



**INSTITUTO
FEDERAL**
Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS SÃO RAIMUNDO NONATO
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA**

TÂMARA FERREIRA ROSÁRIO DE CASTRO

**INVESTIGANDO OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES EM ALGUMAS
JOGADAS MARCANTES DO FUTEBOL**

SÃO RAIMUNDO NONATO – PI

2023

TÂMARA FERREIRA ROSÁRIO DE CASTRO

INVESTIGANDO OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES EM ALGUMAS JOGADAS
MARCANTES DO FUTEBOL

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em Física do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus São
Raimundo nonato.

Orientador: Prof. Me. Guilherme Severino
Mendes de Araújo
Coorientador: Prof. Dr. Francisco Ronan Viana
Araújo

SÃO RAIMUNDO NONATO – PI

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Castro, Tâmara Ferreira Rosário de
C355i Investigando os conceitos físicos presentes em algumas jogadas marcantes
do futebol / Tâmara Ferreira Rosário de Castro. - 2023.
39 f.: il. color.
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus São Raimundo
Nonato, 2023.
Orientador : Prof Me. Guilherme Severino Mendes de Araújo.
Coorientador : Prof Dr. Francisco Ronan Viana Araújo.
1. Futebol . 2. Cinemática. 3. Hidrodinâmica. 4. Ensino de Física. I.Título.

CDD - 530

Elaborado por Josué de Moura Costa CRB 3/1130

TÂMARA FERREIRA ROSÁRIO DE CASTRO

INVESTIGANDO OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES EM ALGUMAS JOGADAS
MARCANTES DO FUTEBOL

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em Física do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus São
Raimundo Nonato .

Aprovada em: 20/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Guilherme Severino Mendes de Araújo (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus São Raimundo Nonato

Prof. Dr. Rafael de Alencar Rocha
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus São Raimundo Nonato

Prof. Dr. Antonio Sousa Ribeiro
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus São Raimundo Nonato

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força pra não desistir e continuar firme e forte, pois só ele sabe o quanto pensei em desistir e deixar tudo de lado. A minha família por ter confiado e acreditado em meu potencial, principalmente meu pai que sempre esteve do meu lado quando eu mais precisava e minha mãe que sempre me aconselhou nas horas que pensava em não continuar.

Agradeço ao IFPI por todo acolhimento durante esses anos, e a todos os servidores que fazem parte do Campus São Raimundo Nonato. E aos órgãos e programas de fomento CAPES e POLAE.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Francisco Ronan Viana Araújo e Prof. Me. Guilhaume Severino Mendes Araújo por terem me ajudado a colocar todas minhas ideias em prática, principalmente Ronan que desde primeiro momento aceitou fazer parte deste projeto. Quando eu já tava começando a imaginar que minha ideia era uma loucura como já haviam me dito, ele simplesmente aceitou e achou uma boa ideia. Afinal, eu só queria escrever sobre algo que gosto. Gostaria de agradecer também ao Prof. Guilherme, que me ajudou nos momentos finais, apesar dos contratempos nesse processo final pudemos realizar a finalização do trabalho com êxito e o resultado final foi bastante satisfatório.

Ao Prof. Dr. Francisco Nogueira Lima ao qual eu também gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos, pois fez parte desse projeto no primeiro momento.

Ao meu amigo Marcello Henrique que me ajudou sempre que precisei e a Maiany que sempre teve presente do início ao fim.

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade despertar o interesse dos alunos de ensino médio para com a Física através do futebol. Neste contexto foram selecionadas algumas jogadas que se destacam no futebol tais como “o gol que Péle não fez”, gols de falta simbólicos e o gol olímpico. A partir desses temas serão abordados conceitos Físicos sobre cinemática, dinâmica e hidrodinâmica. Na cinemática os conceitos permaneceram restritos ao movimento de translação da bola de futebol em movimento oblíquo e em movimento circular uniforme (MCU). Na dinâmica será tratada a interação, ou colisão, do jogador na bola através do chute, aqui foi considerado o teorema impulso-momento linear (quantidade de movimento) para descrever a velocidade após a colisão. Na hidrodinâmica foram analisados a equação de Bernoulli e o efeito Magnus com o intuito de explicar os efeitos produzidos pela bola de futebol ao ser inserida com movimento de rotação num fluido. Com isso, espera-se que esse trabalho ajude a incentivar os alunos com o estudo da Física, mostrando sua relevância e aplicabilidade em âmbitos do seu interesse, tal como o futebol. Além de ajudar a compreensão dos conceitos da Física, associando no dia a dia e proporcionando um conhecimento importante e estimulante para os alunos.

Palavras-chave: futebol; Cinemática; Dinâmica; Hidrodinâmica; Ensino de Física.

ABSTRACT

The goal of this work is to spark the interest of high school students in physics through the lens of football. Several notable football plays have been selected for this purpose, including 'the goal that Pelé didn't score,' symbolic free kicks, and the Olympic goal. These plays serve as a platform to explore various physical concepts such as kinematics, dynamics, and hydrodynamics. In kinematics, the focus remains on the translational movement of the soccer ball in oblique and uniform circular motion (UCM). Dynamics covers the interaction or collision between players and the ball during a kick, utilizing the linear impulse-momentum theorem to describe the resulting speed. Hydrodynamics delves into the Bernoulli equation and the Magnus effect, aiming to explain the effects of a rotating soccer ball in a fluid medium. Ultimately, this work strives to inspire students to delve into physics by demonstrating its relevance and applicability in areas they find interesting, such as football. It aims not only to facilitate comprehension of physics concepts but also to integrate them into daily life, providing valuable and engaging knowledge.

Keywords: football; Kinematics; Dynamics; Hydrodynamics; Physics Teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento de traslação da bola em lançamento oblíquo	18
Figura 2 - Movimento da bola em rotação em MCU com velocidade angular ω e velocidade linear tangente a superfície da bola $\mathbf{v}$	18
Figura 3 - Movimento Misto de translação em movimento oblíquo+ rotação da bola.....	19
Figura 4 - Tubo de escoamento de um fluido	22
Figura 5 - Movimento circular da bola isoladamente do efeito do ar	24
Figura 6 - Linhas de escoamento do ar	24
Figura 7 - Movimento circular da bola + linhas de escoamento do ar como uma combinação das Figuras 5 e 6	24
Figura 8 - Rotação da bola em sentido anti-horário imerso num fluido com velocidade linear $-\mathbf{v_0}$	27
Figura 9 - Referencial das posições das linhas de escoamento dos fluidos na região superior y_2 e inferior y_1 a superfícei da bola.....	27
Figura 10 - Trajetória da bola num lançamento oblíquo com a contribuição da força de sustentação (F_{sus}).....	28
Figura 11 - Simulação de lançamentos oblíquos da bola de futebol com a contrbuição da F_{sus}	30
Figura 12 - Rotação da bola em sentido horário imerso num fluido com velocidade linear $-\mathbf{v_0}$	31
Figura 13 - Trajetória da bola num lançamento oblíquo com a contribuição da força de sustentação (F_{sus}) provocada pela rotação da bola.....	31
Figura 14 - Rotação da bola, em sentido anti-horário, num fluido com velocidade linear $-\mathbf{v_0}$	32
Figura 15 - Trajetoria da bola numa batida de falta.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	JUSTIFICATIVA	11
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GERAL	12
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
4	REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1	O FUTEBOL NO CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA	13
4.2	FÍSICA E FUTEBOL.....	15
4.2.1	Cinemática	15
4.2.2	Dinâmica.....	19
4.2.3	Hidrodinâmica	21
4.2.3.1	A equação de Bernoulli e o efeito Magnus	21
4.3	JOGADAS MARCANTES DO FUTEBOL	25
4.3.1	O gol que Pelé não fez	25
4.3.2	Gols de falta simbólicos.....	30
4.3.3	O gol olímpico	33
5	METODOLOGIA.....	35
6	RESULTADOS ESPERADOS	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A Física é, em geral, tida como complexa por grande parte dos estudantes dos Ensinos Fundamental e Médio. De certo modo, isso pode ser atribuído tanto à própria natureza teórica/experimental da disciplina quanto à abordagem matemática usada para descrevê-la. Assim, durante o processo de ensino e aprendizagem dessa disciplina é essencial a utilização de metodologias que busquem garantir a aquisição das competências e habilidades necessárias.

Nesse sentido, diversas propostas com o intuito de melhorar o ensino de Física têm surgido, tais como as apresentadas por Aguiar e Rubini (2004), Araújo *et al.* (2011), Braz (2013), Duarte e Okuno (2012), Figueira e Greco (2013), Guerra e Barros (2004), Medeiros (2019), Pontes (2010), Ramos (2021) e Souza (2008), principalmente no que diz respeito ao uso do esporte, especificamente o futebol, no contexto dos conceitos Físicos envolvidos. Nessa perspectiva, percebe-se que ensinar Física a partir da explanação de eventos e/ou situações de interesse do cotidiano dos alunos pode configurar um método eficiente para capturar o interesse, conseguir a atenção e despertar a curiosidade dos mesmos. Podemos citar como exemplo de tal abordagem o estudo dos conceitos físicos presentes em esportes e, em particular, no futebol.

O futebol é um esporte disputado por dois times com onze jogadores cada e um árbitro. É jogado com uma bola em um campo retangular de aproximadamente 105 metros de comprimento e 68 metros de largura, com uma baliza em cada lado do referido campo. Trata-se de um esporte extremamente popular no Brasil e no mundo e suas regras modernas foram estabelecidas na Inglaterra em 1863, onde o objetivo principal do jogo é a ocorrência do gol, condição essa em que a bola é colocada dentro da baliza adversária e pode proporcionar a vitória para o time que o realiza.

Por conter diversas possibilidades de movimentos tanto dos jogadores que o praticam quanto da bola, é possível analisar diversos eventos em uma partida de futebol a partir de conceitos da Física presentes em temas como cinemática, dinâmica, energia, fluidos, etc. Assim, apresentar e investigar temas de Física através do futebol pode ser considerada uma metodologia motivadora e interessante a ser usada no processo de ensino e aprendizagem.

Diversos trabalhos que abordam a relação entre Física e futebol já foram reportados, explorando desde as forças aerodinâmicas que atuam sobre a bola de futebol até a análise dos

conceitos de Mecânica presentes no futebol. Nesse trabalho, portanto, vamos investigar os conceitos físicos que podem ser examinados no estudo de algumas jogadas marcantes do futebol, tais como a cinemática e a dinâmica de corpos rígidos e tópicos de dinâmica de fluidos, investigando como essa abordagem pode ser utilizada no ensino de Física de forma a motivar e engajar os alunos. É importante ressaltar que uma bola de futebol não é considerada um corpo rígido porque, ao ser chutada, pode sofrer deformações elásticas. Um corpo rígido, por outro lado, é um objeto que mantém sua forma e seu tamanho mesmo quando submetido a forças externas.

A bola de futebol é feita de materiais flexíveis, como borracha ou materiais sintéticos, e é projetada para ser deformada elástica e temporariamente quando submetida a forças externas, como em um chute ou em uma colisão com o solo. Isso significa que a forma e o tamanho da bola de futebol podem mudar temporariamente em resposta a essas forças, mas depois ela voltará ao seu formato inicial. No entanto, como veremos, é possível analisar alguns movimentos da bola de futebol a partir de conceitos de mecânica de corpos rígidos, aproximando a bola de futebol para um objeto rígido ideal, simplificando, assim, algumas equações e facilitando a análise do seu movimento.

Especificamente, vamos analisar a relação entre alguns movimentos da bola de futebol a partir de temas da Física apresentados na educação básica, abordando aspectos tanto da cinemática e da dinâmica quanto da hidrodinâmica. Dentro do arcabouço da hidrodinâmica, estudaremos a influência do efeito Magnus no movimento da bola de futebol quando a mesma possui um movimento combinado de rotação e translação estando imersa em um fluido como o ar. A partir dos conteúdos abordados, vamos considerar algumas jogadas interessantes, tais como cobranças de falta onde técnicas específicas são praticadas para impor determinados efeitos sobre a bola de futebol, bem como a maneira na qual o gol olímpico pode ocorrer.

2 JUSTIFICATIVA

A relação entre Física e futebol tem sido amplamente discutida e explorada, abrangendo desde as forças aerodinâmicas que atuam sobre a bola de futebol até a análise dos conceitos mecânicos presentes no jogo. Nesse trabalho, portanto, vamos investigar os conceitos Físicos que podem ser examinados no estudo de algumas jogadas marcantes do futebol, tais como a cinemática e a dinâmica de corpos rígidos e tópicos de dinâmica de fluidos, investigando como essa abordagem pode ser utilizada no ensino de Física de forma a motivar e engajar os alunos. Portanto a investigação tem com objetivo avaliar as relações entre alguns movimentos da bola de futebol a partir de temáticas e teorias da Física apresentada na educação básica, abordando aspectos da cinemática, dinâmica quanto e hidrodinâmica.

3 OBJETIVOS

Nesta seção serão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos que devem ser alcançados com relação ao trabalho de pesquisa.

3.1 OBJETIVO GERAL

Relacionar conceitos, teorias e leis Físicas, a partir de uma partida de futebol, com fenômenos naturais vivenciados por alunos assistindo uma partida de futebol.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar alguns movimentos da bola de futebol através de conceitos mecânicos.
- Apontar a relação entre o movimento da bola com as leis Físicas apresentadas na educação básica.
- Proporcionar uma visão criativa e inovadora através de metodologias baseadas em uma partida de futebol.
- Compreender e aplicar os princípios Físicos que regem o movimento de uma bola de futebol, como trajetória, velocidade e a aceleração.
- Analisar e entender como as forças atuam em uma partida de futebol, como impulso, colisão entre os jogadores e a bola.
- Investigar as propriedades Físicas da superfície e sua influência no desempenho da trajetória da bola.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados a fundamentação teórica utilizada na pesquisa. Na subseção 4.2 será discutido o futebol no contexto do Ensino de Física, na subseção 4.3 serão analisados a relação entre a Física e o futebol destacando algumas áreas da Física tais como: Cinemática, Dinâmica e Hidrodinâmica e o efeito Magnus.

4.1 O FUTEBOL NO CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA

O desenvolvimento da Física em esportes no ensino fundamental e médio é de muita importância para aprendizagem dos alunos, seja de qualquer fase de formação tanto de fundamental quanto médio. Desenvolver trabalhos que abordam Física e futebol é uma forma de incentivar os discentes a observar o desenvolvimento e a oportunidade de novos desafios, considerando como um ambiente de aprendizagem.

De acordo com Araújo *et al.* (2011) O ensino não é contextualizado e nem decorada por aplicações e formulas diretas. Temos que ensinar Física de maneira que os alunos aprendam todos os conceitos, leis e relações entre a Física e suas utilizações, chegando assim perto dos acontecimentos vivenciados pelos os discentes seja de base natural ou tecnológico. É fundamental que técnicas básicas sejam complementadas ou também representadas, por uma organização que possa vincular o aprendizado do aluno em sala de aula. Os discentes de novas gerações estão ligados bem mais em esporte do que na própria Física, com isso, ensinar os assuntos interligado com o futebol que é uma das áreas de mais conhecimento, que chama atenção, fazendo com que participem e entendam a aula de uma forma produtiva e divertida pra eles já que se trata de futebol.

Portanto a abordagem de conceitos Físicos aplicados aos esportes trazem a importância do ensino aprendizagem. Nessa perspectiva, é possível imaginá-la como um objeto para o ensino dos conteúdos de Física de forma que venha promover nos alunos características nos estudos de ciências, imaginações e sociabilização de conhecimento. Assim, que eles consigam resolver problemas que possam vir a acontecer nos estudos posteriores. Tendo em vista isso, o uso de situações e eventos do cotidiano como instrumento para o ensino pode auxiliar em obstáculos de experiências futuras (ARAÚJO *et al.*, 2011).

O ensino de Física tendo como tema principal o esporte e principalmente o futebol auxilia de maneira fundamental para as aulas de Física, sendo um ponto importante e incentivador para se aprender Física, já que estão sempre ligados a esportes. Sendo assim juntar a Física com o futebol é uma ferramenta didática que poderá possibilitar

contextualização para o ensino, uma vez que futebol é o esporte mais popularizado no mundo, em especial no nosso país cuja paixão pelo futebol já é reconhecida pela maior parte da população (DUARTE; OKUNO, 2012).

Sempre que se trata de um jogo todos querem assistir, curtir as defesas lindas, as jogadas marcantes, e o tão esperado gol, sem contar os dribles sensacionais. Todas as essas características podem ser usadas pra ensinar as leis e teorias da Física. Com isso, promover nos discentes um maior engajamento sobre cada assunto abordado em sala de aula, enfatizando suas curiosidades e participando da aula. Essa abordagem poderá direcionar o aluno de um expectador do processo de ensino aprendizagem ao decorar equações e fórmulas para lograr exito numa avaliação mensal ou bimestral, para um sujeito ativo, compreendendo a Física ao fazer associação das modelos Físicos com o fenômeno Físico (SOUZA JÚNIOR; DARIDO, 2002).

Como aponta Aguiar e Rubini (2004) o professor pode usar como exemplo uma bola de futebol para mostrar exemplos para seus alunos e como podem ser aplicadas essas leis e efeitos. Em movimento no ar, em translação e rotação, a bola poderá estar sujeita a forças aerodinâmicas movidas por pressão e viscosidade do meio. A força que vai ser resultante consegue ser decomposta em duas, arraste que vai ser ante paralelo ao vetor velocidade de deslocamento da bola, e a sustentação que vai ser perpendicular a velocidade. Visando isto eles terão a possibilidade de por em pratica tudo que foi praticado e estudado em sala de aula. Realmente esse é o papel de ensinar Física, assim os discentes vão aprender e perceber na prática a importância que é o estudo para seus desenvolvimentos acadêmicos.

Araújo *et al.* (2011) apresenta que estudar Física pode ser difícil para muitos alunos, pois ao se depararem com fórmulas matemáticas em seus livros, acabam perdendo o interesse. Embora essas fórmulas sejam importantes para provas e testes, alguns alunos optam por decorar apenas para resolver problemas, o que não contribui para uma aprendizagem significativa nem faz com que eles apreciem a disciplina. Um dos principais desafios no ensino de Física atualmente é o fato de que ele é predominantemente baseado na apresentação de conceitos, leis e fórmulas, o que acaba afastando os alunos e professores do mundo real em que vivem.

Na educação básica, a falta de motivação e interesse dos alunos na aprendizagem da Física está se tornando cada vez mais comum. Acredita-se que a falta de motivação dos discentes na aprendizagem da Física na educação básica seja resultado de vários fatores, porém, é crucial avaliar especialmente as dificuldades que eles enfrentam para

compreender as leis, conceitos e fenômenos envolvidos no ensino de Física, bem como encontrarem relações significativas desses conhecimentos com o seu cotidiano (GUERRA; BARROS, 2004).

Alguns alunos afirmam que Física é muito difícil, que não a entendem e que nem se esforçam para entenderem o seu real propósito, acreditam que não irão utilizar os conhecimentos adquiridos nesta disciplina. É extremamente comum observar entre os estudantes a profunda confusão entre as disciplinas de matemática e Física quando o docente se depara com frases como “Física é só conta”. Com base nessa afirmação é possível notar o equívoco, pois a “conta” que o aluno se refere é a parte matemática do problema físico. Em outras palavras, a aplicação do modelo físico por meio da matemática. Isso é atribuído, em grande parcela, a forma como a disciplina é abordada nas salas de aula, ao apresentar aos alunos somente a perspectiva de derivarem fórmulas e equação para realizarem avaliação.

Nesse sentido, boa parte dos alunos consideram a Física difícil ao ponto em que afirmam odiá-la, pois acreditam que se resume apenas a cálculos. No entanto, muitos deles desconhecem que é possível estudar e aprender Física de uma maneira prazerosa. O fator crucial nesse processo está na forma como o professor apresenta todos os contextos, conceitos e fenômenos aos alunos, bem como na condução da aula e na escolha da metodologia utilizada para ensinar. Utilizar métodos inovadores de ensino pode se tornar uma estratégia capaz de estimular o interesse e a curiosidade dos alunos em relação aos fenômenos físicos (ARAÚJO *et al.*, 2011).

4.2 FÍSICA E FUTEBOL

Nessa seção serão apresentados algumas áreas da Física que podem ser aplicadas ao futebol.

4.2.1 Cinemática

A Cinemática é a área da Física que estuda o movimento sem se preocupar com as relações de causa e efeito, permitindo os estudos de conceitos ou grandezas físicas tais como ponto material, corpo extenso, trajetória, tempo, posição, velocidade e aceleração. No futebol existe uma rica, diversa e extensa quantidade de movimentos os quais podem-se aplicar a cinemática. Dentre eles tem-se os movimentos de translação e rotação da bola de futebol e o deslocamento dos jogadores durante o jogo. Para simplificar a contextualização do estudo da cinemática aplicada ao futebol podemos, inicialmente, dividir em movimentos de translação,

rotação e rotação + translação de uma bola de futebol.

O movimento de translação ou linear se refere ao deslocamento de um corpo ao longo de uma linha seja curva ou reta na perspectiva de um referencial. A mudança de posição de um jogador da defesa para o ataque ou o deslocamento da bola após o lançamento são alguns exemplos de movimentos de translação. Na Figura 1 podemos observar a trajetória do movimento que a bola faz num lançamento oblíquo, na perspectiva de um observador na beira do campo de futebol, por exemplo. Evidentemente há várias trajetórias em movimentos lineares da bola que podem se apresentar durante o jogo de futebol, entretanto neste trabalho trataremos somente um grupo restrito de movimentos.

Inicialmente, este problema será tratado da maneira mais simples que é o movimento oblíquo no caso em que não há a resistência do ar. Além disso, a bola de futebol no caso real é deformada quando um chute é aplicado, nas descrições que seguiremos trataremos a bola como um corpo rígido, ou seja, sem deformação. Esse tipo de movimento é, em geral, estudado no 1º bimestre (ou semestre) do 1º ano do ensino médio e em disciplinas iniciais de alguns cursos superiores tais como Física, Matemática, Engenharias, etc.

A bola de futebol em uma superfície plana, ao ser chutada, descreve uma trajetória parabólica, ou seja, uma parábola. Numa situação real além dos movimentos de subida e descida ela realiza desvios para direita ou esquerda com relação ao jogador que imprimiu o chute. Para essa análise inicial vamos fazer uma suposição em que o movimento será, somente, em duas dimensões xy (no plano xy) conforme ao apresentado na Figura 1. Com base na trajetória, algumas informações prévias são importantes de mencionar. Haverão: i) uma altura máxima; ii) um alcance máximo; iii) tempo de subida e iv) tempo de voo. A altura máxima é a distância vertical mais alta da trajetória, enquanto que o alcance máximo é a distância horizontal máxima atingida pela bola. O tempo de subida é o tempo que a bola leva para atingir a altura máxima e o tempo de voo é o tempo total que bola permanece no “ar”.

Em síntese, a bola é lançada fazendo um ângulo θ com a horizontal, eixo x, com velocidade inicial $\vec{v}_0$. Esse vetor $\vec{v}_0$ é tangente ao longo da trajetória da bola e pode ser decomposto em componentes v_x e v_y . Os movimentos nos eixos x e y podem ser analisados separadamente de forma a obtermos equações na direção x e na direção y. Em x, o movimento é uniforme, logo a componente x é constante ao longo da trajetória. Por outro lado, no eixo y, o movimento é uniformemente variado com desaceleração g (aceleração da gravidade próximo a superfície da Terra). Como já é conhecido em boa parte dos livros didáticos de Física dos níveis da educação básica e superior, o tempo de subida, o tempo de descida, o alcance máximo e a altura máxima, podem ser expressos pelas eq. 6, 7, 8 e 9:

$$x = x_0 + v_x t \quad (1)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}g t^2 \quad (2)$$

$$v_x \equiv v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad (3)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta \quad (4)$$

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (5)$$

$$t_{sub} = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \quad (6)$$

$$t_{voo} = 2t_{sub} = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \quad (7)$$

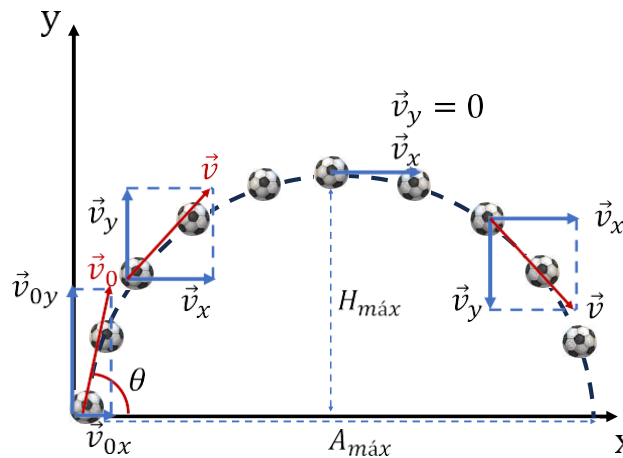
$$x_{máx} = A_{máx} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (8)$$

$$y_{máx} = H_{máx} = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{2g} \quad (9)$$

O tempo de subida foi obtido sabendo que $v_y = 0$ na altura máxima, logo partindo dessa condição e substituindo a equação 4 em 5 resulta na equação 6. O tempo de voo é 2x o tempo de subida, equação 7. O alcance máxima foi obtido substituindo as equações 3 e 7 em 1, com $x_0 = 0$. A altura máxima foi obtida substituindo as equações 4 e 6 em 2, com $y_0 = 0$.

Essa trajetória é bastante comum em jogadas em lançamentos de longas distâncias. Para simplificar, o movimento será tratado sem a contribuição da resistência do ar, essa condição permanecerá ao longo do texto. Note que a velocidade linear da bola $\vec{v}_0$ é tangente a trajetória. Na altura máxima ($H_{máx}$) v_y é igual a zero.

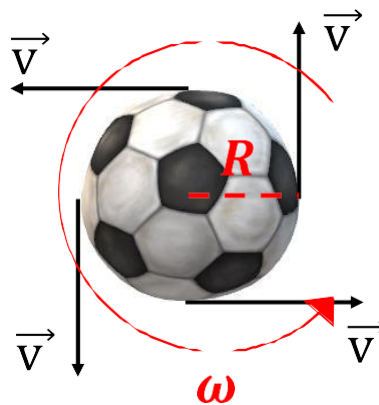
Figura 1 - Movimento de traslação da bola em lançamento oblíquo



Fonte : Elaborada pelos autores (2023).

O movimento de rotação se refere ao movimento de um corpo que gira em torno de algo, ou eixo de uma rotação. Podemos usar como exemplo de rotação, o semi-giro das pernas dos jogadores que se movimentam em torno do joelho, ou a bola, com efeito, girando sobre si mesma. A Figura 2 apresenta uma bola de futebol apenas em movimento circular com velocidade angular ω . A bola pode realizar movimentos circulares uniformes (MCU. $\omega = cte$) e movimentos circulares uniformemente variados (MCUV. $\omega = \omega(t)$).

Figura 2 - Movimento da bola em rotação em MCU com velocidade angular ω e velocidade linear tangente a superfície da bola $\vec{v}$



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

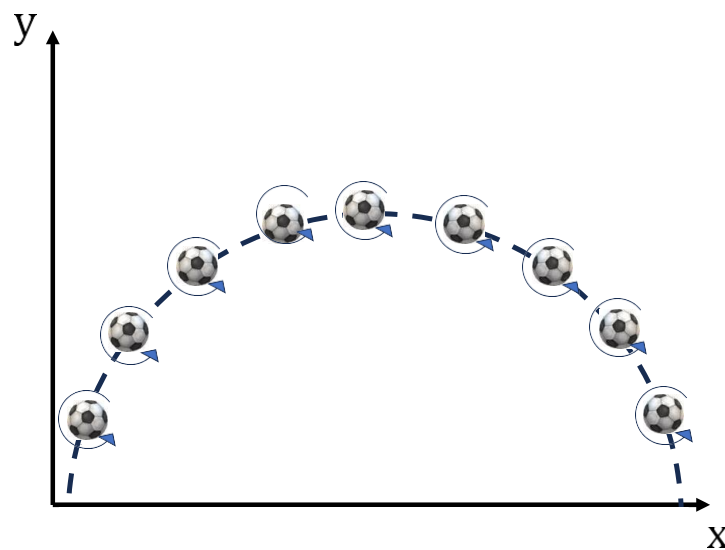
Aqui restringiremos a análise somente em MCU. Nesse sentido, podemos associar a bola uma velocidade linear tangente a superfície da bola que pode ser representada pelo vetor $\vec{v}$. O módulo de $\vec{v}$ é constante ao longo do movimento circular e pode ser expresso de acordo com a equação 10, mas $\vec{v}$ varia constantemente em direção e sentido.

$$v = \omega . R \quad (10)$$

A bola de futebol ao ser chutada em torno do seu próprio eixo ao decorrer de trajetória circular e de raio constante, a velocidade será tangente a sua superfície, a direção e o sentido do vetor velocidade vão mudando.

Movimentos mistos da bola correspondem a composição dos movimentos de translação mais a rotação. Como será visto mais adiante, a descrição da composição de velocidades desse movimento será fundamental para a compreensão do Efeito Magnus. Como exemplo de movimento misto temos a bola chutada com efeito ao se observar o movimento que ela faz até o gol (translação) e o giro que ela faz em torno de si mesma (rotação), Figura 3.

Figura 3 - Movimento Misto de translação em movimento oblíquo+ rotação da bola



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na Figura vemos o movimento misto de traslação e rotação. O vetor indica o movimento da bola em circunferência no sentido horário, sendo uma velocidade linear ela vai ser sempre tangente a trajetoria da bola, ou seja, velocidade tangencial de rotação.

4.2.2 Dinâmica

A dinâmica do futebol e o avanço das condições Físicas no decorrer de um jogo são requisitados certas ações dos jogadores, que exerceram uma influência significativa para as modificações na preparação Física, tática e técnica, mostrando a demanda de tratamentos na preparação Física que seja capaz de suportar tais condições. Nesse contexto as maneiras de

treinamento atualmente partem do início da individualidade, colocando em primeiro plano os elementos Físicos mais característicos que o jogo requer.

Outro ponto relevante relacionado à preparação Física é compreender que os esforços ao longo de um jogo de futebol distinguem-se com base nas características e finalidades de cada posição tática, assim sendo, as vias metabólicas recrutadas variam de acordo com tais características, o que leva a uma diferenciação nos treinamentos.

No futebol a dinâmica é um componente fundamental que faz um jogo inesperado e muito emocionante, isso envolve o aspecto de como as equipes se deslocam, se posicionam e também como elas se ajustam dentro de campo, o entendimento da dinâmica da partida é essencial para o êxito de um time de futebol.

A aplicação de conceitos da dinâmica no ponto de vista do movimento da bola de futebol é muito importante, pois as descrições abordadas na cinemática são insuficientes para estabelecer relações de causa e efeito. Nesse sentido grandezas Físicas tais como força, torque, momento linear e momento angular (ou quantidade de movimento linear e angular) e impulso são necessárias, e a abordagem de cada uma certamente é tema gerador em estudos de caso envolvendo a dinâmica da bola de futebol. Nessa seção será descrito o teorema do impulso variação do momento linear para explicar a relação de causa e efeito na velocidade inicial abordada no contexto da cinemática.

Para realizar essa análise é necessário examinar a colisão entre o pé do jogador de futebol e a bola. O chute pode ser traduzido no contexto da Física como uma força externa aplicada a um objeto, nesse caso a bola. Esse contato ocorre em milésimos de segundo (Δt) e nessa situação podemos associar outra grandeza física: o impulso. A relação entre a força externa ($\vec{F}$) aplicada e o impulso (I) podem ser descritas da forma

$$I = \bar{F}\Delta t \quad (11)$$

É necessário realizar alguns comentários relativos a equação anterior. Numa situação real a força aplicada não é constante ao longo do tempo de colisão de forma que $\bar{F}$ representa uma força média aplicada e assume forma constante. Após o chute a bola (força aplicada) a bola entra em movimento (efeito da força aplicada) e podemos relacionar a velocidade após o chute utilizando o teorema impulso-momento linear (p).

$$I = \Delta p = p_f - p_i = mv_f - mv_i \quad (12)$$

Relacionando a equação 11 com a equação 12 temos:

$$\Delta t = mv_f - mv_i \quad (13)$$

Nessa análise a velocidade inicial, antes da aplicação do chute, é igual a zero ($v_i = 0$) então:

$$v_f = \frac{\Delta t}{m} \quad (14)$$

Esse resultado corresponde a velocidade inicial v_0 descrita na análise feita na Figura 1. Como força e velocidade são duas grandezas físicas vetoriais, logo os vetores $\vec{v}_f$ e $\vec{F}$ estão na mesma direção e sentido.

4.2.3 Hidrodinâmica

No futebol o espetáculo de maior audiência certamente se dá através da interação do jogador com a bola: domínio, dribles, defesas, cabeceadas, passes, lançamentos, cobranças de faltas e escanteios e chutes ao gol. Com relação as últimas quatro podemos citar uma característica comum que é fundamental para a eficiência nas suas execuções: o chute na bola. O efeito produzido pelo chute é o norteador para que a jogada seja concluída com êxito. Nesse sentido não se pode deixar de lado ao falar sobre a equação de Bernoulli e o efeito Magnus. A equação de Bernoulli trata da dinâmica de fluídos em regimes estacionários e mais adiante será visto que um dos efeitos provocados pelo chute na bola podem ser explicados pelo efeito Magnus.

4.2.3.1 A equação de Bernoulli e o efeito Magnus

Daniel Bernoulli, nascido em Groningen nos Países Baixos no dia 08 de Fevereiro 1700, foi membro de uma linhagem familiar (Família Bernoulli) de oito eminentes matemáticos. Trabalhou nas áreas de matemática, física, fisiologia, medicina e professor suíço. Foi membro da Academia de São Peterburgo e eleito para Academia de Ciências de Paris. Em um livro intitulado Hidrodinâmica, publicado em 1738, Daniel apresenta um estudo teórico sobre a Dinâmica de Fluídos, onde foi desenvolvido o princípio da Hidrodinâmica.

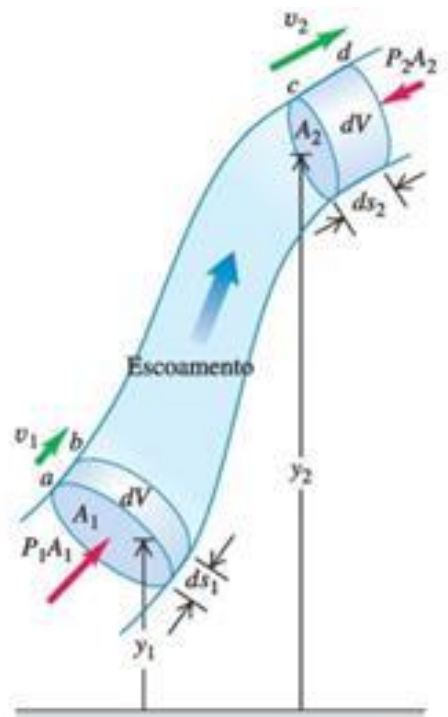
A equação de Bernoulli é utilizada para teoremas de conservação de energia Mecânica que se da relação entre o trabalho mecânico e a energia de fluidos em movimento. Ela é usada

para detalhar o comportamento dos fluidos (incompressíveis, sem viscosidade e estacionários) em movimento no interior de um tubo.

Para o estudo da equação de Bernoulli, considere um fluxo de fluido num tubo (Figura 4), os pontos de velocidade do fluido mais alto vão ter menos pressão que no ponto de velocidade do fluido mais baixo. Tendo em vista isso, dentro de um balão com água horizontal que varia de diâmetro, as regiões onde a água estará se movendo rápido terão menos pressão do que nas que estará se movendo devagar. Para demonstrar aplicamos o teorema do trabalho – energia do fluido em uma seção de tubo de escoamento mostrado na Figura 4.

Na parte inferior o tubo possui área maior que vai se estreitando na região superior. Esses estreitamento provoca uma variação da velocidade do fluido. Logo, pode-se observar que as energias potencial e energia cinéticas são alteradas. Como mostrado na Figura o elemento do fluido que estava nas extremidades inferior é v_1 nos limites superiores, é de v_2 ao passar de um intervalo dt , o fluido que antes se encontrava em a se move para b , passando para uma distância $ds_2 = v_2 dt$.

Figura 4 - Tubo de escoamento de um fluido



Fonte: Young; Freedman (2015).

O fluido que antes estava em c passará para d movimentando-se em uma distância $ds_1 = v_2 dt$. E as áreas retas nas duas extremidades são A_1 e A_2 . Conforme o indicado,

calculemos o trabalho produzido em cada elemento do fluido no decorrer do intervalo dt . Entendendo que o atrito interno do fluido é desprezível, isto é, viscosidade desprezível, de forma que as forças não gravitacionais que fazem a função sobre o componente do fluido será os da pressão do fluido ambiente. Essas pressões nas duas extremidades são P_1 e P_2 , onde a força exercida na seção reta a é P_1A_1 , já as forças exercidas na reta c P_2A_2 .

Nessa situação a equação de Bernoulli pode ser encontrada utilizando o teorema trabalho-energia. Como as forças atuantes vão além de forças conservativas a variação do trabalho pode ser escrito na forma apresentada pela equação 15:

$$dW = dK + dU \quad (15)$$

Onde dK e dU são as variações infinitesimais das energias cinéticas e potencial gravitacional. O trabalho resultante dW feito nos arredores do fluido no decorrer do deslocamento é

$$dW = P_1A_1ds_1 - P_2A_2ds_2 = (P_1 - P_2)dV \quad (16)$$

Os elementos de volume na parte inferior e superior são iguais, logo $A_1ds_1 = A_2ds_2 = dV$. No segundo termo, o sinal negativo se apresenta em decorrência da força sobre a área A_2 ser contrário ao movimento do fluido. A variação da energia cinética e potencial gravitacional da Figura 4 podem ser escritas na forma:

$$dK = \frac{1}{2}dm_1v_1^2 - \frac{1}{2}dm_2v_2^2 = \frac{1}{2}\rho dVv_1^2 - \frac{1}{2}\rho dVv_2^2 \quad (17)$$

$$dU = dm_1gy_1 - dm_2gy_2 = \rho dVgy_1 - \rho dVgy_2 \quad (18)$$

dm_1 , dm_2 , v_1 , v_2 , y_1 , y_2 ρ e dV representa os elementos de massa, velocidades, alturas(das linhas de escoamento), densidade e elemento de volume do fluido nos pontos 1 e 2.

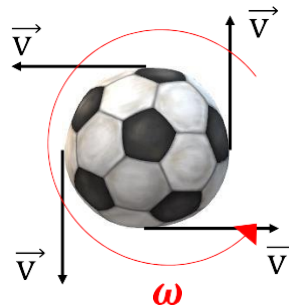
Substituindo as equações 16, 17 e 18 em 15, dividindo toda a equação por dV e reorganizando os termos com índices 1 e 2 em cada lado da equação, temos a forma final da equação de Bernoulli:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (19)$$

O efeito Magnus é um fenômeno Físico que explica o desvio de um objeto (esféricos e leves, em geral) em movimento rotacional em um fluido. Esse efeito é observado nos mais diferentes esportes que tem a bola como objeto de trabalho: tênis, basquete, vôlei, futebol, etc.

No momento em que uma bola de futebol, por exemplo, girar no ar, vai ocorrer uma diferença de velocidade nas regiões extremas da superfície da mesma. O resultado dessa diferença de velocidade acarreta na diferença de pressão nos extremos da bola e isso produz uma força externa na bola que tende a desviar a bola em uma direção. A essa força definiremos o nome de força de sustentação. Para isso vamos analisar os movimentos de rotação da bola e do deslocamento do ar separadamente, após isso será visto o efeito da combinação desses movimentos na bola. Na Figura 5 é apresentado o movimento circular da bola isoladamente.

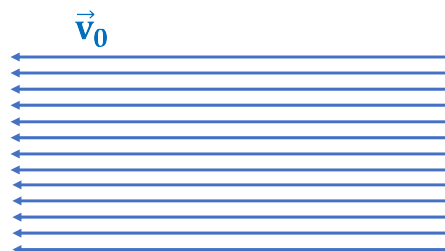
Figura 5 - Movimento circular da bola isoladamente do efeito do ar



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na Figura 6 é mostrado as linhas de escoamento do ar(fluido) sem a influência do efeito da rotação da bola.

Figura 6 - Linhas de escoamento do ar

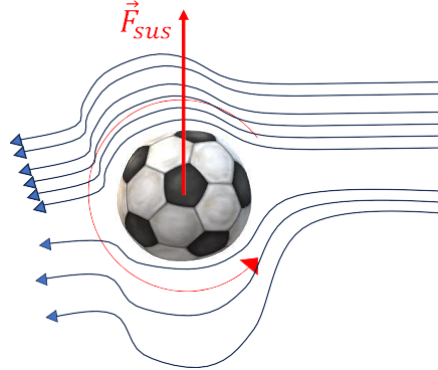


Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na Figura 7 a combinação da bola em rotação imerso no ar em escoamento.

Figura 7 - Movimento circular da bola + linhas de escoamento do ar como uma combinação das

Figuras 5 e 6



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na parte de inferior da bola na Figura 7 é possível observar que a velocidade de escoamento diminui em relação a parte superior da bola. Isso ocorre por causa da velocidade tangencial da bola sobre o ar que está contra o deslocamento do ar na parte inferior e a favor do deslocamento na parte superior. Isso resulta, como veremos mais a frente, num aumento da pressão na parte inferior com relação a parte superior, resultando uma força de sustentação para cima.

Assim, ao ser aplicado no futebol, o efeito Magnus estará em ação quando a bola for chutada com um movimento de rotação. Os diferentes efeitos de curvatura na trajetória da bola que os jogadores produzem ao chutá-la estão diretamente relacionados, em grande parte, ao efeito Magnus.

Nas partidas de futebol os jogadores usam suas habilidades para realizar um chute perfeito, colocando curvas e efeito na bola de forma a surpreender os adversários uma vez que a trajetória da bola pode ser alterada conforme será visto nas descrições a seguir. Outros efeitos, em situações reais também estão incluídos e produzem efeitos na trajetória da bola tais como a turbulência e a força de resistência devido ao atrito com o ar. Entretanto, as abordagens que seguirão irão dispensar esses dois efeitos.

4.3 JOGADAS MARCANTES DO FUTEBOL

Com base nas descrições relatadas no referencial teórico, especificamente sobre a subseção 4.3, serão abordados nesta seção algumas jogadas marcantes no futebol.

4.3.1 O gol que Pelé não fez

Edson Arantes do Nascimento (Pelé), brasileiro, conhecido como o rei do futebol,

marcou uma época por realizar gols, jogadas e dribles que foram pioneiros no futebol. É comum observar nos jornais, revistas e postagens na internet o jargão “tudo que algum jogador fez, Pelé fez primeiro” no intuito de mostrar a inovação nos dribles e jogadas que o jogador realizou. Além disso, foi o único jogador a ganhar três copas do mundo pela seleção brasileira de futebol (1958, 1960 e 1970), sendo na primeira conquista o mais novo jogador a ganhar uma copa em 1958 quando apenas tinha 17 anos.

Pelé foi autor de 1.000 gols em sua carreira, mas dentre a variedade de lances, jogadas e gols que realizou um deles chama a atenção, curiosamente, por não ter sido gol. Essa jogada é eternamente marcada como “o gol que Pelé não fez”, sendo até os dias atuais como parâmetro para esta determinada jogada.

No jogo entre Brasil e a antiga Tchecoslováquia, na copa do mundo de 70, Pelé conduzia a bola no meio de campo e percebeu o goleiro Tcheco a uma posição adiantada do gol. Logo, iniciou o chute que descreveu uma trajetória similar a Figura 3. O Escritor Nelson Rodrigues relatou o momento, “A câmera, numa tomada por trás do gol, mostrava toda a curva implacável da bola. Durante alguns segundos ninguém entendeu, o porquê dele não tocar a bola? Por que arriscar de tão impressionante lonjura. O goleiro que não acreditou que ele era a vítima. Seu horror teve qualquer coisa de cômico. Pôs-se a correr, em pânico. De vez em quando parava e olhava. Lá vinha a bola. Parecia a cena dos Três Patetas. E por um fio, não entra o mais fantástico gol de todas as copas passadas, presentes e futuras”. Os tchecos parados, os brasileiros parados, os mexicanos parados – viram a bola tirar o maior fino da trave. Foi um cínico e deslavado milagre não ter se consumado esse gol tão merecido. Aquele foi sim um momento de eternidade do futebol.

Essa jogada ocorreu a 5 metros atrás da linha do meio de campo, 3 metros a direita do centro do gramado, no ponto inicial de chute até o gol a bola cruzou-se 60 metros, e para fazê-la viajar tanto ele precisou de força, a bola saiu dos pés dele com velocidade de 105 km/h. Não foi apenas a potencia das pernas de Pelé que fez com que a bola cruzasse o campo, o lance envolveu também habilidade e um toque refinado e quase decisivo.

Pelé acertou a bola bem embaixo e o efeito que conseguiu produzir fez com que ela entrasse em rotação essencial para que a bola ficasse tanto tempo no ar. A rotação da bola no fluido (ar) mais o deslocamento relativo ao esse fluido resultou num efeito de sustentação da bola analogamente ao apresentado na seção 4.3.3.1, sobre o efeito Magnus. Essa força adicional ao movimento resulta num maior tempo de voo na trajetória da bola, pois ela é contrária a força peso.

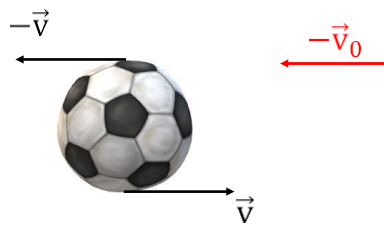
Na trajetória até o gol ela subiu a aproximadamente 7,3 m e ficou suspensa por cerca

de 30 segundos, quando caiu, caprichosamente, à bola não entrou por muito pouco. O posicionamento das câmeras não permitiu uma análise totalmente precisa, mas os cientistas estimam que a bola passou entre 20 à 50 cm da trave esquerda.

No contexto da aplicação Física ao problema podemos imaginar a descrição feita pela equação 6 e podemos analisar algumas situações com diferentes velocidades de escoamento do fluido nas laterais da bola e observar o impacto do efeito Magnus na sua trajetória. Na descrição da trajetória da bola, será assumido somente a contribuição da força de sustentação, proveniente do efeito Magnus, e da força gravitacional.

Inicialmente, será assumido que o chute é realizado na parte de baixo da bola de forma a assumir uma trajetória anti-horária com velocidade tangencial $\vec{v}$ e com velocidade de escoamento de fluido $-\vec{v}_0$ contrário a trajetória da bola, Figura 8.

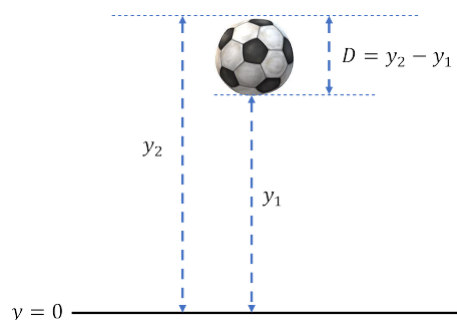
Figura 8 - Rotação da bola em sentido anti-horário imerso num fluido com velocidade linear $-\vec{v}_0$



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Nessa situações podemos analisar o escoamento do fluido na regiões acima e abaixo da bola. Assim, os módulos das velocidades do fluido acima e abaixo da bola são $v_2 = v + v_0$ e $v_2 = v - v_0$, respectivamente. Como a bola está a uma determinada altura do chão (referencial $y = 0$), logoas velocidades de escoamento do fluido na partes superior e inferior da bola serão analisadas como posições y_2 e y_1 , Figura 9.

Figura 9 - Referencial das posições das linhas de escoamento dos fluidos na região superior y_2 e inferior y_1 a superfícei da bola



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Aplicando a equação 19 nessa situação, Figura 8 e 9 , temos:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g D \quad (20)$$

Onde $D = y_2 - y_1$ é o diâmetro da bola. Da equação 7 podemos perceber que a pressão em baixo da bola é maior que a pressão de cima, pois $v_2 > v_1$. Supondo que as pressões 1 e 2 sejam exercidas sobre áreas iguais a área superficial (A_{super}) do hemisfério da bola, a força de sustentação pode ser descrita na forma:

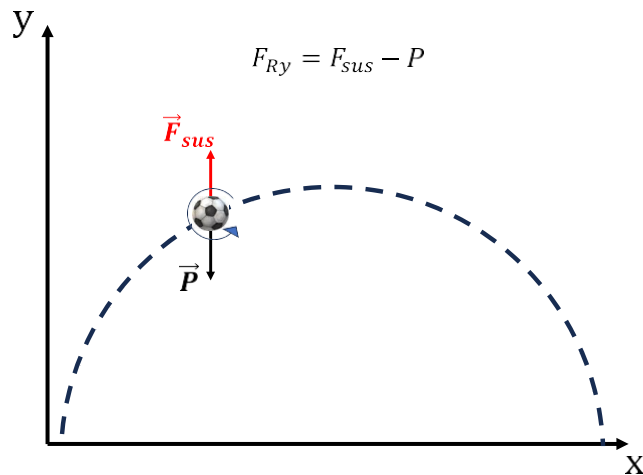
$$F_{sus} = F_1 - F_2 = A_{super} (P_1 - P_2) = A_{super} \left[\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g D \right] \quad (21)$$

Supondo que F_{sus} seja constante e esteja na mesma direção da força peso ($P = mg$), mas em sentidos contrários, então no eixo y:

$$F_{Ry} = F_{sus} - P = m \cdot \ddot{y} \quad (22)$$

A Figura 10 mostra o efeito da F_{sus} juntamente com P na trajetória da bola em movimento oblíquo.

Figura 10 - Trajetória da bola num lançamento oblíquo com a contribuição da força de sustentação ($\vec{F}_{sus}$)



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A suposição de que a suposição de que $P_1 = F_1/A_{super}$ se trata de uma aproximação, pois a força exercida pelo ar é realizada perpendicularmente a superfície do hemisfério. Para uma análise mais realista é necessário examinar somente a cotribuição que a força realiza

no eixo vertical.

A solução da equação 9 é análoga ao resultado do movimento oblíquo, entretanto com a contribuição da aceleração proveniente da força de sustentação F_{sus}/m . Logo,

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} \left(\frac{F_{sus}}{m} - g \right) t^2 \quad (23)$$

A velocidade v_y é

$$v_y = y(t) = v_{0y} + \left(\frac{F_{sus}}{m} - g \right) t \quad (24)$$

No eixo x não há forças externas,

$$F_{Rx} = m\ddot{x} = 0. \quad (25)$$

Logo, a equação x em função de t é análoga ao apresentada no movimento oblíquo:

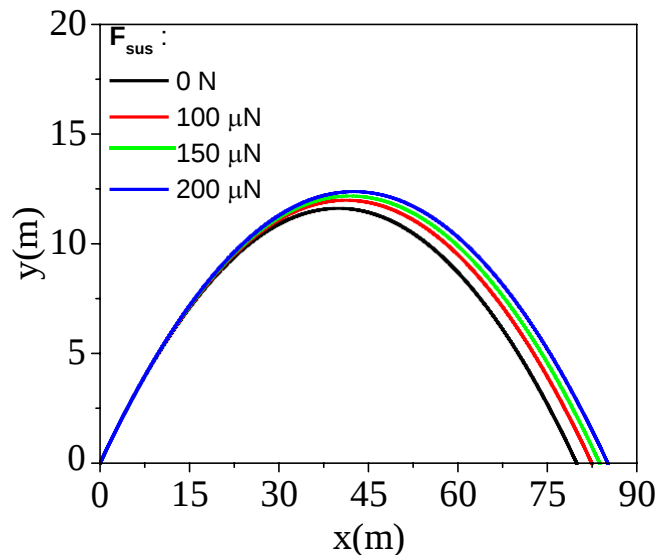
$$x(t) = x_0 + v_x t = x_0 + v_{0x} t \quad (26)$$

Podemos escrever a trajetória $y(x)$ supondo $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$ nas equações 23 e 26, isolando t na equação 24 e substituindo em 23, temos:

$$y(t) = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x + \frac{1}{2} \left(\frac{F_{sus}}{m} - g \right) \frac{x^2}{v_{0x}^2} \quad (27)$$

A Figura 11 mostra uma simulação da equação 27 a fim de observar a contribuição de $\vec{F}_{sus}$. Foram utilizados como parâmetros $\theta = 30^\circ$, $v_0 = 30 \text{ m/s}$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $m = 0,45 \text{ kg}$. Foram analisadas a contribuição do módulo das forças $\vec{F}_{sus}$ em 0, 100 μN , 150 μN e 200 μN . Em $F_{sus} = 0$ há a trajetória de uma movimento oblíquo conforme apresentado na seção 4.3.1, Figura 1. É possível observar que a variação do alcance máximo e da altura máxima é grande em comparação a pequenas alterações na força de sustentação. O alcance máximo aumenta a medida que F_{sus} aumenta de 0 à 200 μN .

Figura 11 - Simulação de lançamentos oblíquos da bola de futebol com a contribuição da $\vec{F}_{sus}$



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

4.3.2 Gols de falta simbólicos

A falta numa partida de futebol é um momento importante, pois permite que o jogador possa realizar o gol a partir do chute em bola parada em dois tipos de situação: tiro livre direto e tiro livre indireto. Na primeira o jogador chuta a bola diretamente para o gol sem passar a bola para intermediários, na segunda existe a necessidade, por regra, de a bola ser tocada pelo menos entre dois jogadores. Em ambas, existe a composição da barreira de jogadores que fica entre o jogador que irá chutar a bola (cobrador de falta) e o gol. Evidentemente, é conveniente que o cobrador consiga chutar a bola de forma que a sua trajetória não seja bloqueada pela barreira ao ir em direção ao gol. Nesse sentido os jogadores exibem variadas formas de interagir com a bola de forma a produzir efeitos que possam contornar a barreira em direção ao gol.

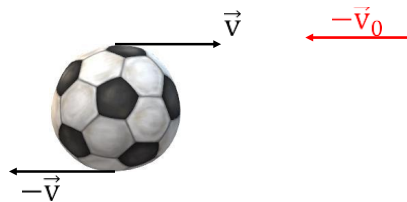
Nessa seção será destacado alguns jogadores brasileiros que são referências em cobranças de falta por realizarem diferentes formas de contornar a barreira em direção ao gol. Além disso, será visto que esses contornos estão diretamente relacionados com a dinâmica de fluidos, especificamente ao efeito Magnus.

Juninho Pernambucano se caracterizou em marcar seus gols de falta, considerando que boa parte deles são de média ou longa distância. Dentre as variedades de forma que este jogador executava uma se destacava devido a sua trajetória peculiar. O movimento era fazer a trajetória da bola descer de maneira brusca ao chão antes de chegar ao gol. Esse movimento é

descrito comumente como o quique da bola antes de chegar ao gol. O intuito de tal efeito é produzir confusão ao goleiro, pois a trajetória da bola é repentinamente mudada em direção ao chão. Além disso, ao tocar no chão a bola transfere parte do movimento de rotação em translação de forma a aumentar a sua velocidade após o toque. A variação brusca da velocidade fazia com que o tempo de reação do goleiro fosse insuficiente para reagir a tal efeito.

Esse efeito pode ser compreendido com base no efeito Magnus. Nesse caso, o chute de Juninho é realizado com o lado interno do pé fazendo a bola girar horário como o apresentado na Figura 12.

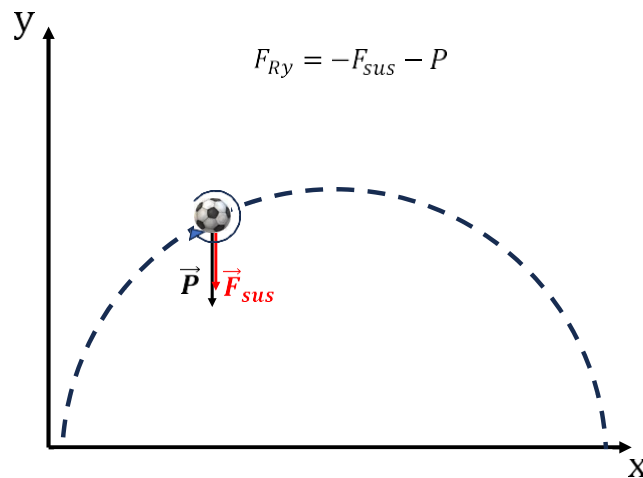
Figura 12 - Rotação da bola em sentido horário imerso num fluido com velocidade linear $-\vec{v}_0$



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Como podemos observar a força de sustentação, nessa situação, está no mesmo sentido da força peso, Figura 13.

Figura 13 - Trajetória da bola num lançamento oblíquo com a contribuição da força de sustentação ($\vec{F}_{sus}$) provocada pela rotação da bola



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Reiterando, os efeitos da turbulência podem modificar a trajetória da bola de maneira significativa. Entretanto, na presente análise somente está-se levando em consideração a contribuição da força de sustentação proveniente da diferença de pressão no fluido.

Contrário ao apresentado na seção 4.2.1 a velocidade de escoamento do fluido na parte de cima da bola é menor que na parte de baixo $v_2 = v - v_0$ e $v_2 = v + v_0$. Usando o mesmo

raciocínio que em 4.2.1, temos para a força resultante

$$F_{sus} = F_2 - F_1 = A_{super} (P_2 - P_1) = A_{super} \left[\frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) - \rho g D \right] \quad (28)$$

As velocidades e posições podem ser escritas como segue:

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} \left(-\frac{F_{sus}}{m} - g \right) t^2$$

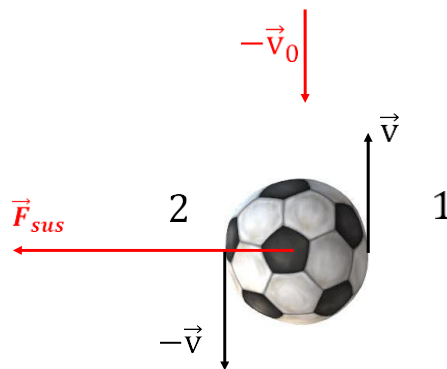
$$v_y = \dot{y}(t) = v_{0y} + \left(-\frac{F_{sus}}{m} - g \right) t$$

$$x(t) = x_0 + v_x t = x_0 + v_{0x} t$$

$$y(t) = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x + \frac{1}{2} \left(-\frac{F_{sus}}{m} - g \right) \frac{x^2}{v_{0x}^2} \quad (29)$$

Diferente de Juninho, Roberto Carlos impressionava com o impulso que aplicava a bola, utilizando-se da parte externa do pé (comumente chamado de “chute de três dedos”), mais o efeito do desvio que era produzido pelo Magnus. Nessa situação a interação do pé com a parte mais externa da bola (“orelha da bola”) é fundamental para produzir tal efeito de rotação. Ao contrário do apresentado até aqui onde o desvio era apresentado na vertical, ou melhor, no plano xy, o desvio provocado pela cobrança de falta aqui o desvio será no plano horizontal(xz). Conforme é visto na Figura 14 a velocidade do escoamento do ar é contrário a trajetória da bola que gira em sentido anti-horário.

Figura 14 - Rotação da bola, em sentido anti-horário, num fluido com velocidade linear $-\vec{v}_0$

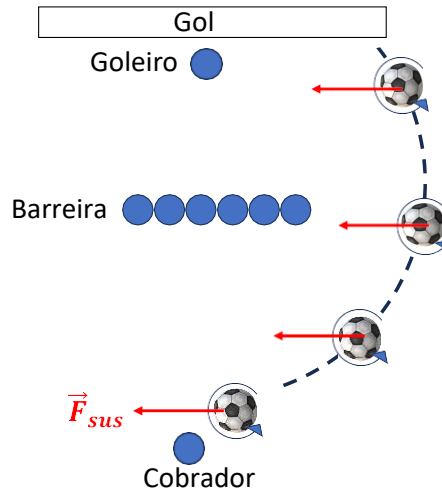


Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 15 mostra a trajetória na cobrança de falta. De forma análoga aos resultados das equações apresentados anteriormente, o desvio provocado pelo chute pode ser descrito

pela equação de Bernoulli no efeito Magnus.

Figura 15 - Trajetória da bola numa batida de falta



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A força de sustentação aplicada a essa situação é descrita como segue

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \quad (30)$$

P_1 , P_2 , v_1 e v_2 representam as pressões e velocidades nas regiões 1 e 2 ao lado da bola. Note que aqui a diferença de altura $D = y_2 - y_1 = 0$, pois as alturas dos fluidos nas regiões 1 e 2 são iguais. De forma análoga aos resultados anteriores a trajetória da bola no plano é parabólica de forma que é possível fazer a bola de desviar da barreira realizando uma trajetória curva em direção ao gol.

4.3.3 O gol olímpico

O gol olímpico caracteriza pelo gol feito, diretamente, a batida de escanteio. Com toda certeza esse é um dos lances considerados como “uma pintura”, o incrível gol olímpico aparece surpreendentemente quando o jogador cobra um escanteio direto para o fundo de rede, sem tocar em nenhum outro jogador, ou seja, sem nenhum desvio. O chute sai tão perfeito que passa por todos dentro da área, dessa maneira, a defesa fica bem difícil.

Essa realmente é uma obra de arte e que raramente acontece, no entanto, continua a cativar os corações de todos os amantes do futebol. O momento tem o poder de causar impressão em qualquer adversário encantado com tanta beleza, além do mais fica marcado na

história de qualquer jogador.

Acredita-se por muitos que essa expressão teve seu surgimento por conta das olimpíadas, mas que na verdade não foi bem assim. Essa expressão surgiu de um jogo amistoso entre Argentina e Uruguai, em 1924 (FNV SPORTS, 2020). O jogador Argentino Cesário Onzari que cobrou um escanteio, o que seria então um chute normal e que ninguém esperava que ele fosse mandar direto para o fundo da rede. O nome de gol Olímpico foi dado devido ao fato de que os Uruguaios haviam vencido os jogos olímpicos de Paris.

Embora, a realidade seja diferente do que pensam. De acordo com alguns torcedores cruzmaltino, de a mesma forma que no ponto de vista anterior, a sentença teria surgido durante um jogo amistoso (FNV SPORTS, 2020). Entretanto, nessa ocasião, os times eram Vascos da Gama e Montevideo Wanderers do Uruguai, conforme os vascaínos, Santana jogador do Vasco da Gama, fez o primeiro gol Olímpico, no mês de Março de 1928. A explicação do gol pode até variar, mas a beleza do lance continua sendo a mesma.

Devido à complexidade o gol olímpico se trata de uma tarefa extremamente difícil, pois o ponto da batida de escanteio é realizada nas extremidades do campo, no final de uma linha que liga a lateral da trave até a essa extremidade. Nesse sentido uma cobrança de escanteio de forma a descrever uma trajetória no plano xy, como apresentado na Figura 1, se torna impossível. Afinal, o que permite que os jogadores façam um gol diretamente de uma cobrança de escanteio? Os jogadores, ao chutar a bola, imprimem um efeito curvo que já foi apresentado extensamente nas seções anteriores. Certamente, com base na física, os jogadores conseguem fazer gols olímpicos por causa do efeito Magnus.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi proposto com o objetivo de examinar os conteúdos de Física com o aspecto de compreender os assuntos de uma forma mais simples e relevante com uma linguagem mais fácil. O público alvo deste trabalho está voltado para alunos do ensino fundamental e médio que tenham interesse em aprender Física de forma contextualizada. O trabalho ocorreu, inicialmente, através das pesquisas bibliográficas e fontes básicas de pesquisas, livros didáticos, artigos e e-book entre outros e assim iniciou-se a investigação dos mesmos destacando pontos importantes de cada um dos autores de acordo com as pesquisas realizadas. Logo após, iniciou a escrita do trabalho sendo sempre organizado e planejado na investigação. Foi analisada, jogadas através de vídeos de futebol para um conhecimento mais aprofundado, para identificar os princípios Físicos em ação, como a conservação de energia, colisões e trajetórias da bola. Essa metodologia proporciona uma abordagem prática e contextualizada, permitindo que os alunos de ensino fundamental e médio vivenciem e compreendam os princípios Físicos por trás do esporte que eles tanto gostam. Além disso, estimular o trabalho em equipe e a criatividade e o pensamento crítico dos discentes. O trabalho tem caráter qualitativo, com o intuito de alcançar um olhar assertivo dos discentes através de uma partida de futebol que os mesmos assistirem.

O futebol é um esporte que envolve muitas leis Físicas, ao investigar o ensino de Física através do futebol, pretende-se identificar como esses conceitos científicos podem ser aplicados e compreendidos de forma mais significativa pelos alunos. Uma das principais vantagens desse estudo é a possibilidade de relacionar experiências do cotidiano dos discentes com os conceitos teóricos da Física. Como por exemplo, ao analisar um chute, é possível discutir as leis de movimento e a transferência de energia cinética durante o impacto da bola com o pé do jogador.

Sendo assim pode ser realizada em diferentes níveis de ensino, desde fundamental ao médio, além disso, pode ser adaptada de acordo com a faixa etária e o nível de conhecimentos dos alunos. É possível utilizar algumas metodologias como práticas em campo, uma análise de vídeos de jogos, diálogos em grupos entre outros. Tendo em vista isso, a investigação do ensino de Física através do futebol é uma forma inovadora e motivadora de ensinar ciência, utilizando o esporte como uma ferramenta para aproximar os conceitos Físicos da realidade dos alunos.

6 RESULTADOS ESPERADOS

Entende-se que ensinar Física através de eventos e situações de interesse do cotidiano dos alunos pode configurar um método eficiente para o interesse, e assim alcançar atenção e despertar sobre eles a curiosidade. Podendo apresentar pra eles os conceitos físicos presentes nos esportes, principalmente no futebol que é um dos esportes mais apaixonantes e que, senão todos, mais quase todos os alunos de ensino fundamental e médio gostam. Portanto, saindo dessa concepção os métodos de ensinar os conceitos Físicos através de jogos de futebol podem contribuir significativamente no entendimento e compreensão dos alunos, esperamos como resultado desse trabalho que os discentes, por intermédio de esportes, principalmente do jogo de futebol sejam capazes de compreender os conceitos de maneira simples e correta, além disso, espera-se facilitar os mesmos para uma visão crítica e inovadora de interesse pela ciência.

Ao aplicar Física no futebol os discentes têm a oportunidade de relacionar conceitos abstratos com situações do mundo real, tornando o aprendizado mais envolvente e significativo. Estimular a criatividade e o pensamento dos discentes sobre os princípios Físicos aplicados no jogo de futebol, eles serão capazes de entender e compreender os movimentos que a bola e os jogadores fazem durante uma partida.

Logo, ensinar Física através de futebol espera-se que os alunos adquiram um entendimento mais profundo sobre esses conceitos Físicos e tenham um melhor desempenho nos estudos. Todo esse aprendizado é realizado de forma prática fazendo com que os estudantes desenvolvam habilidades de observação e análise, além de despertar a curiosidade científica, essa abordagem também proporciona uma maior conexão entre a teoria Física e a prática, tornando o estudo de Física mais interessante e considerável.

Desse modo, o ensino de Física através do futebol é uma excelente estratégia para despertar o interesse dos alunos pelo o estudo da ciência, tornando o aprendizado mais dinâmico e estimulante. Isto vai muito mais além de ensinar a Física de forma separada, juntando-a com situações que fazem parte do cotidiano dos alunos e determinando uma aprendizagem mais integral e contextualizada.

Para obter dados relativos ao entendimento dos alunos com relação a aplicação dos conceitos Físicos aplicados as jogadas pode-se realizar um questionário antes e após as aulas contextualizadas.

Questionário

01) Você acompanha futebol ou outro esporte que tenha uma bola como objeto de trabalho? Qual é o time que vai a sua torcida?

02) Você joga futebol ou outro esporte que tenha uma bola como objeto de trabalho?

03) Numa partida de futebol o caminho que a bola faz após um chute direto ao gol ou um lançamento é muito importante para se obter êxito na jogada. Qual nome que se dá ao caminho percorrido pela bola?

04) Numa partida de futebol, com frequência, o caminho da bola é mudado após o chute, é o que chamamos de efeito na bola. Com base na física você poderia explicar o porquê disso ocorrer?

05) O lançamento longo na partida é muito importante, pois permite mudar a bola entre posições distâtes e surpreender o adversário. Quais fatores são necessários para que a bola tenha alcance cada vez maior?

06) Como que a força e o movimento podem afetar a trajetória da bola em um chute?

07) Como você explicaria a física na rotação da bola em um chute ao gol e como isso vai afetar a sua trajetória?

08) Como que a resistência do ar e a gravidade influenciam a curva da trajetória da bola em um chute?

09) Qual é a relação da velocidade e da energia em um chute na bola?

10) O que você tem a dizer sobre a importância da aerodinâmica na trajetória de uma bola em cruzamento?

11) Como que a força de um chute pode influenciar na trajetória da bola em um chute de longa distância?

12) Como que é a relação entre a distância percorrida e o ângulo de lançamento da bola em um chute de cobrança de falta?

13) Qual a explicação física na rotação da bola em um chute com efeito no futebol? E qual sua influência na trajetória?

14) Na sua opinião por que a bola de futebol viaja tão longe ao ser chutada por um jogador?

15) Se você gosta de futebol com certeza vai saber essa, porque que o jogador toma distância quando vai bater uma falta?

16) Qual é a relação da força aplicada em um chute com a distância que a bola percorre?

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Carlos Eduardo; RUBINI, Gustavo. A aerodinâmica da bola defutebol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo-SP, v. 26, p. 297-306, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/g7QfmppY4qtZnTPFC6qpQMH/>. Acesso em: 09 set. 2023.
- ARAÚJO, Francineide Lopes *et al.*. O Ensino de Física tendo o tema gerador esporte: Física para a nova geração. In: II Encontro Mineiro Sobre Investigação na Escola, Uberaba-MG, **Anais do II Encontro Mineiro Sobre Investigação na Escola**, v. 74, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34210>. Acesso em: 25 set. 2023.
- BRAZ, T. V. Análise de jogo no futebol: considerações sobre o componente técnico-tático, planos de investigação, estudos da temática e particularidades do controle das ações competitivas. **RBFF - Revista Brasileira de Futsal e Futebol**, São Paulo-SP, v. 5, n. 15, jan/abr. 2013. Disponível em: <https://www.rbff.com.br/index.php/rbff/article/view/172>. Acesso em: 15 out. 2023.
- DUARTE, Marcos; OKUNO, Emico. **Física do futebol: mecânica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- FIGUEIRA, Fabrício Moreira; GRECO, Pablo Juan. Futebol: um estudo sobre a capacidade tática no processo de ensino-aprendizagem–treinamento. **Revista Brasileira de Futebol**, Viçosa-MG, v. 1, n. 2, p. 53-65, 2013. Disponível em: <https://rbf.ufv.br/index.php/RBFutebol/article/view/34/0>. Acesso em: 17 set. 2023.
- FNV Sports, **Gol Olímpico**: conheça a história de um escanteio surpreendente. OneFootball, 2020. Disponível em: <https://onefootball.com/pt-br/noticias/gol-olimpico-conheca-a-historia-de-um-escanteio-surpreendente-31217623>. Acesso em: 23 set. 2023.
- FREEDMAN, Roger; YOUNG, Hugh David., **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 14. ed. São Paulo: Pearson Universidade, 2015. v. 2.
- GUERRA, Isabela; BARROS, Turibio Leite de. **Ciência do futebol**, São Paulo: Editora Manole Saúde, 2004.
- MEDEIROS, Deivid Gomes de. **Efeito Magnus e Aplicações**. Orientador: Reinaldo Faria de Melo e Souza, 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, 2019. Disponível em: http://pef.if.ufrj.br/producao_academica/dissertacoes/2019_Deivid_Medeiros/dissertacao_Deivid_Medeiros.pdf. Acesso em: 18 nov. 2023.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**, 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2018. v. 2.
- PONTES, Renato da Lapa. **Alterações induzidas por diferentes constrangimentos sobre a velocidade da bola e a precisão de remate em jovens futebolistas**. Orientador: Mário Antônio Cardoso Marques, 2010. Dissertação (Mestrado na especialidade de Ciências do Desporto), Departamento de Ciências do Desporto, Universidade da Beira Interior, 2010. Disponível em chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclcfndmkaj/https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/1831/1/Tese%20-

%20Alterac3%a7%c3%b5es%20induzidas%20por%20diferentes%20constrangimentos%20sobre%20a%20velocidade%20da%20bola%20e%20a%20precis.pdf. Acesso em: 23 ago. 2023.

RAMOS, Rita Alexandra Salvador. **Métodos de análise de imagem no estudo de um remate no futebol**. Orientadora: Inês Barbosa, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2021. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/14052/1/Dissertacao.pdf. Acesso em: 29 ago. 2023.

SOUZA JÚNIOR, Osmar Moreira; DARIDO, Suraya Cristina. A prática do futebol feminino no ensino fundamental. **Motriz**, Rio Claro-SP, v. 8, n.1, p. 01-09, jan/abr 2002. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/motriz/article/view/6489>. Acesso em: 19 out. 2023.

SOUZA, Rodrigo Reis de, **A Importância da especificidade no treinamento do futebol**. 15^a Congresso de Iniciação Científica- CONIC, Sindicato das Mantenedoras de Ensino Superior-Semesp, São Paulo-SP, 2008. Acesso em: 16 set. 2023.