

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas  
Departamento de Física  
Graduação em Física

Laura Antonia Barth Martinez

Leis de Newton aplicadas ao voleibol

Florianópolis - Brasil  
04 de Julho de 2019

Laura Antonia Barth Martinez

## **LEIS DE NEWTON APLICADAS AO VOLEIBOL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licencianda em Física e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Orientador: André Ary Leonel

Florianópolis - Brasil

04 de Julho de 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Martinez, Laura Antonia Barth  
Leis de Newton aplicadas ao voleibol / Laura Antonia  
Barth Martinez ; orientador, André Ary Leonel, 2019.  
38 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Físicas e Matemáticas, Graduação em Física, Florianópolis,  
2019.

Inclui referências.

1. Física. 2. Design Educacional. 3. Sequência Didática.  
4. Física do Voleibol.. I. Leonel, André Ary. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Física.  
III. Título.

**Laura Antonia Barth Martinez**

**Leis de Newton aplicadas ao voleibol**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licencianda em Física e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Trabalho aprovado. Florianópolis - Brasil, 04 de Julho de 2019

---

**Prof. Dr. Paulo Rodrigues Machado**  
Coordenador do Curso

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. André Ary Leonel**  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

**Prof. Dr. Juliano Camillo - MEN/UFSC**  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

**Prof. Dra. Marinês Domingues Cordeiro**  
Universidade Federal de Santa Catarina

*A Educação do Brasil, que um dia ela consiga reduzir a desigualdade social.*

## **AGRADECIMENTOS**

- Ao professor Dr. André Ary Leonel pela orientação.
- A minha mãe, Victoria de Barth, por todo amor, dedicação e paciência.
- Ao meu pai, Michael Barth, por não estar mais aqui mas, sempre estar comigo.
- A Eduardo Barbosa Araújo, pelo amor, companheirismo, ajuda e suporte.
- A academia Racer e todos os seus profissionais, meu muito obrigada por me trazer saúde física.
- Aos meus colegas e professores da graduação.
- A todos os membros da banca pela presença, pela leitura e pelas sugestões de melhoria.

*É no problema da educação que assenta o grande segredo do aperfeiçoamento da humanidade.*

–Immanuel Kant

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta uma sequência didática, que foi elaborada levando em conta os princípios do Design Educacional, uma metodologia composta de um desenvolvimento e execução de uma inovação educacional em contextos escolares reais. A etapa de implementação do produto didático se deu ao longo de seis aulas ministradas em uma escola de Florianópolis da rede pública estadual, durante a disciplina de Estágio Supervisionado ofertado pelo departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. O objetivo da realização dessas aulas era auxiliar os alunos na compreensão das Leis da Física através do esporte, mais especificamente o voleibol. Ao abordar o conteúdo científico, procurou-se sempre apresentar os fenômenos presentes do vôlei antes de mostrar os conceitos teóricos aplicados a ele, fazendo uso de uma perspectiva dialógica, valorizando o conhecimento prévio do aluno. Para estimular o caráter investigativo do aluno e valorizar outras formas de aprendizado, foram feitas atividades como debates de perguntas e respostas, mostra de recursos áudio-visuais e problemas de lápis e papel. À partir dos desafios enfrentados, sugestões de melhorias como, discutir o efeito magnus na bola, usar uma simulação computacional de lançamento de projéteis e dados de lançamento referentes a três tipos de saque no voleibol, foram propostos para implementações futuras.

**Palavras-chave:** Design Educacional, Sequência Didática, Física do Voleibol.



## ABSTRACT

The present graduation course work presents a didactic sequence, that was elaborated taking into account the principles of Educational Design, a methodology composed of a development and execution of an educational innovation in real school contexts. The implementation stage of this didactic product was given during six classes taught in a public state school of Florianópolis, during the course of Supervised Internship offered by the Department of Physics of the Federal University of Santa Catarina. The purpose of these classes was to assist students in understanding the Laws of Physics through sport, more specifically in volleyball. In addressing the scientific content, it was always tried to present the phenomena of volleyball before showing the theoretical concepts applied to it, making use of a dialogical perspective, valuing the previous knowledge of the student. To stimulate the investigative character of the student and to value other ways of learning, activities such as, question-and-answer debates, audio-visual resource displays and pencil and paper problems were made. From the faced challenges, improvement suggestions such as, discussion of the magnus effect on the ball, use of a computational simulation of projectile and data regarding three types of volleyball serve, were proposed for future implementations.

**Key-words:** Educational Design, Didactic Sequence, Physics in Volleyball.

## CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	11
2	FUNDAMENTAÇÃO . . . . .	13
2.1	Design Educacional . . . . .	13
2.2	Princípios que orientam a Produção da Sequência . . . . .	14
2.2.1	Currículo intercultural . . . . .	14
2.2.2	Metodologia de ensino . . . . .	14
2.2.3	Relação entre contextos e conceitos científico . . . . .	15
2.2.4	Problematização . . . . .	15
2.2.5	Atividades . . . . .	15
3	SEQUÊNCIA DIDÁTICA . . . . .	17
3.1	Primeira Aula: Grandezas envolvidas no jogo . . . . .	17
3.2	Segunda Aula: Leis de Newton aplicadas a jogadas e movimentos de vôlei . . . . .	19
3.3	Terceira aula: Trajetória de lançamento da bola . . . . .	22
3.4	Quarta aula: Saques Jornada nas estrelas, Flutuante e Viagem ao fundo do mar . . . . .	23
3.5	Quinta aula: Em qual saque o tempo da bola no ar é minimizado? . . . . .	24
3.6	Sexta aula: Atividade . . . . .	25
4	REFLEXÃO . . . . .	26
5	CONCLUSÃO . . . . .	29
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	30
6	APÊNDICE . . . . .	31
6.1	Cálculo dos parâmetros de cada saque . . . . .	31
6.2	Atividade Avaliativa . . . . .	33
6.3	Efeito Magnus . . . . .	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – As cinco etapas do Design Educacional: design, implementação, validação, avaliação e re-design. Fonte: Pietrocola (2017). . . . .	13
Figura 2 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da inércia - fundamento do vôlei: bloqueio. Fonte: Dicionário Olímpico. . . . .	20
Figura 3 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da dinâmica - fundamento do vôlei: saque. Fonte: Dicionário Olímpico. . . . .	21
Figura 4 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da ação e reação - fundamento do vôlei: manchete. Fonte: Dicionário Olímpico. . . . .	21
Figura 5 – Jogador de vôlei realizando uma manchete. . . . .	34
Figura 6 – Saque . . . . .	34
Figura 7 – Manchete . . . . .	35
Figura 8 – Bloqueio . . . . .	35
Figura 9 – Rodrigão e Serginho . . . . .	35
Figura 10 – Efeito Magnus com rotação superior na bola. Fonte: Wikimedia Commons. . . . .	36
Figura 11 – Efeito Magnus com rotação inferior na bola. Fonte: Wikimedia Commons. . . . .	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de lançamento de cada saque. . . . .	25
--	----

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo do curso de Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é enfatizado como o sistema de ensino-aprendizagem está defasado e que já não serve mais para atender as necessidades de aquisição de conhecimento. Em um contexto pedagógico chamamos isso de ensino tradicional, onde o aluno é um mero receptor de informações novas, sem muito refletir sobre eles.

Quando se fala em aluno, muitas vezes, desconsidera-se sua heterogeneidade. É necessário desvincular-se da visão do perfil universal de aluno, e reconhecer que ele está inserido em contextos sociais, históricos e culturais. Como alunos são vistos de forma idealizada, programas curriculares são fechados e saturados de informações de pouca relevância, isso faz com que o ensino seja visto como algo genérico e homogêneo, prejudicando a formação do aluno. Assim, uma possibilidade que a academia na área da educação tenta ensinar aos acadêmicos em formação e a comunidade de professores universitários formados é, tentar organizar o conhecimento por temas geradores. Apresentando a relevância científica desses temas para compreender situações da realidade social, ambiental, tecnológica e pessoal.

Outro aspecto que pode se ter em conta para tentar romper visões hegemônicas, tradicionais e cristalizadas com relação ao cenário pedagógico é que os discentes devem considerar o conhecimentos prévios dos alunos. O senso comum e/ou cultural são tipos de conhecimentos que levam às concepções alternativas que os alunos possuem sobre determinados assuntos. Estas possuem aspectos interessantes, pois é possível verificar a origem de suas hipóteses sobre diversos temas. Compreendendo isso, o professor pode usar essas concepções para elucidar conteúdos didáticos, como fonte de motivação ou como material para aulas de ciências. O questionamento que surge acerca desta forma de ensinar parte da ideia de que senso comum e ciência são opostos. Qual a melhor forma de trabalhar em sala de aula? Romper o senso comum para torná-lo conhecimento científico, ou construir ciência contrastando com o senso comum? Uma proposta que tenta trabalhar de forma harmônica com ambos os conhecimentos é a alternância entre abordagem dialógica e de autoridade (AGUIAR JR, 2018). A dialogicidade é a abordagem que nos faz conversar, abrir um diálogo, com o conhecimento do aluno. Já a abordagem de autoridade seria a que se enfatiza a ciência e valoriza o conhecimento científico evitando uma relativização do conhecimento.

A relação do professor com o conhecimento científico também deve ser levada em consideração, quer dizer, ele não pode ensinar aos alunos somente o que está escrito nos livros, é necessário saber como o conhecimento surgiu. Na forma tradicional de ensino, para se explicar o contexto de uma situação científica, parte-se primeiramente dos conceitos científicos. O problema dessa forma de ensino desmotiva os alunos pois, eles não conseguem entender a aplicação e a utilidade desse ensino no seu dia-a-dia (DELIZOICOV, 2001). Uma forma mais significativa de aprendizagem seria a partir dos contextos científicos para desenvolver e explicar os conceitos necessários, isso estimula a atitude investigativa e não promove o afastamento entre a escola e o cotidiano onde vivem.

A contextualização científica pode ser decorrente de um problema histórico, tecnológico, social e pessoal/cotidiano para compreender algum aspecto da realidade, isso é chamado de problematização (AGUIAR JR, 2018; FREIRE, 2014). É nessa perspectiva que levamos em consideração e buscamos suporte nas ideias de Paulo Freire, principalmente nas categorias dialogicidade e problematização. Percebendo a dialogicidade como caminho para estruturar as interações e o trabalho colaborativo e a problematização como forma de aproximar as diversas leituras do mundo dos estudantes, aflorando, assim, seus conhecimentos e saberes, que estão permeando a comunicação, os quais são constituídos de histórias e vivências particulares (LEONEL et al., 2015; FREIRE, 2014):

O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese (seja em torno de um conhecimento científico e técnico, seja de um conhecimento experiencial), é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la (FREIRE, 2014, p.65).

Todo tema de aula pode ter uma problematização por trás pois, é ela que vai guiar a elucidação daquele novo conhecimento adquirido.

Para evitar a habitual aula do professor escrever no quadro negro/quadro branco com giz/pincel e os alunos copiarem o conteúdo em seus cadernos, pode-se desenvolver atividades usando os suportes como debate, leitura, experimentos, problemas de lápis e papel, imagens, vídeos e simulações computacionais. A mistura

da utilização dessas atividades em sala de aula cria um caráter investigativo nos alunos, gera um aprendizado compartilhado, estimula o uso da linguagem científica e proporciona uma maior autonomia por parte dos alunos, sem desconsiderar o papel do professor como mediador (AGUIAR JR, 2018).

Este trabalho de conclusão de curso, tem como objetivo sugerir uma sequência didática levando em conta as reflexões feitas acerca da quebra de hegemonia do ensino tradicional. A ideia surgiu a partir de reflexões feitas durante a disciplina de Estágio Supervisionado para o Ensino de Física C, enquanto estagiária do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, assumindo a regência em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio. O estágio foi realizado no segundo semestre de 2018, em uma escola pública da rede estadual de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis. O estágio consistiu de dois momentos, seis aulas de observação e seis aulas de prática. A autora deste trabalho de conclusão de curso foi a estagiária que observou e ministrou as aulas, planejadas juntamente com os professores supervisor e orientador.

Antes das seis aulas de observação do estágio, o professor da escola informou que a turma era indisciplinada devido ao não cumprimento das regras de convívio em sala de aula. A falta de disciplina tem origens complexas, de natureza histórica, psicológica e metodológica e durante a análise das aulas se constatou um quadro de falta de disciplina, mas seria necessário mais tempo de apuração para fazer um diagnóstico mais preciso da insubordinação.

Em algumas situações os alunos ficavam sem aulas porque algum professor de outra disciplina faltava por motivo de força maior. Então, enquanto aguardavam a aula seguinte, os alunos ficavam no pátio da escola jogando futebol, basquete ou vôlei. Assim, usar uma prática do cotidiano para lecionar poderia ajudar os alunos a compreenderem melhor a Física, tornando-a mais atrativa e assim facilitar sua compreensão.

Em cima da identificação de falta de interesse no conteúdo, decidiu-se montar o planejamento de aulas a partir de alguma prática esportiva do dia a dia dos adolescentes. Em uma votação, antes do início das práticas, expuseram-se três modalidades esportivas, entre elas, futebol, basquete e vôlei. A turma pronunciou-se, em maioria, pela Física aplicada ao vôlei. A programação de seis aulas engloba os seguintes temas: as grandezas físicas envolvidas no jogo; as leis de Newton aplicadas a jogadas e movimentos do jogo; o estudo da peculiaridade dos saques, Jornada nas estrelas, Flutuante e Viagem ao fundo do mar; e em qual saque o tempo da bola no ar é minimizado?

Este trabalho possui quatro capítulos com a seguinte divisão: fundamentação, sequência didática, reflexão e conclusão. A fundamentação teórica utilizada para a elaboração desta sequência didática é o design educacional. Uma metodologia intervencionista, que combina aspectos teóricos da pesquisa com ambientes de aprendizagem. Suas etapas e princípios, inspirados por Aguiar Jr (2018), serão explicados no capítulo dois. A sequência didática sobre a aplicação da Física no voleibol está descrita em mais detalhes no capítulo três desse trabalho. Observações, críticas e sugestões de melhoria para essa sequência foram exploradas no capítulo quatro. Por fim, no último capítulo, na Conclusão, será feita uma explanação do que se pode concluir com o trabalho a partir da elaboração e análise da sequência didática apresentada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 DESIGN EDUCACIONAL

Design Educacional (D.E) é uma metodologia intervencionista, que combina aspectos teóricos da pesquisa com ambientes de aprendizagem. A metodologia do D.E compõe-se de um produção e execução de uma inovação educacional em contextos escolares reais, com o objetivo de gerar melhorias no ensino e na aprendizagem dos alunos e fazer uma aproximação entre pesquisadores acadêmicos e professores escolares (AGUIAR JR, 2018). As inovações educacionais podem ser uma inovação curricular ou o desenvolvimento de sequências didática (S.D). Nesse texto vamos nos referir a D.E no desenvolvimento de uma S.D.

Durante a elaboração de uma S.D, exige-se do pesquisador um domínio entre referenciais teóricos-metodológicos e conhecimentos do conteúdo e práticas de ensino. Em suma, o pesquisador tem o papel de coordenar o processo como um todo, desde a concepção de uma ideia inovadora até a sua aplicação efetiva no contexto real. Lijnse (2010) define o papel do pesquisador sobre a S.D:

Na pesquisa baseada em design, o papel do pesquisador é de um participante ativo do projeto. Ele não é apenas o que estuda o que está acontecendo nas salas de aula, mas é o primeiro a moldar seu objeto de dentro do processo. Na verdade, ele realiza um experimento de ensino, no qual ele é responsável pelo design didático, pela formação de professores, pelos testes, pela implementação e assim por diante. Como consequência, o principal resultado desta pesquisa é o processo de aprendizagem do conhecimento didático relativo aquele conteúdo 'alvo' de ensino. O pesquisador deve ter conhecimento sobre as abordagens didáticas usuais a respeito daquele tema e, também, da literatura relevante e ideias teóricas que ele quer aplicar. Além disso, ser capaz de desenvolver e justificar uma nova abordagem didática e, acima de tudo, projetar uma sequência de ensino de tal forma que os professores sejam capazes e dispostos a colocar suas ideias em prática como deveria (LIJNSE, 2010, p.146).

A elaboração de uma S.D é cíclica por etapas, a seguir conforme a Figura 1 iremos explicar estes processos.

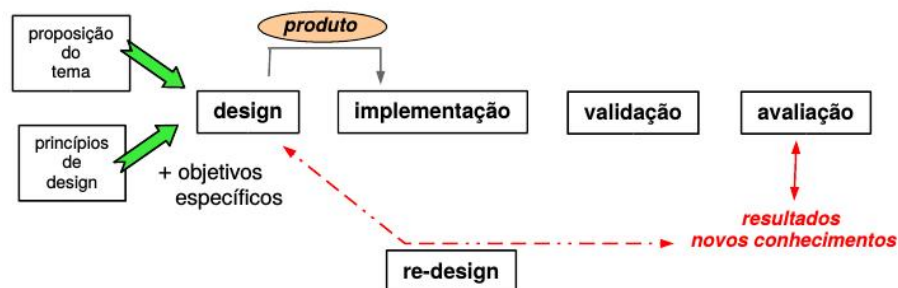


Figura 1 – As cinco etapas do Design Educacional: design, implementação, validação, avaliação e re-design. Fonte: Pietrocola (2017).

- A etapa do design é a preparação de um produto educacional, ou seja, um material didático contendo uma série de instruções para a implementação. Ela é constituída da seleção de um tema, das teorias metodológicas que serão utilizados e dos objetivos específicos, que servem para ensinar aspectos particulares daquele conteúdo escolhido.
- Na etapa da implementação o professor aplica o produto do design em um contexto educacional real, as escolas. A importância dessa etapa é a geração de dados práticos para futuras análises.
- A etapa da validação, valida se a S.D foi fiel aos objetivos traçados inicialmente e as metodologias utilizadas. Analisa-se o que funcionou ou não durante a implementação.
- A etapa da avaliação é composta por três critérios de qualidade: a validade, a efetividade e a praticidade da sequência didática. Nieveen et al. (1999) define esses conceitos, afirmando que:

a validade refere-se ao grau em que o projeto de intervenção se baseia no conhecimento (estado da arte do conhecimento), e em que vários componentes da intervenção estão constantemente ligados uns aos outros (validade de constructo) e pode adequadamente ser avaliada por peritos em avaliação. Praticidade refere-se ao grau com que os usuários (e outros especialistas) consideram a intervenção atraente e utilizável para condições "normais". Eficácia refere-se ao grau em que as experiências e os resultados da intervenção são consistentes com os objetivos pretendidos (NIEVEEN et al., 1999, p.10).

- A última etapa é o re-design, ou seja, é feito um re-planejamento da S.D com base na avaliação. As alterações podem ser consideradas sugestões para próximas implementações, visando ao melhoramento do material didático.

Ao abordar a fundamentação do D.E cabe destacar os princípios que orientam a produção de sequências de Ensino de Física orientadas pela pesquisa já elencados por Aguiar Jr (2018).

## 2.2 PRINCÍPIOS QUE ORIENTAM A PRODUÇÃO DA SEQUÊNCIA

Nesta seção serão detalhados os princípios teóricos metodológicos, inspirados no autor Aguiar Jr (2018), os quais julgamos pertinentes que sejam levados em consideração no momento da elaboração da S.D.

### 2.2.1 Currículo intercultural

O conceito de um currículo intercultural seria considerar a diversidade, quer dizer, reconhecer que os sujeitos possuem uma identidade cultural própria. Uma sociedade democrática é composta de multiplicidade humana, o que resulta numa cultura plural, sendo assim é necessário que a escola como instituição formadora, tenha um diálogo aberto com todas elas. Uma das maneiras de se ter um diálogo aberto entre os membros escolares é reorganizar o currículo levando em conta a pluralidade dos alunos. Segundo (LIBÂNEO, 2001):

Uma educação intercultural requer que as decisões da equipe escolar sobre objetivos escolares e organização curricular reflitam os interesses e necessidades formativas dos diversos grupos sociais existentes na escola: a cultura popular, o urbano e o rural, a cultura dos jovens, a cultura de homens e mulheres, de brancos e negros, das minorias étnicas, dos alunos com necessidades especiais (LIBÂNEO, 2001, p.140).

Programas curriculares continuarão a serem fechados e repletos de informações de pouca relevância se o contexto social, histórico e cultural dos alunos não for levado em conta. Isso acarreta um ensino abstrato e uniforme, prejudicando o aprendizado (OLIVEIRA, 1999).

A comunidade acadêmica pode trabalhar em conjunto com os professores das escolas para reorganizar a estrutura curricular por temas geradores. Auxiliando na elaboração de novos produtos educacionais, que levem em conta a importância científica de temas relevantes da realidade social, ambiental, tecnológica e pessoal (AGUIAR JR, 2018).

### 2.2.2 Metodologia de ensino

Não basta somente fazer alterações no currículo formal, é necessário também reorganizar o ambiente de aprendizado, mais especificamente a metodologia de ensino. Os professores precisam considerar que os alunos trazem consigo um conjunto de valores, crenças e modos de agir, resultados de aprendizados informais que são chamados de senso comum ou também de concepção alternativas.

Essas concepções podem trazer aspectos intrigantes no sentido de verificar a origem de suas hipóteses sobre variados temas científicos. Os alunos extraem informações científicas através do cinema, da televisão, da internet, das redes sociais, de vídeos, do rádio, das revistas, dos jornais, conversas entre adulto e amigos. O docente pode ajudar o aluno a adquirir instrumentos conceituais e novas formas de pensar para interpretar a realidade que o cerca. Conteúdos didáticos podem e devem ter uma conexão com o cotidiano cultural, pois isso gera uma motivação nos alunos.

Mas, como trabalhar em sala de aula com o fato de que senso comum e ciência são opostos? Qual a melhor forma, fazer uma ruptura epistemológica entre senso comum e conhecimento científico como sugere o filósofo francês Bachelard (1972) ou construir ciência escolar contrastando com o senso comum? O D.E proposto



por Aguiar Jr (2018) busca trabalhar de forma harmônica entre ambos os conhecimentos, ele propõem uma alternância entre a abordagem dialógica e de autoridade. A dialogicidade é a abordagem que nos faz conversar, abrir um diálogo, com o conhecimento do aluno. Já a abordagem de autoridade seria a que se enfatiza a ciência e valoriza o conhecimento científico evitando uma relativização do conhecimento. O objetivo dessa alternância é a estabilização gradual das ideias científicas juntamente com o bom entendimento entre suas relações com conceitos cotidianos.

### 2.2.3 Relação entre contextos e conceitos científico

Quando o professor não leva em conta o conhecimento prévio que o aluno possui pode ocorrer o que Resnick (1987) chamou de encapsulamento da aprendizagem escolar, uma descontinuidade entre a aprendizagem escolar e o que se aprende fora dela. Assim, a forma como os conteúdos científicos devem ser abordados em sala de aula também deveriam ser alterados. Para Aguiar Jr (2018) existem duas formas de relacionar contextos e conceitos científicos.

As relações entre contextos e conceitos científicos podem se dar de duas formas. A primeira, tradicionalmente mais presente na organização didática de conteúdos científicos, consiste em partir da estrutura conceitual das disciplinas científicas para delas incluírem contextos de aplicação. A segunda abordagem, aqui adotada, inverte esta lógica, partindo de temas e contextos para deles desenvolverem conceitos (AGUIAR JR, 2018, p.19).

Na forma tradicional de ensino, para se explicar um contexto científico parte-se inicialmente dos conceitos, o aluno precisa ver o conteúdo como um todo para poder compreender um fenômeno. A dificuldade que os alunos encontram é que eles não conseguem compreender aonde esse conteúdo se aplica em seu dia-a-dia. Uma maneira mais eficiente de aprender seria partir dos contextos para avançar lentamente nas explicações dos conceitos científicos.

Engeström (2002) sugeriu que o encapsulamento da aprendizagem escolar deve ser rompido elaborando os conteúdos curriculares por temas geradores. Em sala de aula, esses temas devem vir de aplicação da científica, da tecnológica, da sociedade, da cultura, da economia e do ambiente, devendo ser dados de forma crítica e como uma descoberta, dessa maneira o aprendizado do aluno se torna autônoma e não promove o isolamento entre escola e o cotidiano onde se vive.

### 2.2.4 Problematização

Quando se quer entender um fenômeno, seja ele social, histórico, tecnológico, pessoal ou cotidiano surgem perguntas, essas perguntas promovem uma busca para solucionar problemas. A compreensão dessa elucidação de problemas promove o conhecimento, quer dizer, é através da busca de soluções para problemas que emerge o conhecimento. Conforme indica BACHELARD (1977):

Para um espírito científico, todo o conhecimento é resposta a uma questão. Se não houver questão, não pode haver conhecimento científico. Nada ocorre por si mesmo. Nada é dado. Tudo é construído (BACHELARD, 1977, p.148).

Se na vida de um cientista a busca pelo conhecimento se dá através de procurar respostas para problemas, na educação não deveria ser diferente. A problematização em sala de aula também pode guiar os estudantes na elucidação de um novo conhecimento científico adquirido. Porém, o ideal para articular os conceitos através de problemas no ensino-aprendizado, seria que tanto a especificação dos problemas a serem abordados quanto a conceituação específica a ser incluída na programação já estivessem elaborados (GEHLEN; DELIZOICOV, 2016). Por esse motivo é tão importante a criação e a elaboração de produtos educacionais como as S.D baseadas em D.E.

### 2.2.5 Atividades

A realização de atividades feitas em sala de aula pelos alunos é de suma importância para o processo da construção do conhecimento científico, entretanto a grande maioria se resume na resolução de listas de questões e exercícios de lápis e papel retirados do livro-texto adotado (DELIZOICOV, 2001). Aplicar somente esse tipo de atividade em sala de aula desenvolve a memorização mecânica de fórmulas matemáticas, o que desvaloriza as

outras potencialidades que o estudante pode aprimorar. O aluno pode desenvolver suas competências através de vários aspectos, como por exemplo o visual, vendo imagens ou assistindo a vídeos; no aspecto da leitura, lendo livros, revistas e jornais; no aspecto tecnológico, tentando entender um modelo científico criando numa simulações computacional e no aspecto da fala, debatendo temas científicos relevantes e controversos. A mistura da utilização dessas atividades em sala de aula cria um caráter investigativo nos alunos, gera um aprendizado compartilhado, estimula o uso da linguagem científica e proporciona uma maior autonomia por parte dos alunos, e sem desconsiderar o papel do professor como mediador (AGUIAR JR, 2018). Além de desenvolver habilidades investigativas, é importância enfatizar também que essa variabilidade de metodologias de ensino e aprendizado pode proporcionar a variabilidade de estabilizações cognitivas.

A S.D proposta no capítulo três desse trabalho foi elaborada durante a disciplina de Estágio Supervisionado, ela teve como objetivo auxiliar os alunos na compreensão das Leis da Física através do esporte, mais especificamente o voleibol. Durante a etapa do design tentou-se mostrar a relevância científica que as leis de Newton possuem para compreender situações da realidade cotidiana que os alunos vivem. A etapa de implementação desse produto educacional se deu para uma turma de primeiro ano do Ensino Médio de uma Escola Pública da cidade de Florianópolis. Ao final da intervenção prática do estágio, o que nesse contexto quer dizer a etapa da validação, pode-se verificar quais são os pontos fracos e fortes dessa S.D. Desta forma, no capítulo quatro sugere-se algumas melhorias na sequência para futuras implementações. Nesse momento a S.D se encaminha para a etapa da avaliação, quer dizer, membros da academia e da educação irão avaliar a praticidade e a eficiência da produção educacional e verificar se efetivamente se pode executá-la nos ambientes de ensino. Por fim, depois de ser inspecionado irá para a etapa do re-design, onde serão levados em conta as críticas e orientações de aperfeiçoamento do material didático.

### 3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A ideia dessa sequência didática surgiu das reflexões feitas durante a disciplina de Estágio Supervisionado para o Ensino de Física C, do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, com uma turma de primeiro ano do Ensino Médio. A professora estagiária dessa turma é a autora desse trabalho de conclusão de curso. O estágio foi realizado no segundo semestre de 2018, em uma escola pública da rede estadual de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis.

O conteúdo programático dessa sequência didática de seis aulas engloba os temas: as grandezas físicas envolvidas no jogo; as leis de Newton aplicadas a jogadas e movimentos do jogo; o estudo da peculiaridade dos saques, Jornada nas estrelas, Flutuante e Viagem ao fundo do mar; e em qual saque o tempo da bola no ar é minimizado?

#### 3.1 PRIMEIRA AULA: GRANDEZAS ENVOLVIDAS NO JOGO

##### 1. Objetivos

- Objetivo geral: mostrar os princípios básicos da física através do voleibol.
- Objetivos específicos:
  - a) Mostrar vídeos com alguns fundamentos do vôlei: saque, manchete, ataque;
  - b) Perguntar e debater sobre as grandezas envolvidas, levando o aluno a um processo de reflexão e descoberta;
  - c) Identificar, descrever e definir as grandezas envolvidas.

##### 2. Conteúdos

- Forças;
- Velocidade;
- Aceleração;
- Impulso.

##### 3. Desenvolvimento

A primeira aula da sequência sobre física aplicada ao vôlei tem uma característica interativa/dialógica, por ser o primeiro contato dos estudantes com o trabalho, visa levar os alunos a uma discussão, um processo de reflexão e descoberta.

Para a abertura do tema foi mostrada uma sequência de vídeos que descreve a teoria dos fundamentos do voleibol, em especial foram mostrados o saque, a manchete e o ataque. Essas produções audiovisuais foram retiradas de um canal no Youtube chamado Sikana Brasil, um canal educativo que compartilha conhecimento práticos sobre diversos tópicos do esporte. Os links para esses vídeos podem ser encontrados no subtítulo, *Referências*, dessa aula.

O intuito de mostrar esses vídeos foi de fazer com que os alunos, através de perguntas, identifiquem as grandezas envolvidas no jogo. Durante a discussão das perguntas, a professora expôs as respostas dessas questões no quadro branco, a fim de os alunos tomarem nota em seus cadernos. A seguir será mostrado com as questões e as respostas que foram propostas aos estudantes:

- a) No saque, na manchete e no ataque em que direção aponta a gravidade?

Saque: Quando uma bola de vôlei é sacada, o jogador exerce uma força muscular na bola, que vai depender do tipo de saque. Enquanto isso, a gravidade está exercendo uma força descendente na bola. Esta força descendente é o que faz com que a bola caia no lado adversário, depois de atravessar a rede.

Manchete: é considerada um movimento de defesa do vôlei, e é utilizada quando a bola é pega em uma baixa altura, impossibilitando a devolução por toque. Para realizar o movimento, o jogador deve manter os braços e cotovelos estendidos e unidos pelas mãos, além de os joelhos estarem flexionados. Quando o jogador recebe a bola com seu antebraços, a bola terá uma força para cima ou, dependendo da inclinação dos antebraços, uma força para frente. Para dar conta da força descendente da gravidade, aplica-se um impulso para cima na bola, fazendo com que ela passe um longo período de tempo subindo e assim, o jogador alvo terá tempo de se posicionar embaixo da bola. Uma leve flexionada nos joelhos, ajuda a amortecer o impacto da bola e também auxiliam na sua impulsão.

Ataque ou “cravar a bola”: as características desse elemento do vôlei é variado e consiste de movimentos alternados de salto e passe de bola mas, seu objetivo principal é marcar pontos na quadra adversária. Quando se cravar uma bola de vôlei, têm-se a oportunidade de dar um golpe ofensivo e esmagador no oponente. Ao realizar esse movimento exerce-se uma força descendente sobre a bola, de modo que ela caia no lado adversário da quadra, tornando muito difícil para o oponente devolver a bola. A gravidade funciona a favor do movimento, porque também exerce uma força descendente, que faz a bola cair no piso da quadra.

- b) Em qual fundamento do vôlei, o jogador não precisa aplicar uma força muscular tão grande na bola? No ataque porque, a força muscular aplicada na bola e a gravidade estão atuando na mesma direção descendente.

- c) Quais são as forças que estão atuando num jogo de vôlei?

A força que o jogador aplica sobre a bola é uma força mecânica proveniente do esforço e movimento muscular do esportista.

O ar pode exercer um movimento restritivo na bola, podemos chamar essa ação de resistência do ar. Ela atua no sentido contrário ao movimento de um objeto.

Quando um jogador de vôlei está em contato com a solo da quadra, ele está submetido a uma força de contato perpendicular à superfície, chamada de normal.

Durante o intervalo de cada pontuação marcada pelos jogadores, o chão da quadra é secado. Esse procedimento é feito para evitar que os jogadores escorreguem no chão molhado de suor, diminuindo, uma força que chamamos de atrito. Ela também é uma força de contato, mas atua quando dois corpos entram em tendência ao movimento. Ela é sempre paralela às superfícies em interação e contrárias ao movimento relativo entre elas e está relacionada com a rugosidade dos corpos.

A gravidade tem impacto em todos os elementos do vôlei, quer se esteja sacando, dando uma manchete ou fazendo um movimento de ataque no adversário, ela afetará todas as interações com a bola. A força gravitacional ou força de atração, confere uma atração dos objetos ao centro da terra, fazendo eles adquirem aceleração e assim, caindo ao solo.

- d) Se a força gravitacional não existisse, o que aconteceria com a bola quando ela é jogada para o alto? Sem a força gravitacional, uma bola de vôlei quando jogada para o alto não voltará mais ao solo.
- e) Como saber a velocidade da bola num saque?

Pode-se descobrir a velocidade de um saque, dividindo a distância percorrida pela bola pelo tempo que levou para chegar ao outro lado da quadra. Por exemplo, um jogador sacou a bola e ela percorreu 12 m e levou um tempo de 1,2 s para atravessar a rede e chegar na quadra adversária. Para encontrar a velocidade, divide-se 12 m por 1,2 s, então a velocidade do saque é de 10 m/s. Quanto maior a velocidade, mais difícil é para o oponente rebater a bola, porque o tempo de reação do ser humano é pequeno.

$$\text{velocidade da bola} = \frac{\text{distância percorrida pela bola}}{\text{tempo de duração do saque}} \quad (3.1)$$

- f) A velocidade da bola é sempre a mesma ou ela muda?

Vamos dizer, que um jogador sacou a bola e ela passou por cima da rede. Desconsiderando a resistência do ar, ela está caindo sobre a influência da força gravitacional, que está alterando a componente vertical de sua velocidade.

g) Por que é necessário dobrar os joelhos ao receber a bola na manchete?

Para responder essa pergunta vamos considerar um exemplo análogo retirado de um livro de Física de volume único dos autores Máximo Antônio e Alvarenga (2011).

Considere dois ovos de mesma massa abandonados em queda livre de uma mesma altura, um cai sobre uma almofada e outro sobre o chão. O ovo que cai no chão quebra e o que cai na almofada não, mas o produto entre a força e o tempo de colisão é o mesmo em ambos os casos. Uma pequena força aplicada durante muito tempo pode provocar o mesmo impulso que uma força aplicada durante pouco tempo. Logo, o impulso é o produto da força com o tempo de colisão, como mostrado na equação abaixo:

$$I = F \cdot \Delta t. \quad (3.2)$$

O tempo de colisão com a almofada é consideravelmente maior, de forma que a força de interação ovo-almofada é consideravelmente menor. Já na interação ovo-piso o tempo de colisão é menor e a força de impacto com o solo é maior, fazendo o ovo quebrar.

De forma análoga podemos analisar o por que o jogador precisa flexionar os joelhos ao receber a bola na manchete. Assim, ao flexionar os joelhos, se amortece a força com que a bola chega nos antebraços aumentando o tempo de interação na colisão entre a bola e o braço do jogador. Se as pernas fossem mantidas totalmente esticadas, elas poderiam quebrar com o impacto da bola.

#### 4. Referências

- UNISPORT BRASIL. Fundamentos do vôlei: da teoria à prática. Disponível em: <https://blog.unisportbrasil.com.br/fundamentos-do-volei-da-teoria-a-pratica/>. Acesso em 14 de outubro de 2018.
- Sikana Brasil. Saque por baixo e saque por cima|Vôlei. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QdgcOZyKQTU>. Acesso em: 14 de outubro de 2018.
- Sikana Brasil. Manchete|Vôlei. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mi4m0tUhm0w>. Acesso em 14 de outubro de 2018.
- Sikana Brasil. Ataque|Vôlei. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qmAmwQIPO9s>. Acesso em 14 de outubro de 2018.

### 3.2 SEGUNDA AULA: LEIS DE NEWTON APLICADAS A JOGADAS E MOVIMENTOS DE VÔLEI

#### 1. Objetivos

- Objetivo geral: explicar as três Lei de Newton através do voleibol.
- Objetivos específicos: Mostrar três imagens do vôlei onde as leis de Newton se aplicam.

#### 2. Conteúdos

- Primeira lei de Newton: Inércia;
- Segunda lei de Newton: Fundamento da Dinâmica;
- Terceira lei de Newton: Ação e Reação.

#### 3. Desenvolvimento

Para essa aula foram exibidas três imagens dos fundamentos do vôlei: o bloqueio, o saque e a manchete. As leis de Newton eram anunciadas no quadro para os alunos e cada lei estava relacionada com um fundamento do vôlei. A seguir será exposto como foi explicado o conteúdo dessa aula para os alunos.

As leis do movimento de Newton são três leis físicas que formam a base da mecânica clássica e descrevem a relação entre as forças que agem sobre o corpo e seu movimento devido a essas forças. As leis de Newton afetam todos os aspectos da vida, portanto afetam muito o vôlei e todos os outros esportes.

A primeira lei de Newton afirma que:

Todo objetivo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, amenos que seja obrigado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele (HEWITT, 2000, p.48).



Figura 2 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da inércia - fundamento do vôlei: bloqueio. Fonte: [Dicionário Olímpico](#).

Como pode ser visto na Figura 2, a bola possui uma certa velocidade mas, ela será impedida pelos levantadores, que vão realizar uma ação de bloqueio. No vôlei, a bola continuará parada ou em movimento retilíneo uniforme (MRU) a não ser que seu movimento seja modificado por um agente (ou força) externo, no caso do vôlei esse agente pode ser, a rede, o chão da quadra ou o antebraço de um jogador.

Para auxiliar o professor na explicação sobre a lei da inércia, pode-se usar como referência a citação de Silva (2018), do seu artigo intitulado de *A primeira Lei de Newton: uma abordagem didática*. Note que essa citação é apenas dirigida ao professor que irá conduzir a aula, pois ela serve para elucidar o enunciado da primeira lei.

É imprescindível que o aluno (do ensino superior) entenda que a segunda lei de Newton nos diz como se dá a dinâmica do sistema quando sujeito a força resultante, mas não nos diz nada sobre como se dá essa dinâmica quando o sistema está livre de força resultante. Sem a primeira lei de Newton não sabemos como é o movimento de um corpo com aceleração nula. É a primeira lei de Newton que imporá que nesse caso o movimento será retilíneo e uniforme. Ao impor que o movimento livre de força resultante é MRU, qualquer movimento diferente deste será, necessariamente, acelerado.

Newton chamou de inércia a capacidade que um corpo tem de resistir à mudança em seu estado de MRU, mas essa resistência é tão maior quanto maior é a quantidade de matéria que o corpo possui. A inércia, portanto, pode ser vista como uma medida da própria massa inercial de um corpo (SILVA, 2018, p.3).

Logo, para o exemplo do vôlei, quando a velocidade da bola é modificada do seu estado parado ou em MRU, o movimento é necessariamente acelerado. A inércia também está relacionada com a massa de um corpo, quer dizer, quanto maior a massa da bola de vôlei, maior a resistência a modificação de seus estado de MRU.

A segunda lei de Newton afirma que:

A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força externa atuando sobre o objeto e inversamente proporcional à massa do objeto (HEWITT, 2000, p.48).

Como pode ser visto na Figura 3, o jogador imprime uma força na bola, que fará com que ela tenha variação de velocidade, adquirindo uma aceleração.

Outro exemplo da segunda lei pode ser visto quando um jogador de vôlei se movimenta na quadra. Atletas com menos massa são mais ágeis em quadra, quer dizer, podem acelerar e desacelerar com mais rapidez. Esses jogadores assumem, em geral, a posição de líbero, especializados nos fundamentos da recepção e defesa da bola. Já atletas com mais massa precisam de mais tempo ou mais força nas pernas para se locomoverem, por isso é preferível que eles assumam a posição de central em quadra.

Para esse caso, mostramos um exemplo-problema em sala de aula. Se um atleta de vôlei, possui uma massa  $m$  e outro atleta possui o dobro dessa massa,  $2m$ , qual vai ser a relação das forças quando ambos se locomoverem em quadra com a mesma agilidade, quer dizer, mesma aceleração? Usando a segunda lei



Figura 3 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da dinâmica - fundamento do vôlei: saque. Fonte: [Dicionário Olímpico](#).

de Newton, respectivamente, no jogador mais leve e mais pesado, temos que:

$$F_1 = \frac{m_1}{a_1} = \frac{m}{a}; \quad (3.3)$$

$$F_2 = \frac{m_2}{a_2} = \frac{2m}{a}. \quad (3.4)$$

Como eles possuem a mesma agilidade podemos igualar a aceleração de ambas as equações, logo:

$$\frac{m}{F_1} = \frac{2m}{F_2}. \quad (3.5)$$

Desconsiderando a massa, obtemos a relação das forças dos jogadores referentes a movimentação em quadra:

$$\frac{F_2}{F_1} = 2, \quad (3.6)$$

podemos então dizer que, o jogador mais pesado precisa fazer o dobro da força do jogador mais leve para se movimentar em quadra:

$$F_2 = 2 \cdot F_1 \quad (3.7)$$

A terceira lei de Newton afirma que:

Sempre que um objetivo exerce uma força sobre um outro objeto, este exerce uma força igual e oposta sobre o primeiro (HEWITT, 2000, p.48).

Essa lei explica que toda ação cria uma força num certo objeto e que ao interagir com outro cria uma força igual em módulo e direção mas, em sentido oposto. De acordo com a Figura 4, a jogadora recebe a



Figura 4 – Imagem auxiliar para relacionar a lei da ação e reação - fundamento do vôlei: manchete. Fonte: [Dicionário Olímpico](#).

bola com uma certa força. Após ela rebater essa bola, ela sentirá a dor do impacto nos antebraços dela, de módulo igual e sentido oposto a força com que ela recebeu a bola.

### 3.3 TERCEIRA AULA: TRAJETÓRIA DE LANÇAMENTO DA BOLA

#### 1. Objetivos

- Objetivo geral: Discutir a trajetória de objetos submetidos a força gravitacional.
- Objetivo específico: Discutir a trajetória que a bola faz na quadra de vôlei.

#### 2. Conteúdo

- Trajetória parabólica do lançamento oblíquo.

#### 3. Desenvolvimento

Nessa aula foi introduzido o conceito de lançamento parabólico aplicado ao saque no vôlei. Inicialmente foram dadas as dimensões de uma quadra e bola de vôlei, os parâmetros do saque e por fim a notação que foi utilizada para descrever matematicamente o lançamento de uma bola de vôlei. A intenção dessa aula era preparar os alunos para uma diálogo mais rigoroso com o conteúdo visto até agora.

Foi feita uma discussão de qual era a trajetória da bola ao longo da quadra, decompondo o movimento horizontal e vertical. A única força considerada no movimento bidimensional foi a força da gravidade, com aceleração de queda livre, dirigida para baixo.

A seguir, será mostrado como se pretendeu lecionar essa aula:

- a) Inicialmente pensou-se em dizer quais eram as dimensões de uma quadra e bola de vôlei.

As medidas oficiais de uma quadra retangular olímpica de voleibol são, 18 metros de comprimento e 9 metros de largura. A rede é localizada no meio do comprimento da quadra, separando as equipes. Ela possui uma altura,  $h_R$  que varia de 2.24 m para uma equipe feminina e 2.43 m para uma equipe masculina. Uma bola de vôlei possui um raio,  $r_B$  entre 0.10 m e 0.11 m. Esses dados podem ser encontrados do item *Referências* dessa aula.

- b) Em seguida, planejou-se dizer os parâmetros iniciais de um saque e a notação matemática utilizada para descrever a trajetória da bola. Todas as equações podem ser encontradas no livro dos autores Halliday, Resnick e Walker (2017).

O saque de uma bola de vôlei pode ser considerado um movimento bidimensional, quer dizer, há um tipo de movimento na horizontal e outro na vertical e eles são independentes entre si, porque possuem tipos de movimentos distintos. No plano horizontal, a aceleração da bola é nula, quer dizer que o movimento é retilíneo uniforme com velocidade constante. Já no plano vertical, a aceleração da bola é constante, igual á aceleração de queda livre,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ . Em um plano cartesiano,  $x$  denota a distância horizontal que a bola irá percorrer e  $y$  será a altura que a bola atinge.

As condições iniciais do saque serão  $x_0 = 0$  e  $y_0 = h$ , onde  $h$  é a altura a partir da qual a bola é sacada. O saque possui uma velocidade inicial,  $v_0$ , e um ângulo inicial relativo ao solo,  $\theta$ . As componentes horizontal e vertical da velocidade podem ser calculadas, respectivamente, da seguinte maneira:

$$v_{0x} = v_0 \cos(\theta); \quad (3.8)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin(\theta). \quad (3.9)$$

Como a bola se move com velocidade constante na direção- $x$ , o tempo em que a bola está no ar é simplesmente a distância  $d$ , que ela percorre, dividida pela velocidade inicial na direção- $x$ :

$$t = \frac{d}{v_0 \cos(\theta)}, \quad (3.10)$$

a equação 3.10 se aplica para todas as distâncias entre  $0 \leq d \leq 18$  m da quadra de vôlei.

A aceleração na direção- $y$  é constante, logo a a altura que a bola atinge no momento  $t$  pode ser escrita como:

$$y = h + v_0 \sin(\theta)t - \frac{g}{2}t^2. \quad (3.11)$$



c) Por fim, almejou-se demonstrar matematicamente a trajetória de uma bola de vôlei.

O caminho que a bola de vôlei percorre, sua trajetória, é a substituição do tempo da equação 3.10 na equação 3.11:

$$y - h = \tan(\theta)d - \frac{gd^2}{2[v_0 \cos(\theta)]^2}. \quad (3.12)$$

Como,  $g$ ,  $\theta$ ,  $v_0$  e  $h$  são constantes a equação 3.12 pode ser escrita da forma:

$$y = b.d + a.d^2, \quad (3.13)$$

onde,  $a$  e  $b$  são constantes. Essa é a equação da parábola, logo, a trajetória é uma parábola.

#### 4. Referências

- Confederação Brasileira de Voleibol Disponível em:  
<http://2018.cbv.com.br/>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.
- As bolas olímpicas. Disponível em:  
<http://especiais.zh.clicrbs.com.br/especiais/zh-bolas-olimpicas/>. Acesso em : 22 de outubro de 2018.

### 3.4 QUARTA AULA: SAQUES JORNADA NAS ESTRELAS, FLUTUANTE E VIAGEM AO FUNDO DO MAR

#### 1. Objetivos

- Objetivo geral: Discutir os três tipos de saque no vôlei.
- Objetivo específico: Apresentar, com vídeos, três tipos de saque e discutir suas diferenças de lançamento.

#### 2. Conteúdos

- Lançamento quase-vertical: Saque Jornada nas estrelas;
- Lançamento oblíquo: Saque Flutuante;
- Lançamento horizontal: Saque Viagem a fundo do mar.

#### 3. Desenvolvimento

Nessa aula foram mostrados vídeos referentes aos saques, jornada nas estrelas, flutuante e viagem ao fundo do mar. A partir das informações fornecidas e observada nos vídeos, foram discutidas as características históricas, práticas e de lançamento de cada saque. O objetivo dessa aula é introduzir os tipos de saque, para na aula seguinte discutir qual deles possui um tempo mínimo de lançamento. O link dos vídeos pode ser encontrado no item *Referências* dessa aula.

Para auxiliar o professor em sua aula, a seguir, serão dadas as particularidades de cada saque.

a) O saque "Jornada nas Estrelas" é um tipo específico de saque por baixo, no qual a bola é acertada de forma a atingir grandes alturas. Foi batizada com esse nome em homenagem à série *Star Strak*. A jogada foi criada, nos anos 80, pelo ponteiro Bernard nas areias de praia de Ipanema e Copacabana. Bernard informou ao *Jornal do Brasil* em maio de 2005 que:

"começou como uma brincadeira de praia, quando percebi que o sol poderia representar um fator dificultador na recepção de bolas muito altas" (BERNARD, 2005).

Ele resolveu aplicar esse saque no *Maracanãzinho*, durante o torneio de 1982, porque os refletores do ginásio atuavam como os raios solares, interferindo na visão do atleta ao realizar o passe de defesa. Segundo Junior (2012), em seu artigo sobre a história do voleibol brasileiro, o saque atingia mais de 25 metros de altura em descia a 72 km/h, sendo um dos responsáveis pela vitória brasileira frente a União Soviética.

A eficácia desse saque era causada por dois fatores: os refletores do ginásio dificultavam a visualização da bola por parte dos adversários. A velocidade de queda da bola era grande e os jogadores não tinham conhecimento de como recepcionar esse saque. Com o passar do tempo esse saque passou a ser pouco praticado até chegar em desuso, pois atualmente existem saques muito mais velozes.

Analisando a especificidade de lançamento desse saque, nota-se que quanto maior o raio parabólico do movimento, mais tempo a bola permanece no ar, logo esse lançamento possui a menor velocidade e o menor alcance, comparado aos próximos saques que serão vistos. Como ele é jogado praticamente verticalmente para cima, a velocidade inicial precisa ser alta para manter a bola no ar e seu ângulo inicial têm que ser um pouco menor que  $90^\circ$ .

- b) O saque "Flutuante" ou semi-tático é um tipo de saque por cima com salto, o jogador dá um leve salto e toque na bola para sacá-la. A execução desse tipo de saque exige menor força do jogador, por isso ele tem mais incidência no voleibol de alto nível entre as mulheres, e entre os homens utilizado com menor frequência.

O salto não precisa ser tão alto quanto o do saque viagem, a altura da bola deve somar a altura do jogador, a altura do salto e a extensão do braço de ataque na bola.

Como não é necessário imprimir tanta força nesse saque, a velocidade inicial de lançamento é baixa comparada com os outros tipos de saque. O lançamento desse tipo de saque é oblíquo e rasante, logo, seu alcance é obtido com um ângulo inicial menor que  $20^\circ$ .

- c) O saque "Viagem ao Fundo do Mar" é conhecido como um saque em suspensão, onde o jogador deve elevar a bola, correr e cortá-la em direção à quadra adversária.

Segundo Montanaro, um dos jogadores da Geração de Prata da década de 80, em entrevista concedida ao programa Clássicos BandSports, em 6 de janeiro de 2005, o saque em suspensão começou nos treinos com seus companheiros de seleção William e Renan. Eles estavam disputando cortadas no fundo de quadra, e o técnico Bebeto de Freitas sugeriu que eles devessem treinar essas cortadas com um saque, assim esse saque ficou conhecido como Viagem ao Fundo do Mar.

Segundo o documentário "*Viagem - o Saque que Mudou o Vôlei*" lançado em 2013, essa jogada mais ofensiva foi utilizada com sucesso, pela primeira vez, nos Jogos Olímpicos de 1984, em Los Angeles. O Brasil ganhou de 3 a 0 na final contra os Estados Unidos. Os americanos ficaram ofendidos por que, foram pegos de surpresa e ficaram confusos em como se defender do saque.

Segundo a reportagem do Globo Esporte, *A ciência do saque viagem*, para executar essa jogada, o jogador deve saltar um metro acima da rede e atingir a bola com um ângulo inicial de  $0^\circ$ , isso faz com que a trajetória da bola seja rasante, ou seja, tornando o lançamento oblíquo um lançamento horizontal. Ao analisar sua trajetória rasante, a bola atinge o fundo da quadra em um menor tempo comparado a outros saques.

#### 4. Referências

- BRITO, Giovana. A Física aplicada no vôlei – MóBILE – Iniciação Científica 2016/2017. Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=G7qEfvSk9F4>.  
Acesso em 29 de outubro de 2018.
- Globo Esporte. A ciência do saque viagem. Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=x0w0Qlw5qws>.  
Acesso em 29 de outubro de 2018.

### 3.5 QUINTA AULA: EM QUAL SAQUE O TEMPO DA BOLA NO AR É MINIMIZADO?

#### 1. Objetivos

- Objetivo geral: Discutir em qual saque a bola passa menos tempo no ar.

- Objetivos específicos: Revisar a aula anterior e relacionar as grandezas envolvidas no saque com o tempo de lançamento da bola.

## 2. Conteúdos

- Alcance de lançamento;
- Altura de lançamento;
- Velocidade inicial da bola;
- Tempo de lançamento.

## 3. Desenvolvimento

Na penúltima aula dessa sequência sobre física aplicada ao vôlei foi revisado o conteúdo da aula anterior e em seguida foram feitas perguntas que tinham características interativa/dialógicas. O intuito dessa aula era fazer com que os alunos refletissem e descobrissem através do alcance, da altura e da velocidade inicial de lançamento, qual saque tinha o maior e o menor tempo de lançamento.

Ao final da aula foram informados aos alunos os tempos otimizados de cada saque no ar, levando em consideração os parâmetros pré-estabelecidos pelo professor, como a altura de lançamento, a altura máxima e a distância alvo da bola. Na Tabela 1, podemos verificar os parâmetros de cada tipo de saque:

Parâmetros de cada saque	Jornada nas Estrelas	Flutuante	Viagem ao Fundo do Mar
$h$ : altura de lançamento (m)	1.00	3.00	3.70
$y$ : altura máxima (m)	30.0	2.35	2.54
$d$ : distância alvo (m)	10.0	13.5	16.0
$v_0$ : velocidade inicial (m/s)	24.0	12.4	18.4
$\theta$ : ângulo de lançamento	85.0°	12.9°	0.00°
$t$ : tempo de lançamento (s)	4.90	1.12	0.90

Tabela 1 – Parâmetros de lançamento de cada saque.

Os detalhes dos cálculos podem ser encontrados no Apêndice desse Trabalho de Conclusão de Curso.

As perguntas feitas aos alunos foram as que seguem abaixo:

- Qual saque tem maior alcance?
- Qual saque possui maior altura de lançamento?
- Como o salto do saque Flutuante influencia no lançamento da bola? Qual a diferença para o saque Viagem ao Fundo do Mar?
- Por que o saque Jornada nas Estrelas não é mais usado hoje em dia?
- Em qual saque a bola passa mais tempo no ar? Em qual ela passa menos tempo no ar?

### 3.6 SEXTA AULA: ATIVIDADE

Na última aula foi proposta uma atividade para os alunos realizarem em dupla. Todos os exercícios propostos foram vistos em sala de aula e permitiu-se a consulta do conteúdo copiado durante as aulas anteriores. O modelo de atividade que foi aplicado em sala de aula pode ser encontrado na segunda seção do Apêndice desse trabalho.

Nas seis seções que se passaram foi descrito o relato de como as aulas foram ministradas, assim, qualquer correção ou melhoria desta S.D foi relatado no capítulo seguinte da *Reflexão*.

## 4 REFLEXÃO

Neste capítulo serão feitas observações, críticas e sugestão referentes a sequência didática apresentada no capítulo três. Como essa proposta didática já foi aplicada previamente, iremos relatar alguns pontos de cada aula e sugerir melhorias que foram pensadas, mas que não foram adicionadas na prática.

De forma geral, essa sequência didática já realizada em sala de aula, tentou seguir os princípios do design educacional e da construção de sequências orientadas pela pesquisa propostos por Aguiar Jr (2018). No aspecto curricular, tomou-se o conteúdo previsto de Leis de Newton pelo programa da escola, e adaptou-se para uma problematização pessoal e cotidiana que os alunos tinham, que era jogar esportes com bolas enquanto não havia aulas práticas. Logo, o conteúdo que estava previsto para as aulas foi adequado para o tema: *As Leis de Newton aplicadas ao voleibol*.

As aulas foram todas ministradas em uma perspectiva dialógica, o que valoriza o conhecimento prévio do aluno. O professor conduz o aluno a um processo de reflexão e descoberta dos próprios valores, e para isso o docente faz uso de perguntas simples, que têm por objetivo levar o discente à reflexão e, por fim, aprender a pensar por si mesmo. Em todas as aulas foram feitas perguntas acessíveis aos alunos para que conseguissem elucidar a Física envolvida no vôlei, como exemplo podemos tomar a seguinte pergunta: *Por que os jogadores de vôlei precisam dobrar os joelhos para realizar uma manchete?*

Na questão de como abordar o conteúdo científico, procurou-se sempre apresentar os fenômenos presentes do vôlei antes de demonstrar os conceitos teóricos aplicados a ele. Esse princípio em específico foi o mais complicado de ser seguido, e isso pode ser verificado em como a aula três foi ministrada, ela tinha um objetivo muito mais matemático do que fenomenológico.

Em quase todas as aulas, apresentaram-se atividades para serem feitas em sala, seja um debate de perguntas e respostas feitas na primeira e penúltima aula, exibição de imagens e vídeos na segunda e quarta aula e concedendo problemas de lápis e papel na atividade avaliativa da última aula. Essas atividades tinham um caráter investigativo tentando incluir os estudantes como parte do processo de aprendizagem. Mais que isso, tiveram a função de ampliar as potencialidades de estruturação cognitiva para os alunos.

Agora falaremos de cada aula em particular, apontando melhorias para implementações futuras. A primeira aula teve como objetivo identificar, descrever e definir as grandezas envolvidas num jogo de voleibol com uma característica participativa e discursiva com o aluno. Decidiu-se adotar somente a influência da força gravitacional sobre a bola, desprezando a resistência do ar e a força devido a uma rotação. Mas, durante a aula alguns alunos fizeram perguntas sobre o efeito de rotação que a bola possui durante o jogo, o que na física chamamos de efeito magnus. O jogador dobra o pulso no momento em que ele entra em contato com a bola aplicando assim, uma rotação superior na bola. Essa rotação cria uma diferença de pressão nas extremidades da bola, fazendo ela cair mais rapidamente no lado adversário.

Visto essa necessidade dos alunos compreenderem o movimento como um todo, seria interessante discutir com eles o efeito magnus, um fenômeno recorrente utilizado em qualquer esporte que envolva bolas, e também abordar como a resistência do ar afeta os objetos em movimento. Uma análise mais detalhada sobre o efeito magnus pode ser encontrado no Apêndice desse trabalho.

Na segunda aula foram explicadas as Leis de Newton com o uso de três imagens dos fundamentos do voleibol. Qualquer uma das três, dado as leis da mecânica são válidos no referencial inercial, quer dizer, um referencial para o qual se uma partícula não está sujeita a forças, então está parada ou se movimentando em linha reta e com velocidade constante. Mas ao explicar a primeira lei de Newton usando o termo referencial inercial com os alunos, eles acabaram tendo problemas de compreensão. Uma recomendação seria mencionar a inércia como uma quantidade de matéria que o corpo possui e mais tarde, após dar a segunda lei de Newton, especificar que no MRU a aceleração é nula.

O modelo proposto na S.D possui algumas limitações pois, foi considerado somente a ação da força gravitacional no movimento da bola. Durante as aulas e na descrição desse trabalho faltaram algumas ressalvas importantes do conteúdo de física, como discutir melhor impulso e momento linear, para representar o movimento de forma mais correto. Vamos dar um exemplo, uma bola foi sacada, digamos um saque proporcionado por um impulso com componente vertical para baixo e horizontal para direita. Se ignorarmos a resistência

do ar, haverá apenas aceleração vertical para baixo, devido à força gravitacional da terra sobre a bola. Essa bola tem, portanto, momento linear que pode ser decomposta nas direções vertical e horizontal. Ao chegar na recepção do oponente, ele aplica uma força por um determinado tempo curto, que chamamos de impulso. O impulso promove a variação de momento da bola. Depois do contato com o oponente, a bola está novamente apenas sobre o efeito da força gravitacional. A única aceleração que a bola terá será portanto, a gravitacional para baixo, que altera a componente vertical de sua velocidade.

A pretensão da terceira aula tinha um caráter matemático mais rigoroso e que na prática não pode ser cumprido pois, os alunos perderam o interesse na aula. As aulas prévias não tinham uma especificidade matemática tão repentino, gerando assim uma quebra no ritmo dos ensinamentos anteriores. Para evitar essa ruptura didática, uma proposta seria iniciar a terceira aula com o que foi apresentado na aula quarta da S.D e ir introduzindo o conteúdo matemático de forma mais compassada.

Na quarta aula se discutiu três tipos de saques no vôlei com o auxílio do recurso áudio-visual. Como se recomendou que a quarta aula fosse adiantada para a terceira, o que poderia ser feito seria usar uma simulação do Phet intitulada de *Movimento de projéteis* para simular o lançamento de cada tipo de saque discutido. A simulação permite ajustar o ângulo, a velocidade inicial e a altura de lançamento e com o resultado dos ajustes, é possível verificar a altura máxima, o alcance máximo e o tempo de lançamento de cada movimento parabólico. Usando as condições de lançamento de cada saque apresentado no item 6.1 do Apêndice podemos explorar as particularidades de cada saque. Ao mostrar essa simulação pode-se facilitar o aprendizado dos alunos nos seguintes aspectos, verificar como cada parâmetro afeta a trajetória de um objeto; antecipar como a variação das condições iniciais afeta o lançamento; determinar onde um objeto irá pousar e discutir o movimento do projétil usando o léxico do conteúdo.

A ideia da aula cinco surgiu da leitura e análise mais profunda de um artigo em inglês dos autores Lithio e Webb (2006). O primeiro autor desse artigo era na época aluno pesquisador na *Hope College*, uma instituição de ensino superior nos Estados Unidos. Ele foi o criador principal do modelo matemático e computacional para otimizar o saque no voleibol, considerando o arrasto e giro na bola. Por conta desse trabalho recebeu um prêmio na *MathFest* em 2008 e seu modelo é utilizado por técnicos de vôlei. Atualmente é professor de matemática contratado na *Indiana University Bloomington*. O segundo autor, atualmente é professor de computação contratado da *University Cincinnati* em Ohio.

Nesse artigo construiu-se um modelo para o saque ideal no voleibol, em que é necessário que a bola atravessasse a rede e caia na quadra do time adversário, no menor tempo possível. Os parâmetros utilizados para a modelização formam as mesmas dos jogos oficiais de vôlei, como por exemplo, a raio da bola, o tamanho da quadra, a altura da rede e etc.

Considera-se a influência de três forças atuando na bola, a força gravitacional, a resistência do ar e a força devido a uma rotação. O trabalho foi dividido em três, somente considerando a força gravitacional, depois levando em conta a gravidade e a resistência do ar e por fim considerando todas as três forças atuando na bola. Cada tratamento possui o desenvolvimento das equações de movimento e a resolução delas se deu de forma computacional, resultando em gráficos da análise de movimento. Combinando os resultados das três formas de tratamento do modelo, os autores concluíram que o jogador de vôlei pode considerar algumas estratégias para otimizar o tempo de saque, como a realização de um salto antes do saque, obter o maior alcance possível da bola na quadra adversária e por fim aplicar uma rotação na bola. Esses efeitos potencializam o lançamento se o jogador não sacar a bola para fora da quadra, logo, é necessário medir a força muscular (ou força aplicada) na bola para ganhar pontos no jogo.

A fim de compreender o artigo é necessário que o leitor possua aptidão para leitura em inglês e tenha conhecimento de Mecânica Clássica, abordado no nível superior. Como sugestão de recurso para melhorar a sequência didática, poderia-se traduzir esse texto para o português, gerando assim um material de consulta para futuros professores que tenham interesse em abordar a física do voleibol. Se o leitor se interessar em reproduzir os resultados gráficos do artigo, os autores do mesmo disponibilizaram o código computacional. Os resultados dessa pesquisa podem ser utilizados, no Ensino Médio, de forma qualitativa para lecionar o movimento de objetos em uma trajetória parabólica rasante.

Na última aula foi aplicado uma atividade avaliativa com perguntas de caráter qualitativo e a grande

maioria não conseguiu colocar suas ideias de forma escrita e formular suas respostas. Necessitando constantemente da ajuda da estagiária para responder as questões propostas. Entretanto pode-se considerar que a parte de escrita não é muito treinada com eles, os alunos não estão acostumados a realizar atividades avaliativas de forma aberta e escrita. Eles são acostumados a trabalhar com a resolução de fórmulas e equações. Valeria a pena numa próxima oportunidade explorar uma forma de eles se expressarem na forma escrita. Em síntese, os alunos mostraram um grande interesse pela Física aplicada ao vôlei, sentiram mais facilidade em compreender alguns fenômenos com uma aplicação do dia a dia.

## 5 CONCLUSÃO

A sequência didática proposta nesse trabalho foi elaborada levando em conta o design educacional, uma metodologia intervencionista, que combina aspectos teóricos da pesquisa com ambientes de aprendizagem.

A sequência teve sua etapa de implementação ao longo da disciplina de Estágio Supervisionado ofertado pelo departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. A proposta de seis aulas foi ministrada numa turma de primeiro ano do Ensino Médio de uma Escola Estadual da cidade de Florianópolis. A professora estagiária que ministrou as aulas é a autora desse trabalho de conclusão de curso.

Durante a etapa do design tentou-se montar as aulas seguindo os princípios do design educacional e da construção de sequências orientadas pela pesquisa. Do ponto de vista curricular, considerou-se o conteúdo previsto de Leis de Newton pelo programa didático do professor e resolveu-se adaptá-lo para uma problematização cotidiana dos alunos, que era jogar esportes como basquete, futebol e vôlei nos intervalos entre aulas. Assim, por meio de uma enquete feita com os alunos adequou-se o conteúdo para a compreensão das Leis da Física através do esporte, mais especificamente o voleibol.

Quanto ao desenvolvimento didático-metodológico optou-se pela construção e desenvolvimento de uma S.D em uma perspectiva dialógica, valorizando o conhecimento prévio dos estudantes.

Ao abordar os conteúdos científico, procurou-se sempre apresentar os fenômenos presentes do vôlei antes de demonstrar os conceitos teóricos aplicados a ele. Esse princípio em específico mostrou-se o mais complicado, podendo ser verificado na proposição da terceira aula ministrada, ela tinha um objetivo muito mais matemático do que fenomenológico e isso fez os alunos perderem o interesse pela aula.

As atividades realizadas em sala de aula tinham um caráter investigativo, procurando incluir os estudantes no processo de aprendizagem. Dessa maneira foram feitos debates de perguntas e respostas na primeira e penúltima aula, apresentação de imagens e vídeos na segunda e quarta aula e problemas de lápis e papel na atividade avaliativa da última aula.

Ao final da intervenção prática do estágio ou na etapa da validação, pode-se verificar alguns pontos fortes e fracos dessa sequência didática. Como ponto forte destacou-se o uso de atividades diversificadas, como vídeos e imagens, despertando maior interesse dos estudantes para a compreensão da Física envolvida no voleibol. Com relação aos pontos fracos vale destacar a perda de interesse dos alunos quando uma das aulas tinha um conteúdo exclusivamente matemático. Tal ponto configurou-se como um desafio que precisa ser repensado. Como tal foram sugeridas melhorias para futuras implementações, como discutir o efeito magnus na bola, usar uma simulação computacional de lançamento de projéteis disponível na internet, dados de lançamento referentes a três tipos de saque no voleibol e por fim traduzir materiais de consulta para o tema que estão em inglês.

O que apresentamos aqui é uma possibilidade de abordagem para as Leis de Newton, a partir de um tema que pode ser do interesse dos alunos e assim despertar o entusiasmo para o estudo desta disciplina e potencializar a interação entre os alunos e também entre professor-estudante. Acreditamos que a partir das reflexões e materiais aqui apresentados o professor já consiga melhores resultados em sua abordagem, desde que assuma o protagonismo e faça as adaptações necessárias para o seu contexto de atuação. Nesta direção, para melhor avaliar a praticidade e a eficiência da S.D é importante que outros professores possam utilizá-la em outros contextos. Fica o convite!

## BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR JR, O. *Sequências de ensino de física orientadas pela pesquisa: experiências do PIBID e pró-mestre-UFMG*. 1. ed. [S.l.]: FaE UFMG, 2018. 256 p.
- BACHELARD, G. Conhecimento comum e conhecimento científico. *Tempo Brasileiro*, v. 28, p. 47–56, 1972.
- BACHELARD, G. O racionalismo aplicado. trad. *Nathanael C. Caixeiro*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1977.
- DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.
- ENGESTRÖM, Y. Non scholae sed vitae discimus: como superar a encapsulação da aprendizagem escolar. *Uma introdução a Vygotsky*. São Paulo: Loyola, v. 987, 2002.
- FREIRE, P. *Extensão ou comunicação?* [S.l.]: Editora Paz e Terra, 2014.
- GEHLEN, S. T.; DELIZOICOV, D. A dimensão epistemológica da noção de problema na obra de vygotsky: implicações no ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 1, p. 59–79, 2016.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Halliday Physik*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2017.
- HEWITT, P. G. *Fundamentos de física conceitual*. [S.l.]: Bookman, 2000.
- JUNIOR, N. K. M. História do voleibol no brasil e o efeito da evolução científica da educação física brasileira nesse esporte. *EFDeportes.com, Revista Digital*. Buenos Aires, v.17, 2012.
- LEONEL, A. A. et al. Formação continuada de professores de física em exercício na rede pública estadual de santa catarina: lançando um novo olhar sobre a prática. 2015.
- LIBÂNEO, J. C. Organização e gestão da escola. *Goiânia: alternativa*, p. 123–140, 2001.
- LIJNSE, P. Methodological aspects of design research in physics education. *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education*, p. 143, 2010.
- LITHIO, D.; WEBB, E. Optimizing a volleyball serve. *Rose-Hulman Undergraduate Mathematics Journal*, v. 7, n. 2, p. 11, 2006.
- MÁXIMO ANTÔNIO E ALVARENGA, B. *Física*. 1. ed. [S.l.]: Editora Scipione, 2011.
- NIEVEEN, N. et al. Design approaches and tools in education and training. *Dordrecht: ICO Cluwer academic publisher*, 1999.
- OLIVEIRA, D. L. d. Considerações sobre o ensino de ciências. in: Oliveira, d. l. de. (org.). *ciências nas salas de aula*. Porto Alegre: *Mediação*, v. 2, p. 9–18, 1999.
- P.M, F. Physical model, theoretical aspects and applications of the flight of a ball in the atmosphere. part i: Modelling of forces and torque, and theoretical prospects. *Mathematical methods in the applied sciences*, Wiley Online Library, v. 14, n. 7, p. 447–460, 1991.
- RESNICK, L. B. The 1987 presidential address learning in school and out. *Educational researcher*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 16, n. 9, p. 13–54, 1987.
- SILVA, S. L. L. da. A primeira lei de newton: uma abordagem didática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 40, n. 3, 2018.



## 6 APÊNDICE

### 6.1 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE CADA SAQUE

Nessa seção de apêndice será demonstrado as equações e cálculos para determinar o ângulo de lançamento, a velocidade inicial e os tempo mínimos de cada saque exposto na aula seis da sequência didática. As equações foram retiradas do artigo de (LITHIO; WEBB, 2006) mas, algumas parâmetros do lançamento são previamente considerados.

A bola de vôlei se move com velocidade constante na direção horizontal, logo, o tempo em que a bola está no ar é simplesmente a distância alvo  $d$ , que ela percorre, dividida pela velocidade inicial na direção horizontal:

$$t = \frac{d}{v_0 \cos(\theta)}, \quad (6.1)$$

a equação 3.10 se aplica para todas as distâncias entre  $0 \leq d \leq 18$  m do comprimento da quadra de vôlei.

A aceleração na direção vertical é constante, logo a a altura que a bola atinge no momento  $t$  pode ser escrita como:

$$y = h + v_0 \sin(\theta)t - \frac{g}{2}t^2, \quad (6.2)$$

onde,  $h$  é a altura a partir da qual a bola é sacada.

Para encontrar o tempo em que o saque atinge o piso, definimos  $y$  igual a zero na equação 6.1. Assim, ela se torna quadrática em termos do tempo  $t$  e pode ser resolvida da seguinte forma:

$$\frac{g}{2}t^2 - v_0 \sin(\theta)t - h = 0 \quad (6.3)$$

A equação de segundo grau acima pode ser resolvida por bhaskara, logo, o tempo total de lançamento do saque pode ser definido pela equação:

$$t = \frac{v_0 \sin(\theta) \pm \sqrt{[v_0 \sin(\theta)]^2 + 2gh}}{g}. \quad (6.4)$$

Para constatar a velocidade inicial  $v_0$  em termos no ângulo de lançamento, igualamos os tempos das equações 6.1 e 6.4, assim:

$$v_0 = d \sqrt{\frac{g}{2[d \sin(\theta) \cos(\theta) + h \cos^2(\theta)]}}. \quad (6.5)$$

A equação 6.5 indica que, para um dado ângulo inicial, há no máximo uma velocidade inicial que atingirá a distância alvo  $d$ . Se a bola for sacada com mais rapidez que  $v_0$ , ela irá sobrevoar a distância alvo. Se ela for sacada com menos rapidez, ela não irá atingir a distância alvo.

No nosso caso, a única força que atua na bola é para baixo, então, quanto maior a altura máxima (raio parabólico), mais tempo a bola fica no ar. Assim, o saque com tempo mínimo será aquele que atinge a menor altura máxima suficiente para transpor a rede.

Para obter o ângulo que mal fará a bola passar pela rede, a altura máxima  $y$  da equação 6.2 será igualada a altura da rede,  $h_R$  mais o raio da bola,  $r_B$ . Substituindo os termos  $t$  e  $v_0$  das equações 6.1 e 6.5 na equação 6.2, encontramos o ângulo ótimo do saque que irá atingir a distância alvo  $d$ :

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{h_R + r_B - h}{d_R} + \frac{hd_R}{d^2}}{1 - \frac{d_R}{d}} \right), \quad (6.6)$$

onde,

- $h_R$  é a altura da rede que pode ser de 2.43 m (rede masculina) ou 2.24 m (rede feminina);
- $r_B = 0.11$  m é o raio da bola;
- $d_R = 9.0$  m é a metade do comprimento da quadra;
- $h$  é a altura que a bola foi sacada;

- $d$  é a distância alvo que a bola atinge.

O ângulo obtido da equação 6.6 pode ser substituído na equação 6.5 para encontrar  $v_0$ , que pode ser substituído na equação 6.1 para encontrar o tempo que minimiza o saque.

A seguir vamos calcular o tempo otimizado de cada tipo de saque.

- Saque Viagem ao fundo do Mar:

Esse tipo de saque é um lançamento horizontal, que dizer, o ângulo de lançamento é  $\theta = 0^\circ$ . Considerando que o jogador precisa saltar para sacar a bola e que o resultado desse salto deve superar bastante a altura da rede, vamos considerar que o jogador sacou a bola de uma altura  $h = 3.70$  m, 1.0 m de salto, 2.0 m da altura do jogador e 0.7 m da extensão do braço.

É preciso calcular a distância alvo  $d$  que a bola vai atingir, assim, como na equação 6.6 o ângulo de lançamento é zero, a tangente do ângulo também é zero. Temos então que:

$$d = d_R \sqrt{\frac{h}{h - r_B - h_R}}, \quad (6.7)$$

essa equação funciona para qualquer  $h$  desde que o ângulo de lançamento seja zero. Substituindo os parâmetros  $h = 3.70$  m,  $r_B = 0.11$  m,  $h_R = 2.43$  m (rede masculina) e  $d_R = 9.0$  m, obtemos uma distância alvo  $d$  aproximadamente igual a 16.0 m.

Podemos encontrar a velocidade inicial desse saque levando em consideração que na equação 6.5,  $\sin(0^\circ) = 0$  e  $\cos^2(0^\circ) = 1$ . Assim a velocidade inicial é

$$v_0 = d \sqrt{\frac{g}{2h}}. \quad (6.8)$$

Substituindo os parâmetros  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  e  $h = 3.70$  m. A distância alvo  $d = 16.0$  m foi encontrado na operação anterior, logo a velocidade inicial  $v_0$  é 18.4 m/s.

Por fim, sabendo a distância alvo  $d$ , a velocidade inicial  $v_0$  e que  $\cos(0^\circ) = 1$ , podemos encontrar o tempo de lançamento otimizado desse saque pela equação 6.1:

$$t = \frac{d}{v_0}. \quad (6.9)$$

Assim, o tempo de lançamento otimizado para o saque Viagem ao fundo do Mar é de aproximadamente 0.9 s, considerando que o jogador sacou a bola de uma altura inicial de 3.70 m e ângulo de lançamento  $\theta = 0^\circ$

- Saque Flutuante ou Semi-Tático:

No saque flutuante o jogador dá um pequeno salto para realizar o lançamento, assim, considerando que o jogador salta 0.3 m, possui uma altura de 2.0 m e o comprimento da extensão do braço é de 0.7 m, a altura inicial de lançamento do saque é de  $h = 3.0$  m. Vamos levar em conta que a bola irá atingir o meio da quadra adversária, logo, a bola percorre uma distância alvo  $d$  de 13.5 m. Como esse saque é mais utilizado pelas seleções de vôlei feminino por necessitar de menor força, a altura de rede será  $h_R = 2.24$  m.

Substituindo os parâmetros da altura da rede, altura inicial de lançamento e distância alvo na equação 6.6, vamos obter um ângulo de lançamento de aproximadamente  $\theta = 12.9^\circ$ .

A velocidade inicial desse saque pode ser obtido através da equação 6.5 e usando o ângulo de lançamento  $\theta = 12.9^\circ$  da equação 6.6. Logo, levando em conta os parâmetros da distância alvo e da altura inicial, obtemos uma velocidade inicial de saque aproximadamente de  $v_0 = 12.4$  m/s.

O tempo mínimo de lançamento para uma trajetória rasante é calculado com a ajuda da equação 6.4, assim, considerando a distância alvo e utilizando a velocidade inicial e o ângulo de lançamento obtido anteriormente, o tempo da trajetória será de 1.12 s.

- Saque Jornada nas estrelas:

As equações demonstradas até agora servem para uma trajetória rasante mas, esse tipo apresenta um raio parabólico (altura máxima) de  $y = 30$  m, logo, é necessário fazer cálculos um pouco distintos dos vistos anteriormente. Como é um saque por baixo, vamos considerar que a bola é sacada com um metro acima do solo,  $h = 1.0$  m.

As equações do movimento uniforme variado no eixo-y na subida são:

$$y = h + v_0 \cdot \sin(\theta) \cdot t_s - \frac{g}{2} \cdot t_s^2 \quad (6.10)$$

$$v_f = v_0 \cdot \sin(\theta) - g \cdot t_s \quad (6.11)$$

Como na altura máxima a velocidade final do eixo-y é zero podemos reescrever a equação acima como:

$$v_0 \cdot \sin(\theta) = g \cdot t_s \quad (6.12)$$

Substituindo a equação 6.12 na equação 6.10 e isolando o tempo, podemos obter o tempo de subida da bola de vôlei nesse saque:

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \cdot (y - h)}{g}} \quad (6.13)$$

Substituindo os parâmetros da altura final  $y = 30$  m e inicial  $h = 1.0$  m, pré determinados desse saque, na equação 6.13 obtemos o tempo de subida:

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \cdot (30 - 1)}{9.8}} = 2.4s. \quad (6.14)$$

Agora queremos analisar a equação do tempo de descida da bola, logo, como a bola atinge o solo, a altura final da bola no eixo-y será zero, assim como a velocidade inicial da bola no eixo-y no ponto mais alto da parábola. Assim, o tempo de descida da bola pode ser calculado pela seguinte equação:

$$t_d = \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{9.8}} \approx 2.5s. \quad (6.15)$$

Somando o tempo de subida e o tempo de descida da bola temos o tempo total que a bola leva para percorrer a trajetória,  $t_t = t_s + t_d = 2.4 + 2.5 = 4.9$  s.

A velocidade inicial do lançamento pode ser calculado através da equação do movimento uniforme do eixo-x:

$$v_0 = \frac{d}{t_t \cdot \cos(\theta)} \quad (6.16)$$

Isolando a velocidade inicial da equação 6.12 e igualando a equação 6.16 obtemos o ângulo de lançamento desse saque:

$$\tan(\theta) = g \cdot \frac{t_s \cdot t_t}{d}. \quad (6.17)$$

Com essa equação podemos saber o ângulo de lançamento e usar ele na equação 6.16 para calcular a velocidade inicial. Assim, substituindo a aceleração gravitacional  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , o alcance  $d = 10$  m e os tempos de subida  $t_s = 2.4$  s e total  $t_t = 4.9$  s obtemos um ângulo inicial de saque igual a  $85^\circ$  e uma velocidade inicial igual a  $v_0 = 23.3$  m/s.

## 6.2 ATIVIDADE AVALIATIVA

O que o vôlei e a física poderiam ter em comum? Compreender a física pode ser complicado quando se está apenas aprendendo equações em um livro. Assistir ou jogar um jogo de vôlei é uma excelente maneira de ver os princípios da física em ação e seus conceitos podem ser entendido com mais facilidade. Nessa atividade responda, com as suas palavras, as perguntas sobre as Leis de Newton aplicadas ao vôlei.

1. Conforme a Figura 5, quando um jogador de vôlei realiza o movimento da manchete, ele precisa flexionar os joelhos. O jogador aplica uma força na bola, que atua durante um intervalo de tempo, esse princípio é chamando de impulso. Sabendo disso responda: por que é necessário dobrar os joelhos ao receber a bola na manchete?



Figura 5 – Jogador de vôlei realizando uma manchete.

2. As leis de Newton descrevem a dinâmica dos movimentos. São elas:

- Lei da Inércia: um objeto em repouso permanecerá em repouso e um objeto em movimento permanecerá em movimento, a menos que seja influenciado por uma força aplicada sobre ele;
- Lei da dinâmica: quando um objeto possui variação da velocidade surge nele uma aceleração e ela é diretamente proporcional à força externa atuando sobre o objeto e inversamente proporcional à massa sua massa;
- Lei da ação e reação: toda ação cria uma força num certo objeto e que ao interagir com outro cria uma força igual em módulo e direção mas, em sentido oposto.

A seguir, associe cada figura com sua respectiva lei, justificando sua resposta em cada uma das imagens:



Figura 6 – Saque

3. Os ex-jogadores de vôlei da seleção brasileira, Rodrigo Santana (Rodrigão) e Sérgio Dutra Santos (Serginho) jogavam respectivamente, na posição de central e de líbero. Sabendo que o peso do Rodrigão era de 84 kg e o peso de Serginho era 78 kg, justifiquei o porque de cada um deles jogar em suas respectivas posições de jogo.
4. Durante as aulas estudamos três diferentes tipos de saque, o jornada nas estrelas, o flutuante e o viagem ao fundo do mar. Sabendo que a bola pode atingir uma velocidade de 70 km/h, 90 km/h e 135 km/h em cada um respectivamente, desenhe a trajetória de cada um dos saques e responda as seguintes perguntas:
  - Em qual saque a bola consegue atravessar quase toda a quadra?



Figura 7 – Manchete



Figura 8 – Bloqueio



Figura 9 – Rodrigão e Serginho

- Em qual saque a bola passa mais tempo no ar?
- Em qual saque é ideal fazer um lançamento com um ângulo de 45 graus?
- Em comparação aos outros saques, por que o saque jornada nas estrelas entrou em desuso?
- Em qual saque é necessário saltar uma altura acima da rede e aplicar uma maior força na bola?

### 6.3 EFEITO MAGNUS

Nessa seção de Apêndice será explicado como o efeito magnus atua sobre uma bola de voleibol e por fim será exposto a equação da força devido ao efeito giratório na bola.

O efeito Magnus é um fenômeno no qual um objeto altera sua trajetória em um gás ou líquido devido a sua rotação. Esse efeito pode ser comumente observado em esportes que envolvem bolas giratórias, como é o caso do voleibol. No vôlei é preferível sacar a bola com uma rotação superior, ou seja, o topo da bola está girando na mesma direção do movimento translacional, essa rotação produz uma força que age para baixo,

perpendicular à velocidade da bola. Isso pode ser visto na Figura 10. No nível microscópico, a bola está se movendo através das moléculas de ar à medida que ela gira.

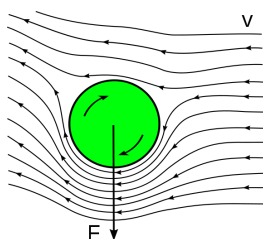


Figura 10 – Efeito Magnus com rotação superior na bola. Fonte: [Wikimedia Commons](#).

No topo da bola, as moléculas de ar estão sendo puxado para a frente pela bola girando, fazendo elas se acumularem no topo da bola. Na parte inferior da bola, isso não ocorre pois, o giro da bola compensa o movimento da bola como um todo, empurrando as moléculas de ar para trás da bola, não havendo acúmulo. Essa diferença no acúmulo de moléculas de ar cria uma maior pressão no topo da bola. Assim uma bola, movendo-se pelo ar com rotação superior, experimenta uma força descendente devido ao giro, que faz a bola cair no chão mais rapidamente do que seria sem rotação.

Jogadores obtêm por realizar um saque com rotação superior em vez de uma rotação inferior, pois nesse caso ocorre o contrário, a força devido a rotação produz uma força para cima, perpendicular à velocidade da bola, como pode ser visto na Figura 11.

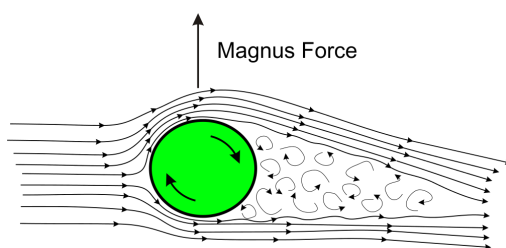


Figura 11 – Efeito Magnus com rotação inferior na bola. Fonte: [Wikimedia Commons](#).

A equação da força efeito magnus foi demonstrada por (P.M, 1991, Fuchs (1991), p.455.). A distribuição da pressão ao redor de uma superfície é dada pela equação de Bernoulli, logo, a força do efeito magnus numa superfície esférica é dada por:

$$F_m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_B^3 \cdot \rho_{ar} \cdot \omega \cdot \vartheta, \quad (6.18)$$

onde,

- $r_B$  é o raio da bola;
- $\rho_{ar}$  é a densidade do ar;
- $\omega$  é a velocidade angular da bola;
- $\vartheta$  é a velocidade escalar da bola.