Revista do Professor de Física, v. 10, n. 1, p. 35-47, Brasília, 2026.
Instituto de Física - Universidade de Brasília

Artigo original

Revista do Professor de Física

Ensino de Física

REFLEXÕES SOBRE A APLICAÇÃO E A UNIFORMIZAÇÃO DA CINEMÁTICA ESCALAR NO ENSINO DE FÍSICA

REFLECTIONS ON THE APPLICATION AND STANDARDIZATION OF SCALAR KINEMATICS IN PHYSICS EDUCATION

Gustavo Elia Assad *[1]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Campus João Pessoa, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Resumo

Este artigo propõe uma ampliação conceitual da análise dos movimentos tradicionalmente tratados como unidimensionais para aqueles que ocorrem ao longo de uma linha não retilínea, bem definida e orientada, no contexto da cinemática escalar. Defende-se que essa abordagem pode ser empregada de forma consistente e fundamentada em materiais de divulgação científica e no ensino de Física, sempre que pertinente. A fundamentação teórica é desenvolvida a partir de um sistema de coordenadas intrínseco, definido pela própria trajetória do objeto, no qual são utilizadas direções inerentes à trajetória, em substituição a sistemas de coordenadas externas fixas. Apresentam-se situações-problema que evidenciam a aplicabilidade da cinemática escalar bidimensional, sem prejuízo à compreensão de movimentos presentes no cotidiano. Discute-se, ainda, a necessidade de homogeneização da terminologia e dos conceitos cinemáticos, questão motivada, em parte, pela multiplicidade de traduções atribuídas a um mesmo termo, como no caso da expressão em inglês average speed, adotada neste trabalho como rapidez média. Considerando-se a relevância do tema e sua adequação ao ensino médio, é estabelecido um comparativo entre alguns conceitos fundamentais dessa abordagem e aqueles tradicionalmente apresentados na cinemática vetorial clássica.

Palavras-chave: *coordenadas intrínsecas, cinemática escalar, rapidez.*

*gustavo.assad@ifpb.edu.br

Abstract

This article proposes a conceptual expansion of the analysis of movements traditionally treated as one-dimensional to those that occur along a non-rectilinear, well-defined, and oriented line, within the context of Scalar Kinematics. It argues that this approach can be consistently and thoroughly employed in scientific outreach materials and in physics education, whenever relevant. The theoretical foundation is developed from an intrinsic coordinate system, defined by the object's own trajectory, in which directions inherent to the trajectory are used, replacing fixed external coordinate systems. Problem situations are presented that demonstrate the applicability of two-dimensional Scalar Kinematics, without compromising the understanding of everyday movements. The need for homogenization of kinematic terminology and concepts is also discussed, a question motivated, in part, by the multiplicity of translations attributed to the same term, as in the case of the English expression "average speed," adopted in this work as "average speed." Considering the relevance of the topic and its suitability for high school education, a comparison is established between some fundamental concepts of this approach and those traditionally presented in classical Vector Kinematics.

Keywords: *intrinsic coordinates, scalar kinematics, speed.*

I. Introdução

O termo cinemática escalar é amplamente difundido em livros didáticos do ensino médio, estando presente em obras como Ramalho Junior, Ferraro e Soares (2011), Sampaio e Calçada (1998) e Bonjorno (2003), bem como em textos considerados clássicos, como Adir Moysés e Gouveia (1989) e o material do GREF (2001). Em contrapartida, observa-se que esse termo é pouco empregado em livros de nível superior, sendo sua ausência exemplificada em obras consagradas como Halliday, Resnick e Walker (2012), Tipler e Mosca (2006) e Nussenzveig (1997). Em problemas unidimensionais ou associados a trajetórias não retilíneas bem definidas, a cinemática escalar desempenha papel fundamental para a compreensão, por parte dos estudantes, dos conceitos básicos de movimento, tais como posição, velocidade e aceleração, possibilitando a aplicação de equações em situações práticas, como nos estudos do movimento uniforme e uniformemente acelerado. A abordagem simplificada torna a cinemática escalar um ponto de partida acessível para o estudo da Mecânica. Reconhece-se a importância da descrição vetorial dos fenômenos cinemáticos; entretanto, argumenta-se que, em determinados contextos, é suficiente trabalhar com as grandezas escalares de posição, velocidade e aceleração, uma vez que o emprego do formalismo vetorial pode se mostrar excessivamente complexo e desnecessário, conforme discutido por Gregory (2006, p. 26). À luz da teoria da Transposição Didática, proposta por Chevallard (1998), a cinemática escalar pode ser compreendida como um objeto de saber construído no contexto do ensino médio, resultante da reorganização do conhecimento científico ao ser incorporado aos currículos e aos livros didáticos. Embora o termo não seja usualmente empregado em obras de nível superior, nas quais predomina o formalismo vetorial da cinemática, sua ampla presença em materiais didáticos do ensino médio indica um processo de reorganização do saber com finalidades pedagógicas específicas. Tal reorganização não deve ser entendida como uma simplificação conceitual inadequada, mas como uma reconstrução orientada pelas condições do ensino escolar, visando favorecer a compreensão inicial de conceitos fundamentais do movimento e possibilitar uma progressão conceitual consistente rumo a descrições mais gerais e formais da Mecânica. Nesse contexto, o presente artigo destaca a relevância: (i) do entendimento de que equações escalares da cinemática podem ser empregadas na resolução de problemas bidimensionais não retilíneos, frequentemente abordados em vestibulares e em livros didáticos do ensino médio; e (ii) da uniformização dos termos associados às grandezas da cinemática escalar e Vetorial, especialmente no que se refere à tradução da expressão inglesa average speed, conforme será discutido ao longo do texto.

II. Cinemática escalar sob a luz de um referencial intrínseco

Reconhecendo-se a importância de que, em algum momento, seja compreendida a natureza vetorial das grandezas cinemáticas, introduz-se a análise da cinemática sob a perspectiva de um referencial intrínseco. Considere-se uma partícula que se desloca ao longo de uma trajetória arbitrária, assumida, por simplificação, como contida em um plano. A posição da partícula ($\vec{r}$) é descrita em relação a um referencial cartesiano clássico **S**. Em um instante arbitrário, o deslocamento ($d\vec{r}$) ocorre ao longo de um arco de circunferência de raio **R** e centro **O**, conforme a Fig. 1(A). Os vetores unitários $\hat{\mathbf{t}}$ e $\hat{\mathbf{R}}$ estão, respectivamente, sobre as direções tangencial à trajetória e normal a ela em cada ponto, sendo este último orientado em direção ao centro da circunferência que localmente descreve a trajetória. O sistema de coordenadas definido pelos versores acima, que acompanha o movimento da partícula, é denominado sistema de coordenadas intrínseco (Widnall; Peraire, 2009). Na Fig. 1(B), que evidencia este sistema, a partícula é mostrada em duas posições distintas, junto com sua velocidade ($\vec{v}$).

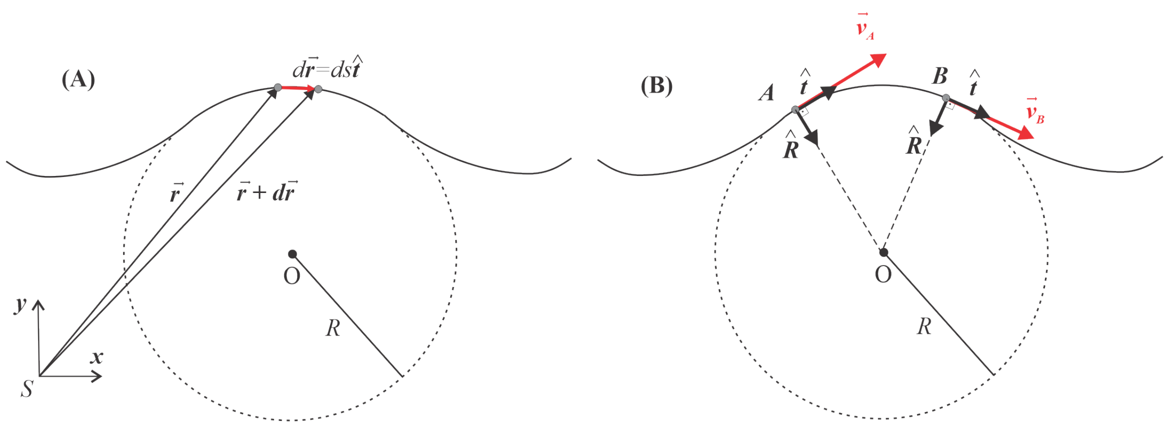


Figura 1: *(A) Deslocamento infinitesimal sobre trajetória arbitrária, tomado em relação a um sistema de coordenadas cartesianas S; (B) Posições distintas de uma partícula sobre trajetória arbitrária, acompanhadas por um sistema de coordenas intrínseco. Fonte: do autor.*

Uma vez definido o referencial intrínseco, a velocidade instantânea é dada por:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{ds\,\hat{\imath}}{dt} \textbf{ ou } \vec{v} = v\hat{t} \tag{1}$$

onde v é o valor (quantidade escalar) da velocidade instantânea da partícula[1]. Já a aceleração demanda um pouco mais de atenção. A aceleração instantânea da partícula, na trajetória qualquer acima, é dada por:

$$\vec{a} = \left(\frac{dv}{dt}\right)\hat{t} + \left(\frac{v^2}{R}\right)\hat{R} \tag{2}$$

Nesta equação, $\frac{dv}{dt}$ e $\frac{v^2}{R}$ são, respectivamente, os valores (quantidades escalares) das componentes tangencial ($\vec{a}_t$) e centrípeta ($\vec{a}_c$) da aceleração instantânea ($\vec{a}$) desenvolvida pela partícula. A componente tangencial da aceleração está associada à mudança do valor da velocidade, fazendo sua rapidez crescer quando estiver no mesmo sentido da velocidade e fazendo-a diminuir, quando em sentido oposto. A componente centrípeta da aceleração não é capaz de modificar o valor da velocidade, apenas sua direção. Desta forma, o módulo da aceleração é dado, em qualquer instante por $a^2 = a_t^2 + a_c^2$.

Tomando a aceleração da partícula (Eq.(2)), a velocidade instantânea (Eq.(1)), o versor $\hat{t}$ (orientado no sentido da trajetória) e fazendo uso do produto interno escrevemos equações escalares para a posição, velocidade e aceleração:

$$a(t) = (\vec{a} \cdot \hat{t}) \tag{3}$$

$$s(t) = s_0 + \int (\vec{v} \cdot \hat{t})\, dt \tag{4}$$

$$v(t) = v_0 + \int (\vec{a} \cdot \hat{t})\, dt \tag{5}$$

Deve-se notar que o produto interno $\vec{a} \cdot \hat{t}$ resulta no valor da componente tangencial da aceleração (sem óbvia influência da componente centrípeta) e $\vec{v} \cdot \hat{t}$, no valor da velocidade instantânea.

Para o caso clássico em que a aceleração tangencial assumisse valor constante (caso de movimentos uniformes, a=0, e uniformemente variados, $a \neq 0$), teríamos equações escalares horárias dadas por:

$$a(t) = a_t \tag{6}$$

$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_t t^2 \tag{7}$$

$$v(t) = v_0 + a_t t \tag{8}$$

Entendemos que, a partir das equações anteriormente apresentadas (Eqs. 3–8), é possível resolver uma ampla gama de problemas associados a trajetórias retilíneas ou sinuosas, desde que bem definidas, tais como o movimento de veículos entre cidades, o encontro de móveis

[1]O módulo da velocidade instantânea (sempre tangente à trajetória) é, em bom tom e concordamos com a semântica, conhecido rapidez instantânea da partícula, tradução do inglês da palavra *speed*, vista em Hewitt (2002, p. 60). A rapidez é indicada, por exemplo, na leitura de um velocímetro automotivo. A palavra inglesa velocity faz alusão ao vetor velocidade.

em rodovias e os movimentos verticais, entre outros, sem que seja necessário recorrer ao formalismo vetorial. No âmbito da cinemática escalar, o interesse centra-se exclusivamente na análise da variação temporal das grandezas posição, velocidade e aceleração. Nesse contexto, não se identifica impedimento, à luz da norma culta da língua portuguesa, ao acréscimo de um qualificativo às grandezas cinemáticas, com o objetivo de explicitar a abordagem escalar adotada (por exemplo, posição escalar, deslocamento escalar, velocidade escalar e aceleração escalar), desde que sejam rigorosamente respeitadas as definições estabelecidas, apresentadas na Tabela 1 a seguir.

Posição Escalar	Valor ocupado sobre uma linha (trajetória) orientada e com origem prescrita
Deslocamento Escalar	Variação do valor da posição em relação à trajetória: $\Delta s = \int (\vec{v} \cdot \hat{t}) dt = \int v(t) dt$
Velocidade Escalar Instantânea	Valor da velocidade (vetorial) instantânea (difere da rapidez, sutilmente, pois não se trata de um módulo): $v = \frac{ds}{dt}$
Aceleração Escalar Instantânea	Grandeza associada, exclusivamente, à variação do valor da velocidade, portanto, dada pelo valor da componente tangencial da aceleração (vetorial) instantânea: $a \equiv a_t = \frac{dv}{dt}$
Variação da Velocidade Escalar	Usando a definição acima: $\Delta v = \int \left(\vec{a}_t \cdot \hat{t}\right) dt = \int a(t) dt$

Tabela 1: *tabela que mostra algumas definições de quantidades escalares na cinemática. Fonte: do autor.*

Conforme afirmam os professores Adir Moysés Luiz e Sérgio Lins Gouveia (1989, p. 41), "descrever um movimento é dizer de que modo sua posição (vetorial ou escalar) varia à medida que os instantes se sucedem, à medida que o tempo passa. Se pudermos dizer, para cada instante, qual é a posição do móvel, estaremos dando uma descrição de seu movimento". Essa definição evidencia que a caracterização do movimento depende fundamentalmente da relação funcional entre posição e tempo, independentemente da natureza vetorial ou escalar da grandeza considerada. Nesta perspectiva, apresenta-se, a seguir, um exemplo elementar, de autoria própria, com o objetivo de ilustrar a descrição do movimento no contexto da cinemática escalar.

• Em dois pontos opostos de um trecho de 400m de uma rodovia sinuosa (Fig. 2), uma partícula A parte do repouso (em s=0) com aceleração escalar de $4m/s^2$, em direção a uma outra partícula B (em s=400m) que, em sentido oposto, viaja com rapidez constante de 20m/s. Considerando que ambos partem do mesmo instante ($t_0 = 0$), determine o instante e a posição do encontro ao longo da rodovia.

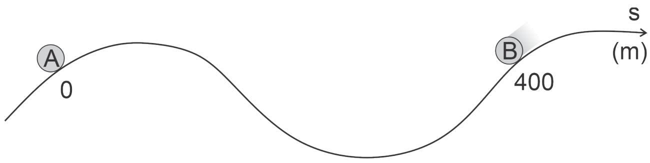


Figura 2: *Situação problema. Fonte: do autor.*

Solução

Escrevendo as equações escalares para a posição de ambas as partículas (Eq. (7)), temos:

$$s_A(t) = 2t^2 \quad e \quad s_B(t) = 400 - 20\text{t} \tag{9}$$

Para o encontro, $s_A = s_B$, então:

$$2t^2 = 400 - 20\text{t} \Rightarrow t^2 + 10t - 200 = 0 \tag{10}$$

Resolvendo a equação do 2° grau acima e substituindo em uma das equações horárias da posição, encontramos:

$$t_{Encontro} = 10s \quad e \quad s_{Encontro} = 200m \tag{11}$$

Nota: Trata-se do análogo a um movimento em linha reta (unidimensional). A cinemática escalar mostrou-se plenamente adequada para a determinação da posição e do instante do encontro ao longo da trajetória orientada. Uma de nossas intenções é transmitir segurança para que professores e estudantes possam empregar a cinemática escalar em situações dessa natureza.

III. Cinemática vetorial x cinemática escalar

É de fundamental importância compreender que as grandezas cinemáticas posição, velocidade e aceleração, possuem natureza vetorial, não havendo qualquer questionamento a esse respeito. Entretanto, em determinadas situações, o interesse recai exclusivamente sobre o comportamento temporal dos valores dessas grandezas. É neste contexto que se insere a cinemática escalar, aqui trazida à baila para além dos tradicionais problemas unidimensionais. Sob esse enfoque, torna-se mister distinguir e contrapor as abordagens vetorial e escalar dessas grandezas, ainda que tal distinção possa, à primeira vista, parecer redundante. Apresenta-se, a seguir, um exemplo numérico com o objetivo de definir grandezas que, a nosso ver, evidenciam um problema recorrente de falta de uniformização semântica no tratamento desse tema na Física.

Primeiramente, consideremos um corpo que siga a trajetória mostrada (Fig. 3), indo do ponto A ao ponto B, invertendo o sentido do movimento e retornando ao ponto C. Assim, mostraremos as seguintes definições e resultados numéricos.

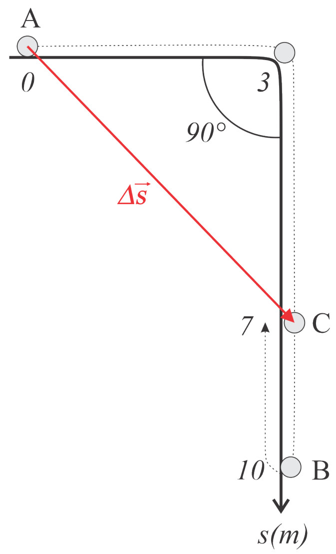


Figura 3: *Exemplo ilustrativo de um movimento não retilíneo para diferenciar conceitos semelhantes entre a cinemática escalar e "vetorial". Fonte: do autor.*

III.1. Deslocamento vetorial, deslocamento escalar e distância

III.1.1 Deslocamento vetorial

Vetor que liga a posição à final, independente do sistema de referência $\left(\Delta\vec{s} = \int d\vec{s}\right)$. Seu módulo, no exemplo, é calculado por:

$$(|\Delta\vec{s}|)^2 = 3^2 + 4^2 \Rightarrow |\Delta\vec{s}| = 5\,\mathrm{m} \tag{12}$$

III.1.2 Deslocamento escalar

Variação da posição escalar tomada sobre a trajetória orientada. Pode ser positivo $(s_f > s_0)$ ou negativo $(s_f < s_0)$.

$$\Delta s = s_f - s_0 = 7 - 0 = 7\,\mathrm{m} \tag{13}$$

III.1.3 Distância

Soma de todos os módulos dos deslocamentos escalares ao longo do percurso.

$$D = |\Delta s_{AB}| + |\Delta s_{BC}| = 10 + 3 = 13\,\mathrm{m} \tag{14}$$

Algumas notas são importantes:

- Os módulos do vetor deslocamento e do deslocamento escalar só coincidem em trajetórias retilíneas, $|\Delta\vec{s}| = |\Delta s|$;
- Em trajetórias não retilíneas, $|\Delta\vec{s}| < |\Delta s|$;
- Se não houver inversão do movimento, deslocamento escalar e distância sempre coincidem, em módulo;

• A inversão do movimento se caracteriza, no referencial intrínseco, por uma mudança de sentido em relação ao versor $\hat{\mathbf{t}}$, visto na Fig. 1, a velocidade escalar deve trocar de sinal. Trata-se do problema da Fig. 3 ou, como outro exemplo, de um corpo arremessado para cima que, no ponto mais alto da trajetória, inverte seu movimento em relação à orientação da trajetória. Não se trata, pois, de um corpo em Movimento Circular Uniforme que tem vetores opostos de velocidade em posições opostas diametralmente.

• Em trajetórias fechadas completas (e.g. uma volta em um circuito), sem que ocorra inversão do movimento, o deslocamento (vetorial) é nulo, mas o deslocamento escalar e a distância, não.

III.2. Valores médios de velocidade

Neste tópico, analisa-se um problema recorrente em questões de vestibulares, decorrente da falta de uniformização terminológica na tradução e no emprego dos conceitos associados aos valores médios de velocidade, particularmente no que se refere às expressões velocidade escalar média e rapidez média. A ausência de clareza conceitual nessa distinção pode comprometer a interpretação adequada de determinadas questões, especialmente em exames vestibulares, nos quais a precisão semântica desempenha papel fundamental.

III.2.1 Velocidade vetorial média

Neste caso, a velocidade média é calculada pela razão entre o deslocamento e intervalo de tempo desprendido no movimento. Ponto em que não há controvérsias.

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t} \tag{15}$$

No exemplo acima, se tomarmos $\Delta t = 10s$, teríamos:

$$|\vec{v}_m| = \frac{5}{10} = 0{,}5\,\mathrm{m/s} \tag{16}$$

Note-se que, um corpo que mantivesse sua velocidade constante (média), apontando de A para C, com valor de 0,5m/s, chegaria ao destino no mesmo intervalo de tempo do móvel da questão.

III.2.2 Velocidade escalar média

Neste caso, a velocidade escalar média é calculada pela razão entre o deslocamento escalar e intervalo de tempo desprendido no movimento.

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{17}$$

No exemplo acima,

$$v_m = \frac{7}{10} = 0{,}7\,\mathrm{m/s} \tag{18}$$

Note-se que, um corpo que mantivesse sua velocidade escalar constante (média), com valor de 0,7m/s, seguindo a mesma trajetória do problema, de A para C, chegaria ao destino no mesmo intervalo de tempo do móvel da questão.

III.2.3 Rapidez média

Aqui, encontramos uma situação inusitada e que gera divergências interessantes. Na língua inglesa, esta grandeza está associada à palavra *speed* que é traduzida como "rapidez", segundo Hewitt (2002, p. 60), não obstante, segundo Tipler (2006, p. 20), é traduzida como "velocidade média de percurso", outrora, segundo Halliday (2012, p. 16), é traduzida como "velocidade escalar média", mesmo que no texto original, em inglês (Halliday, 2011, p. 16) esteja escrito *average speed*. Como todas as referências acima, também concordamos que se trata da razão entre a distância total percorrida e o respectivo intervalo de tempo gasto no percurso. Para fazer alusão ao termo speed e guardar originalidade, vamos utilizar sp_m para a rapidez média. Desta forma, observando que esta será sempre positiva (pela definição de distância):

$$sp_m = \frac{D}{\Delta t} \tag{19}$$

No exemplo acima,

$$sp_m = \frac{13}{10} = 1{,}3\,\text{m/s} \tag{20}$$

Note-se que, um corpo que mantivesse sua rapidez constante (média), com valor de 1,3m/s, seguindo a mesma trajetória do problema, indo de A para B e, depois, de B pra C, desprezando-se variações temporais na inversão de sentido, chegaria ao destino no mesmo intervalo de tempo do móvel da questão, percorrendo 13m em 10s.

Considerações importantes acerca dos valores médios acima:

• Se compararmos os módulos da velocidade média e da velocidade escalar média, teremos, $\begin{cases} |\vec{v}_m| \leq v_m \\ |\vec{v}_m| = v_m : \text{trajetórias retilíneas} \\ |\vec{v}_m| < v_m : \text{trajetórias curvilíneas} \end{cases}$;

• Havendo inversão do movimento, a rapidez média sempre será maior que os módulos da velocidade média e da velocidade escalar média;

• Na situação em que $\Delta t \to 0$, teremos módulos dos valores instantâneos coincidentes $|\vec{v}|_{\text{inst}} = v_{\text{inst}} = sp_{\text{inst}}$, desde que uma inversão não ocorra entre t e $t + \Delta t$.

III.3. Valores médios de aceleração

Neste caso, só colocaremos as devidas definições, sem alusão ao problema original, cujo escopo era diferenciar as grandezas supramencionadas.

III.3.1 Aceleração vetorial média

Dada pela razão entre a variação do vetor velocidade em relação ao tempo gasto no percurso.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \tag{21}$$

III.3.2 Aceleração escalar média

Esta grandeza está associada à taxa média de variação da velocidade escalar. Portanto,

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{22}$$

Observe-se que, em um instante de tempo qualquer, aceleração (vetorial) instantânea é dada pela Eq. (2), sendo a aceleração escalar instantânea dada pelo valor da componente tangencial desta aceleração neste ponto (dv/dt).

IV. A problemática inserida no contexto dos vestibulares

Após a apropriação dos conceitos anteriormente apresentados, evidenciar-se-á o grau de ambiguidade a que pode chegar a interpretação de uma questão envolvendo valores médios de velocidade. Além disso, busca-se demonstrar que o emprego da cinemática escalar em trajetórias bidimensionais é recorrente em concursos públicos desse nível, o que indica sua aceitação no âmbito da comunidade docente que atua nesse segmento, evidenciando grandemente, a transição entre "o saber sábio"(produzido no âmbito da comunidade científica), "o saber a ensinar"(selecionado e organizado para compor currículos e materiais didáticos) e "o saber ensinado"(efetivamente trabalhado em sala de aula), Chevallard (1991).

Na Fig. 4, é mostrada a questão 14 aplicada no vestibular do ITA de 2017. Ela só apresentará o gabarito oficial (letra B) se considerarmos a “velocidade escalar média no percurso” como rapidez média, o que não é verdade, como visto anteriormente em casos de inversão do movimento. Em tempo, esta situação da inversão é que causa a grande confusão entre os conceitos, uma vez que distância e deslocamento escalar têm módulos distintos.

Questão 14. Um automóvel percorre um trecho retilíneo de uma rodovia. A figura mostra a velocidade do carro em função da distância percorrida, em km, indicada no odômetro. Sabendo que a velocidade escalar média no percurso é de 36 km/h, assinale respectivamente o tempo total dispendido e a distância entre os pontos inicial e final do percurso.

A ( ) 9 min e 2 km.
B ( ) 10 min e 2 km.
C ( ) 15 min e 2 km.
D ( ) 15 min e 3 km.
E ( ) 20 min e 2 km.

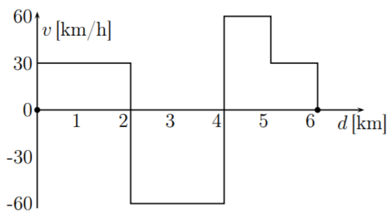


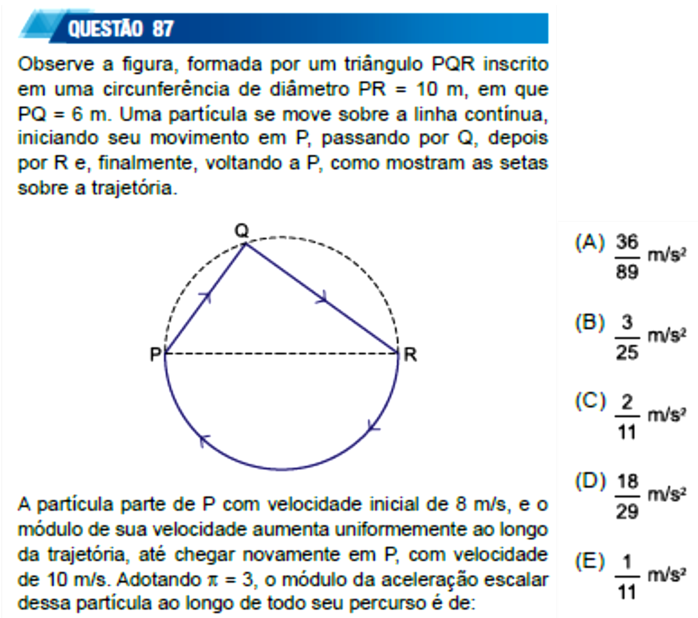
Figura 4: *Questão original aplicada na prova de Física do vestibular do ITA do ano de 2017. Disponível em: <https://www.vestibular.ita.br/provas/fisica_2017.pdf>. Acesso em: 11 Fev. 2026*

.

Discussão e solução:

Claramente, pelo gráfico, o móvel progride (v>0) 2km na trajetória, retrocede (v<0) 2km e, por fim, progride (v>0) 2km. Desta forma, a distância entre os pontos inicial e final do percurso, só pode ser 2km. Tomando a definição de deslocamento escalar, como a diferença entre as posições final e inicial na trajetória, observa-se que Δs=2km. Não obstante, de certo que a distância efetivamente percorrida pelo móvel seria 6km. Agora, entramos no imbróglio da unificação dos termos. Se a velocidade escalar média no percurso, conforme dito no texto, foi de 36km/h e $\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m}$, teríamos, notadamente, $\Delta t = (2/36)h \approx 3{,}3min$. Logo, não há resposta à questão. Por outro lado, em desacordo com o "saber ensinado" no ensino médio e com o que pregamos neste artigo, se tomarmos que a "velocidade escalar média" é dada pela razão entre a distância total percorrida e o tempo total gasto, ou seja, se no texto estivesse escrito que a "rapidez média (sp_m)" no percurso foi de 36km/h, poderíamos escrever, $\Delta t = \frac{D}{sp_m} = \frac{6}{36}h = 10min$ e, só assim, a questão teria como resposta a "letra B" sugerida no gabarito oficial.

Na Fig. 5, apresenta-se a questão 87 do vestibular da UNESP (2023). A resolução é direta e conduz ao gabarito oficial (letra D) mediante a aplicação das equações da cinemática escalar em trajetória bidimensional (Eqs. 6–8), em particular da ubíqua equação de Torricelli. O problema descreve um movimento uniformemente variado ao longo de uma trajetória fechada, em uma situação na qual a aceleração escalar se mantém constante. Esse exemplo evidencia que é possível, sem perda de generalidade, estender resultados usualmente associados a casos unidimensionais para situações bidimensionais, desde que a trajetória esteja bem definida e fundamentada em um referencial intrínseco, conforme adotado neste artigo.


QUESTÃO 87

Observe a figura, formada por um triângulo PQR inscrito em uma circunferência de diâmetro PR = 10 m, em que PQ = 6 m. Uma partícula se move sobre a linha contínua, iniciando seu movimento em P, passando por Q, depois por R e, finalmente, voltando a P, como mostram as setas sobre a trajetória.

A partícula parte de P com velocidade inicial de 8 m/s, e o módulo de sua velocidade aumenta uniformemente ao longo da trajetória, até chegar novamente em P, com velocidade de 10 m/s. Adotando π = 3, o módulo da aceleração escalar dessa partícula ao longo de todo seu percurso é de:

(A) $\frac{36}{89}$ m/s²

(B) $\frac{3}{25}$ m/s²

(C) $\frac{2}{11}$ m/s²

(D) $\frac{18}{29}$ m/s²

(E) $\frac{1}{11}$ m/s²

Figura 5: *Questão aplicada na prova de Física do vestibular do UNESP do ano de 2023. Disponível em: <https://www.curso-objetivo.br/vestibular/resolucao-comentada/unesp/2023/1fase/UNESP2023_1fase_prova.pdf>. Acesso em 11 Fev 2026.*

Discussão e solução:

Da geometria do problema, obtém-se diretamente que $\overline{PQ} = 6\,\mathrm{m}$, $\quad \overline{QR} = 8\,\mathrm{m}$, $\quad \overset{\frown}{RP} = \pi R = \frac{2\pi PR}{2} \approx 15\,\mathrm{m}$. Assim, considerando-se o deslocamento escalar total ao longo da trajetória, orientada no sentido horário, encontra-se o valor de 29m. Aplicando-se a equação de Torricelli — a qual pode ser obtida a partir das Eqs. (7) e (8) — tem-se:

$$v^2 = v_0^2 + 2a_t\Delta s \Rightarrow 10^2 = 8^2 + 2a_t(29)$$

Assim,

$$a_t = \frac{18}{29}\,\mathrm{m/s^2}$$

Esse resultado evidencia que as equações tradicionalmente associadas à cinemática vetorial em movimentos retilíneos podem ser estendidas, sem prejuízo formal, a movimentos bidimensionais (não retilíneos), desde que se adotem os conceitos próprios da cinemática escalar, conforme apresentados na Tabela 1 deste artigo.

V. Considerações finais

O presente trabalho discutiu a pertinência conceitual e didática da cinemática escalar para além dos casos estritamente unidimensionais, evidenciando sua aplicabilidade em trajetórias bidimensionais devidamente orientadas e descritas por meio de um referencial intrínseco. Demonstrou-se que, embora posição, velocidade e aceleração sejam grandezas de natureza vetorial, há situações em que a análise do comportamento temporal de seus valores escalares é suficiente para a resolução formalmente consistente de problemas cinemáticos.

A formalização apresentada, fundamentada na decomposição intrínseca da aceleração e na obtenção de equações escalares a partir do produto interno com o versor tangencial, permite compreender que as equações tradicionalmente associadas ao movimento retilíneo podem ser estendidas a trajetórias não retilíneas, desde que estas estejam bem definidas. Tal abordagem não implica negação do formalismo vetorial, mas constitui um recorte metodológico legítimo no contexto do ensino médio.

A análise de questões de vestibulares evidenciou, ainda, a recorrência do uso da cinemática escalar em problemas bidimensionais, bem como a presença de ambiguidades terminológicas relacionadas aos valores médios de velocidade, especialmente na tradução da expressão *average speed*. À luz da Teoria da Transposição Didática de Chevallard, tais variações podem ser compreendidas como resultantes de processos de reorganização do saber científico no contexto escolar, os quais demandam explicitação e uniformização semântica.

Defende-se, portanto, que a clarificação conceitual aqui proposta pode contribuir para maior precisão no ensino de cinemática, favorecendo a formação de estudantes e professores mais conscientes das distinções entre as abordagens vetorial e escalar, bem como de seus respectivos alcances e limites.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Prof. Ms. Rawlinson Medeiros Ibiapina e ao Prof. Dr. Dhiego Luiz de Andrade Veloso, pela leitura e crítica do trabalho, pelas inspiradoras discussões sobre o tema e compartilhamento de problemas de ensino médio, com ambiguidades nos termos associados aos valores médios.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

Referências

BONJORNO, J. R. *et al.* Física: História e Cotidiano. São Paulo: FTD, 2003. v. 1.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. Física Clássica: Cinemática. São Paulo: Atual, 1998.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. 1. ed. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

GREF. *Física 1: Mecânica*. 7. ed. São Paulo: EDUSP, 2001.

GREGORY, R. D. *Classical Mechanics: An Undergraduate Text*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentals of Physics*. 9th extended ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. v. 1.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LUÍS, A. M.; GOUVEIA, S. L. *Mecânica*. 1. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: Mecânica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. v. 1.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Os Fundamentos da Física*. São Paulo: Moderna, 2011. v. 1.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para cientistas e engenheiros: Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1.

WIDNALL, S.; PERAIRE, J. Intrinsic Coordinates – Dynamics – Lecture 6. MIT OpenCourseWare, 2009. Disponível em: <https://ocw.mit.edu/courses/16-07-dynamics-fall-2009/84852a46fa77de9a750245ceb761255a_MIT16_07F09_Lec06.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.