

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO VALIM

**ANÁLISE DO MOVIMENTO DO SAQUE NO TÊNIS DE CAMPO POR
MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM - DIAGNÓSTICO VISANDO À
MELHORIA DE DESEMPENHO**

São Carlos - SP
2021

BRUNO VALIM

ANÁLISE DO MOVIMENTO DO SAQUE NO TÊNIS DE CAMPO POR MEIO DE
PROCESSAMENTO DE IMAGEM - DIAGNÓSTICO VISANDO À MELHORIA DE
DESEMPENHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas Elétricos e Eletrônicos

Orientador: Prof. Dr. Arlindo Neto Montagnoli

São Carlos - SP

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Bruno Valim, realizada em 24/06/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Arlindo Neto Montagnoli (UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Augusto Souza Fernandes (UFSCar)

Prof. Dr. Victor Antonio Cacciaccaro Lincoln (USP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Hélio Aparecido Navarro

In memoriam

AGRADECIMENTOS

A grande luta consiste em não desistir dos objetivos e metas de vida, com força e sabedoria.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Dr. Arlindo Neto Montagnoli por me ajudar e incentivar. Sua grandeza o faz único e sua sabedoria nos contagia eternamente. Obrigado.

Aos meus pais, irmãos e família, pelo incentivo e lutarem ao meu lado.

A minha esposa por sua resiliência ao meu lado, apoia e incentiva a sempre continuar.

Minhas Filhas maravilhosas, Mariana e Luma.

Agradeço a todos.

Resumo

O presente trabalho consiste em avaliar o movimento do saque no tênis de campo, por meio de processamento de imagens em vídeo utilizando o software Cinematria para renderizar um avatar em 3D. O software em linguagem de programação C++ com algoritmos específicos para análise biomecânica do movimento, sendo que, se propõe processar os dados automaticamente e correlacionar a cinemática com protocolo específico para mensurar e quantificar os pontos chaves articulares no corpo humano, realizar a aquisição das imagens sem marcadores específicos no próprio cenário de jogo de tal forma que o jogador possa se mover sem interferência de equipamentos especiais. Além do processamento de imagem, tem-se o objetivo de identificar a falha mecânica e diagnosticar o movimento do saque com a bola em tempo real de jogo. A visualização computacional estruturando o gesto motor através da exibição de um Avatar renderizado em 3D, permite que o treinador ou jogador obtenha a informação e forneça de forma precisa um diagnóstico do movimento do saque, além de um feedback analítico para o treinamento do saque, facilitando a correção do gesto motor, evitando que os jogadores treinem de forma errônea, e sem fazer um esforço repetitivo excessivo que possa prejudicar o movimento do saque evitando dores e lesões articulares. Por meio do processamento digital de sinais das imagens do saque, é possível obter informações específicas pela modelagem espaço temporal estrutural da biomecânica do saque no tênis de campo, determinado por meio da cinemática os padrões técnicos para as variáveis do movimento aberto do saque e analisar o gesto motor em todos os segmentos de alavancas, planos e eixos anatômicos do jogador.

Palavras-chave: Saque Tênis, Processamento de Imagens, Aprendizado de Máquina, Biomecânica do saque.

ABSTRACT

The present work consists in evaluating the movement of the serve in tennis, through video image processing using the Cinemetria software to render an 3D avatar. The software in C++ programming with specific algorithms for biomechanical analysis of movement, and it proposes to process the data automatically and correlate the kinematics with a specific protocol to measure and quantify key joint points in the human body, perform image acquisition without specific markers in the game scenario itself in such a way that the player can move without interference from special equipment. In addition to image processing, the goal is to identify the mechanical failure and diagnose the movement of the serve with the ball in real game time. The computer visualization structuring the motor gesture through the display of an Avatar rendered in 3D, allows the coach or player to obtain the information and provide a precise diagnosis of the service movement, in addition to analytical feedback for the service training, facilitating correction of the motor gesture, preventing players from training wrongly, and without making an excessive repetitive effort that could impair the service movement, preventing pain and joint injuries. Through the digital signal processing of the serve images, it is possible to obtain specific information by structural temporal modeling of the biomechanics of the serve in tennis, determined through kinematics the technical standards for the variables of the open movement of the serve and to analyze the motor gesture in all segments of levers, planes and anatomical axes of the player.

Keywords: Tennis Serve, Image Processing, Machine Learning, Biomechanics Serve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Raquete	23
Figura 2 - Aquadra de Tênis de Campo.....	25
Figura 3 - O Saque.....	27
figura 4 - Empunhadura Continental	28
Figura 5 - Efeito da Bola	29
Figura 6 - Posição dos pontos-chave obtidos pelo OpenPose	31
Figura 7- Exemplo de renderização feita pelo VTK a partir de imagens de Tomografia.	32
Figura 8 - Tela Inicial do Programa de Interface.....	33
Figura 9 - Análise do movimento do saque do atleta no avatar em 3D, (sub-amostrado em 5x)	35
Figura 10 - Diagrama ponto de captura de imagem	47
Figura 11 - Captura de Vídeo	48
Figura 12 - Processamento do Vídeo.....	48
Figura 13- Pontos Morfológicos no AVATAR.....	52
Figura 14 - Fase Preparação	53
Figura 15- Fase Preparação da Alavanca	54
Figura 16- Fase de Aceleração	55
Figura 17- Fase de Desaceleração	56
Figura 18 - Análise do movimento do saque do atleta (a1).....	57
Figura 19 - Análise do movimento do saque do atleta (a2).....	58
Figura 20- Análise do movimento do saque do atleta (a3).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sequência das características de ações neste estágio de análise qualitativa e diagnóstico do Saque.....	33
Tabela 2 – Sequência das características de ações neste estágio de análise qualitativa e diagnóstico do Saque.....	35
Tabela 3 – Sequência das características de ações neste estágio de análise qualitativa e diagnóstico do Saque.....	37
Tabela 4 – Sequência das características de ações neste estágio de análise qualitativa e diagnóstico do Saque.....	38

LISTA DE SIGLAS

ITF *International Tennis Federation*

OpenCV *Open Source Computer Vision Library*

TC *Tênis de Campo*

VTK *Visualization Tool Kit*

Sumário

INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
1.4 CONTRIBUIÇÃO À CIÊNCIA	19
1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
TÊNIS DE CAMPO	21
FUNDAMENTOS TÊNIS DE CAMPO	21
2.1 VESTIMENTA	22
2.2 A RAQUETE	22
2.3 QUADRA	24
2.4 O SAQUE	25
2.5 EMPUNHADURA DO SAQUE	27
2.6 PONTO DE CONTATO DA RAQUETE COM A BOLA	28
2.7 ESTILOS DE EFEITOS DA BOLA	29
FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	30
PROCESSAMENTOS DE IMAGENS	30
3.1 DEEP LEARNING	30
3.2 VISUALIZAÇÃO 3D	30
3.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS AUXILIARES	31
3.4 INTERFACE DO SOFTWARE CINEMETRIA	32
CINEMÁTICA DO SAQUE	34
4.1 FASE PREPARAÇÃO	37
4.2 FASE PREPARAÇÃO DE ALAVANCA (UNIÃO DE FORÇAS)	39
4.3 FASE ACELERAÇÃO DO GOLPE (MOMENTUM DE TRANSIÇÃO DE ENERGIA)	41
4.4 FASE ACOMPANHAMENTO (CINÉTICA)	42
4.5 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS DO SAQUE EM MÉTODOS ANALÍTICOS	43
METODOLOGIA	45
VISÃO GERAL	45
5.1 PROCEDIMENTOS	47
5.2 ANÁLISE DE DADOS REAIS COMPUTACIONAIS	49

RESULTADOS	50
RESULTADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE DOS DADOS DO SAQUE	50
6.1 RESULTADOS OBTIDOS.....	59
6.2 DISCUSSÃO	61
CONCLUSÕES	63
7.1 PRODUÇÃO CIENTÍFICA	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS	67

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No esporte Tênis de Campo (TC), o saque é um dos fundamentos mais estudado nos últimos anos. Apesar de uma constante evolução, ainda existe uma ampla lacuna a ser esclarecida pela ciência. Há uma demanda significativa para elaborar planos específicos de desenvolvimentos em treinamentos no saque, prevenção de lesões, ganho de velocidade, atividade muscular, efetividade e além de outros esclarecimentos como as forças envolvidas no movimento, poucos treinadores utilizam ferramentas computacionais para avaliação quantitativo no desenvolvimento biomecânico do saque, cada vez mais no tênis moderno o atleta está dependente de um bom saque para solidificar sua jogada, ou seja, a efetividade está correlacionada à potência do golpe, velocidade, efeitos e direção, conseqüentemente o jogador é exigido fisicamente até a exaustão nos treinamentos, e a inúmeras sessões de repetições para obter a excelência nos movimentos de um bom saque. Esse desenvolvimento é decorrente do avanço tecnológico dos materiais esportivos tais como raquete, bola, vestimentas, cordas e acessórios, a exigência física e psíquica motora às vezes ficam inerentes ao conhecimento científico por parte dos profissionais, o processamento de imagem, visto que se pretende aplicar em uma ferramenta básica e de baixo custo para análise biomecânica do saque, tem o propósito de auxiliar nos treinamento o desenvolvimento da técnica do movimento do saque, que em virtude é o mais importante para conseguir a eficiência mecânica do movimento, o trabalho proposto utilizou o software Cinemetria para quantificar o gesto motor e auxiliar os treinadores.

As variáveis dos movimentos correlacionados a técnica está associadas com a dinâmica ou ritmo do movimento no saque, sendo que o eixo de alavanca vertical no solo de cada atleta propicia um correspondente movimento no eixo longitudinal. A posição dos pés definida como *foot back* e *foot up* tem por relevância específica na atuação nos ângulos dos joelhos, mas à diferença entre o momento angular e linear do ângulo de separação do quadril e ombros (momentum) e a transição do eixo nas extremidades dos membros inferiores para os membros superiores que ocorrem por decorrência do movimento ombro sobre ombro e rotativo do ombro (HANSEN *et al.*, 2017).

Com a modelagem em 3D, é possível diagnosticar o movimento e definir a característica técnica específica por toda dimensão espacial do movimento, as diretrizes

parciais do conjunto harmônico para execução do golpe são definidas como habilidade fechada, a cinemática pode extrair e adquirir modelos específicos para cada pessoa ajudando-o a definir os pontos angulares para cada tipo de saque, os dados são importantes e autênticos para analisar o movimento e qualificar o gesto motor (LONGHI *et al.*, 2015). O saque, por ser o único golpe de predominância total da bola, permite que o jogador domine a técnica como um todo no movimento em toda cinética, sendo que, os padrões de eficiência no trajeto da raquete “pendulo completo” são fundamentais para reduzir as tensões nas articulações de torque e pressão na atividade muscular do movimento (HANSEN *et al.*, 2017).

Estudos relacionados com a atividade muscular dos membros inferiores no saque entre as posições dos pés *Foot Back* e *Foot up* mostram a diferença entre força no eixo vertical do solo ao impulsionar a alavanca dos membros inferiores, comparando os ângulos de flexões dos joelhos. Os parâmetros de força e ângulos fazem com que atividade muscular altere os eixos horizontal e vertical do movimento, alternando a amplitude do golpe (REID; ELLIOTT; ALDERSON, 2008), a variação angular nas articulações dos membros inferiores modifica a forma de alavanca para o eixo vertical, possibilitando uma alteração na projeção de força para a bola. (BRAGA NETO, 2008).

Para o processamento digital de sinais da imagem, utilizará o software Cinematria para analisar e quantificar a técnica do movimento do saque em dados breves mensurado em análise biomecânica com algoritmos específicos desenvolvidos em espaço temporal, em uma plataforma livre para uso acadêmico o OpenCV e VTK, e diagnosticar com a cinemática o movimento do saque com base sólida e sem marcadores espalhados pelo corpo do jogador, o software capta a imagem por duas câmeras e reconstrói o modelo cinemático em 3D em tempo real o movimento do saque, para auxílio qualitativo de planos de treinamentos e correções nos atletas.

1.1 Objetivo Geral

Nesse trabalho, objetiva-se avaliar o movimento do saque no tênis de campo, em jogadores amadores e estabelecer um padrão de movimento específico para acompanhar a longevidade do aluno na prática do tênis com mais segurança e menos riscos de lesões e evoluir com um software de análise biomecânica para auxiliar os atletas a identificar e diagnosticar as possíveis falhas do movimento do saque, sendo assim, os treinamentos

excessivos pode se aperfeiçoar e evitar a fadiga muscular e futuras lesões, podendo se projetar em constante evolução no gesto motor. A análise da cinemática por meio das imagens pode adquirir e extrair dados importantes para a avaliação do movimento, mensurar e quantificar o gesto motor. Investigar o movimento de forma coerente e harmônica para que os atletas consigam visualmente identificar e estabelecer padrões técnicos do movimento, sendo fundamental para uma boa prática da técnica e tática do jogo.

Nesta ordem, para a avaliação será estabelecido que o atleta execute seu movimento natural sem imposição postural, com a posição dos pés *foot back*, (afastados) ou pés *foot up* (juntos), analisando os pontos dinâmicos obtidos sem marcadores e por meio da reconstrução de um modelo em três dimensões, pretende-se avaliar a dinâmica estrutural do movimento considerado o mais importante para uma transferência mais eficiente de energia, ou seja, a mais adequada para o atleta que, por sua vez, adaptar melhor seus movimentos naturais.

1.2 Objetivos Específicos

O principal motivo da dissertação é diagnosticar as possíveis falhas mecânicas do saque por meio de imagens captadas por vídeos e analisada pelo software cinematria, com o auxílio do olho digital a ferramenta computacional cinematria avalia e analisa a biomecânica do saque no TC, auxiliando nos treinamentos dos jogadores e otimizar a prática esportiva de modo assertivo e qualitativo sem esforço excessivo na repetição. O diagnóstico cinemático é mensurado por auxílio do software Cinematria desenvolvido para quantificar o movimento do saque no TC e segue um modelo designado com algoritmos específicos de 24 pontos-chave articulares anatômico e tem a capacidade de captura e processar a imagem de vídeo reconhecendo o movimento em alta velocidade sem marcadores articulares espalhado pelo corpo, a autenticidade organizado dos pontos realiza uma varredura automática com pequenos ajustes manuais e é feita a renderização da imagem em 3D construindo o AVATAR, software cinematria usa a inteligência computacional e o pacote *Open Source Computer Vision Library* (OpenCV) (BRADSKI, 2000).

1.3 Motivação e Justificativa

O desenvolvimento do software Cinemetria, ferramenta computacional cinemática de análise biomecânica do movimento, propõe diagnosticar e auxiliar de forma consistente com base em dados reais cinemáticos renderizados e projetados para análise dinâmica do movimento, por meio de análise de processamento de imagem, com ênfase em específico o movimento do saque no tênis de campo, com o auxílio do software Cinemetria os profissionais de ensino e atletas podem extrair dessa ferramenta computacional por meio da inteligência artificial informações relevantes para identificar e diagnosticar possíveis falhas na técnica durante a execução do golpe nos treinamentos. A cinemetria é uma ferramenta computacional projetada para extrair informações por meio de vídeos correlacionados aos problemas práticos das áreas da saúde/esporte, a associação da engenharia com o esporte engloba o desenvolvendo de tecnologias computacionais para aquisição de recursos materiais, beneficiando a prática esportiva, o auxílio computacional e científico é essencial para ajudar o desenvolvimento do corpo humano. Por meio computacional, o atleta é monitorado e o treinador pode obter informações preciosas projetadas pela simples filmagem do movimento, o olho digital tem muitas informações abrangentes para diagnosticar o movimento, podendo realizar a correção adequada no golpe em tempo real, auxiliando o jogador a evoluir o desenvolvimento do saque no tênis, este benefício em análise técnico ou biomecânico do movimento, ajudará os praticantes a prevenir o abuso excessivo de repetições na execução em treinamentos, evitando que os atletas treinem de forma errônea prevenindo os riscos de lesões e possibilitando uma continuidade efetiva na prática esportiva.

É evidente a necessidade de desenvolver ferramentas computacionais para resolver problemas práticos correlacionados com as áreas da saúde/esporte, com o auxílio computacional e tecnológico. O avanço científico é essencial para colaborar com desenvolvimento humano no aspecto fisiológico, que permite a análise por meio da cinemática sem marcadores específicos de forma natural, avaliar os atletas em seu ambiente natural de jogo, quadra de tênis, com acessibilidade a todos os treinadores e jogadores.

A renderização em 3D do avatar permite a obtenção de parâmetros esperados em 3 dimensões, sendo elas: amplitudes nas alavancas, espaço temporal e eixos vertical e horizontal, representa uma técnica inovadora na área biomecânica, que possibilitará ampliar a extração de parâmetros e modelos técnicos a partir dos dados obtidos por imagens em tempo real contribuindo com uma avaliação mais precisa e com maior objetividade.

Sendo assim, utilizar a Software Cinematria com renderização em 3D em um grupo de atletas para obtenção dos dados cinemáticos, automatizando a análise dos dados e diagnosticar o movimento dando referência mecânica de quais pontos de ações o movimento está alterado, a concepção de obtenção dos dados para este diagnóstico é de grande importância para um modelo biomecânico de análise em caráter inovador, o protocolo envolvido neste estudo quantifica o modelo ideal para uma boa mecânica do saque.

1.4 Contribuição à Ciência

Objetiva-se uma contribuição para a prática otimizada do esporte com base em dados reais cinemáticos e teóricos por meio do software desenvolvido em uma plataforma aberta OpenCV e de baixo custo para uso, utilizando duas câmeras acopladas em um notebook, as câmeras captam as imagens e o software renderiza o movimento em linhas segmentadas em um avatar 3D. O processamento de imagem é significativo no desempenho do jogador na prática do jogo e desenvolvimento global das habilidades motoras na cinemática do saque, o desenvolvimento do software Cinematria com base teórica para uma modelagem nova com padrões em dados reais no ensino do tênis de campo.

1.5 Organização da Dissertação

O texto conclusivo desta dissertação está organizado em nove capítulos:

1 . Introdução; o capítulo explica o contexto geral do desenvolvimento deste estudo e por qual motivação foi realizado uma pesquisa de campo em jogadores de tênis.

2: Tênis de Campo; apresentação de alguns fundamentos básicos do jogo de tênis e qual a sua origem histórica e evolução ao longo dos anos.

3: Ferramentas Computacionais; Neste capítulo apresenta as ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento desse projeto, o qual foi utilizado para quantificar o movimento do saque, o software Cinematria.

4: Cinemática do Saque; O saque por sua importância de iniciar o jogo, tem a característica de atacar o oponente, com isso esse capítulo traz a importância da cinemática do movimento em constante evolução.

5: Metodologia Aplicada; O trabalho realizou um pesquisa de campo aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal de São Carlos, tendo o numero de parece 132077/2019, investigou em 4 atletas o movimento do saque, onde cada jogador foi submetido para avaliação sem nenhum tipo de interferência externa.

6: Resultados; as coletas do dados foi realizado dentro da quadra de tênis sem nenhum tipo de marcadores específicos espalhados pelo corpo, e o software renderizou o avatar com precisão com apenas alguns ajustes finos de pontos.

7: Conclusões; o presente trabalho mostra a diferença entre as característica de cada movimento, a grande importância dos pontos e ângulos para cada saque.

8: Referencias bibliográficas

9: Anexos; Comitê de Ética

CAPÍTULO 2

TÊNIS DE CAMPO

Neste capítulo, serão apresentados alguns fundamentos do esporte tênis de campo.

Fundamentos Tênis de Campo

Desde os primórdios, o tênis de campo era conhecido como “jogo de palma”, as bolas eram rebatidas especificamente com a palma da mão. Segundo a história, a consciência corporal em golpear a bola com as mãos tem grande influência nos movimentos de hoje com a raquete (STUCCHI, [s.d.]).

O tênis é um esporte que requer diferentes habilidades psicomotoras, sendo praticado em todo mundo, assim como as regras são redigidas pela *International Tennis federation* (ITF). Disputado em uma quadra, as partidas podem ocorrer em dois formatos, simples e duplas. No caso da disputa em duplas, pode acontecer um confronto misto, homem e mulher, integrando o mesmo time.

O jogo é disputado em conjuntos somatórios de pontos que definem a ordem de games e sets. O jogador começa a disputa do ponto executando o saque que, por sua vez, tem que acertar uma área específica na quadra sempre na diagonal, cruzando a quadra e alternando a cada ponto disputado. A contagem do jogo baseia-se em 15, 30, 40 e game, ao concluir esta sequência de contagem da origem a um game. O set é a somatória de 6 games, caso ocorra empate de 5 a 5, torna-se necessária uma vantagem de dois games para finalizar com o sete. Caso ocorra mais um empate em 6 a 6, os jogadores disputarão um *tie-break*, ou seja, melhor de 12 pontos corridos com diferença de 2 pontos. Em torneios oficiais, sempre são disputados com uma contagem de melhor de 3 sets, exceto os torneios *Grand Slam*, pois, na modalidade masculina, o jogo é disputado com uma contagem de melhor de cinco sets e, no feminino, a contagem segue o mesmo padrão de melhor de 3 set.

A disputa de uma partida, é entre dois ou quatro pessoas, raquete, bola e trajes adequados para prática esportiva. Ademais, uma quadra de tênis oficial ou demarcar algo similar à demonstração. Hoje em dia, a acessibilidade da modalidade vem crescendo cada vez mais e já se encontra com mais adeptos e amantes praticando tênis. Por sua prática, o tênis está mais divulgado e popular em grandes centros esportivos.

2.1 Vestimenta

Os jogadores profissionais devem seguir alguns cuidados específicos de trajes apropriados para jogo, seu uniforme deve ser Camiseta, *shorts*, boné ou testeira, munhequeiras, meias e tênis com solado apropriado para o tipo de piso da quadra a jogar (Saibro, Grama e Dura). Ao iniciar o jogo, o atleta não pode possuir nenhum apetrecho eletrônico por meio do qual possa obter qualquer tipo de comunicação externa e nem aderir orientações externas. Seus uniformes com logomarca de patrocinadores seguem padrões e formatos de tamanhos específicos. Já no feminino, abre algumas exceções como a utilização de calças *leg*, saias, vestidos, *shorts* e roupa de *jogging* por baixo, seguindo os mesmos padrões de logomarcas dos patrocinadores a cada torneio. O descumprimento das normas pode ocasionar a desclassificação do jogador ou o árbitro pode interferir diretamente impossibilitando que o jogador inicie a partida, caso não opte por não adequar os padrões do uniforme. Alguns torneios exigem que os atletas usem apetrechos e vestimentas específicos para aquele evento como: Copa Davis e Fedcup. O atleta precisa usar as cores parecidas e o nome do país estampado na roupa. Wimbledon exige a cor do uniforme completo branco.

A prática dos jogadores amadores pode ser adequada ao seu conforto optativo para jogar. A exigência da vestimenta normalmente tem a ver com a necessidade de mobilidade fácil, tais como, roupas leves, *shorts* e camiseta, tênis com solados apropriados para os tipos de quadras, e outros apetrechos específicos do jogador, faixa no cabelo, boné e munhequeiras, seguindo as regras de cada local.

2.2 A Raquete

A Raquete de tênis ao longo dos anos sofreu inúmeras modificações em sua forma e nos materiais utilizados. É construída em formato de cabeça, suco e cabo. A cabeça é definida como a parte que recebe as cordas transpassadas na horizontal e vertical, o suco é o espaço que conecta o cabo com a cabeça, a qual é projetada para diminuir o atrito com o vento. O cabo constitui a parte da raquete que o jogador segura com a mão para jogar.

Em 1874, surgem as primeiras raquetes modernas da época, sendo que o material era bem pesado, feito em madeira maciça e corda de tripa natural de origem animal. Elas começaram a ser utilizadas em meados do século XIX, ganhando popularidade. Em 1970, o atleta Jimmy Connors apresentou a raquete de aço/metal e mostrou que poderia ser mais eficiente contra as de madeiras. Em 1957, foi criado por René Lacoste o modelo de raquete de

metal patenteado pela famosa empresa de raquetes Wilson (R) que lança o modelo T2000, totalmente diferente das atuais raquetes de madeiras. Logo após, em 1980, surgem as primeiras raquetes de grafite, com formatos e pesos diferentes, melhorando a potência do balanço.

Nos dias atuais, a tecnologia tem feito um papel muito importante na evolução na aerodinâmica e na utilização de matérias. As raquetes sofreram inúmeras mudanças tecnológicas para melhorar a performance dos jogadores, portanto, precisam comportar alguns cuidados, padrões aerodinâmicos e normas, o aro não pode exceder 73,7 cm no comprimento total, o aro não pode exceder 31,7 cm na largura, área de contato não pode exceder 39,4cm em comprimento total quando medido paralelamente no eixo longitudinal do cabo e 29,2 cm em largura medido perpendicular ao eixo longitudinal do cabo (Figura 1).

Seguindo a evolução dos materiais as raquetes também teve uma evolução considerável, as primeiras aparições das raquetes evoluídas foram as de madeiras e corda de tripa de carneiro entrelaçada, sua origem era cabeça pequena e pesadas, logo após surgiram as de metal com o mesmo seguimento de cabeça e peso, já na década de 80 começou aparecer as de grafite com metal que ainda era muito pesadas mais o material já mais resistentes, após a década de 90 a evolução foi acelerada no material, cabeças maiores e mais leves com ótimo controle de jogo.

Figura 1- Raquete



Fonte: arquivo imagético organizado pelo autor (2021).

2.3 Quadra

O tamanho da quadra tem suas particularidades específicas nas dimensões, as quais são medidas em jardas. O tamanho total da quadra é de 26 jardas (23,77 metros), linha de fundo para jogo de simples (marcação de dentro) possui 9 jardas (8,23 metros), a linha de fundo pares, 12 jardas (10,97 metros), a área do serviço possui 7 jardas (6,40 metros), entre a linha de saque e o fundo temos 6 jardas (5,48 metros) e a altura da rede centro é de 0,9 jardas (0,914 metros), (Figura 2).

Atualmente, são mais conhecidos 3 tipos de piso para quadra de tênis:

a) Quadra de saibro (*clay court*). Constituída por um piso de terra batida e coberta com uma camada de pó de telha. Velocidade Baixa, a sua composição de terra batida deixa o quique da bola mais lento;

b) Quadra de grama (*grass court*). O piso é de terra natural recoberto com uma grama densa e muito baixa, não podendo ultrapassar 8mm de altura. Velocidade Alta;

c) Quadra dura (*hard court*). Formada por um piso de concreto, borracha e pintura acrílica, para que a superfície da quadra fique mais áspera. Velocidade Média.

Conforme as características de cada tipo de piso das quadras existem uma forma de jogar, por isso os jogadores precisam fazer uma adaptação de como jogar em cada tipo de piso, cada ocasião de jogo os atletas se adapta, no qual o jogo taticamente muda em altura, velocidade, ângulos, etc, do quique da bola. O calendário mundial do circuito de tênis é elaborado pela associação dos tênis profissionais (ATP) que por virtude de adaptação de como jogar em cada tipo de piso, organiza os eventos mundialmente com as mesmas característica de piso, seguindo a ordem de cada temporada de torneios em todo continente. Seguindo uma ordem de temporadas, saibro, dura e grama, ao iniciar o calendário os torneios seguem o mesmo padrão, para que os jogadores tenham maior desempenho.

Figura 2 - Aquadra de Tênis de Campo



Fonte: <https://pixabay.com/>

2.4 O Saque

O saque, por suas particularidades nas habilidades e nos movimentos, é considerado um dos golpes mais complexos em sincronização temporal envolvendo a trajetória da raquete e lançamento da bola. O sincronismo é baseado em um conjunto de movimentos dos membros superiores e inferiores, eixos de alavancas e transferências de energias. É composto por quatro partes, posições dos pés, corpo, braços e bola, que estão diretamente correlacionadas com as características motoras do atleta. O saque é um golpe sólido de fundo de quadra e que requer a precisão total dos movimentos para execução, sendo o único golpe em que o jogador tem total controle da fase inicial até a fase final do golpe, esse domínio permite que o sacador organize toda estrutura cinética necessária para que consiga executar o movimento do saque com precisão, produzindo efeitos, velocidades, ângulos etc. A organização é bem caracterizada por habilidades própria dos atletas (BAČIĆ; HUME, 2018).

Por motivos coordenativos, o saque tem sido nos últimos tempos o golpe mais estudado no tênis, sua característica técnica é responsável por iniciar o ponto/jogo originando a disputa com ênfase em vencer o ponto, esse golpe tão emblemático de ataque e de difícil compreensão coordenativa é golpeado em grandes escalas de estilos diferentes,

principalmente em posicionamentos de pés conhecidos como (*foot up* e *foot back*). A estrutura do trajeto da raquete simbolicamente é designada pela origem do posicionamento dos pés, esses aspectos técnicos influenciam diretamente na execução do saque, os parâmetros técnicos do movimento não sofrem interferências de fatores externos, cabe ao jogador alinhar a dinâmica do seu movimento para que atinja um saque eficaz (ELLIOTT *et al.*, 2003).

O jogador se posiciona atrás da linha de base perpendicular à rede, posição estática e inicialmente com os pés afastados e alinhados aos ombros virados para a rede. O ritmo, balanço, equilíbrio e eixos de alavancas nas posições são feitos pelos próprios jogadores. Ao iniciar o (*tossing*) lançamento da bola para o alto, toda cadeia cinética é de controle total do jogador, o ponto de contato raquete/bola é dirigido pelo seu início de alavancagem e deve atingir a bola antes que toque o solo. Fica por conta do propósito mecânico em qual altura e distância vai atingir a bola no ar, o saque deve ser executado em lados opostos ao adversário e atingir uma área demarcada de jogo. Com base no tênis moderno, o saque obteve muitas alterações devido à necessidade de gerar potência no golpe, a evolução dos materiais, raquetes, bolas, cordas e outros. O saque teve que se adaptar para a evolução contendo o conjunto dos movimentos em harmonia para maior controle na eficiência de acerto do saque. O estudo biomecânico da cadeia cinética do saque mostra a influência das habilidades motoras e aptidão física para realizar os movimentos sincrônicos com precisão. O golpe do saque, por sua característica de ataque, é executado em dois formatos em eixos de alavancas. É de característica própria o estilo de cada posição dos pés do jogador, os modelos são utilizados para controle, potência e eficiência no saque adquirido pelo próprio sacador (SILVA; LEMOS, 2014).

Precisamente o movimento do saque é executado de forma livre em movimentos lineares dos membros, sem tensões e forças atuantes externas, considerando que a força começa nos pés, a alavanca segue os parâmetros, as características *Foot-back*: técnica de execução do saque com membros inferiores afastados e *Foot-up*: técnica de execução com membros inferiores aproximando, baseados nas estruturas dos pés o pendula do saque é sobre a base giratória do ombro, portanto a única força atuante a desferir no movimento a ser transferida é do binário, que atua diretamente nos pés do jogador. (XAVIER *et al.*, 2017).

Na prática, o saque no tênis de campo, de modo geral, deve ser treinado e executado de forma harmônica sem nenhum esforço físico desnecessário, evitando-se a fadiga muscular e preservando a efetividade do saque. Observa-se que, ao deslocar a raquete para impactar a bola, o jogador dispende uma energia de trabalho com um esforço físico igual ou maior que a

energia transferida para a raquete, sendo que, por meio dessa relação, define-se a eficiência do movimento (Figura 3).

Figura 3 - O Saque



Fonte: <https://pixabay.com/>

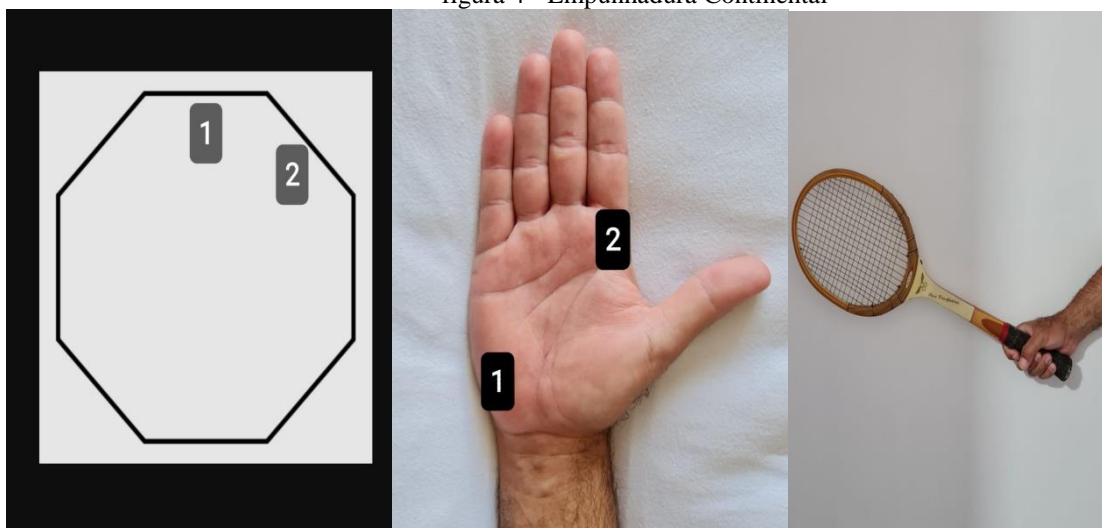
2.5 Empunhadura do Saque

É de suma importância que o jogador, ao segurar a raquete para sacar, alinhe os pontos anatômicos localizados de forma transversal na mão nas proximidades do index (base do dedo indicador) e processo estiloide ulna e metacarpo, usualmente tem o nome de empunhadura continental. Este ângulo da raquete na mão permite o jogador orientar a direção angular no impacto da raquete com a bola, este segmento só é preciso se a raquete estiver alinhada com o antebraço no eixo linear do golpe, toda cinética do golpe fica comprometida caso a mão não esteja na empunhadura continental, ao projetar o corpo para golpear a bola toda atividade muscular deve estar com os movimentos sem interferência externas como torque, a organização espaço temporal do movimento é alinhado no trajeto da raquete para bola livremente sem interferência mecânica na execução do golpe.

O ângulo correto da mão ao segurar a raquete para o saque é organizado na estrutura do cabo da raquete mensurado entre os pontos 1 e 2 marcados de forma ilustrativa no cabo da raquete e mensurados nos pontos anatômicos da mão (Figura 4), a estrutura e precisão dos pontos segue aos padrões de formatos próprios da mão do jogador, individualizando a localização anatomicamente dos pontos referenciados em regiões, a estrutura do ponto 1

segue anatomicamente a região do processo estiloide ulna e a região do ponto 2 segue na base do metacarpo. A linha desse eixo é transversal, portanto, esta é a indicação para definição da posição e ângulo correto de segurar o *grip* da raquete, permitindo que o movimento do punho gire livre para execução dos movimentos anatômicos do punho dando mobilidade nos eixos. A cinética do movimento do saque, o corpo projeta em direção ao seu eixo específico de alavanca para cada tipo de efeito e transfere toda carga de energia por inércia da raquete para o punho deixando-o rígido antes do contato com a bola no exato momento em que o efeito pré-definido. No início da cinética, indica a direção do ângulo no eixo do braço-raquete para a bola definindo o estilo do efeito para golpear a bola.

figura 4 - Empunhadura Continental



Fonte: arquivo imagético organizado pelo autor (2021).

2.6 Ponto de Contato da Raquete com a Bola

No exato momento do contato da raquete com bola “Impacto”, o pulso aplica uma aceleração na raquete ‘snap’ que determina qual o tipo de efeito a bola irá girar, a energia aplicada na bola distribuída pelo movimento da cabeça da raquete e que produz uma força gravitacional com a resistência do ar transformando em energia de sustentação que ocorre devido o sistema de escoamento de ar em torno da bola, dando origem ao chamado efeito da bola. A resistência do ar em torno da bola faz com que a bola gire em algum sentido comumente chamado de efeito, *topspin*, *slice* e *flat*, esta rotação da bola está correlacionada com o momento angular (momentum) de transição de energia da cinética do braço e raquete. A trajetória da bola oscila pela aderência do deslocamento do ar e pela forma de transferência

de energia da raquete para bola (Figura 5), centro geométrico da bola e aumenta o escoamento do ar dando origem a uma rotação em seu eixo plano.

O ponto máximo de extensão do corpo está onde ocorre maior distribuição de carga de energia de alavanca no golpe, portanto no contato da raquete com a bola é importante o sacador atingir o ponto máximo de toda extensão das articulações envolvidas no golpe.

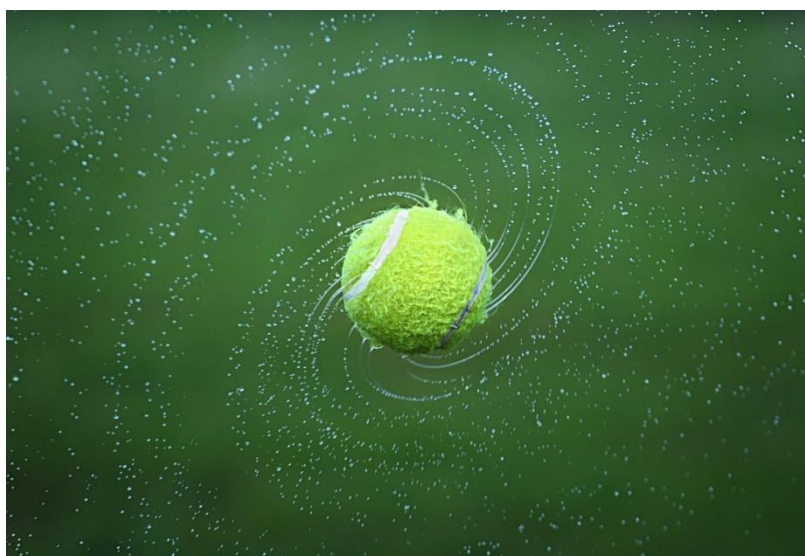
2.7 Estilos de Efeitos da Bola

Topspin – O *topspin* é um efeito bastante usado nos golpes de fundo de quadra pelos jogadores, *forehand* e *backhand*, e usado no saque por muitos jogadores, o efeito *topspin* da origem ao formato do giro da bola em sua rotação sentido horário.

Underspin ou **Slice** – Conhecido por *Slice*, o eixo de rotação da bola neste efeito é designado para trás o giro proposto da bola é sentido anti-horário.

Flat ou Chapado - Conhecido por ser um saque mais rápido, é o efeito de menos rotações, o giro da bola é quase nulo por ser golpeado com a raquete plana e não exercendo movimentos de pulso para produção de algum tipo de giro na bola.

Figura 5 - Efeito da Bola



Fonte: <https://pixabay.com/>

CAPÍTULO 3

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Este capítulo apresenta as ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento desse projeto, o software Cinemetria.

Processamentos de Imagens

As imagens de vídeo serão processadas utilizando o pacote Open Source Computer Vision Library (OpenCV) (BRADSKI, 2000). Originalmente desenvolvido pela Intel utilizando as linguagens de programação C/C++, o pacote de processamento de imagens OpenCV é livre para uso acadêmico e comercial. A biblioteca OpenCV tem uma enorme quantidade de algoritmos otimizados para visão computacional e processamento de imagens. Por ter um desempenho muito otimizado utilizando recursos avançados da CPU e GPU como processamento paralelo, geralmente é utilizado para execução de algoritmos em tempo real.

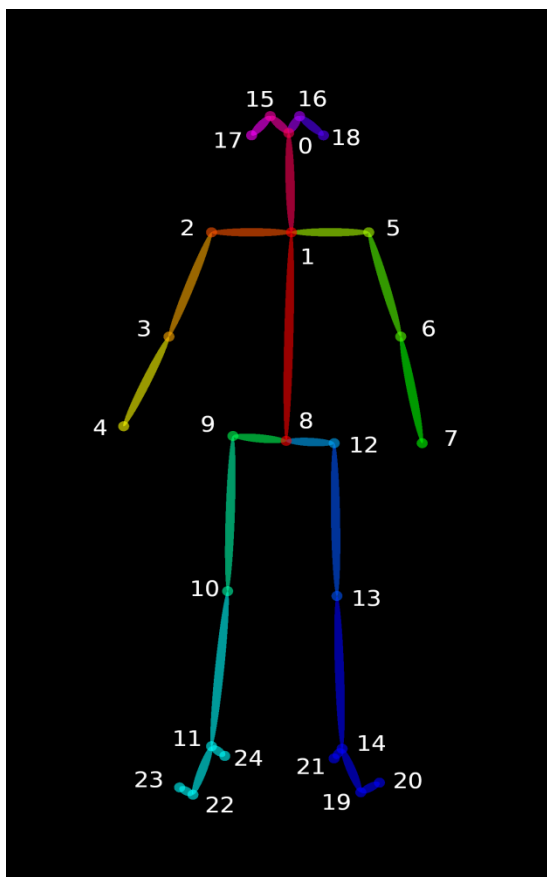
3.1 *Deep Learning*

Um modelo de aprendizado de máquina denominado OpenPose (CAO *et al.*, 2019) é creditado como o primeiro sistema para detecção de pontos-chave do corpo humano em tempo real e em várias pessoas ao mesmo tempo. Desenvolvido em linguagem C++ é compatível com o pacote OpenCV e pode utilizar diversas bases de dados para o treinamento em *deep learning*. Atualmente, é possível encontrar bases de dados para treinar a obtenção da posição dos pés (Figura 6) (CAO *et al.*, 2018).

3.2 Visualização 3D

Os modelos reconstruídos em 3D a partir das imagens estéreo obtidas pelas filmagens em vídeo, serão visualizados pelo pacote computacional Visualization Tool Kit (VTK) (SCHROEDER; MARTIN; LORENSEN, 2006).

Figura 6 - Posição dos pontos-chave obtidos pelo OpenPose



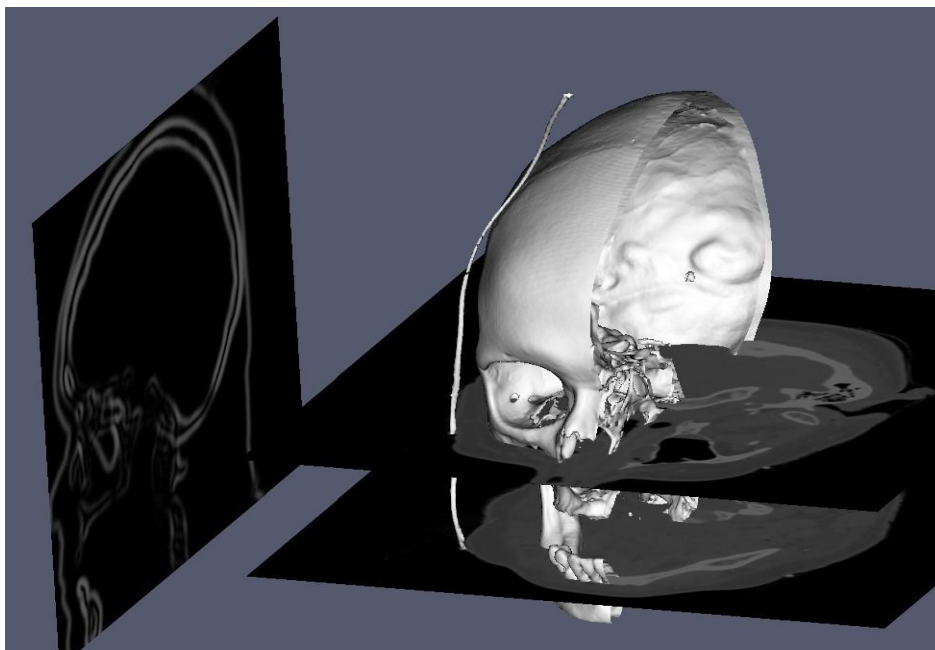
Fonte: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/doc/output.md>

Originalmente, o VTK fazia parte dos algoritmos do livro texto de Schroeder, Martin e Lorensen (2006) e é suportado pela empresa Kitware, Inc. Por ser um de código livre, o pacote VTK é largamente utilizado em visualizações científicas, tendo a capacidade de modelar e renderizar em 3D. Um exemplo de renderização feito pelo software VTK, a partir de imagens de tomografia, pode ser visto na Figura 7.

3.3 Ferramentas Computacionais Auxiliares

Desenvolvido em Visual Studio - CSharp, o programa para a interface com o usuário organiza a chamada aos algoritmos desenvolvidos em OpenCV e VTK. Na Figura 8, é apresentada a tela inicial do programa, onde é possível cadastrar o tenista, fazer a gravação e edição do vídeo em estéreo, além de apresentar os resultados obtidos em textos e gráficos.

Figura 7- Exemplo de renderização feita pelo VTK a partir de imagens de Tomografia.

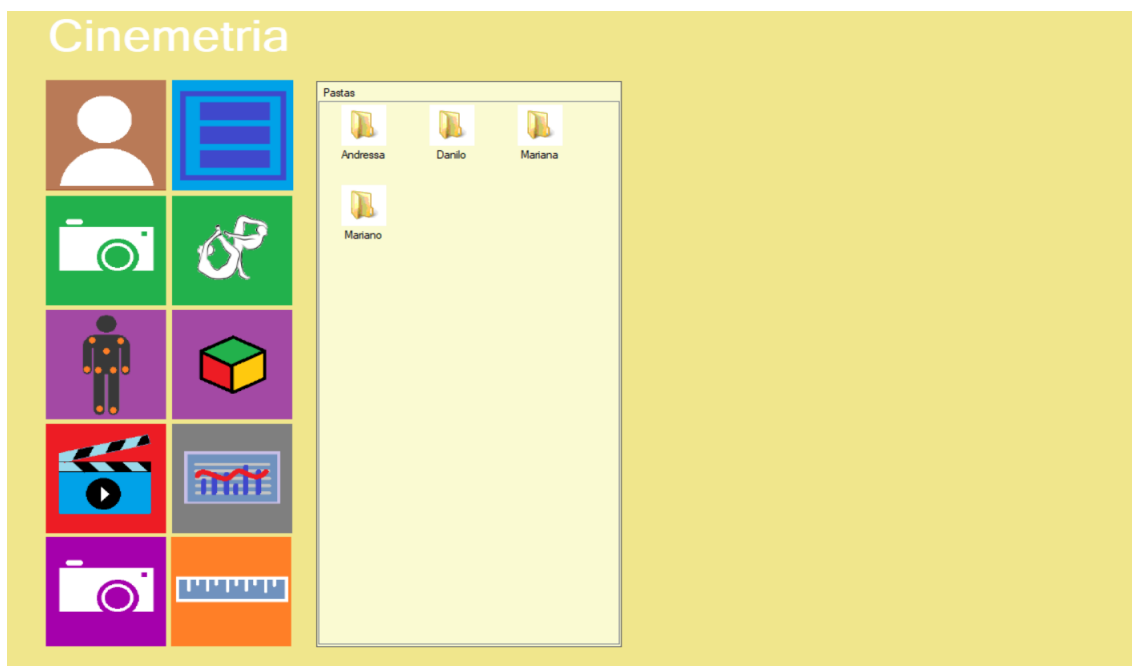


Fonte: <https://vtk.org/vtk-in-action/>

3.4 Interface do Software Cinemetria

O Software Cinemetria desenvolvido para renderizar o movimento em 3 dimensões tem os comandos por acesso rápido para que possa ser feita a análise de forma simplificada para o usuário. Os comandos do programa são divididos por ícones e categorias diferentes, a renderização é feita automaticamente com reconhecimento dos pontos anatômicos do corpo, tendo que realizar pequenas manobras de ajustes nos pontos, após os ajustes finos o software roda para renderizar o AVATAR em 3D com origem específica do movimento capturado.

Figura 8 - Tela Inicial do Programa de Interface



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

A amostra (Figura 8) da interface do software Cinematria especifica cada etapa com ícone relacionado ao comando. A apresentação dos atletas cadastrados no programa é dividida por pasta, câmera ícone para visualizar os vídeos comparativos, análise dos pontos segmentados, gravar as ações dos movimentos, explorar os vídeos já renderizados, pastas com todos os jogadores cadastrados, animação em 3D visual em todos os ângulos, gráficos expressos sem textos gráficos em planilhas e antropometria do jogador.

CAPÍTULO 4

CINEMÁTICA DO SAQUE

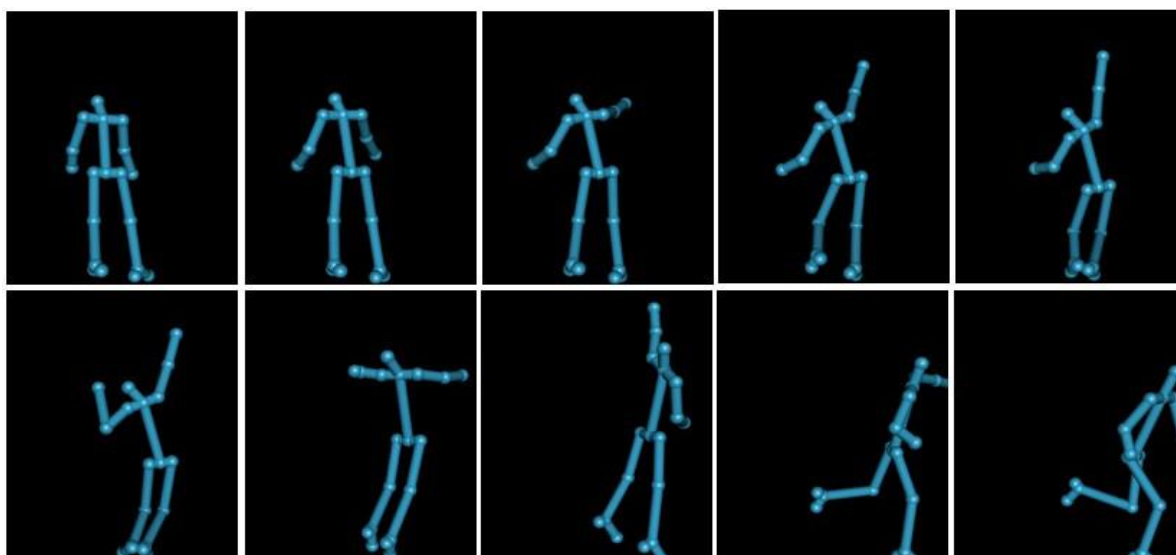
Neste capítulo, é discutida a cinemática do movimento do saque.

A cinemática computacional do movimento do saque no TC, tem como objeto de estudo o desmembramento e desenvolvimento por meio de análise técnica a viabilizar e diagnosticar possíveis falhas mecânicas no movimento espaço temporal no jogador e por meio de dados reais coletados do movimento do saque no TC, com as combinações dos algoritmos específicos no software Cinemetria. É possível cadastrar o jogador no programa para aquisição das imagens e obter dados reais por meio de vídeos no movimento expresso em textos gráficos para análise das imagens de vídeos, propor parâmetros de modelagem com pontos anatômicos-chave no esqueleto virtual utilizando ‘*deep learning*’ do Opencv (em 2D), *Inverse Kinematic Human Body Properties 3D Adjusts*. Esta abordagem usa scripts em um sistema cinemático no processo automatizado de varredura dos dados. O sistema permite uma modelagem de animação em 3D de uma maneira realista em qualquer postura exigida, esses algoritmos podem ser usados para detectar e reconhecer o gesto motor e identificar objetos, classificar ações humanas em vídeos, rastrear objetos em movimento e definir toda a ação projetando em animação 3D, explorar o movimento e expressá-lo em três dimensões e quantificar como pico e curva linear do movimento a atividade muscular explorada no golpe do saque e com pontos segmentados nos ângulos articulares dos joelhos, linha média do quadril, relação ombro sobre ombro, rotação de tronco, extensão de cotovelo, flexão de punho e raquete. Este sistema mostra a especificidade dos pontos renderizados em imagem 3D e objetiva anatomicamente o golpe, sendo fidedigno para análise prévia cinemática da biomecânica do movimento proposto. (BAČIĆ; HUME, 2018).

O protótipo com o pacote *Deep learning* tem o modelo de aprendizagem da máquina denominado *OpenPose*, e pode diferir alguns pontos articulares importantes e específicos para cada jogador, visto que é imprescindível aderir em uma sessão de treinamento, caso o jogador precise de uma atenção específica no movimento do saque. A modelagem do movimento proposto ao jogador em baseada em formato mecânico obtido de uma base científica e com *feedback* específico individual. Com auxílio da ferramenta, tem-se a possibilidade de analisar o movimento em tempo real durante as sessões de treinamentos. Os dados são capturados por vídeos em multicâmeras e utilizados em uma dimensão

tridimensional com critérios de avaliações e correções em tempo real, no progresso de aprendizagem do movimento em uma sessão de treinamento ou ao término, reproduzida pelo software Cinemetria em uma plataforma aberta OpenCV e VTK, desenvolvida em Visual Studio – Csharp. O modelo cinemático Open CV permite diagnosticar a possível deficiência no movimento do jogador com base em dados reais obtidos e segmentados por linhas em eixos pré-estabelecidos, bem como analisar a estrutura do movimento com pontos articulares. A dinâmica do movimento e a estrutura de alavancagem do segmento são expressas em linhas objetivas traçadas na ancoragem linear dos pontos ao longo do corpo, expressando o movimento do saque executado pelo jogador e reproduzido pelo software Open CV. Isso indica confiabilidade e a possibilidade de avaliar todos os ângulos, eixos e amplitudes dos membros. A cinemática composta de dados reais coletados por vídeos faz com que os movimentos dos jogadores sejam estruturados e específicos para análise qualitativa do movimento projetado em 3D (Figura 9). Podendo analisar os resultados sincronizados dos pontos sem marcadores específicos espalhados pelo corpo do atleta, o sistema captura a imagem de forma inteligente e renderiza o avatar automaticamente no primeiro contato. Para realizar a análise qualitativa do movimento, é possível utilizar os comandos específicos para análise visual, câmera lenta, vídeo normal, retrocesso, gravar por partes, voltar ao início e rodar frame a frame o vídeo, todos os comandos ordenados manualmente.

Figura 9 - Análise do movimento do saque do atleta no avatar em 3D, (sub-amostrado em 5x)



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O propósito do sistema automatizado foi desenvolvido com algoritmos específicos para análise cinemática do movimento do saque, propondo que a análise dos dados

cinemáticos e a avaliação sejam fidedignas para diagnosticar possíveis alterações no movimento do saque e ajustar de forma precisa e compreensiva o desenvolvimento do jogador. O protocolo de avaliação para esta cinemática é composto por uma proposta prévia de um conjunto de movimentos dividido por 4 estágios de preparação. Ainda não existe uma publicação científica de um protocolo totalmente fechado para desenvolvimento da mecânica do saque, é branda a atenção para esta necessidade e ainda há um paralelo em aberto a esclarecer no gesto motor do saque. Portanto, desenvolvemos um protocolo com alguns fatores importantes a seguir, para compreensão do gesto motor e estabelecer parâmetros dinâmicos na execução de um bom serviço. É de grande importância avaliar e observar o prontuário pedagógico nas fases dos desenvolvimentos do golpe. A subdivisão dos movimentos é classificada em paralelo para esclarecer a projeção do golpe como um todo. O movimento do saque prevê uma ação contínua no agrupamento muscular dos eixos, alavancas e rotações dos membros inferiores e superiores como mostra a Figura 12.

Com este propósito, dividimos em 4 estágios para análise prévia do movimento do saque: primeiro, lançamento da bola, base fixa dos pés e projeção dos movimentos de flexões e extensões (*toss*); segundo, preparação de alavancagem, levar a raquete até o ponto de parada de tempo com a bola, (*backward-swing*) terceiro, aceleração da raquete para cima, passando por trás da cabeça e subir até o contato com a bola, (*swing upward*), e quarto acompanhamento do golpe (*following through*), momento em que a raquete toca a bola e até o pé de apoio tocar o solo, desacelerando a raquete. Esses movimentos são livres e contínuos com dimensões adaptadas pelos jogadores. As técnicas desenvolvidas para execução do saque exigem um conjunto de habilidades motoras. É comum no início do saque cada jogador optar pelo seu ritmo ou ritual próprio, gesto que não influencia diretamente no golpe. Portanto, os jogadores buscam realizar adaptações em diferentes estilos. Na fase inicial, a orientação para o jogador é de que posicione o corpo de modo perpendicular à rede, separe os pés, que deverão ser alinhados aos ombros estabilizando o corpo, mantenha a postura de balanço, equilíbrio e lançamento da bola (*toss*). O referido lançamento deve ser feito sincronizado com arremesso da raquete para trás longitudinal e bola para cima verticalmente ao corpo. O balanço dos braços de abertura segue até o momento em que atinge abertura 90 graus de ambos os braços paralelos aos ombros. A segunda fase é o momento em que o jogador, ao lançar a bola, continua com o braço de arremesso da bola para cima verticalmente até aproximar da cabeça. O braço oposto segue com a raquete até flexionar o cotovelo aproximadamente 90 graus e os joelhos chegam ao seu pico máximo de flexão. Neste momento, é o maior pico de concentração de energia. A terceira fase é a trajetória da raquete

que passa nas costas e sobe até o contato com a bola acima da cabeça. Este é um ponto muito importante para analisar, pois a extensão total dos membros inferiores e superiores influenciam diretamente na mecânica do saque. A quarta fase é o momento que a raquete e os braços percorrem o caminho projetado pelo golpe proposto e segue até o momento em que o pé de apoio da frente toque o solo, a trajetória é definida de acordo o estilo de efeito. (DU; ZHOU; WANG, 2016).

O software Cinemtria por meio de uma interface possibilita ao usuário a chamada dos algoritmos, o cadastro do tenista e a gravação em vídeo com multicâmeras acopladas ao sistema. Ao coletar os dados sem marcadores específicos nos pontos-chave, o software identifica os pontos articulares no indivíduo, faz a edição automaticamente e reconstrói (renderiza) o modelo em 3D a partir das imagens estéreo obtidas pela filmagem. Com esta interface, é possível analisar todos os estágios considerados inerentes a um bom golpe, além de apresentar os resultados obtidos em textos e gráficos.

4.1 Fase Preparação

Tabela 1 – Sequência das características de ações neste estágio de análise qualitativa e diagnóstico do Saque

Primeiro Estágio	Ações	Fase
Preparação <i>tossing</i>	Empunhadura Equilíbrio alauço <i>Toss</i> (lançar a bola) Base dos pés	Base Fixa

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

É importante a definição dos principais pontos de ações para diretrizes cinemáticas de análise do movimento. O primeiro estágio definido como preparação tem 5 fatores de ações em uma base fixa do jogador, e consiste em uma ação linear segmentada na cinética do movimento. A estrutura organizada dos principais pontos de ações correlaciona a efetividade do trajeto da raquete até o contato da bola, alinhando o eixo e fixando a entrada no ângulo correto da raquete na bola.

Empunhadura: É importante o jogador ao sacar utilizar uma pegada na raquete quando é possível realizar todos os eixos de movimentos do ombro, cotovelo e punho. Essas ações nas articulações do braço influenciam diretamente o estilo de golpe definido como *top spin*, *slice*

e *flat*, considerando que a empunhadura ideal para executar o saque é o *grip* continental mencionada na Figura 4. O ângulo da mão que segura a raquete permite que a ação do pulso execute seus principais movimentos de flexão, extensão, adução e abdução, facilitando a projeção da raquete na bola.

Equilíbrio: Manter o corpo em uma posição ereta com as bases (pés) levemente afastadas estabilizando o corpo para uma flexão de joelhos e inclinação do tronco, movimentos de isometria, base fundamental para o início do golpe. Tal ação corresponde à dinâmica de toda cadeia cinética do movimento do saque, portanto pode ser bem explorada pelos treinadores em treinamentos em diferentes dinâmicas para desenvolvimento psicomotor do atleta, é um momento que não influencia diretamente na precisão do saque, apenas estrutura a base.

Balanço: É o conjunto dos movimentos inferiores e superiores. Eles são lentos e estáticos e fazem a harmonia dos eixos e alavancas dos braços e pernas, gerando estabilidade e ativação dos músculos envolvidos nesta ação do saque.

Lançamento da bola (*Toss*): O braço oposto que segura a raquete é o braço não dominante que lança a bola para o alto. O movimento simultâneo dos braços em balanços é executado em sentidos opostos dando seguimento ao lançamento da bola para o alto e elevação da raquete para trás simultaneamente. O braço que lança a bola deve seguir sem nenhum auxílio de movimento como flexão de pulso e flexão de cotovelo. O lançamento é executado com o braço estendido perdendo contato com a mão/bola aproximadamente na altura do ombro e prolongando o movimento do eixo vertical do braço próximo a cabeça, o ponto ideal para soltar a bola é inerente de cada jogador, o ponto proposto para soltar a bola é deferido e determinante ao estilo adequado do efeito. O ajuste e a dimensão de amplitude são executados a frente do corpo em altura proporcional para cada jogador.

Base dos Pés: Obter uma base sólida com o centro de massa distribuído em ambas as pernas, a distância de apoio é considerada em proporção de altura do jogador normalmente é equiparada com a largura dos ombros. Esta base não influencia diretamente nos eixos de alavancas, pois serve apenas para estabilização e para deixar a base sólida. Ao iniciar uma sequência regular, cada jogador adere uma base e se torna existente em todos os inícios de seu saque.

4.2 Fase Preparação de Alavanca (União de Forças)

Tabela 2 – Estágio de União de força para análise qualitativa e diagnóstico do Saque

Segundo Estágio	Ações	Fase
Alavancagem Backward – swing	Flexão de cotovelos Relação braços flexão dos joelhos flexão do tronco lateral foot up/ foot Back	Base Baixa (Pico de energia)

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O Segundo estágio *Backward-swing*; Alavancagem: É o momento da preparação que exige maior complexidade e atenção do jogador, é o ponto principal da cinética considerado o pico de contração de força antes de iniciar a extensão até a bola, é importante a harmonia das alavancas e eixos para o movimento fluidificar em todo o trajeto e não ter perda de energia sem interrupção e agravante negativo de impedimento na excelência do movimento no todo.

Flexão de cotovelo: O braço atuante com a raquete redireciona a raquete para trás do corpo inicialmente estendido com uma leve rotação externa de ombro até o cotovelo alinhar com os ombros, logo faz uma flexão do cotovelo aproximadamente 90 graus e estabiliza o movimento interrompendo a ação contínua. É nesse momento que inicia a transferência de toda cadeia cinética dos membros inferiores e membros superiores potencializando a ação do movimento como um todo. Para essa reprodução ser conduzida de forma linear e contínua, é de suma importância que todas as ações estejam devidamente alinhadas e harmônicas para que as transições ocorram naturalmente. A reprodução sincrônica está pré-definida ou requerida para ordem de ações dos membros e que pode ser explícita e inerente ao movimento do saque.

Ralação braços: Em tal momento, os braços se movem em direções opostas para cima ou para baixo. É o exato momento no qual o corpo tem o início do trajeto do movimento representado quando o braço que segura a raquete vai para trás e o braço que segura a bola vai para frente e para cima alcançando a linha dos ombros perpendicular ao corpo. Trata-se de uma ação que é sincrônica e harmônica com raquete e bola. O momento que o jogador solta a bola da mão para cima é um ponto específico e inerente de cada jogador, proposto pela referência adquirida de noção espacial de tempo para lançar ou arremessar a bola para o saque com pequenos ajustes para cada estilo de efeito na execução do saque, a estrutura *backward –*

swing é explícita em todos os estilos de saque ou efeitos mencionados, pois sua ação é eficaz no trajeto da raquete.

Flexão dos joelhos: Os joelhos estão expostos com algumas divergências de análise, existe uma diferença em amplitude de ângulos para cada tipo de saque a uma exigência postural para execução. É possível definir o ângulo de flexão por capacidade muscular de cada jogador e referindo ao movimento proposto do saque. Ao aderir um estilo próprio para sacar, é importante observar toda a cinética e definir o melhor ângulo para o atleta. Em tal estrutura é designada a energia exposta à explosão muscular potencializando o estilo próprio de saque em que o jogador se adapta a grande ação de sua necessidade ou facilidade na execução do movimento que empurra o eixo vertical de baixo para cima ou de trás para frente.

Flexão do tronco lateral: A inclinação do tronco lateral é aproximadamente 45 graus, o tronco inclina deslocando o quadril para frente e os ombros sobre postos inclinados, ação que define totalmente a posição máxima do eixo de alavanca determinando a posição angular dos ombros e quadril. O impulso dos pés é um fator importante para ativação dos MMI e correlacionar o momentum do quadril e ombro que produz um eixo rotativo e angular sincronizando ombro sobre ombro elevando o braço para cima e quadril girando horizontal gerando potência do golpe.

Foot Up / back: A posição dos pés juntos ou afastados não impede o jogador de executar toda cadeia cinética linear. É imprescindível que o jogador se adapte por valores fisiológicos e psicomotores, assim como possa suprir sua exigência de ativação muscular. A compreensão cognitiva física é determinada conforme o histórico de desenvolvimento motor do atleta ou jogador. A expressão determinante não define o propósito que é melhor para cada biótipo, mas sim a escolha do jogador, o quanto a expressão física de cada jogador propiciou a sua posição de explorar o máximo em desempenho no saque e que é inserida no contexto motor do jogador. O fato da escolha é diretamente próprio, pessoal e determinante no desempenho das ações de ativações dos membros superiores/inferiores para a execução considerando o objeto abstrato e indefinido para escolha. Após longos treinos de saque utilizando ambas as formas de posições dos pés, o jogador sim define o seu propósito e estabelece a dinâmica dos movimentos envolvidos para execução do saque.

4.3 Fase Aceleração do golpe (momentum de transição de energia)

Tabela 3 – Momentum de transição de energia de análise qualitativa e diagnóstico do Saque

Terceiro Estágio	Ações	Fase
Aceleração Swing	Rotação Tronco	Base Alta
	Extensão do cotovelo	
Up Ward	ombro sobre ombro	
	Pronação antebraço	
	Rotação de ombro interno	

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O terceiro estágio *Swing Up Ward*. A aceleração segue uma lógica de comportamento dos movimentos anteriores para execução do saque. Portanto, é um momento crucial para determinar as principais características do saque, fator determinante de aceleração, velocidade e efeitos, a efetividade destes movimentos e a sincronização dos eixos de alavancas produzida no momentum determina a amplitude das alavancas e potência de aceleração do golpe.

Rotação de tronco: O giro do tronco está ligeiramente arqueado unilateral perpendicular a rede em um ângulo de 45 graus. Esse gesto motor de preparação auxilia e potencializa toda cadeia cinética da estrutura dos ombros facilitando a projeção do tronco no movimento angular para frente.

Ombro sobre Ombro: A postura angular dos ombros é alinhada com a linha pélvica do quadril. Ao flexionar os joelhos e arquear o tronco, a linha dos ombros fica levemente inclinada, o ombro dominante abaixo do ombro não dominante em linha, a estrutura tem a importância no movimento de rotação do ombro para frente.

Rotação de ombro interno: O movimento de rotação interna de ombro está correlacionado diretamente com a velocidade do saque. A rotação interna de ombro é projetada na fase concêntrica antes do impacto com a bola e segue até a fase excêntrica no final do golpe.

Extensão do Cotovelo: A alavanca da articulação tem uma ação muito importante e influencia diretamente na trajetória da bola. É necessário o cotovelo estar totalmente estendido no momento de contato da raquete com a bola, é importante isolar o movimento de força de contração articular no pico do movimento.

Pronar o antebraço: Este movimento é responsável por alinhar a face da raquete (cordas) para a bola, alinhando o braço antes da ação de tocar a raquete/bola. Esta estrutura é fundamental para o pulso realizar o impacto associado aos efeitos do saque.

4.4 Fase Acompanhamento (Cinética)

Tabela 4 – Terminação do golpe para análise qualitativa e diagnóstico do Saque

Quarto Estágio	Ações	Fase
Acompanhamento Following – Through	Flexão de Punho	Base
	Flexão de tronco	Frontal
	Transferência de peso	
	Flexão de ombro interno	
	Arremate	

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quarto estágio *Following – through* Acompanhamento.

Flexão de punho: Ao iniciar o movimento do saque, a ação do punho já está pré-definida para execução. Ao definir o estilo do efeito do saque, o movimento segue a linha de trajeto segmentada em linha para ação do movimento do punho. Toda ação é projetada por inércia de energia.

Flexão de tronco: A aceleração da raquete para o impacto com a bola é uma transição de energia da rotação com a extensão do tronco. Esta atividade muscular permite maior transferência de carga de energia para a bola gerando potência.

Transferência de peso: O balanço do corpo antes de iniciar o saque é realizado para o conjunto de harmonização dos membros inferiores e superiores. A cadeia cinética tem início nos pés e transita até a raquete para realização do contato com a bola, os movimentos sincronizados exige do sacador uma coordenação em relação à dinâmica dos eixos de alavancas. A distribuição de elasticidades da musculatura e a condução de energia sobre inércia propiciam a aceleração do movimento estabelecendo um ganho de velocidade na distância do trajeto da raquete até a bola, gerando potência no golpe aumentando a velocidade da bola.

Arremate: Este momento é considerado o mais perigoso em toda cadeia cinética. A força excêntrica com a desaceleração exige uma força maior dos membros inferiores e

superiores do corpo para relaxamento total dos grupos muscular minimizando tensões nas articulações e cargas altas na musculatura, a desaceleração ocorre normalmente em uma das pernas a frente do corpo com a outra perna elevada atrás do corpo, esse movimento é projetado por ações contínuas dos eixos angulares e lineares do saque.

4.5 Descrição das Técnicas do saque em Métodos Analíticos

A Cinemática consiste (AMADIO, 2007) em um conjunto de métodos de avaliações para medir os parâmetros cinemáticos do movimento, ângulos, aceleração, velocidade, orientação, centro de gravidade e segmentos das articulações. O instrumento de medição cinemático é baseado em câmeras de vídeos e lentes que registram as imagens do movimento e, por meio de um software específico, calculam as variáveis cinemáticas de interesse. A antropometria é um dos métodos diretos que existem para medir o indivíduo. O uso desses dados é imprescindível para a modelagem em 3D, dando a característica geométrica do corpo e suas dimensões articulares, estabelecendo a estrutura do modelo biomecânico de análise, demonstrando os padrões de amplitude, pontos articulares, eixos de rotações do braço, deslocamento e aceleração. Assim, é possível estabelecer os padrões analíticos de avaliação cinemática dos movimentos, bem como a origem dos pontos segmentados articulares para reconstrução dos movimentos cinemáticos.

Elliott (2006) menciona, em base biomecânica, indicadores e estruturas com os parâmetros para análise do movimento do saque. Tal estrutura consiste em sete movimentos angulares para desenho cinematográfico, divididos em três movimentos no ombro, isto é, flexão horizontal, rotação interna e circundação, dois movimentos no cotovelo, pronação e extensão e dois movimentos no punho flexão unar e flexão radial. Os segmentos das articulações do braço influenciam diretamente no modelo biomecânico do corpo humano, redigidos em linhas pelo software que possibilita as coordenadas angulares para que a estrutura temporal do movimento seja analisada cinematograficamente.

Para Neto, Serrão e Amadio (1986), existe cerca dinâmica entre as duas técnicas iniciais dos pés correlacionando a força existente no solo com o desempenho dinâmico da cinética do movimento. Na estrutura do modelo biomecânico, os dados obtidos estão correlacionados com a angulação dos joelhos e variações de força aplicada no solo e que concluem os aspectos dinâmicos de forças aplicadas nos movimentos do saque sendo que, a partir desta fase, a técnica começa a ser alterada em razão dos grupos distintos da cinética.

Portanto, o movimento do saque segue os parâmetros métricos dos eixos de alavancas para ser analisado e quantificado em dados temporais segmentados cinemáticos.

Reid, Elliott e Alderson (2008) destacam que as variantes cinemáticas em 3D do saque durante o movimento são caracterizadas na amplitude do contato com a bola em diferentes alturas, e mostra que, independente da posição dos pés, o movimento do braço não teve uma alteração significativa no pico do movimento em relação à amplitude do ombro. Os ângulos do ombro e tórax obtiveram a mesma amplitude independente do posicionamento dos membros inferiores.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

O trabalho intitulado Análise do Movimento do Saque no Tênis de Campo Por Meio de Processamento de Imagem - Diagnóstico Visando à Melhoria de Desempenho, pesquisador Bruno Valim, versão 1 (CAAE: 23175919.6.0000.5504), foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas da Instituição Proponente: Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, tendo número de parecer 132077/2019.

Visão Geral

Neste estudo, foi realizado o procedimento de análise por vídeos do movimento do saque em um grupo com quatro jogadores destros (média idade: $27,7 \pm 5,7$ anos; altura $1,77 \pm 5,9$ m; peso $80,5 \pm 6,9$ kg; prática de tênis semanal: 2 a 3 horas) com o protocolo adequado biomecânico do gesto motor. Para verificação dos pontos-chave anatômicos articulares do corpo humano, utilizamos o software Cinematria desenvolvido com algoritmos específicos para captar e renderizar em 3D o avatar automaticamente sem marcadores específicos espalhados pelo corpo. Os pontos-chave articulares do corpo humano é a peça-chave dos modelos cinemáticos do movimento do saque. Todos os participantes da coleta dos dados tiveram orientação técnica de todos os procedimentos adequados de segurança visando à proposta de qualidade e integridade física do atleta durante toda a execução do movimento e coleta dos dados. Com o procedimento para avaliação, foi realizada a coleta por meio de duas câmeras (Webcam C920 Full HD) interligadas a um notebook (Sony Vaio) e a partir da captura de vídeos com o software Cinematria desenvolvido para análise de dados cinematográficos do movimento do saque. A coleta dos dados para amostragem experimental é baseada em cinemática gráfica renderizada em 3D. Para analisar, as imagens de vídeos foram processadas usando o pacote do computador de código aberto Vision Library (OpenCV) (BRADSKI, 2000). Na Avaliação dinâmica, são destacados os Ângulos nos modelos 3D do open pose, software OpenCV e VTK, desenvolvidos em Visual Studio – *Csharp*.

Para o estudo prévio do saque, os jogadores foram cadastrados no programa Cinematria. Antes da experimentação, todos jogadores foram informados sobre os procedimentos experimentais. O protocolo do modelo a ser analisado exigiu que os jogadores

realizassem dez (10) saques para obtenção dos dados, visando quantificar um padrão adequado de movimentos, foi considerado que a cada game o sacador joga no mínimo 4 pontos e levando em conta que tem direito a 2 saques caso cometa uma falta. O estudo proposto coletou os saques assertivos considerando apenas o saque dentro da área de serviço localizada do lado direito da quadra de tênis e não levando em conta o movimento propriamente dito correto. O jogador pode utilizar sua técnica própria no movimento do saque, sem nenhuma interferência técnica ou exigência de movimentos. Os jogadores tiveram aquecimentos adequados e específicos antes da coleta e depois dos testes e familiarização com o tipo de avaliação, deixando todos bem confiantes para executar o seu melhor desempenho no saque. A coleta só teve início quando o jogador teve total confiança em iniciar a coleta dos dados cinemáticos e a filmagem. Todos os avaliados que foram escolhidos para análise jogam tênis há mais de 3 anos e têm o movimento do saque dentro dos padrões adequados da biomecânica, sem nenhum tipo de lesão vigente e queixa de dores articulares. O experimento realizado no grupo com as características impostas foi avaliado individualmente. Vale ressaltar que o procedimento é indireto realizado por captura de vídeos e processado para modelagem segmentada e aplicada em gráficos.

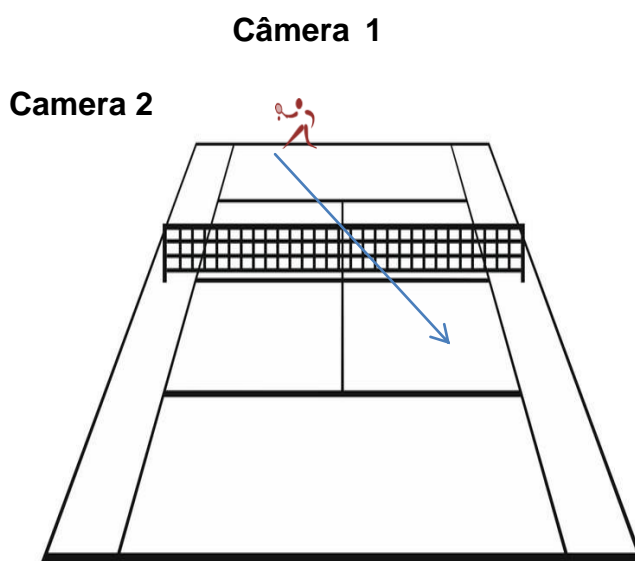
O software cinemetria usa *deep learning* com diversas base de dados para treinar a rede neural em uso para a detecção dos pontos-chave articulares anatômicos apresenta uma provável diminuição dos erros nas marcações articulares dos participantes, já que a programação utilizada é a mesma da interpretação da localização destes pontos, sabendo que a não utilização de marcadores pelo corpo, em alguns momentos, pode ocasionar falhas nas informações, devido às diferenças anatômicas dos indivíduos avaliados, ou também, interpretando pontos de aplicações articulares, que divergem entre os indivíduos analisados, com a diversidade dos ângulos no corpo humano é possível identificar alguns erros e corrigi-los manualmente durante o processo de análise do movimento.

A análise biomecânica dos movimentos examinados pela ferramenta Cinemetria avaliou individualmente cada saque/pessoa e quantificou automaticamente todos os pontos mencionados posteriormente. O projeto segmentado em linhas do saque é preciso e composto de informações gráficas, projetar e renderizar um avatar em 3D e mensurar de forma compreensiva o golpe de alta velocidade, permite realizar uma integração momentânea com software de forma precisa e idônea de caráter linear por meio da aprendizagem da máquina, denominada Open Pose (CAO *et al.*, 2019). Trata-se do primeiro sistema para detecção de postos-chaves do corpo humano em tempo real e com várias pessoas ao mesmo tempo.

5.1 Procedimentos

O OpenCV com processamento de imagem por câmeras estereoscópicas Webcam C920 full HD é colocado em pontos estratégicos definidos para coletar as imagens. A câmera 1 é localizada atrás do sacador de frente para rede e a câmera 2 localizada perpendicular a rede ao lado do sacador, ambas as câmeras em uma distância de 3 metros e com uma altura de 1,10m altura em tripé.

Figura 10 - Diagrama ponto de captura de imagem

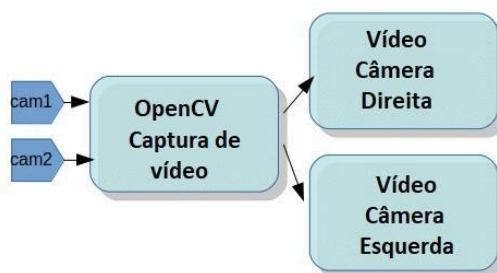


Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Assim, a cinemática é projetada para modelar e renderizar em 3D o modelo biomecânico do sacador. A reprodução consiste em 24 pontos anatômicos em espaço temporal organizado para uma cinemática do modelo. A filmagem foi feita em quadra de tênis, em dias favoráveis sem interferência externa, os jogadores foram abordados de forma simplificada para que os resultados da Cinemetria fossem compilados para a modelagem em 3D, bem como os pontos compatíveis para análise biomecânica do saque. No modelo, analisamos os pontos segmentados do movimento no saque e sua principal atividade muscular para o desenvolvimento do melhor trajeto da raquete no movimento visando à melhoria do desempenho do jogador, caracterizando os principais pontos anatômicos envolvendo toda cadeia cinética, pés, joelhos, quadril, tronco, ombros, braços, pulso e raquete, extensões articulações e a harmonização dos pontos automatizados do software, desenvolvido para

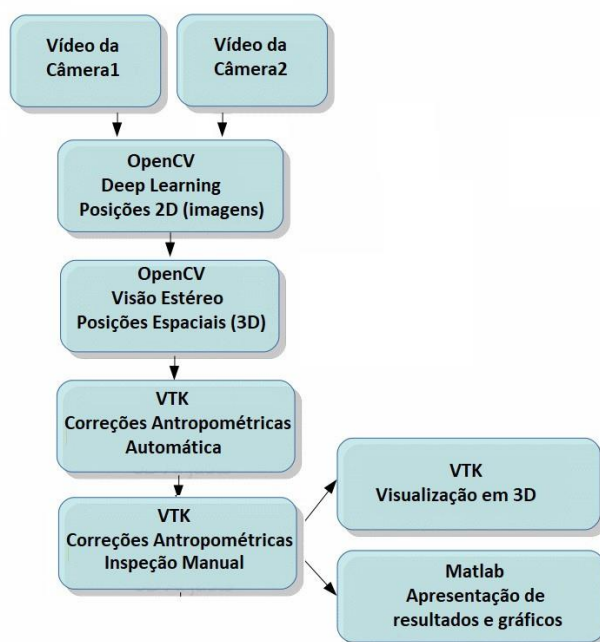
quantificar os pontos e as diferenças técnicas de cada jogador, assim como diagnosticar as deficiências mecânicas do movimento. (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Captura de Vídeo



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Figura 12 - Processamento do Vídeo



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O Software foi programado dentro da plataforma Opencv e VTK para as captações e processamentos das imagens dos participantes realizadas no saque. Com a programação Opencv, foi possível realizar no momento da captação da imagem em tempo real e de maneira simultânea, a identificação e edição dos pontos-chave articulares dos participantes, assim como obtendo o desempenho esperado da programação (Figura 11).

No processamento da imagem, a utilização do VTK realizou as correções antropométricas, e não ocorreu de forma totalmente automática, sendo necessários pequenos

ajustes manuais. No entanto, podemos considerar que os ajustes realizados foram poucos e com uma margem de erro relativamente baixa na otimização da modelagem estrutural do avatar, correção manual dos pontos foi necessário apenas quando o movimento passava por trás do corpo, sendo necessário ajustar para prosseguir com o movimento.

O consentimento por escrito foi obtido para cada jogador. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição Proponente: Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, tendo número de parecer 132077/2019.

5.2 Análise de Dados Reais Computacionais

Ao analisar as circunstâncias do programa Cinematria, temos a concepção da autenticidade do tipo de algoritmos otimizados e, como proposto, os pontos-chave articulares desenvolvidos na modelagem espaço temporal estrutural para análise biomecânica do saque, originalmente em uma plataforma aberta OpenCV. Os códigos produzidos em escala são determinantes para realizar os procedimentos necessários nos modelos biomecânicos desenvolvidos para o processamento de imagens e ajustes para renderização do avatar em 3D, otimizados para visão artificial computacional e processamento de imagens. Os pontos-chave articulares são reconhecidos diretamente sem nenhum tipo de marcador específico e apresentados em texto e gráficos expressos em linhas. Os valores obtidos pela análise do modelo biomecânico do saque, proposto pelo protocolo desenvolvido para análise dos dados foram divididos em quatro estágios para quantificar as ações de cada seguimento que compõe o movimento do saque. Os dados são procedimentos indiretos, mensurados e analisado pela inteligência computacional, renderizando o movimento em 3D, expressando em linhas o avatar, para obtenção dos dados o software Cinematria é necessária que o jogador ao realizar o saque estejam cadastrado antes de fazer a gravação e edição do vídeo em estéreo.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

As coletas dos dados por captura de imagem foram realizadas com a participação de 4 jogadores realizando 10 saques cada, a amostra foi feita uma varredura e renderizando 4 avatar, com padrões técnicos específicos compatíveis para obtenção dos dados deste estudo, sendo que os participantes voluntários cumpriram rigorosamente todos os requisitos técnicos determinados para esta metodologia.

Resultados Obtidos para Análise dos Dados do Saque

O Software Cinematria, por meio dos pontos morfológicos e antropométricos, aperfeiçoa o movimento dando suavidade nos traços e expressando os valores obtidos previamente e momentâneo, a apreciação do gesto motor a partir da inteligência artificial computacional e exposta para análise com valores mensurados e extraídos de imagens de vídeo. Ao registrar o vídeo no software Cinematria, os pontos-chave articulares são automaticamente identificados e renderizados para transformar por meio da cinemática em 3D o avatar. Com isso, podem ser analisados e avaliados por meio de imagem os movimentos em todos os planos e eixos anatômicos do jogador. O protocolo desenvolvido para qualificar o movimento do saque tem sua divisão em quatro estágios expressivos em um movimento linear contínuo e acelerado. Os pontos a analisar são mencionados anteriormente e ficam evidentes com a renderização do avatar. Observar a parte analítica e realizar a produção espaço temporal do gesto motor do jogador, identificando os pontos errados ao executar o saque ou até mesmo mencionar os pontos assertivos, é um propósito natural visualmente em avatar 3D. No movimento acelerado do saque, os pontos importantes foram definidos por protocolos existentes e divididos em quatro estágios para análise e que podem ser pontuados e mensurados para diagnosticar o movimento identificando possíveis falhas mecânicas no gesto motor, dando origem ao seguimento do movimento completo do saque os estágios correlaciona as estruturas de eixos, alavanca e o trajeto da raquete que segue em pêndulo completo ou pêndulo abreviado, a cadeia cinética no movimento, torna-se preciso quando a estrutura linear e angular do movimento transita sem nenhum tipo de intercorrência, flexão de joelhos alinhados, extensão após impulso, extensão do ombro dominante, rotação do braço extensão do cotovelo e impacto da raquete com a bola e pós-impacto queda no solo e flexão de tronco desacelerando o golpe.

Ao cadastrar o jogador no software Cinematria, é possível realizar e sincronizar a captação das imagens por meio de vídeos sem marcadores articulares nos pontos-chave das articulações do movimento proposto no saque. Automaticamente, o software reconhece os pontos articulares e, com pequenos ajustes manuais, renderiza a imagem e transforma em o avatar, mostrando ao avaliador e jogador o movimento em cinemática 3D do saque. Essa amostra virtual definida por algoritmos específicos na plataforma Open CV foi determinando por meio da cinemática os padrões técnicos para as variáveis do movimento aberto do saque com ideia de propiciar a opção de comunicação visual de analisar o gesto motor em todos os segmentos de alavancas, planos e eixos anatômicos do jogador.

Na amostra (Figura 13), estão definidos os pontos morfológicos a serem mensurados e segmentados por meio da cinemática 3D. Foram definidos 24 pontos-chave anatômicos espalhados por todo o corpo que sincronicamente reorganizam o alinhamento dos pontos conectando uns aos outros, tal como é mostrado no avatar. A matéria corporal é extinta e é representada em linhas expressivas dando aos olhos a possibilidade de observar todos os segmentos anatômicos do avatar. A análise e diagnóstico são feitos em procedimentos quantitativos com uma margem pequenas de possíveis erros na interpretação do gesto motor.

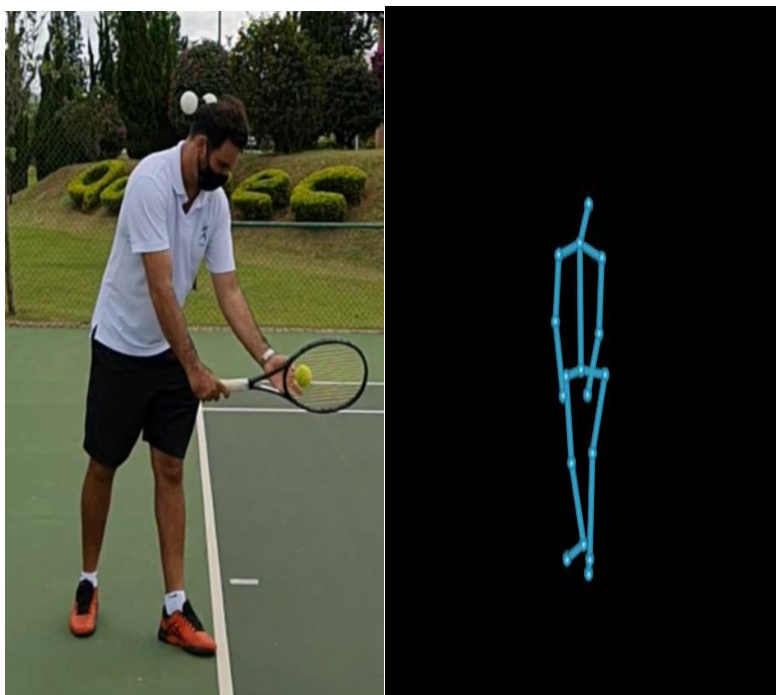
Figura 13- Pontos Morfológicos no AVATAR



Fonte: arquivo imagético organizado pelo autor (2021).

Seguindo o protocolo de avaliação, dando a sequência de interpretação (Figura 13), o primeiro estágio segue como Fase de Preparação (equilíbrio). É muito importante o avaliador observar a estrutura proposta pelo jogador, ação de balanço e sincronismo no eixo longitudinal. Observa-se que a imagem do avatar mostra o eixo longitudinal alinhado ao plano horizontal. No início do saque, é possível visualizar, por meio da cinemática 3D, o exato momento que o sacador fica estático para que os movimentos sejam sincronizados e ritmados.

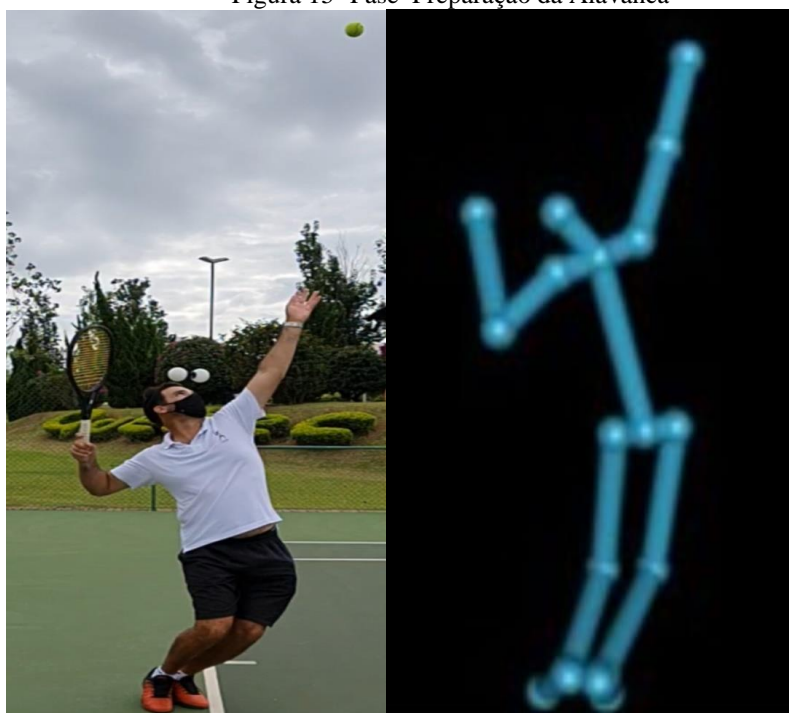
Figura 14 - Fase Preparação



Fonte: registro imagético organizado pelo autor (2021).

Na segunda etapa da Fase de Alavancagem (união das Forças), a interpretação da (Figura 15) mostra a organização dos pés, tendo origem no eixo transversal e alinhada ao plano vertical. A estrutura da alavanca ântero-posterior está alinhada entre os membros inferiores e superiores. Observando os ângulos, flexão e extensão dos joelhos e com a linha pélvica do quadril, o cotovelo segue a mesma origem de alinhamento para estabilidade e potencializando a energia de inercia da raquete para bola, parte desse movimento influencia diretamente na dinâmica dos eixos de alavancas e instabilidades em todas estruturas cinéticas do saque. Nesse exato momento, o jogador tem que adquirir ou unificar toda energia possível no agrupamento muscular para executar o movimento, potencializando (Pico de Força) o golpe, a demanda energética para a cinética do movimento é sincronizada e possibilita o alinhamento dos eixos e alavancas do movimento, observa a cinemática em 3D.

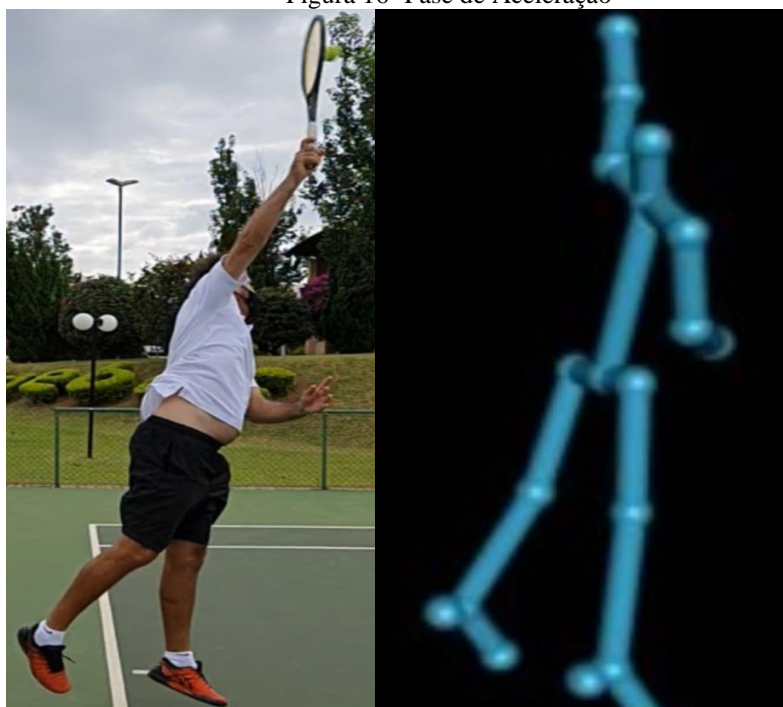
Figura 15- Fase Preparação da Alavanca



Fonte: registro imagético organizado pelo autor (2021).

Na terceira etapa, Aceleração (momentum), Transição de energia entre membros atuantes no golpe, vista na (Figura 16), o jogador atinge o ponto mais alto de sua estrutura métrica, com amplitude total do ombro, cotovelo e extensão do braço/corpo. O salto é fato de uma consequência equivalente ao ponto de energia transferido dos membros inferiores para superiores. O alinhamento da raquete com a bola mostra o movimento de rotação interna do ombro e a pronação do antebraço. A energia aplicada na bola é resultado consequente da estrutura da cinética exposta na fase anterior do movimento, visivelmente mostrada pelo avatar o principal componente de ação do movimento é a extensão máxima dos eixos e ângulos ante de atingir a bola.

Figura 16- Fase de Aceleração

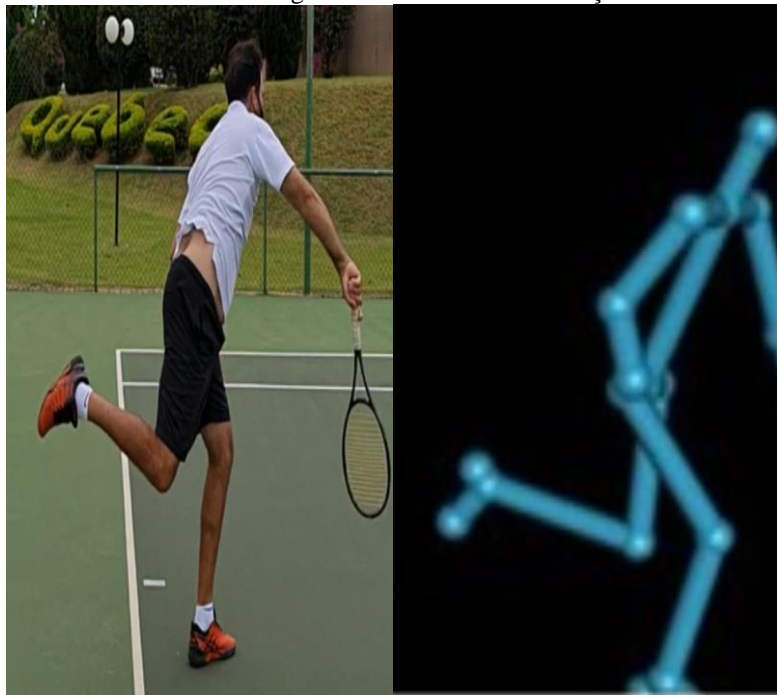


Fonte: registro imagético organizado pelo autor (2021).

Na quarta etapa do movimento do saque (Figura 17), Acompanhamento e desaceleração do golpe, o ponto final do golpe é essencial para completar a estrutura cinética do saque. Os dados coletados por intermédio do jogador, após o contato com a bola, demonstram a estrutura de flexão do tronco, ombro e pulso projetado para frente. A linha média do eixo sagital ântero-posterior está sendo correspondente ao momento da queda, isso proporciona total equilíbrio e estabilidade no golpe.

A ação dos eixos de alavancas em contato com o giro do tronco para frente gera uma instabilidade, o sincronismo do movimento do braço e raquete para cima e a queda com uma perna só no chão é comumente que o jogador produz uma inercia para traz com o pé oposto para o alto, gerando um contra peso estabilizando e minimizando o impacto no chão.

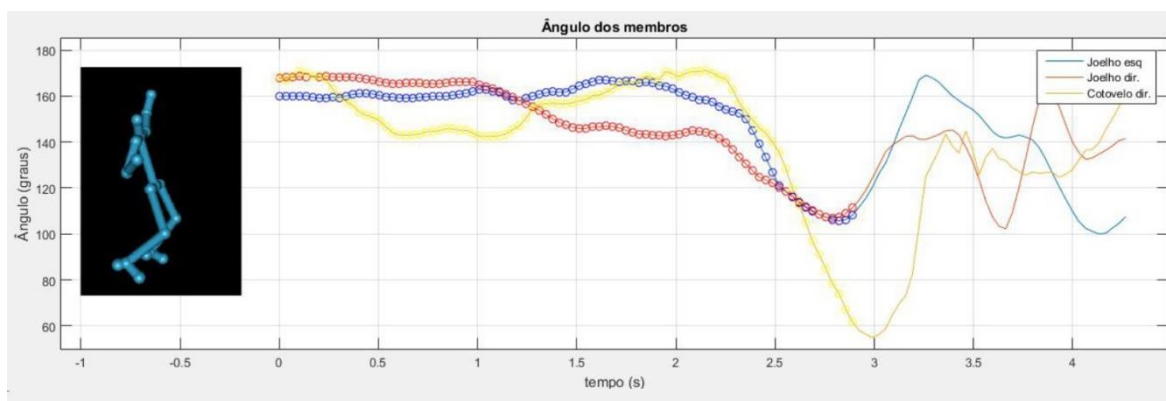
Figura 17- Fase de Desaceleração



Fonte: registro imagético organizado pelo autor (2021).

Nesta amostragem (Figura 18), os pontos analisados cinemático no movimento do saque do atleta (a1) apresentou o resultado expresso em amplitude angular, sendo possível analisar o gráfico em três dimensões, específica do movimento. Observa-se que os pontos-chave articulares demonstram os valores angulares mensurados dos joelhos e cotovelos. A flexão inicial apresentou uma variável de ângulo de 170 para 110 dos joelhos, no momento em que atingi o máximo de flexão dos joelhos. Com base na relação dos pontos no quadril e ombro, percebe-se que o agrupamento não fica linear e resulta em uma baixa extensão do ombro, limitando a passagem ombro sobre ombro. A deficiência do eixo de rotação do ombro faz com que a raquete golpeie a bola em um ângulo baixo. O gráfico mostra que este jogador deve ser alinhado aos eixos de alavancas do quadril para obter a maior amplitude no movimento articular do ombro, assim como golpear a bola em um ângulo mais alto (Figura 18).

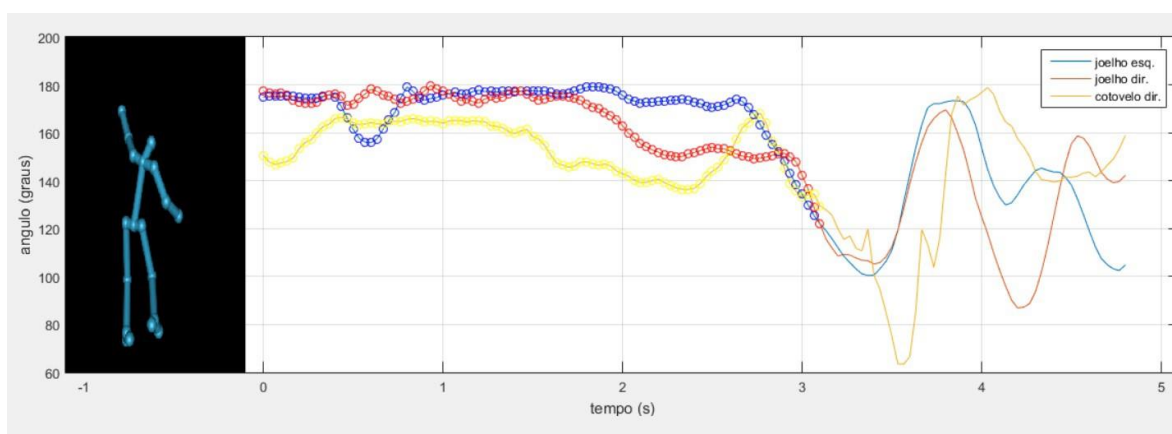
Figura 18 - Análise do movimento do saque do atleta (a1)



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O Atleta a2 apresentado no gráfico teve seu movimento de saque quantificado, esse jogador tem por origem própria a mecânica da base dos pés *foot back*, a flexão inicial do joelho de aproximadamente 180 para 100 graus, no estágio *Backward – swing* onde é o momentum de quando unifica toda a força da cadeia cinética, estabelecida para distribuir na alavanca do movimento, na estrutura de flexão de cotovelo fechado onde a raquete passa bem próximo a cabeça deixa o movimento mais lento e com menos potência de rotação interna de ombro, o alinhamento dos pontos entre quadril e ombro da estrutura na cinética para transitar mais linear, o ideal do eixo do braço é alongar o máximo para trás e voltar com uma frequência maior de energia para golpear a bola com mais velocidade, o gesto mecânico do braço obtendo uma extensão máximo do ombro ao golpear a bola em um ponto mais alto aumenta muito a velocidade. O gráfico mostra que este jogador está alinhado com os eixos do quadril e ombro, o movimento elástico do musculo potencializa a energia nas alavancas aumentando mais a distribuição de energia na bola, (Figura 19).

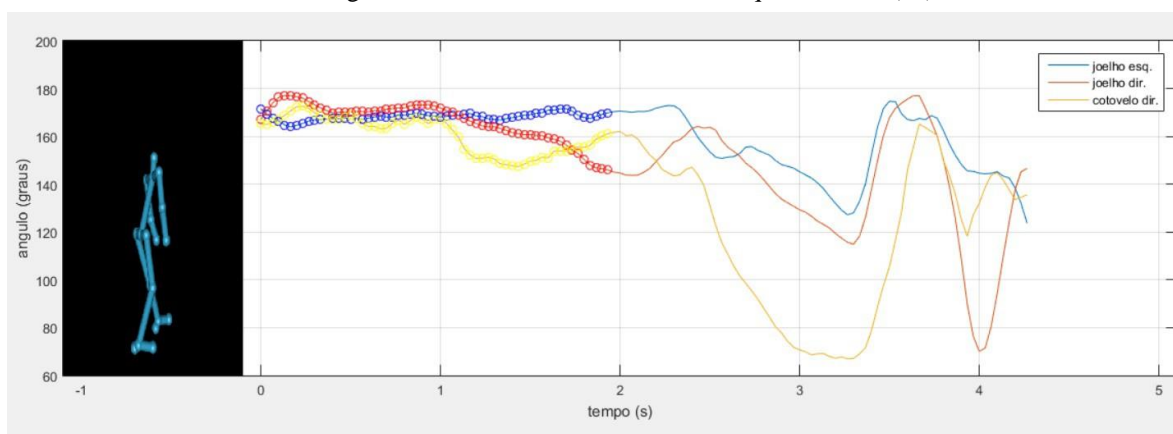
Figura 19 - Análise do movimento do saque do atleta (a2)



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Na análise do Atleta a3, os ângulos de flexão de joelhos estão bem inferiores aos demais jogadores, o ângulo aproximadamente 130 graus, exige que a alavanca das articulações dos membros inferiores aumenta as tensões de torque nos membros superiores ocasionado pela falta de energia elástica no musculo. Nota-se que o cotovelo flexiona adequadamente, porém não atinge a amplitude máxima de rotação do ombro no ângulo de separação entre quadril e ombro. O gráfico mostra que deve sincronizar os eixos de alavancas dos membros inferiores e superiores para a cinética acompanhar o movimento completo, a demanda energética do movimento é articulado com o sincronismo da estrutura do golpe, a potência elástica ajuda o jogador a estabelecer a dinâmica do movimento para diminuir as tensões nas articulações para melhorar a amplitude dos ângulos, a extensão máxima dos eixos articulares permite o jogador atingir a bola com mais destreza e não perder energia no contato raquete e bola. (Figura 20).

Figura 20- Análise do movimento do saque do atleta (a3)



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Com os resultados obtidos, as variáveis da biomecânica apresentaram semelhanças quanto aos movimentos angulares dos cotovelos e nos joelhos dos jogadores, independentemente da postura do posicionamento dos pés *Foot back* ou *foot up* a linha média do quadril e ombro permanece alinhadas mesmo quando há ângulo de separação entre o ombro e quadril, esse desacoplamento de ângulo é essencial para potência do saque. Como mostra no gráfico a semelhança dos membros superiores independentes da postura inferior nos eixos de alavancas é permanente ao unificar as energias. Há uma harmonia dos pontos articulares na cinética do movimento onde se acompanha nos ângulos dos membros superiores e inferiores entre as flexões dos joelhos e cotovelo. O trajeto da raquete entre os sacadores, bem como a atividade muscular no movimento do saque pode ser pré-estabelecida e guiada para um padrão único de movimento, ficando inerente para que cada jogador possa estabelecer o seu critério de alavancar.

6.1 Resultados obtidos.

A cinemática do movimento do saque no TC apresentou, por meio da abordagem cinematográfica, um método quantitativo de avaliar e diagnosticar o jogador na quadra sem marcadores ou aparelhos específicos espalhados pelo corpo, os resultados dos dados analisados são compatíveis com a realidade vivenciada do jogador, o fator de coletar os dados diretamente na quadra e sem interferência externa, mostrou em gráficos o resultado satisfatória, quantificou ângulos dos joelhos e cotovelos. Vale salientar as evidências e importâncias dos principais componentes motores para a transição da efetividade do movimento obtido por intermédio de dados coletados em imagem de vídeos em estéreo do

movimento do saque, com o software Cinematria projetado com algoritmos específicos. É possível cadastrar o jogador no programa para aquisição das imagens e obter dados do movimento em 3 dimensões para análise das imagens de vídeos, propor parâmetros de modelos com pontos-chave anatômicos no esqueleto virtual (corpo Humano) utilizando ‘*deep learning*’ do Opencv (em 2D), Inverse Kinematic Human Body Properties 3D Adjusts. Tal abordagem usa scripts em um sistema cinemático no processo automatizado de varredura dos dados. O sistema permitiu uma modelagem de animação em 3D de uma maneira realista em qualquer postura exigida. Tais algoritmos podem ser usados para detectar e reconhecer o gesto motor e identificar objetos, classificar ações humanas em vídeos, rastrear objetos em movimento e definir toda a ação projetando em animação 3D, explorar o movimento e expressá-lo em 3 dimensões, quantificar os quatro estágios e a atividade muscular explorada no golpe e com pontos-chave segmentados nos ângulos articulares dos joelhos, linha média do quadril, relação ombro sobre ombro, extensão de cotovelo, flexão de punho e raquete. Este sistema mostra a especificidade dos pontos renderizados na imagem em 3D e objetiva anatomicamente o golpe, sendo fidedigno para análise cinemática da biomecânica do movimento proposto.

Com relação aos quatro jogadores analisados nota-se que as análises biomecânica dos jogadores obteve uma similaridade entre os eixos de alavancas dos joelhos, aproximando a mesma amplitude dos ângulos de flexão, mostra que esta ação de flexionar os joelho permite que o jogador além de adquirir mais potencia tem o papel importante de alinhar os eixos do quadril, estruturando a cinética do movimento, o alinhamento entre o quadril e ombros foi exatos afirmando que é muito importante estabilizar esta ação para a projeção independente de qual posição dos pés adere mais no chão, os ombros realiza uma transição sobreposto um ao outro, possibilitando que o braço transite livre pela costas e para rotação interna de ombro e extensão do cotovelo, é importante que o sacador estabeleça o qual efeito vai executar para que a dinâmica do eixo do movimento seja inerente ao ângulo, sendo que, a mecânica pode obter pequenos ajustes na cinética.

6.2 DISCUSSÃO

O estudo realizado com jogadores de tênis amador, por meio de processamento de imagem de vídeo estéreo com o software com algoritmos especiais e específicos redimensionados com pontos-chave articulares sem marcadores artificiais identificando o local no corpo e utilizando a inteligência computacional de aprendizado da máquina para análise do movimento do saque no tênis de campo, teve uma produção significativa capaz de identificar as variáveis nas estruturas articulares do movimento durante a execução do golpe. Portanto, as condições pré-estabelecidas de contornos em linhas para renderização do avatar em 3D mostra a abordagem estrutural definida como o bom saque. Por meio de condições externas, a estrutura espaço-temporal do movimento pode ser esclarecida de forma expressiva e segmentada em diferentes ângulos nos eixos articulares.

A criação de novos protocolos da modelagem musculoesqueléticos definindo os principais pontos a serem explorados no movimento do saque, tais como as variáveis de velocidade da bola, aceleração corpo/braço, altura de contato raquete/bola e ângulos articulares dos membros inferiores e superiores, é possível mensurar com o software Cinematria podendo descrever em texto gráficos em linhas o modelo biomecânico do movimento do saque no tênis de campo. A referida ferramenta apresenta no estudo a análise biomecânica que obteve resultados expressivos claros ao analisar frame a frame com renderização do avatar em 3D. A avaliação do jogador por vídeo estéreo capturada por 2 câmeras de baixa qualidade de resolução é evidente sendo compreensível ao mensurar sua ação possibilitando relatar as principais características biomecânicas do movimento do saque.

Para a análise biomecânica, as características do avatar foram expressas em análise qualitativa ao olhar clínico/técnico do professor. É conclusiva a sua expressão baseada em conhecimento existente na literatura, a criação do software desenvolvido em algoritmos exclusivos em uma plataforma aberta da ênfase para eficaz avaliação biomecânica com padrões próprios e conclusivos, com a criação de roteiros na característica dinâmica do movimento do saque. O conjunto de avaliações com padrões técnicos específicos dá origem a automatização do software por meio de aprendizagem da máquina explorada por uma rede neural.

Atualmente, na literatura são encontradas muitas pesquisas cinemáticas do movimento, mas poucos versam sobre a origem do movimento à sua atividade física muscular. O desempenho do jogador está diretamente interligado em sua expressão física

adquirida por habilidades motoras globais. A ação convincente de seu movimento “correto” no trajeto da raquete é expressa em limitações coordenativas e corresponde ao grande número de repetições para aperfeiçoamento do gesto motor e que nem sempre atinge o linear. A convenção mundial sobre o gesto motor do saque fica inerente a erros e acertos do ponto de vista mecânico. A proposta mecânica do aprendizado na máquina preenche a variabilidade dos dados dinâmicos do golpe. A antropometria, cinemática e espaço temporal de toda extensão do trajeto da raquete, a proposta de validação da inteligência artificial computacional em automatizar a máquina são aspectos correlacionados aos resultados obtidos e analisados pelo programa Cinematria.

As coletas dos dados cinemáticos foram realizadas nos ambientes dos jogos “quadra de tênis” em dias favoráveis sem intervenções ou ocorrências de influências externas que pudessem atrapalhar ou interferir nas análises. Mesmo que os dados sejam coletados em sintonias positivas e por ser um método de avaliação indireto, podem ter ocorrido limitações na análise dos dados obtidos, por atraso do software ou precisão das medidas por imagens. As alterações dos dados são comuns em abordagens sistêmicas do procedimento de avaliação. A calibração do software para aquisição das imagens e métodos indiretos de análise deixa a interpretação dos valores imprescindíveis para descrever os erros na análise, ocasionando uma discussão interpretativa dos dados coletados por intermédio dos jogadores.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Os resultados analisados pelo software Cinemetria, desenvolvido na plataforma OpenCV e VTK para análise biomecânica do movimento espaço temporal no saque, proporcionam a diretriz gráfica segmentada em dados reais captados por meio de vídeo e imagem pelo movimento linear contínuo e acelerado como o saque. Os pontos anatômicos articulares desenvolvidos no OpenCV e VTK têm segmento totalmente analítico para desenvolvimento do modelo em 3D e análise biomecânica do movimento do saque. Ademais, as linhas assimétricas e automação da ferramenta originam a possibilidade de uma análise de caráter técnico, bem como ajuda a compreensão do programa simplificado em gráficos. O software Cinemetria é eficaz na utilização dos componentes desenvolvidos em uma plataforma aberta com algoritmos especiais para análise biomecânica do movimento e propor uma eficiência mais abrangente na análise técnica. Superando as expectativas ao mostrar visualmente o avatar renderizado em 3D, o movimento do saque teve como objeto de estudo o que seria um bom saque e por meio desta conseguimos concluir com os resultados processados do movimento em ação contínua é bem eficiente, o software Cinemetria utiliza a plataforma aberta Open CV, sendo que a proposta de análise do golpe é compatível e fidedigna ao padrão de avaliação biomecânica do movimento do saque no tênis de campo, visando avaliar o movimento de caráter simplificado em jogadores amadores.

A programação da ferramenta desenvolvida em uma linguagem C/C++ para análise do movimento é eficiente ao captar o movimento em alta velocidade por imagem de vídeo automaticamente sem marcadores específicos espalhado pelo corpo, possibilitando avaliar o jogador em seu abitar natural de jogo, sem nenhum tipo de interferência externa, o software cinemetria renderiza o avatar em 3 dimensões a especificidade dos pontos-chave articulares sem marcadores sinalizando, segmentando e renderizando em avatar 3D. O movimento quantificado na análise teve as dimensões divididas por protocolo definindo as etapas e mensurados individualmente cada momentum em ações definidas por escalas, pés, joelhos, quadril, tronco, ombro, cotovelo, pulso e raquete, as característica técnica de cada ação obteve resultados expressivos em textos gráficos obtidos pelo Software Cinemetria. Sendo que, é preciso monitorar todos os movimentos de forma linear e contínua para diagnosticar o movimento.

O Software Cinematria, desenvolvido em estudo continuado no Programa de Mestrado da Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, O estudo foi dividido e analisado em 4 estágios, Preparação, Alavancagem, Aceleração e Acompanhamento, com os pontos-chave anatômicos específicos divididos em ações. Os padrões lineares do movimento tiveram variações nos pontos articulares e corrigidos pela antropometria do indivíduo totalmente automática no software. Com a renderização em 3 dimensões e amostragem no Avatar, os pontos articulares localizados no corpo precisaram de apenas alguns ajustes finos corrigidos no manual. O resultado foi positivo gerando uma confiabilidade fidedigna e eficaz nos resultados obtidos.

Para análise qualitativa do movimento do saque no tênis de campo, o software é compatível com o uso de avaliação cinematográfica, conforme as conclusões dos resultados apresentados neste estudo, o objetivo de demonstra os dados reais mensurados por meio de análise técnica conclusiva do movimento, demonstrando os ângulos compatíveis com o uso de avaliação cinematográfica, conforme as conclusões dos resultados apresentados neste estudo. O objetivo do protocolo proposto foi para análise do movimento do saque

7.1 Produção Científica

Artigo em congresso: DINCON

VALIM, B.; CAZU, R. G.; MONTAGNOLI, A. N. **A Cinemática Linear da Atividade Muscular entre *Foot-up* e *Foot Back* no Movimento do Saque Tênis de Campo.** Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações (DINCON), 2019.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Neste capítulo, são apresentadas as referências Bibliográficas

AMADIO, A. C. Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 21, p. 61-85. <https://doi.org/10.1590/S1807-55092007000500006>

BAČIĆ, B.; HUME, P. A. Computational intelligence for qualitative coaching diagnostics: Automated assessment of tennis swings to improve performance and safety. **Big Data**, v. 6, n. 4, 2018.

BRADSKI, G. The OpenCV Library. **Dr. Dobb's Journal of Software Tools**, 2000.

CAO, Z. *et al.* OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields. In: **arXiv preprint arXiv:1812.08008**. [S.l.: s.n.], 2018.

CAO, Z. *et al.* Openpose: realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 2019. p. 11.

DU, C. J.; ZHOU, J. H.; WANG, S. Kinematic Analysis on the Serve Technique of Elite Tennis Player Grigor•Dimitrov Based on 3D Virtual Reality Technology. **MATEC Web of Conferences**, v. 44, p. 4–7, 2016.

ELLIOTT, B. *et al.* Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 6, n. 1, p. 76–87, mar. 2003.

ELLIOTT, B. Biomechanics and tennis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 40, n. 5, p. 392–396, 2006.

HANSEN, C. *et al.* Sequence-dependent rotation axis changes in tennis. **Sports Biomechanics**, v. 16, n. 3, p. 411–423, 2017.

[INTERNATIONAL TENNIS FEDERATION – ITF. Tennis Rule. Disponível em: https://www.itftennis.com/en/](https://www.itftennis.com/en/). Acesso em: 14 mar.2021

LONGHI, A. *et al.* Biomecânica do Saque no Tênis de Campo: “Estado da Arte” e Tendência dos Estudos. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 22, n. 2, p. 163–172, 2015.

NETO, L. B.; SERRÃO, J. C.; AMADIO, A. C. **Estudo de características biomecânicas do saque no tênis – comparação entre duas técnicas de posicionamento dos pés**. Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo - USP, 1986.

NETO, L. B. **Características dinâmicas e eletromiográficas do forehand e backhand em tenistas: uma perspectiva biomecânica para avaliar o desempenho.** 246f. 2008. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo - USP, 2008.

REID, M.; ELLIOTT, B.; ALDERSON, J. Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 2, p. 308–315, 2008.

SCHROEDER, W.; MARTIN, K.; LORENSEN, B. **The Visualization Toolkit—An Object-Oriented Approach To 3D Graphics.** Fourth. [S.l.]: Kitware, Inc., 2006. p. 11–12.

SILVA, G. R.; LEMOS, D. A. Os Fundamentos Forehand, Backhand e Saque do Tênis – Uma Abordagem Teórica. **Revista Didática Sistemática**, v. 1, n. 2014, p. 128–145, 2014.

STUCCHI, P. S. Tênis de Campo. **Movimento & Percepção**, Espírito Santo do Pinhal, SP, v.7, n. 10, 2007.

XAVIER, A. P. *et al.* Ball position during the tennis serve toss performed by junior athletes: Comparison between the first and second service. **Journal of Physical Education and Sport**, v. 17, n. 1, p. 424–430, 2017.

CAPÍTULO 9

ANEXOS

Neste capítulo, serão apresentados o parecer Circunstanciado do Comitê de Ética e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido que foram assinados pelos participantes dessa pesquisa.



Universidade Federal de São Carlos
CCET - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
DEE – Departamento de Engenharia Elétrica
Rod. Was. Luís, km 235 – Cx. Postal 676 – CEP 13.565-905
Tel.: (16) 3351-9701 E-mail: dee@ufscar.br



CARTA DE APRESENTAÇÃO

São Carlos, 25 de setembro de 2019.

Prezado Sr. Diretor Luiz Fernando de Oriani e Paulillo,

Eu **BRUNO VALIM** mestrando do Programa de Pós Graduação da Engenharia Elétrica UFSCar, solicito gentilmente ao diretor responsável pelo Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, desta instituição, a assinar o termo de compromisso solicitado pelo Comitê Nacional de Ética em Pesquisas Plataforma Brasil, para a realização da minha coleta de dados em sujeitos referente ao projeto de pesquisa com o tema "**Análise do Movimento Saques tênis de Campo, Através do Som e Imagem, Diagnostico para Melhorar à Performance**", orientado pelo professor Dr. Arlindo Neto Montagnoli, do Programa de Pós Graduação Engenharia Elétrica.

Segue em anexo a folha de rosto para pesquisa envolvendo seres humanos com as informações necessárias pela própria Plataforma Brasil, para assinatura.

Atenciosamente,

Mestrando: Bruno Valim

Prof Dr.: Arlindo Neto Montagnoli

Ilm(a) Sr(a)
Prof. Dr. Luiz Fernando de Oriani e Paulillo
Diretor do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia



Universidade Federal de São Carlos
CCET - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
DEE – Departamento de Engenharia Elétrica
Rod. Was. Luís, km 235 – Cx. Postal 676 – CEP 13.565-905
Tel.: (16) 3351-9701 E-mail: dee@ufscar.br



São Carlos, 05 de Outubro de 2019.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O menor _____, sob sua responsabilidade, está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa, **Análise do Movimento Saques tênis de Campo, Através do Som e imagem, Diagnostico para Melhorar a Performance.**

O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é. O estudo mostra a importância do movimento no saque em preservar a musculatura, o movimento linear de origem fechada, o formato de como prepara a raquete para o movimento do saque chamado de pendulo, esta relacionado na prevenção de lesão e desempenho do movimento, o ângulo da raquete ao golpear a bola esta ligada diretamente com o movimento de alavanca do braço, para os praticantes e amantes do esporte não ter risco de lesão e uma vida útil maior no movimento continuo em sua pratica.

Nesta pesquisa pretendemos O processamento do som e imagem são ferramentas da engenharia que quando aplicadas a problemas práticos como na área da saúde e/ou esportes propiciam o desenvolvimento de tecnologias que trazem benefícios para ambas às áreas, nesta ato Especificamente no tênis, análise Saque, o processamento digital de sinais desenvolverá uma ferramenta de análise biomecânica com algoritmos específicos de análise do movimento para coletar os dados sem marcadores onde os treinadores e atletas poderão usufruir como ferramenta de auxilio na correção do movimento do saque, com uma câmera simples para captar as imagem e avaliar de forma rápida e eficaz.

Caso você concorde em participar, vamos fazer as seguintes atividades com você propiciar em um ambiente de jogo uma simulação exata do seu golpe, Saque, colocaremos 2 câmeras em um pedestal em pontos fixo para capturar as imagens, o atleta executara seu movimento de saque que esta acostumado fazer quando joga. Antes de executar a coleta o atleta terá que realizar um aquecimento e alongamento do corpo e movimento especifica a ser executado, coordenado pelo responsável do projeto Bruno Valim, Educador físico e técnico de tênis, onde se encontra habilitado para realizar qualquer procedimento físico, antes e depois da execução, esse procedimento será protocolo realizado em todos os atletas para amenizar quais quer risco de contraturas e lesões no musculo esquelético do atleta ao executar o movimento do saque. Será autorizada a captura das imagens após o atleta estiver totalmente seguro e aquecido para realizar o movimento do saque. Em total segurança, caso o pesquisador ao analisar o movimento do atleta e diagnosticar possíveis riscos de lesões o mesmo será interrompido e não poderá participar da coleta dos dados. O atleta executa 10 saques e estará liberado