultaneous study of the rectilinear and circular uniform movements that occur during the displacement of a bicycle. A camera was attached to the front of the bicycle to film the wheel from a referential fixed to the axis of rotation, while another camera was put on a tripod fixed on the ground filming the linear motion of the bicycle. The didactic sequence was applied in three classes of high school integrated to technical courses of the federal education system. The performance of the classes was quantitatively analyzed based on the solutions presented by the pupils to the proposed problems during the class, combined with the performance of these pupils in a test applied at the end of the didactic sequence.

Keywords: Video analysis, kinematics, physics teaching.

1 Introdução

Este artigo apresenta uma sequência didática que utiliza a videoanálise como mediadora da relação ensino-aprendizagem para o estudo simultâneo do movimento retilíneo uniforme (MRU) e do movimento circular uniforme (MCU). Esses assuntos figuram nas ementas dos cursos introdutórios de física, considerando os níveis médio e superior.

Pesquisas realizadas ao longo das últimas décadas têm ressaltado a importância de metodologias alternativas para o ensino de física [1-4], que vem sendo praticado por meio de aulas predominantemente expositivas. Entre essas alternativas destaca-se a prática pedagógica utilizando videoanálise, técnica que permite investigar os fenômenos físicos utilizando suas filmagens. A partir de um arquivo em formato vídeo, é possível estimar resultados, verificar leis físicas ou até mesmo modelar o comportamento de sistemas físicos. Embora sua utilização não resolva o problema da carência de laboratórios didáticos, a videoanálise possibilita a inserção de elementos fenomenológicos nas discussões realizadas em sala de aula [5-10].

A implementação da técnica só foi possível a partir do desenvolvimento de ferramentas computacionais que permitiram a análise de filmagens. Uma dessas ferramentas é o *software* livre *Tracker*, que possibilita estudar uma situação física real, não apenas uma representação virtual da realidade [5, 6, 9, 10]. Ele encontra-se disponível para *download* no site <http://physlets.org/tracker> [11].

O *Tracker* foi concebido para utilização no ensino de física, sendo ligado ao projeto *Open Source Physics* (OSP), uma comunidade de âmbito mundial que contribui com a oferta de recursos gratuitos para o ensino de física e de modelagem computacional. A ideia do OSP é oferecer a professores e estudantes ferramentas computacionais que possibilitem diferentes modos de descrever, explicar, prever e entender fenômenos físicos [12].

O objetivo do trabalho é fornecer uma atividade alternativa ao formato tradicional de aulas expositivas, utilizando videoanálises. Foram realizadas duas filmagens relativas ao movimento retilíneo de uma bicicleta, obtidas a partir de câmeras situadas em dois referenciais distintos. Desse modo, foi possível discutir as principais características dos movimentos uniformes retilíneo e circular. Toda a discussão em sala de aula ocorreu por meio de problemas estruturados com a apresentação das duas videoanálises. As atividades foram aplicadas em duas turmas de segunda série do ensino médio integrado a cursos técnicos de rede federal de ensino, onde dificuldades em conceitos de cinemática foram observadas anteriormente.

A próxima seção deste trabalho relata a construção das duas videoanálises mencionadas, uma associada ao referencial solidário ao solo e a outra relativa ao referencial solidário ao eixo de rotação da roda dianteira. Em seguida, a sequência didática é apresentada, em detalhes. Por fim, discutem-se os resultados dos alunos nas atividades propostas, em conexão com uma avaliação da própria sequência didática.

2 Videoanálises realizadas para discussões em sala de aula

2.1 Movimento de translação da bicicleta modelado a partir do MRU

A primeira videoanálise (VA1) foi realizada a partir da filmagem do movimento de translação de uma bicicleta, considerado retilíneo e uniforme, obtido por uma câmera (C1) fixa ao referencial do solo (R1). Na Fig.1 observamos um ponto P, fixo na bicicleta, e sua posição em função do tempo obtida utilizando o *Tracker*. O programa permite relacionar as distâncias virtuais de quaisquer dois pontos contidos nos quadros componentes do vídeo, a partir do fornecimento de um fator de escala apropriado, ou seja, de uma distância física qualquer conhecida. No caso, inserimos o valor de 56,40 cm, correspondente ao diâmetro da roda dianteira da bicicleta.

O gráfico da Fig.2 mostra o ajuste linear dos dados experimentais da posição do ponto P (fixo no quadro da bicicleta) em função do tempo. Sua interpretação indica que o movimento da bicicleta é uniforme durante a videoanálise, apresentando velocidade igual a $261,2 \pm 0,6$ cm/s.

2.2 Movimento de rotação da roda dianteira modelado a partir do MCU

A segunda videoanálise (VA2) foi realizada simultaneamente à videoanálise VA1, a partir de uma filmagem do movimento de rotação da roda dianteira da bicicleta, considerado circular e uniforme, obtido por uma câmera (C2) solidária ao eixo de rotação (R2) e com lente contida em um plano paralelo à roda na posição vertical (Fig.3). Foi escolhido um ponto Q, fixo na borda da roda, e analisada sua coordenada angular em função do tempo (Fig.4).

O gráfico da Fig. 5 mostra o ajuste linear dos dados experimentais da coordenada angular do ponto Q (fixo na borda da roda) em função do tempo. Os resultados apontam que o movimento circular é uniforme, apresentando velocidade angular constante igual a -507 ± 2 graus/s ou $-8,85 \pm 0,04$ rad/s. O sinal negativo indica apenas que a coordenada angular varia no sentido horário, lembrando que, por convenção, a coordenada angular é positiva no sentido antihorário.

Uma estimativa do raio da roda pode ser obtida a partir da razão entre suas velocidades linear e angular. De fato, o movimento da roda da bicicleta ocorre na condição de rolamento sem deslizamento, logo, a

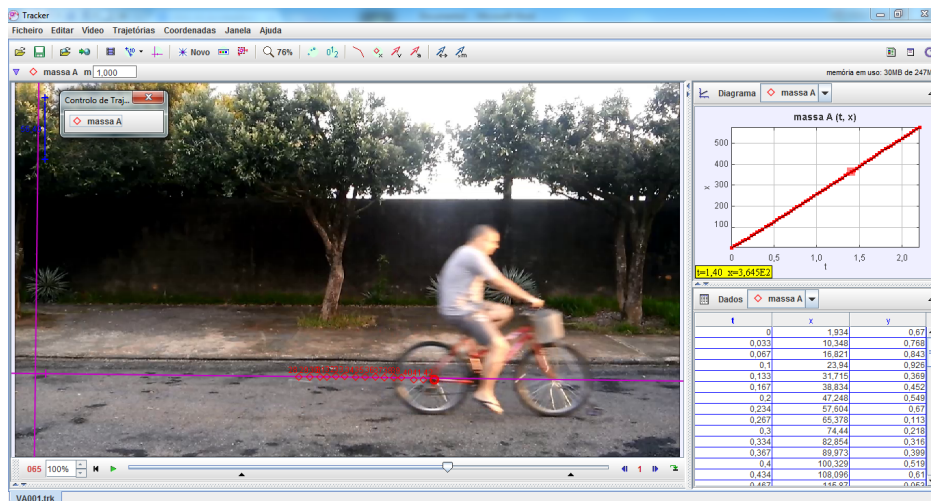


Figura 1: Ponto P (em vermelho) observado a partir do referencial R1.

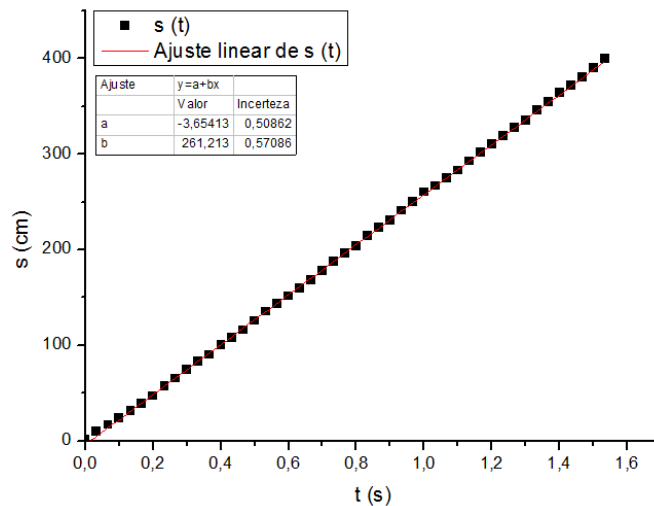


Figura 2: Gráfico da posição do ponto P (fixo no quadro da bicicleta) em função do tempo. O coeficiente angular indica que a velocidade é constante e igual a $261,2 \pm 0,6$ cm/s.



Figura 3: Filmagem da roda dianteira a partir do referencial solidário ao seu eixo de rotação. O suporte que liga bicicleta à câmera possui comprimento de 105,8 cm.

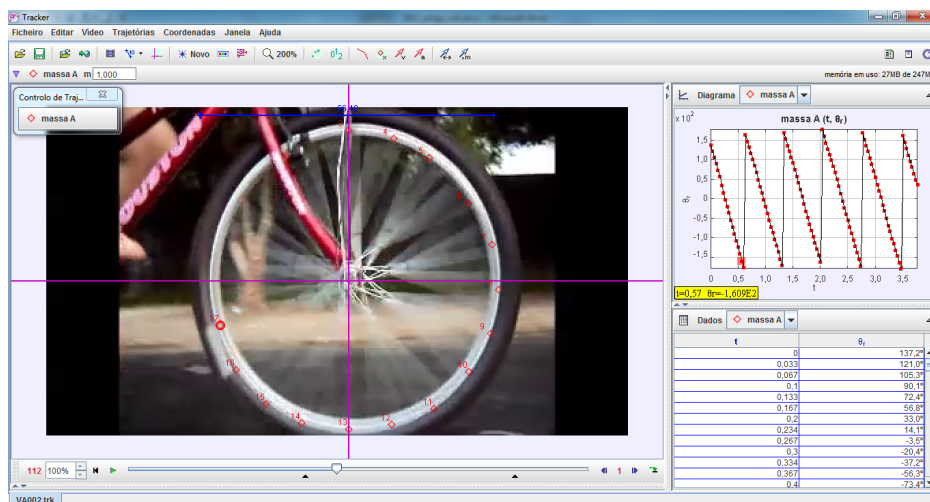


Figura 4: Ponto Q (em vermelho), observado a partir do referencial solidário ao eixo da roda.

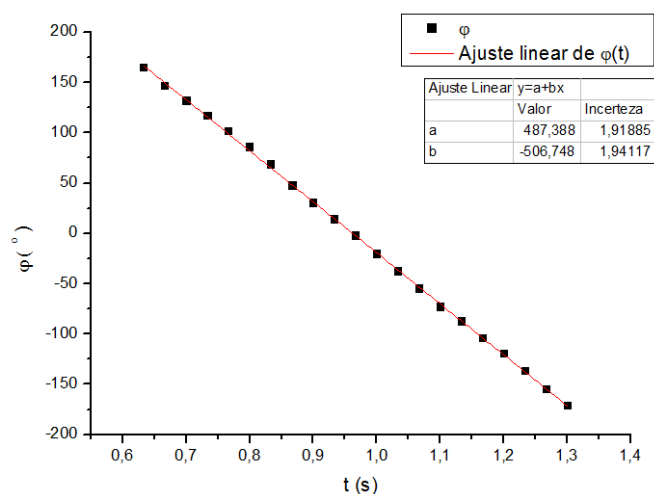


Figura 5: Gráfico da coordenada angular associada ao ponto Q , fixo na borda da roda, em função do tempo. O coeficiente angular fornece o valor da velocidade angular igual a -507 ± 2 graus/s ou $-8,85 \pm 0,04$ rad/s.

velocidade linear é igual ao produto da velocidade angular da roda pelo seu raio. Dessa forma, o raio pode ser estimado em:

$$R = \frac{v}{\omega} \approx \frac{261,2 \pm 0,6}{8,85 \pm 0,04} \approx 29,5 \pm 0,2 \text{ cm.} \quad (1)$$

Contudo, o raio da roda é igual a 28,2 cm, o que corresponde a um erro percentual de aproximadamente 5% na estimativa obtida. Para os fins didáticos deste artigo, pode-se considerar uma estimativa razoável.

3 Sequência didática desenvolvida em sala de aula

A sequência didática foi aplicada em seis encontros, cada um deles contabilizando 100 minutos. Ela foi implementada em três turmas do curso técnico em agropecuária integrado ao ensino médio, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso (IFMT), *campus* Juína. As turmas foram denominadas turma experimental 1 (TE1), turma experimental 2 (TE2) e turma experimental 3 (TE3). A ementa de física para as turmas é idêntica. Ao todo, 73 alunos participaram da pesquisa, realizada entre os dias 28/09/2016 e 28/10/2016.

Durante o primeiro encontro, foi apresentada a ementa com os tópicos a serem discutidos em sala de aula. Um levantamento das concepções prévias também foi realizado, juntamente com a indicação da primeira leitura (L1) sobre o MRU [13].

O segundo encontro iniciou-se com uma breve descrição do MRU, seguida da apresentação e posterior discussão da primeira videoanálise (VA1). Foi proposto o primeiro problema (P1)¹, em conexão com a videoanálise VA1. O problema foi resolvido em grupos, com uma média de cinco alunos em cada um. Foi permitida consulta a qualquer tipo de material didático, inclusive recursos digitais.

¹Os problemas utilizados nesta pesquisa são apresentados no Apêndice I.

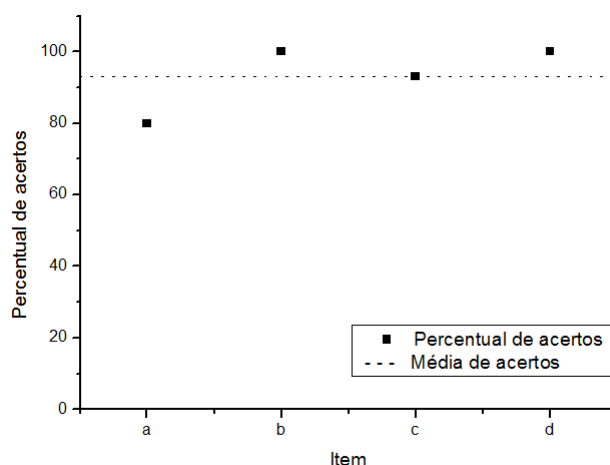


Figura 6: *Percentual de acertos nos itens a, b, c e d do problema P1. A linha pontilhada revela o acerto médio nos itens do problema P1, igual a 93%.*

O terceiro encontro destinou-se à entrega e discussão das soluções do problema P1. Ao final do encontro foi proposta a segunda leitura (L2), sobre MCU [13].

No quarto encontro, realizou-se uma descrição do MCU, seguida da apresentação e posterior discussão da segunda videoanálise (VA2). Foi apresentado o segundo problema (P2) (ver Apêndice I), em conexão com a videoanálise VA2, para ser resolvido nas mesmas condições do primeiro problema (P1).

Reservamos o quinto encontro para a entrega e discussão das soluções do problema P2. Ao final, foram apresentadas novamente as videoanálises VA1 e VA2, com a intenção de rever e sintetizar os tópicos abordados ao longo da sequência didática.

No último encontro, aplicamos um teste nas três turmas (TE1, TE2 e TE3), composto por dez questões de múltipla escolha. Todo o material utilizado (videoanálise, atividades de aula, problemas P1 e P2 e teste) encontra-se disponível em: <https://drive.google.com/open?id=0B0S3ARHrAIgPOXNkN0pGTWtoMXM>.

4 Resultados e discussões

4.1 Desempenho nos problemas

Os gráficos apresentados nas figuras 6 e 7 revelam o percentual de acertos nos itens a, b, c e d, dos problemas P1 e P2, considerando as três turmas experimentais.

As questões que envolviam explicitamente a construção de gráficos revelaram percentuais de acertos menores. Por exemplo, percebemos que nos itens “a” e “c” do problema P1, os percentuais de acertos foram iguais a 80% (12 de 15 grupos) e 93% (14 de 15), respectivamente, quando consideramos as três turmas experimentais. Esses itens envolvem justamente a construção de gráficos. Já considerando os itens “b” e “d”, que não envolvem gráficos, o percentual de acertos é 100%. O mesmo pode ser identificado nos itens “a” e “c” do problema P2. Os percentuais de acerto são de 87% (13 de 15) nos dois casos. Já no item

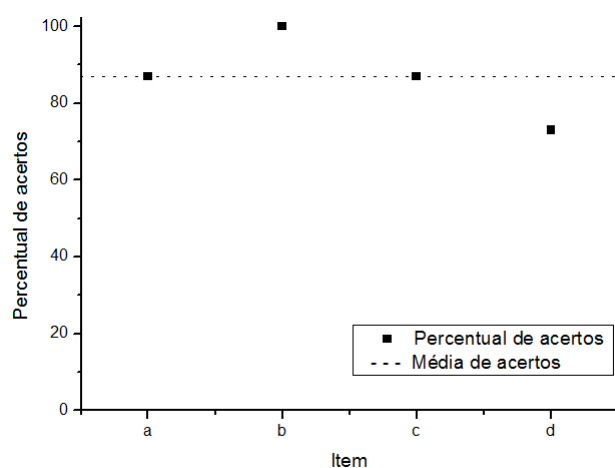


Figura 7: *Percentual de acertos nos itens a, b, c e d do problema P2. A linha pontilhada revela o acerto médio nos itens do problema P2, igual a 87%.*

“b” do mesmo problema, que não envolve análise de um gráfico, temos um percentual de acertos igual a 100%. Contudo, observamos no item “d” um percentual de acertos igual a 73% (11 de 15). Nas turmas TE1 e TE2, esse percentual ficou em 80% (4 de 5), enquanto na turma TE3, o valor foi de 60% (3 de 5).

Em relação ao último item do problema P2 (item “d”), notamos grande dificuldade em compreender que o vetor aceleração possui mesma direção e sentido do vetor variação de velocidade. O pior percentual apresentado por uma turma, em todas as questões dos problemas P1 e P2, foi exatamente nesse item. Observamos respostas que seguiram (2 de 5 na TE1, 1 de 5 nas turmas TE2 e TE3) a tendência de não reconhecer explicitamente a aceleração centrípeta no MCU, mesmo após toda a discussão realizada no quarto encontro. Contudo, a relação da aceleração centrípeta com a variação do vetor velocidade não é intuitiva. A partir das leituras realizadas e discussões de sala de aula, 73% dos grupos (11 de 15) responderam corretamente ao item, embora uma investigação mais profunda dessa questão possa revelar dificuldades de compreensão conceitual.

Vale destacar que ideias semelhantes surgiram na discussão conjunta dos problemas. De fato, o conceito de aceleração centrípeta foi apresentado corretamente pela maioria dos grupos, mas algumas dificuldades conceituais foram identificadas: 27% dos grupos (4 de 15) erraram o item “d” do problema P2. Contudo, esse resultado está associado às respostas entregues pelos alunos antes da discussão conjunta. Espera-se que alguns desses equívocos tenham sido superados ao longo do quinto encontro da sequência, onde a discussão do problema P2 foi realizada em maiores detalhes.

A discussão realizada após a entrega das respostas, por parte dos estudantes, permitiu uma reconsideração das ideias apresentadas ao professor. Os grupos entraram em contato, ao longo dos debates, com outros pontos de vista. A troca de ideias entre alunos e professores, pode ajudar na superação de possíveis dificuldades encontradas pelos discentes, durante a resolução autônoma dos problemas propostos.

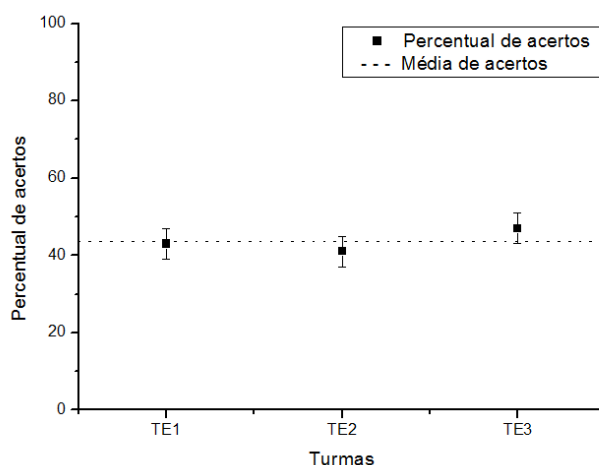


Figura 8: Percentual de acertos das turmas TE1, TE2 e TE3 no teste de conhecimentos. A linha pontilhada revela o percentual médio de acertos 44%.

4.2 Desempenho no teste

O teste foi aplicado nas três turmas experimentais, com um número total de 73 alunos. A distribuição de alunos por turma é semelhante, contabilizando 23 alunos na TE1, 24 alunos na TE2 e 26 alunos na TE3.

O teste apresentou 10 questões de múltipla escolha, já utilizadas em trabalhos anteriores [14, 15]. Elas foram elaboradas a partir de concepções alternativas identificadas em cinemática. Todas as questões, retiradas ou adaptadas de [14] e [15], podem ser visualizadas no endereço: <https://drive.google.com/open?id=0B0S3ARHrAIgPOXNkN0pGTWtoMXM>.

O gráfico da Fig.8 resume o percentual de acertos obtidos pelas turmas experimentais TE1, TE2 e TE3 no teste. Pode-se observar que o percentual de acertos médio nos itens do teste de conhecimentos é mais baixo do que o percentual de acertos médio verificados nos problemas P1 e P2. O acerto médio dos itens no teste foi de 44% (321 de 730), enquanto nos problemas P1 e P2, esses índices foram de 93% e 87%, respectivamente (Fig.6, 7 e 8).

Os resultados no teste tradicional se alinham com apontamentos identificados na literatura dedicada ao tema [11-13]. Em [16] é descrito um teste concebido para avaliar as dificuldades em interpretação de gráficos em cinemática, sendo relatados problemas com a identificação errônea nas condições iniciais e o reconhecimento incorreto do gráfico como uma fotografia da trajetória do movimento. O teste apresentado, conhecido como *Test of Understanding Graphs Kinematics* (TUGK), foi aplicado na universidade da Carolina do Norte e em turmas de alunos concluintes do “*high school*” [16]. Apesar de uma comparação direta não ser possível, pois nosso teste não utiliza o TUGK completo, podemos realizar uma comparação por questão. Por exemplo, o percentual de acertos na questão 1 do teste aplicado no presente trabalho (correspondente à questão 1 do TUGK completo) é de 52%, enquanto o resultado em [16] é de 16%. Já na questão 2 (Questão 3 do TUGK completo), o percentual de acertos verificado foi de 27%, contra 62% verificado em [16]. Analogamente, nas questões 3, 4, 5 e 6 (Questões 5, 8, 11 e 12 do TUGK completo) os percentuais de acertos foram de 67%, 12%, 12% e 60%, contra 73%, 37%, 36% e 67% em [16]. Vale

destacar que nossos alunos ainda estão no ensino médio, enquanto os resultados apresentados em [16] são referentes a 524 alunos da universidade da Carolina do Norte e concluintes do ensino médio. Na comparação admitida, os percentuais de acertos dos estudantes submetidos ao nosso teste é claramente maior na questão 1. Essa questão avalia se o aluno é capaz de determinar o deslocamento a partir de um gráfico de velocidade pelo tempo. Nas outras questões, o desempenho é mais baixo. Os percentuais apresentados ajudam a corroborar que os estudantes ainda estão desenvolvendo os objetivos delineados pelo TUGK [16]. Vale destacar que nossa amostra apresenta apenas 73 alunos.

Em [15], uma tradução do TUGK foi realizada, seguida de uma aplicação em alunos da UnB, onde dificuldades semelhantes foram identificadas. O percentual de acertos obtido em [15] é sistematicamente maior do que os obtidos originalmente em [16]. Já em [17], tentativas de introduzir recursos computacionais foram relatados para contornar problemas semelhantes identificados em turmas de graduação em Física. Todos esses trabalhos apontam dificuldades de estudantes de física, seja em nível médio ou superior, com a interpretação de gráficos em testes tradicionais.

5 Considerações Finais

O trabalho apresenta os resultados de uma sequência didática utilizando a videoanálise, implementada em três turmas da rede federal de ensino. A intervenção foi realizada em turmas do curso técnico de agropecuária, na segunda série do ensino médio, com dificuldades em cinemática.

Os alunos das turmas experimentais obtiveram uma melhoria significativa das respostas apresentadas aos problemas propostos, considerando a comparação das respostas fornecidas antes e depois das discussões de sala. A análise das turmas experimentais, encontro por encontro, revelou uma evolução de ordem qualitativa. Por exemplo, observando os percentuais médios de acerto iguais a 93% e 73%, nos problemas P1 e P2, pode-se dizer que os objetivos delineados no plano de curso, para o estudo dos tópicos de MRU e MCU, foram alcançados.

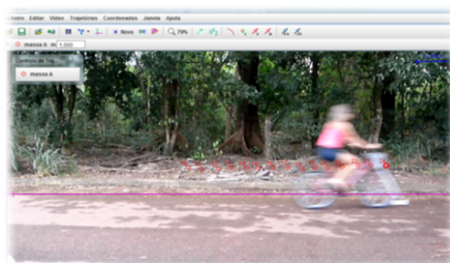
No entanto, o resultado no teste ajuda a ponderar o apontamento anterior, pois o percentual médio de acertos caiu para 44%. De fato, a busca de soluções aos problemas leva o grupo a uma interação entre si e com os recursos de pesquisa disponíveis, o que pode conduzir a um aumento no número de acertos dos grupos. O aspecto colaborativo entre os colegas, para a formatação da solução a ser apresentada em classe, é capaz de aumentar o número de acertos nos problemas. Em síntese, este trabalho aponta para a possibilidade de se utilizar a videoanálise em contextos colaborativos como um instrumento mediador da relação ensino-aprendizagem, para a discussão de tópicos cinemáticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor Daniel G. G. Sasaki pelas frutíferas discussões e críticas.

APÊNDICE I - Problemas P1 e P2

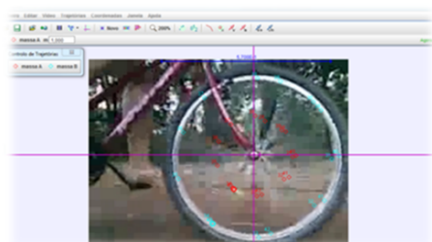
P1. Considere o movimento da bicicleta abaixo, supondo um MRU.



t (s)	s (m)
0,0	0,5
0,1	1,0
0,2	1,5
0,3	2,0
0,4	2,5
0,5	3,0
0,6	3,5
0,7	4,0
0,8	4,5
0,9	5,0
1,0	5,5
1,1	6,0
1,2	6,5
1,3	7,0

a) Esboce o gráfico $s \times t$. b) Obtenha a velocidade linear média da bicicleta no percurso. c) Esboce o gráfico $v \times t$. d) Existe aceleração, no MRU?

P2. Considere o movimento da roda dianteira da bicicleta, supondo um MCU de raio $R = 28$ cm e período de 0,35 s.



t (s)	ϕ (rad)
0,00	0,00
0,05	-0,90
0,10	-1,80
0,15	-2,69
0,20	-3,59
0,25	-4,49
0,30	-5,39
0,35	-6,28

a) Esboce o gráfico da coordenada angular pelo tempo. b) Obtenha a velocidade angular média da roda no percurso. c) Esboce o gráfico da velocidade angular pelo tempo. d) Existe aceleração, no MCU?

Referências

- [1] MAZUR, E. *Peer Instruction: A User's Manual*. New Jersey, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997.
- [2] HAKE, R. R. *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*. American Journal of Physics 66, 64-74, 1998.
- [3] BARROS, J.A.; REMOLD, J.; SILVA, G.S.F. e TAGLIATI, J.R. *Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF*. Revista Brasileira de Ensino de Física 26, 63-69, 2004.

- [4] ARAUJO, A.V.R.; SILVA, E.S.; V.L.B de JESUS e OLIVEIRA, A.L. *Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa*. Revista Brasileira de Ensino de Física 39, e2401, 2017.
- [5] BEICHNER, R. *The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills*. American Journal of Physics 64, 1272 - 1277, 1996.
- [6] LAWS; P; PFISTER, H. *Using Digital Video Analysis in Introductory Mechanics Projects*. The Physics Teacher 36, 282-287, 1998.
- [7] BROWN, D; COX, A.J. *Innovative Uses of Video Analysis*. The Physics Teacher 47, 145-150, 2009.
- [8] BEZERRA Jr, A.G., OLIVEIRA, L.P.; LENZ, J.A.; SAVEDRA, N. *Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física 29 (n. Especial), 469-490, 2012.
- [9] DE JESUS, V.L.B. *Experimentos e videoanálise: Dinâmica*. São Paulo, Livraria da Física, 2014.
- [10] BEZERRA, A. G, LENZ, J. A.; FILHO, N. C. S. *Utilização da videoanálise para o estudo do movimento circular e a construção do conceito de aceleração centrípeta*. Acta Scientiae, v. 18(3), 782-798, 2016.
- [11] TRACKER. *Site do software Tracker*. Disponível em: <<http://physlets.org/tracker>>. Acesso em 01/08/2017.
- [12] OSP. *Site do Open Source Physics Project*. Disponível em: <<http://www.opensourcephysics.org>>. Acesso em 01/08/2017.
- [13] BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. R.; PRADO, E. P., CASEMIRO, R. *Física: Mecânica. 2.ed.* São Paulo, FTD, 2013.
- [14] SILVA, D. *O ensino construtivista da velocidade angular. Textos: Pesquisas para o Ensino de Ciências, n. 4*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990. 59p.
- [15] AGRELLO, D. A. *Compreensão de Gráficos de Cinemática em Física Introdutória*. Revista Brasileira de Ensino de Física 21(1), 103 - 115, 1999.
- [16] BEICHNER, R.J. *Testing student interpretation of kinematics graphs*. American Journal of Physics 62(8), 750 - 762, 1994.
- [17] ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. *Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática*. Revista Brasileira de Ensino de Física 26(2), 179 - 184, 2004.