

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE FÍSICA-LICENCIATURA**

VIVIANE BEATRIZ KLUG PAZ

**ENTENDENDO A FÍSICA POR TRÁS DO FUTEBOL:
O CHUTE DE ROBERTO CARLOS QUE DESAFIOU AS LEIS DA FÍSICA**

**CERRO LARGO
2022**

VIVIANE BEATRIZ KLUG PAZ

**ENTENDENDO A FÍSICA POR TRÁS DO FUTEBOL:
O CHUTE DE ROBERTO CARLOS QUE DESAFIOU AS LEIS DA
FÍSICA**

Trabalho de conclusão do curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do grau
de Licenciada em Física da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ney Marçal Barraz Junior

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Paz, Viviane Beatriz Klug
ENTENDENDO A FÍSICA POR TRÁS DO FUTEBOL: O CHUTE DE
ROBERTO CARLOS QUE DESAFIOU AS LEIS DA FÍSICA / Viviane
Beatriz Klug Paz. -- 2022.
28 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Ney Marçal Barraz Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Licenciatura em Física, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Gol histórico. 2. Desafiando a física. 3. Chute do
Roberto Carlos. 4. Ensino de física. I. Barraz Junior,
Ney Marçal, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

VIVIANE BEATRIZ KLUG PAZ

ENTENDENDO A FÍSICA POR TRÁS DO FUTEBOL: O CHUTE DE ROBERTO
CARLOS QUE DESAFIOU AS LEIS DA FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física - Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de licenciada em Física.

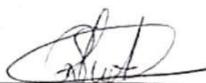
Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 05/04/2022

BANCA EXAMINADORA



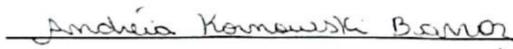
Prof. Dr. Ney Marçal Barraz Júnior – UFFS

Orientador



Prof. Me. Rafael Schmatz Tolfo – Colégio La Salle Medianeira

Avaliador



Profa. Andréia Kornowski Barraz – Escola Estadual Técnica Guaramano

Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Tudo o que queremos e pensamos em ser na vida depende da nossa vontade individual, mas, não foi apenas uma vontade individual que me fez estar aqui hoje, concluindo mais uma etapa da minha vida, a caminhada nunca se dá sozinha, e ao longo da minha trajetória sempre tive pessoas importantes comigo que me ajudaram e me inspiraram, meu agradecimento em especial vai para minha tia Loreci F. Klug, que desde o início me apoiou e me incentivou a estudar para ser profe como a mesma dizia.

No começo confesso que estava um pouco perdida, sem saber o que fazer, e qual caminho seguir, pois as opções eram tantas, mas ao mesmo tempo poucas, pelo fato de eu não ter condições de estudar em uma universidade paga, mas isso não me desmotivou, minha tia me mostrou como a profissão de professor é importante, disse que seria uma ótima profe, pois sempre fui muito dedicada, e eu disse sim para os seus conselhos, e não me arrependo de ter seguido, sou muito feliz e agradecida por ter chegado até aqui.

Deixo meu agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma, direta ou indiretamente, fizeram com que a conclusão deste trabalho fosse possível. Agradeço à Universidade Federal da Fronteira Sul e a todos os professores e funcionários que dela fazem parte. Aos professores em especial, principalmente do curso de Física, pois eles me ajudaram ao longo da minha caminhada, me apoiaram, e me ensinaram a ter um olhar diferenciado e amplo para o mundo. Meu muito obrigada!

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ney Marçal Barraz Junior. Professor o senhor é uma pessoa incrível, gosto de como você pensa nos alunos, no bem de todos nós, que por muitas vezes até se sacrifica para ajudar ao próximo, você é muito humano, parabéns professor pelo seu jeito de ajudar as pessoas, e de querer mudar as coisas para melhor, és um ser iluminado. Obrigada por tudo! Deixo um agradecimento aos colegas que fizeram parte desta caminhada, em especial a minha prima Joice S. Klug, que nunca mediu esforços para me ajudar, sempre esteve comigo, me suportando, e apoiando para tudo. Estamos no fim de um ciclo mas vocês eu levarei no coração pra sempre! Por último mas não menos importante, agradeço aos meus pais Edgar e Iraci e ao meu namorado Lucimar que sempre esteve comigo, me apoiando e me incentivando a continuar seguindo meus sonhos. Obrigada família!

RESUMO

O objetivo deste trabalho é abordar os conceitos da cinemática utilizando o esporte mais popular do país, o futebol. Onde aos vinte e um minutos do primeiro tempo, a Seleção Brasileira fez o seu primeiro gol no jogo França versus Brasil. O jogador Roberto Carlos é escalado para a cobrança de falta se distancia da bola, começa correr igual um corredor de 100 metros rasos e chuta a bola, a qual é feita uma curva espetacular, bate na trave e entra no gol. A partir desta cobrança de falta pode-se analisar fisicamente o movimento e dividi-lo em duas partes: i) o movimento do jogador antes do chute na bola; e ii) o movimento da bola no ar. Então, surge a pergunta: como foi o movimento do jogador Roberto Carlos até chutar a bola e como podemos descrever o seu movimento para a bola? Neste artigo foi abordado a descrição do movimento feito pelo jogador, o referencial, deslocamento e o conceito de intervalo de tempo. Também foram analisados conceitos de velocidade, velocidade média, velocidade instantânea e aplicação dos conceitos, o qual encontramos a Equação da Posição. E por fim, analisamos os conceitos de aceleração, aceleração média, aceleração instantânea, a Equação da Velocidade e Equação Horária da Posição. A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica, onde através de pesquisas em artigos, textos e vídeos retirados da internet obtivemos os resultados encontrados, a partir da análise dos textos em questão foi trabalhado pontualmente cada movimento do jogador Roberto Carlos, e cada lance feito por ele, assim temos todos os cálculos feitos em cima de cada deslocamento que o mesmo realizou durante o chute. O principal objetivo de escolher os conceitos da cinemática para trabalharmos neste artigo é em busca do ensino aprendido dos estudantes, a busca por novas maneiras de ensinar a física para os alunos, para que desta forma obtivemos uma evolução educacional, para que o aluno consiga enxergar a física em seu dia a dia, que comece a fazer novas perguntas, instigando assim a querer aprender mais sobre o ensino de maneira didática e lúdica, o que facilitará muito futuramente.

Palavras-chave: Física no futebol. Ensino de Física. Chute do Roberto Carlos. Gol histórico.

ABSTRACT

The objective of this work is to approach the concepts of kinematics using the most popular sport in the country, football. Where at twenty-one minutes of the first half, the Brazilian team scored its first goal in the game France versus Brazil. The player Roberto Carlos is selected for the free-kick, distances himself from the ball, starts running like a 100-meter sprinter and kicks the ball, which is made a spectacular curve, hits the bar and enters the goal. From this free kick, the movement can be physically analyzed and divided into two parts: i) the player's movement before kicking the ball; and ii) the movement of the ball in the air. So, the question arises: how was the movement of the player Roberto Carlos until he kicked the ball and how can we describe his movement towards the ball? In this article, the description of the movement made by the player, the referential, displacement and the concept of time interval were discussed. We also analyzed concepts of speed, average speed, instantaneous speed and application of the concepts, which we found the Position Equation. Finally, we analyze the concepts of acceleration, average acceleration, instantaneous acceleration, the Velocity Equation and Position Hourly Equation. The methodology used in this work was the bibliographic research, where through research in articles, texts and videos taken from the internet we obtained the results found, from the analysis of the texts in question, each movement of the player Roberto Carlos was worked on punctually, and each move made by him, so we have all the calculations made on top of each displacement he performed during the kick. The main objective of choosing the concepts of kinematics to work with in this article is in search of teaching and learning for students, the search for new ways of teaching physics to students, so that in this way we obtain an educational evolution, so that the student can see physics in their daily lives, to start asking new questions, thus encouraging them to want to learn more about teaching in a didactic and playful way, which will make it much easier in the future.

Keywords: Physics in soccer. Physics teaching. Roberto Carlos kick. Historic goal.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	MOVIMENTO DO ROBERTO CARLOS.....	11
2.1	DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO DE ROBERTO CARLOS.....	11
2.2	REFERENCIAL.....	12
2.3	DESLOCAMENTO.....	14
2.4	INTERVALO DE TEMPO.....	16
3	VELOCIDADE MÉDIA E VELOCIDADE INSTANTÂNEA.....	18
3.1	VELOCIDADE MÉDIA.....	18
3.2	VELOCIDADE INSTANTÂNEA.....	19
3.3	EQUAÇÃO DA POSIÇÃO PARA O MOVIMENTO UNIFORME.....	20
4	ACELERAÇÃO MÉDIA E ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA.....	22
4.1	ACELERAÇÃO MÉDIA.....	22
4.2	ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA.....	23
4.3	EQUAÇÃO DA VELOCIDADE.....	23
4.4	EQUAÇÃO HORÁRIA DA POSIÇÃO.....	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
6	REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Futebol é uma paixão nacional! Em 1997, no Torneio da França, o jogador Roberto Carlos fez história ao realizar uma cobrança de falta na qual fez uma curva na bola, os entusiastas do futebol lembram e comentam esse gol até os dias atuais. Ao realizar a cobrança de falta, o jogador se afastou da bola para conseguir acelerar o suficiente para chutá-la, e com a batida de três dedos na bola fez com que a mesma desviasse da barreira e parecia se dirigir para a bandeira de escanteio, mas a bola faz uma curva incrível e acaba “voltando”. Beliscou a trave do arqueiro e para no fundo das redes, deixando o goleiro completamente perplexo e sem reação, gerando assim um gol histórico.

Por outro lado, o primeiro macro-teoria abordado na Física de forma tradicional é a Mecânica, tanto no Ensino Básico ou no Ensino Superior. Quando analisamos os movimentos sem se preocupar com causas destes, abordamos a teoria da Cinemática, dentro da Mecânica Clássica. Dentro da teoria da Cinemática, abordamos conceitos como: referencial, deslocamento, tempo, velocidade e aceleração, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Conceitos estudados na cinemática.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando nos referimos a Mecânica Clássica, especialmente a palavra Clássica, estamos nos referindo aos pilares de conhecimento que Galileu e Newton desenvolveram entre os Séculos XVII e XIX. Neste contexto, iremos abordar a formulação newtoniana, mas é importante lembrar que existem outras formulações

que podem abordar a Mecânica Clássica. O que entendemos que é mecânica? A mecânica do ponto de vista de físico não possui nada haver com a mecânica de um carro, mas fisicamente a definição de mecânica está relacionada com o movimento da bola, no caso da cobrança de falta de Roberto Carlos, e a causa desse movimento, ou seja, as forças envolvidas para causar o movimento. Em outras palavras, a ligação entre o movimento e força é a essência básica da mecânica estudada na física. Quando detalhamos o que é movimento, ou seja, o movimento é quando existe alteração da posição num intervalo de tempo, acabamos abordando os conceitos da Teoria da Cinemática.

Agora, analisando a didática que é utilizada no Ensino Básico para ensinar Física, percebemos que a anos que é sempre utilizado os conceitos genéricos sem aplicações diretas e após soluções de exercícios de maneira matemática não têm mais satisfeitos os estudantes. Pois a aprendizagem tradicional se resume em aplicar equações prontas, fazendo mais um trabalho matemático do que propriamente fisicamente. A principal aprendizagem se dá pela oralidade dos conceitos tendo o professor como expositor, e após isso os estudantes devem reproduzir os conceitos abordados pelo professor. Ou seja, a prática docente tradicional se orienta pelo momento social dos séculos passados, em que a informação era patrimônio de poucos. No entanto, os estudantes não têm a oportunidade de expor o que realmente pensam. E para que ocorra a aprendizagem o estudante precisa ser um participante ativo. Desta maneira, encontramos um tema que muitos dos alunos gostam que é o futebol e aplicamos os conceitos da Cinemática para estudar o movimento, trazendo uma metodologia diferenciada para Física e realizar o ensino-aprendizagem mais ativo.

Ao retornar o tema principal de Trabalho de Conclusão de Curso, temos: aos vinte e um minutos do primeiro tempo, a Seleção Brasileira fez o seu primeiro gol no jogo França versus Brasil. O jogador Roberto Carlos é escalado para a cobrança de falta contra a Seleção da França. Roberto se distancia da bola, começa correr igual um corredor de 100 metros rasos e chuta a bola, a qual é feito uma curva espetacular, bate na trave e entra no gol. Golaço!!! Grita o locutor do jogo de maneira energética. Esta foi a narrativa do gol mais impressionante que é famoso entre os admiradores de futebol. Ao analisar fisicamente a cobrança de falta, podemos dividir o movimento em duas partes: i) o movimento do jogador antes do chute na bola; e ii) o movimento da bola no ar. Então, surge a pergunta: como foi o

movimento do jogador Roberto Carlos até chutar a bola e como podemos descrever o seu movimento para a bola?

O objetivo deste trabalho é abordar os conceitos da cinemática utilizando o esporte mais popular do país, o futebol. Para isso, no Capítulo 2 abordamos a descrição do movimento, o referencial, deslocamento e o conceito de intervalo de tempo. No Cap. 3 foram abordados os conceitos de velocidade, velocidade média, velocidade instantânea e aplicação dos conceitos, o qual encontramos a Equação da Posição. E por fim, no Cap. 4 abordamos os conceitos de aceleração, aceleração média, aceleração instantânea, a Equação da Velocidade e Equação Horária da Posição.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica, onde através de pesquisas em artigos, textos e vídeos retirados da internet obtivemos os resultados encontrados, a partir da análise dos textos em questão foi trabalhado pontualmente cada movimento do jogador Roberto Carlos, e cada lance feito por ele. Logo assim temos abaixo todos os cálculos feitos em cima de cada deslocamento que o mesmo realizou durante o chute. O principal objetivo de escolher os conceitos da cinemática para trabalharmos neste artigo é em busca do ensino aprendido dos estudantes, a busca por novas maneiras de ensinar a física para os alunos, para que desta forma obtivemos uma evolução educacional, para que o aluno consiga visualizar a física em seu dia a dia, que comece a fazer novas perguntas, instigando assim a querer aprender mais sobre o ensino de maneira didática e lúdica, o que facilitará muito futuramente.

2 MOVIMENTO DO ROBERTO CARLOS

Neste capítulo vamos definir o movimento do jogador, o referencial inercial para o movimento feito pelo jogador até dar o chute na bola que gerou o gol, em seguida descrever os conceitos de deslocamento e intervalo de tempo que Roberto Carlos fez até chegar na bola.

2.1 DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO DE ROBERTO CARLOS

O jogador Roberto Carlos foi escalado para ser o batero da falta no jogo Brasil contra França, no dia 3 de junho de 1997 em um torneio amistoso (Copa das Confederações) organizado pela França para testar e preparar o time para a Copa do Mundo de 2001. O jogador para fazer a cobrança de falta se afastou da bola para conseguir acelerar o suficiente para o chute na bola. A Fig. 1 mostra a distância tomada pelo Roberto Carlos até a bola, através da análise dessa figura, conseguimos estimar a distância entre o jogador e a bola.

Figura 1 - Imagem segundos antes do chute de Roberto Carlos no Torneio da França.



Fonte: ACREDITE ou não, 2022.

Desta forma ele se posiciona em uma posição inicial com um intervalo de tempo inicial, para posteriormente após o movimento feito até a bola, estar na posição final no intervalo de tempo final, assim podendo então dar o chute na bola que gerou o gol mais falado que Roberto Carlos já fez, comentado até agora nos dias atuais, a batida de três dedos na bola fez com que a mesma desvia da barreira e parecia se dirigir para a bandeira de escanteio, mas a bola faz uma curva incrível e acaba “voltando”, beliscou a trave do arqueiro e para no fundo das redes, deixando o goleiro completamente perplexo e sem reação, gerando assim um gol histórico.

Para compreendermos a Física envolvida no lance da falta, vamos descrever passo a passo os conceitos necessários para realizar toda a análise física do movimento que o jogador realiza até o chute na bola.

2.2 REFERENCIAL

Para realizar a análise física do movimento de Roberto Carlos, necessitamos adicionar um referencial no movimento. Para isso, construímos na Fig. 2 um eixo horizontal entre o jogador e a bola, que na figura está representada pela linha em vermelho. Conforme podemos notar na figura, o jogador realiza um movimento em linha reta (uma reta é formada pela união dois pontos) entre a posição que ele parou até a bola, esse movimento podemos classificá-lo em uma dimensão.

Figura 2 - Definição da primeira parte do referencial, em uma dimensão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Fig. 3 definimos o referencial vertical, o qual preferimos colocar a um metro atrás da posição do jogador. Preferimos alocar o eixo vertical neste ponto por não necessitar trabalhar com a parte negativa do referencial horizontal. Conforme mostra ainda na Fig. 3, podemos notar que os referenciais adotados formam a coordenada cartesiana em duas dimensões.

Este referencial adotado é um referencial inercial no qual um corpo que não interage com outro corpo e contendo aceleração nula. E qualquer referencial inercial que se move com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é considerado um referencial inercial. Sendo assim, a direção da força é a mesma direção da aceleração nula.

Por qual motivo escolhemos este referencial para estudar o movimento do jogador Roberto Carlos? O motivo de escolhermos esse referencial é porque vamos trabalhar com a parte positiva do referencial. Logo a ideia de aplicar um referencial é sempre de facilitar a nossa interpretação. Assim com a coordenada cartesiana em duas dimensões, pode-se trabalhar os cálculos com números positivos, sendo assim para facilitar foi adotado esse referencial.

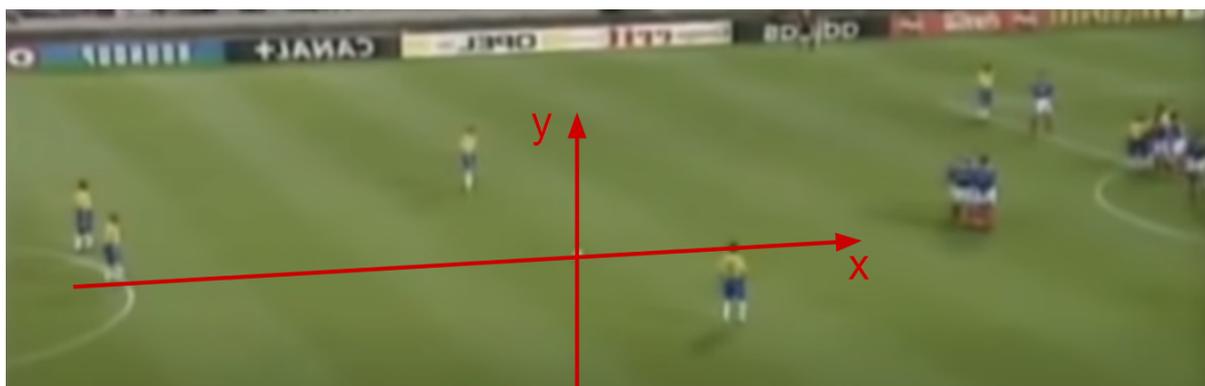
Figura 3 - As figuras que desenhamos são figuras elaboradas pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na Fig. 4, preferimos alocar o referencial vertical exatamente em cima da bola. Este novo ponto de referência para o eixo vertical terá alguma desvantagem? Para o segundo referencial, o eixo das ordenadas estará posicionado bem em cima da bola, como mostra na Fig. 4. Neste caso, o ponto a favor deste referencial seria que a bola se encontra na posição de origem, logo será zero, análise contra é que a posição que o jogador se encontra é do lado negativo do sistema, sendo assim terá cálculos com números negativos, o que não facilita no momento de resolver os cálculos.

Figura 4 - Referencial vertical em cima da bola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A ideia de ter a liberdade de escolher a posição do referencial vertical é poder adotar um referencial que mais se adeque às formas de estudar e entender os movimentos por trás do movimento realizado pelo Roberto Carlos. Vamos adotar o referencial utilizado na Fig. 3, para trabalharmos com os conceitos e dados na parte positiva do eixo horizontal (eixo x).

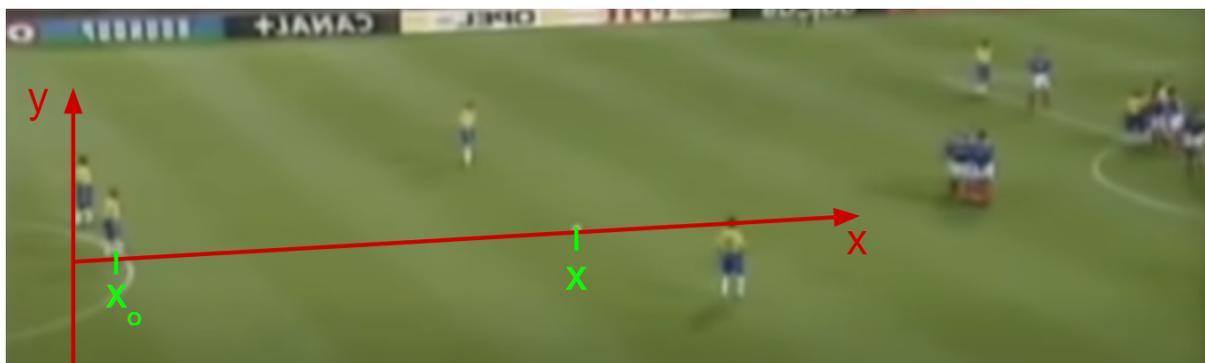
2.3 DESLOCAMENTO

Para começarmos a descrever o movimento do jogador, precisamos compreender os conceitos de deslocamento e intervalo de tempo. Na Fig. 5 adicionamos a posição inicial do Roberto Carlos em x_0 e a posição final no ponto x , ambos os pontos estão localizados no eixo x. Quando diminuirmos do ponto final da posição inicial, ou seja,

$$x - x_0,$$

podemos definir o conceito de deslocamento.

Figura 5 - Deslocamento do jogador posição inicial e final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

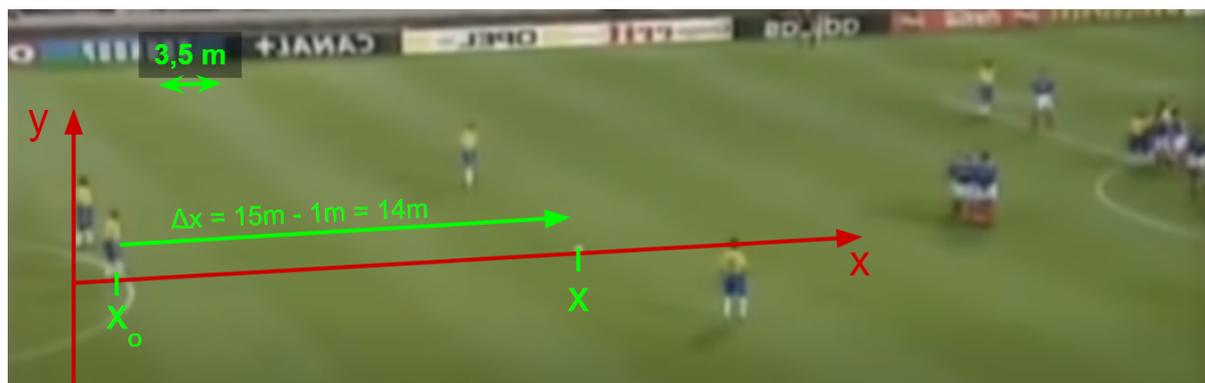
Desta maneira, o deslocamento é a menor distância entre o ponto inicial e o ponto final e descrevemos matematicamente através da expressão,

$$\Delta x = x - x_0. \quad (1)$$

No SI, a unidade de medida do deslocamento é em metro (a abreviação para a unidade é a letra m).

Na Fig. 6 é possível visualizar as listas no campo de futebol, algumas listas são em verde mais claro e outras em verde mais escuros. Segundo as dimensões oficiais do campo de futebol, conseguimos estimar a largura de cada lista. O campo de futebol do Estádio Gerland, em Lyon possui 56 listas no campo e uma dimensão de 112 m de comprimento, podemos fazer a divisão do comprimento do campo pelo número de listas e obtemos 3,5 m para cada largura da lista que encontra no campo que aconteceu a partida de Brasil versus França.

Figura 6 - Análise das dimensões do campo do futebol.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na Fig. 6, podemos contar o número de faixas entre a bola da partida e a posição inicial do jogador, onde se encontram 4 faixas de 3,5 m. Desta maneira, a estimativa para distância entre o jogador e a bola é de 14 m aproximadamente, a partir deste ponto iremos considerar exatamente 14 metros para poder realizar os cálculos numéricos necessários para exemplificar os conceitos abordados neste trabalho.

O deslocamento de Roberto Carlos é dado pela posição final da bola em repouso, que é de 15 m do eixo y, menos a posição inicial do jogador que é de 1 m

do eixo y, conforme como mostra a Fig. 6. Desta maneira, podemos calcular o deslocamento realizado pelo jogador no momento da cobrança de falta,

$$\Delta x = x - x_0.$$

$$\Delta x = (15 \text{ m} - 1 \text{ m}) = 14 \text{ m}$$

A seta verde da Fig. 6 é a representação gráfica do deslocamento, onde ela demonstra na sua origem a posição inicial do jogador Roberto Carlos e a sua ponta mostra a posição final do jogador.

Ainda na Fig 6 mostra o cálculo feito para obter o valor encontrado, logo temos que: a variação da posição é igual a 15 metros (distância da origem até a posição que está a bola) menos 1 metro (distância da origem até a posição que está o jogador parado), assim, a variação da posição é de 14 metros.

2.4 INTERVALO DE TEMPO

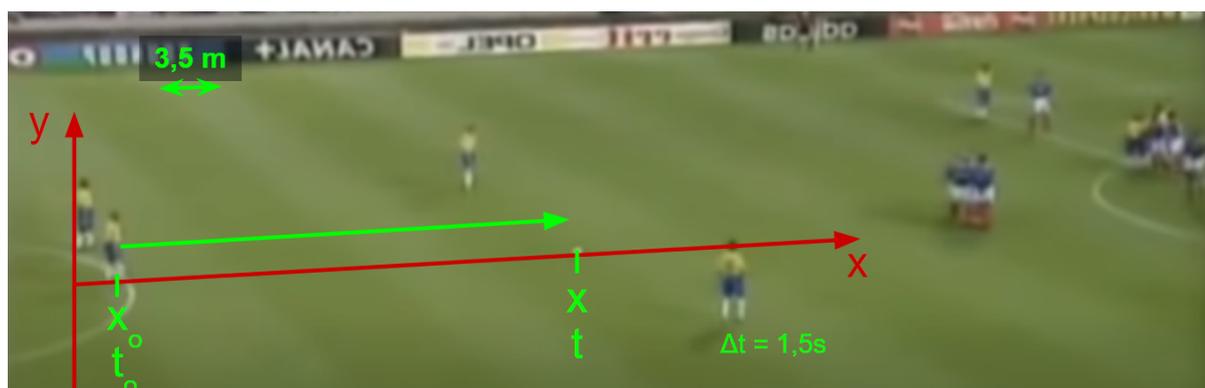
Com a ajuda do contador de tempo do vídeo que foi retirada a Fig. 7, computamos o tempo que Roberto Carlos levou do seu ponto inicial até o ponto final. Para conseguirmos realizar as próximas definições de grandezas físicas, destacamos na Fig. 7 o tempo inicial (t_0) do movimento do jogador que é exatamente no ponto inicial (x_0) e o tempo final (t) do movimento é precisamente no ponto final (x). Desta maneira, podemos encontrar o intervalo de tempo (Δt) que o jogador Roberto Carlos levou para sair do seu ponto inicial até a bola. Ao analisar intervalo de tempo entre a posição inicial e a posição final, ela pode ser representada pela diferença dos instantes, ou seja,

$$t - t_0.$$

Podemos chamar de intervalo de tempo a seguinte expressão:

$$\Delta t = t - t_0. \quad (2)$$

Figura 7 - Posição e instante de tempo do jogador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Fig. 7 mostra o Roberto Carlos na posição x_0 e no instante de tempo t_0 , logo após realizado o movimento, ele encontra-se na posição x e no instante t . O intervalo de tempo para o jogador realizar esse percurso foi aproximadamente 1,5 s. No entanto, vamos considerar exatamente 1,5 s para podermos utilizar os valores exatos na elaboração dos exemplos numéricos.

3 VELOCIDADE MÉDIA E VELOCIDADE INSTANTÂNEA

Neste capítulo vamos definir as grandezas físicas que serão aplicadas com o jogador Roberto Carlos, são elas: velocidade média, velocidade instantânea, aceleração média e instantânea, conhecer sobre elas e para ambas será feito os cálculos numéricos para analisar o seu desenvolvimento e movimento até chegar na bola.

3.1 VELOCIDADE MÉDIA

Ao realizar a razão entre o deslocamento e o intervalo de tempo que o Roberto Carlos realiza na cobrança de falta, definimos uma nova grandeza física que é a velocidade média. Ou seja, a velocidade média é definida por

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{\text{média}} \quad (3)$$

Algumas considerações que devemos considerar sobre a velocidade média: i) devemos compreender que o intervalo de tempo na Física Clássica sempre será positivo; ii) no Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade da velocidade média é metros por segundos (m/s); iii) não importa o que acontece no meio do movimento, mas sim o instante inicial (representado pelas grandezas x_0 e t_0) e o instante final (x e t).

A velocidade média do corredor olímpico dos cem metros rasos, Usain Bolt, de 2012 é de 10,4 m/s ou 37,4 km/h. A velocidade média desenvolvida pelo jogador Roberto Carlos é

$$v_{\text{média}} = \frac{15 \text{ m} - 1 \text{ m}}{1,5 \text{ s}}$$

$$v_{\text{média}} = 9,33 \text{ m/s},$$

ou ainda,

$$v_{\text{média}} = 33,6 \text{ km/h}.$$

Ou seja, o jogador Roberto Carlos conseguiu atingir 89,8% da velocidade média do velocista que possui o recorde do tempo de cem metros rasos. É uma velocidade média extremamente alta para um jogador de futebol com altura de 1,68 m.

3.2 VELOCIDADE INSTANTÂNEA

Quando nos referenciamos a velocidade instantânea é preciso ter claramente em nossas mentes que o intervalo de tempo o qual devemos considerar é extremamente pequeno. Desta maneira, podemos verificar que num intervalo de tempo muito pequeno a velocidade média tende a velocidade instantânea, ou seja¹,

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} .$$

Para exemplificar a velocidade instantânea, vamos analisar três situações da cobrança de falta antes do jogador chutar a bola.

Primeira situação: Na Fig. 7 observamos o Roberto Carlos aguardando o apito do juiz para começar a correr, exatamente neste instante a velocidade instantânea do jogador é zero.

Figura 8 - Posição do Roberto Carlos no tempo de 0,8s.



Fonte: Elaborado pelo autor.

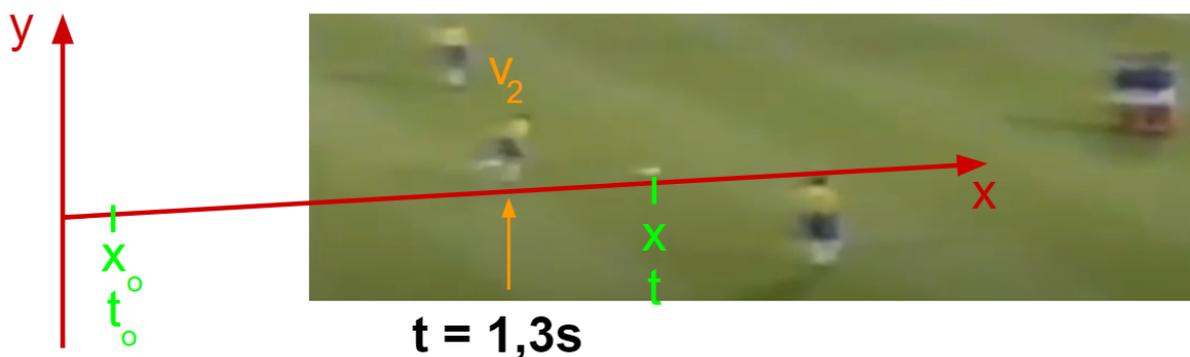
Segunda situação: Na Fig. 8, observamos o Roberto Carlos correndo em direção a bola para realizar o chute, exatamente neste instante a velocidade instantânea do jogador é v_1 . Nas próximas seções iremos calcular exatamente a velocidade do jogador neste ponto.

Terceira situação: Na Fig. 9, observamos o Roberto Carlos continuando correndo em direção a bola para realizar o chute, exatamente neste instante a velocidade instantânea do jogador é v_2 . Nas próximas seções iremos calcular exatamente a velocidade do jogador neste ponto.

¹ O nosso texto está sendo escrito para a Educação Básica, logo abordamos o conceito de limite apenas para equacionar o texto descrito sobre o conceito de velocidade instantânea.

Ao comparar as velocidades instantâneas do jogador em tempos diferentes, podemos afirmar que a velocidade v_1 é menor que a velocidade v_2 . Ou seja, enquanto a velocidade média considera a velocidade constante do jogador em toda a trajetória antes de chutar a bola, já a velocidade instantânea considera diferentes velocidades do jogador até atingir a bola.

Figura 9 - Posição do Roberto Carlos no tempo de 1,3s.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 EQUAÇÃO DA POSIÇÃO PARA O MOVIMENTO UNIFORME

A equação da posição fornecerá para nós a posição do Roberto Carlos relacionada com o tempo. Para encontrarmos ela, fazemos velocidade média igual a velocidade instantânea,

$$v_{\text{média}} = v,$$

e o tempo inicial igual a zero, desta maneira obtemos:

$$v = \frac{x - x_0}{t - 0}.$$

ao realizarmos as operações necessária nesta expressão, obtemos a equação da posição:

$$x = x_0 + vt. \quad (4)$$

Ao analisar fisicamente a equação da posição, podemos verificar que a posição (x) aumenta conforme a posição inicial (x_0) cresce. A posição também sofre acréscimo pelo produto do tempo e da velocidade. Matematicamente, essa expressão é uma equação de primeiro grau, ou seja, uma equação linear. Onde o coeficiente linear é a posição inicial e o coeficiente angular é a velocidade. Ao aplicar a equação da posição no movimento do Roberto Carlos, conforme a Fig. 8 e 9, temos os resultados apresentados na Tab. 2 considerando a velocidade idêntica à velocidade média.

Tabela 2 - Mostra os resultados para a posição do jogador Roberto Carlos.

tempo (t)	posição inicial (x_0)	velocidade (v)	posição (x)
0,8 s	1,0 m	9,33 m/s	8,5 m
1,3 s	1,0 m	9,33 m/s	13,1 m
1,5 s	1,0 m	9,33 m/s	15,0 m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados para as posições encontradas através da equação não são reais, pois não levamos em consideração a aceleração do jogador. Desta maneira, iremos descrever fisicamente a aceleração e no Capítulo 4 voltaremos abordar esses dados para comparar com novos resultados que iremos encontrar.

4 ACELERAÇÃO MÉDIA E ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA

Neste capítulo vamos ver as grandezas físicas aplicadas por Roberto Carlos, ao movimento do chute na bola, a partir dos conceitos anteriores estudados como velocidade média, velocidade instantânea, conhecendo sobre eles e feito os cálculos numéricos para analisar o seu desenvolvimento e movimento, nesta etapa será definido aceleração média, aceleração instantânea do jogador, seguido das equações horária da posição e da velocidade.

4.1 ACELERAÇÃO MÉDIA

Ao realizar a razão entre a variação da velocidade instantânea ($\Delta v = v - v_0$) pela variação do tempo ($\Delta t = t - t_0$) que o Roberto Carlos realiza na cobrança de falta, definimos uma nova grandeza física que é a aceleração média ($a_{\text{média}}$). Ou seja, a aceleração média é definida

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{\text{média}} \quad (5)$$

Podemos levar em consideração sobre a aceleração média i. A unidade no Sistema Internacional de Medidas (SI) é m/s^2 (lê-se: metro por segundo ao quadrado); ii. Para a aceleração média ser positiva é necessário que a velocidade final seja maior que a velocidade inicial ($v > v_0$); iii. Para a aceleração média ser negativa é necessário que a velocidade inicial seja maior que a velocidade final ($v < v_0$); iv. No caso que a velocidade inicial e a velocidade final for igual ($v = v_0$) a aceleração média é nula ($a_{\text{méd}} = 0$);

A aceleração média do corredor olímpico dos cem metros rasos, Usain Bolt, de 2012 é de $8,15 \text{ m/s}^2$. A aceleração média desenvolvida pelo jogador Roberto Carlos é

$$a_{\text{média}} = \frac{9,33 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{1,5 \text{ s}}$$

$$a_{\text{média}} = 6,22 \text{ m/s}^2.$$

Ou seja, o jogador Roberto Carlos conseguiu atingir 76,3% da aceleração média do velocista que possui o recorde do tempo de cem metros rasos.

4.2 ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA

Quando nos referimos à aceleração instantânea precisamos lembrar que o tempo é extremamente pequeno. Matematicamente, podemos verificar que num intervalo de tempo muito pequeno a aceleração média tende a aceleração instantânea, ou seja,

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} .$$

No entanto, para um instante de tempo teremos uma aceleração instantânea diferente. Para podermos calcular a aceleração instantânea em cada instante do movimento do Roberto Carlos, necessitaríamos de ferramentas computacionais (*software* e *hardware*) para poder encontrar a sua aceleração. Você poderá encontrar esse programa utilizando a ferramenta Tracker disponibilizada na web gratuitamente.

4.3 EQUAÇÃO DA VELOCIDADE

Desta maneira, para encontrarmos uma equação e podermos aplicá-la no movimento que estamos estudando, vamos considerar que a aceleração instantânea seja constante e o tempo inicial do movimento seja nulo (quando o jogador está completamente parado). Também é importante considerar que a aceleração instantânea será idêntica a aceleração média, i.e.,

$$\frac{v-v_o}{t-t_o} = a,$$

fazendo o tempo inicial igual a zero, temos:

$$\frac{v-v_o}{t-0} = a,$$

ou ainda,

$$v = v_o + at. \tag{6}$$

Desta maneira, encontramos uma equação para a velocidade instantânea em função da aceleração e do tempo. Como vamos considerar a aceleração instantânea constante em todo o movimento do Roberto Carlos, logo a equação da velocidade torna-se apenas em função do tempo,

$$v = v(t).$$

Ao analisar fisicamente a equação da velocidade podemos encontrar valores para a velocidade (v) do Roberto Carlos, onde inicialmente a velocidade inicial (v_0) é de 0 m/s, e sua aceleração constante $6,22 \text{ m/s}^2$, nos instantes de tempo 0,8s e 1,3s.

Tabela 3 - Resultados para a velocidade final do jogador Roberto Carlos.

tempo (t)	velocidade inicial (v_0)	aceleração (a)	velocidade (v)
0,8 s	0 m/s	$6,22 \text{ m/s}^2$	5,0 m/s
1,3 s	0 m/s	$6,22 \text{ m/s}^2$	8,1 m/s
1,5 s	0 m/s	$6,22 \text{ m/s}^2$	9,3 m/s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicando a equação da velocidade no movimento do Roberto Carlos, conforme a Fig. 8 e 9, temos os resultados apresentados na Tab. 3 considerando a aceleração instantânea idêntica à velocidade média e constante em todo o movimento.

Utilizando a aceleração constante do jogador Roberto Carlos encontrada no valor de $6,22 \text{ m/s}^2$, e a velocidade inicial de 0 m/s, a partir foi calculado os resultados obtidos para a velocidade através da equação (6) como mostra Tab. 3, onde foram analisados três instantes de tempo diferentes, para o primeiro instante de tempo de 0,8 s a velocidade encontrada foi de 5,0 m/s, no tempo 1,3 s encontramos uma velocidade de 8,1 m/s, e por fim no tempo 1,5 s obtivemos um velocidade de 9,3 m/s, com isso, pode-se dizer que quanto maior é o tempo, maior será a velocidade adquirida pelo jogador até ter o contato com a bola, podendo assim adquirir uma maior velocidade. A equação da velocidade nos fornece a velocidade do jogador em determinado instante e não a real posição ao considerar a aceleração do Roberto Carlos.

Ao verificar a velocidade final e a velocidade média, podemos analisar e descrever as diferenças entre elas, a partir do movimento feito pelo jogador Roberto Carlos podemos encontrar três valores distintos para a velocidade, são eles: 5,0 m/s; 8,1 m/s e 9,3 m/s. Já para a velocidade média temos 9,33 m/s, para calcular essas velocidades foi utilizado diferentes instantes de tempo no deslocamento do jogador, onde a aceleração constante foi de $6,22 \text{ m/s}^2$. Logo temos velocidades variando de 5,0 m/s até 9,3 m/s, isto significa que a velocidade média do Roberto

Carlos deve ser obtida através da razão entre o deslocamento e o intervalo de tempo que o Roberto Carlos realiza na cobrança de falta.

4.4 EQUAÇÃO HORÁRIA DA POSIÇÃO

Para encontrarmos a equação horária da posição, precisamos lembrar da ideia de velocidade média, ou seja, podemos calcular a velocidade média do jogador levando em consideração a velocidade inicial e a velocidade final,

$$v_{\text{média}} = \frac{v_o + v}{2},$$

mas por outro lado, a Eq. 3 fornece a velocidade média, ou seja,

$$\frac{x - x_o}{t - t_o} = \frac{v_o + v}{2},$$

considerando o tempo inicial começando ao zerar o cronômetro, obtemos:

$$x - x_o = \frac{v_o}{2}t + \frac{v_o + at}{2}t,$$

ou ainda,

$$x = x_o + \frac{v_o}{2}t + \frac{v_o}{2}t + \frac{a}{2}t^2,$$

por fim,

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2 \quad (7)$$

Como conhecemos a posição final e o tempo final do jogador para realizar a cobrança de falta, e considerando a velocidade inicial dele igual a zero, podemos calcular o valor da aceleração instantânea da seguinte maneira,

$$a = \frac{2 \Delta x}{t^2}. \quad (8)$$

Substituindo os valores ($x = 15\text{m}$, $x_o = 1\text{m}$ e $t = 1,5\text{s}$), encontramos o valor de $12,4 \text{ m/s}^2$ para a aceleração do Roberto Carlos na cobrança de falta.

Na Seção 4.1 encontramos a aceleração $5,78 \text{ m/s}^2$ e utilizando a Eq. (8) encontramos $12,4 \text{ m/s}^2$, o que pode explicar essa diferença? Para responder essa pergunta, precisamos analisar o contexto da situação física que estamos

observando. Na Seção 4.1 estávamos considerando a aceleração média do movimento e por isso que ela têm um valor mais baixo que a aceleração máxima alcançada pelo jogador. Ao calcular a aceleração através da Eq. (8), encontramos a aceleração máxima no ponto em que o jogador atinge a bola. No entanto, se pudéssemos medir com precisão o tempo e a posição do jogador em todo o seu movimento, notaríamos uma variação de aceleração no movimento do jogador. Então, podemos concluir que a aceleração encontrada através da Eq. (8) leva em consideração o exato momento que ela é medida e não uma aceleração média em todo o movimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo da cinemática aplicada ao movimento do jogador Roberto Carlos, na cobrança de falta realizada no Torneio da França em 1997. Dividimos o movimento em três partes, onde aplicamos os conceitos físicos apenas no movimento que o jogador realiza ao se afastar da bola até o chute da mesma. O nosso público alvo foi para os estudantes do nível básico de ensino, pois a partir do tema utilizado os alunos podem trabalhar os conceitos e grandezas físicas, de maneira didática e com outro olhar.

Neste trabalho estudamos os conceitos de referencial, deslocamento e intervalo de tempo de maneira aplicada ao movimento do jogador. No segundo momento, utilizamos os conceitos fundamentais da velocidade, tais como velocidade média, instantânea e equação da posição aplicadas diretamente a forte corrida realizada pelo Roberto Carlos. E por fim, aplicamos os conceitos fundamentais de aceleração e equação horária da posição no movimento do Roberto Carlos. Desta maneira, conseguimos estudar a Cinemática aplicada diretamente ao movimento específico que delimitamos inicialmente a ser estudado. Desta maneira, a abordagem que abordamos foi do estudo do movimento através dos conceitos da cinemática, não nos preocupamos em abordar os conceitos de energia e analisar a situação.

As perspectivas deste estudo do movimento realizado pelo jogador Roberto Carlos ao cobrar a falta é analisar a colisão do pé do jogador com a bola e o estudo do movimento da bola após o chute, o qual movimento a bola realiza uma curva no ar.

6 REFERÊNCIAS

ACREDITE ou não - Explicado! O gol de Roberto Carlos que desafiou a Física. Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kKwCF07IjiM>. Acesso em: 24 jan. 2022.

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert e WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Mecânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. v. 1

NUSSENZVEIG, H.Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1997. v. 1

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1