

NOVA

IMS

Information
Management
School

MGI

Mestrado em
Gestão de Informação

Game, Set & Truth:

**Arquitetura económica para a melhoria da justiça desportiva no
ténis e no padel**

Miguel Alexandre Vieira Lorga Ramos

Dissertação

apresentada(o) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Informação

NOVA Information Management School
Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

Universidade Nova de Lisboa

NOVA Information Management School
Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
Universidade Nova de Lisboa

GAME, SET & TRUTH:

**ARQUITETURA ECONÓMICA PARA A MELHORIA DA JUSTIÇA
DESPORTIVA NO TÊNIS E NO PADEL**

por

Miguel Ramos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Informação, com especialização em Gestão dos Sistemas e Tecnologias de Informação

Orientador: Prof. Doutor Vitor Manuel Pereira Duarte dos Santos

Novembro 2023

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter realizado o presente trabalho académico com integridade. Confirmando que não recorri à prática de plágio ou de qualquer outra forma de utilização indevida de informação ou de falsificação de resultados durante o processo de elaboração deste trabalho. Declaro ainda que tenho conhecimento das Regras de Conduta e do Código de Honra da NOVA Information Management School.

Miguel Ramos

Évora, 30 de novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação marca o fim de uma etapa no meu trajeto acadêmico e, por isso, gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para que este trabalho de investigação fosse concluído. Nesse sentido, tenho de agradecer á minha família, amigos e namorada, que me acompanharam ao longo deste percurso, pelo suporte e confiança que sempre mostraram em mim.

Ao meu orientador, Professor Vítor Santos, agradeço pela orientação que me deu ao longo destes meses, pelas muitas reuniões realizadas mostrando sempre disponibilidade e vontade de ajudar e pelas dicas e sugestões dadas, essenciais para a realização desta dissertação.

Um agradecimento especial aos meus pais, pois sempre me incentivaram ao longo deste percurso e pelo investimento que fizeram na minha educação para que o futuro seja melhor. A eles devo a minha carreira acadêmica, assim como valores morais indispensáveis para a realização de um trabalho de investigação como a responsabilidade e a dedicação.

RESUMO

Atualmente vivemos num panorama universal onde a tecnologia e os sistemas de informação têm um grande peso e influência em, praticamente, toda a população mundial. Este avanço digital tem ocorrido em muitas áreas do nosso dia-a-dia e isso acarreta inevitavelmente consequências, positivas ou negativas. Os desportos, mais concretamente as modalidades ténis e padel, não foram exceção à regra e também foram abrangidos por esta transformação digital causando impacto em diversas áreas como o treino dos atletas, interação dos fãs ou, até mesmo, a justiça desportiva. As tecnologias mais amplamente utilizadas nestas duas modalidades com o objetivo de auxiliar o árbitro a tomar decisões têm um custo elevado, não permitindo que a maioria dos praticantes destas modalidades, os amadores, possam usufruir de uma prática justa das modalidades. O principal objetivo desta investigação é definir uma arquitetura económica e eficiente que possa ser utilizada para ajudar a melhorar a verdade desportiva nas modalidades ténis e padel, proporcionando uma fonte de informação aos donos de clubes destas modalidades para que estes possam implementar tecnologias que se adequem ao seu *budget*. Neste contexto, foi feito um enquadramento sobre as tecnologias atualmente mais utilizadas e identificaram-se possíveis alternativas existentes no mercado. A *Internet of Things* é a base de todas as tecnologias referidas, tendo sido também alvo de estudo.

PALAVRAS-CHAVE

Tecnologia; Desporto; IoT; Justiça desportiva; Ténis; Padel

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS):



ABSTRACT

We currently live in a universal landscape where technology and information systems have a great weight and influence on practically the entire world population. This digital advance has affected many areas of our daily lives and inevitably has consequences, both positive and negative. Sports, specifically tennis and padel tennis, have been no exception to the rule and have also been affected by this digital transformation, impacting on various areas such as athlete training, fan interaction and even sports justice. The technologies most widely used in these two sports to help referees make decisions are expensive and do not allow the majority of amateur players to enjoy a fair practice of these sports. The main aim of this research is to define a cost-effective and efficient architecture that can be used to help improve sporting truth in tennis and paddle tennis, providing a source of information for club owners so that they can implement technologies that suit their budget. In this context, a framework was created on the technologies currently most used and possible alternatives on the market were identified. The Internet of Things is the basis of all the technologies mentioned and was also studied.

KEYWORDS

Technology; Sport; IoT; Sports justice; Tennis; Padel Tennis

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1. Contexto e definição do problema de investigação	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Relevância e importância do estudo.....	3
2. Metodologia.....	5
2.1. <i>Design Science Research</i>	5
2.2. Aplicação da <i>Design Science Research</i>	6
3. Revisão de literatura	9
3.1. <i>Internet of Things</i>	9
3.1.1. Conceitos	9
3.1.2. Aquisição de dados.....	10
3.1.3. Agregação e integração de dados	11
3.1.4. Análise de dados.....	12
3.1.5. Utilização de tecnologias IoT no desporto	13
3.2. Desportos de raquete.....	15
3.2.1. Ténis.....	15
3.2.2. Padel	17
3.2.3. Justiça desportiva e <i>fair play</i>	18
3.2.4. Utilização de TI no ténis.....	19
3.2.5. Utilização de TI no padel	26
3.3. Alternativas no mercado	26
3.3.1. Permanentes.....	27
3.3.2. Portáteis.....	31
3.4. Desafios e oportunidades.....	35
4. Arquitetura <i>Game, Set & Truth</i>	36
4.1. Pressupostos	36
4.1.1. Pressupostos das aplicações de <i>Smart Courts</i>	36
4.1.2. Pressupostos de tecnologias de <i>Smart Courts</i>	37
4.1.3. Pressupostos de requisitos de <i>Smart Courts</i>	39
4.2. Arquitetura	39

4.2.1. Identificação do contexto da prática desportiva.....	40
4.2.2. Identificação da tipologia	41
4.2.3. Identificação de requisitos	42
4.2.4. Seleção da tecnologia.....	43
4.3. Demonstração – Caso de uso.....	44
4.4. Avaliação	46
4.5. Discussão	48
5. Conclusões	50
5.1. Síntese do Trabalho Desenvolvido	50
5.2. Limitações e Recomendações para Trabalho Futuro.....	50
Referências.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - As tecnologias no desporto (Poulsen, 2021)	3
Figura 2 - Etapas da metodologia DSR. Adaptado de Peffers et al. (2007)	6
Figura 3.1 - Anel ITPD. Adaptado de Ray (2015)	14
Figura 3.2 - Dimensões de um <i>court</i> de ténis (O campo de Ténis, 2007)	17
Figura 3.3 - Dimensões de um campo de padel (Pontinascavi, 2021)	18
Figura 3.4 - Sistema <i>FlightScope</i> (Ubitennis, 2021)	21
Figura 3.5 - Sistema <i>Foxtenn</i> (Ubitennis, 2021)	22
Figura 3.6 - Sistema <i>Hawk-eye</i> (Ubitennis, 2021)	23
Figura 3.7 – <i>Zenniz</i> (n.d.)	28
Figura 3.8 – <i>AccuTennis</i> (2019)	28
Figura 3.9 – <i>Mojjo</i> (Tennis Club Bellinzona, 2019)	29
Figura 3.10 – <i>PlaySight</i> (USTA National Campus, n.d.)	30
Figura 3.11 – <i>Wingfield</i> (Tennishead, 2022)	31
Figura 3.12 - <i>Baseline Vision</i> (2022)	32
Figura 3.13 - <i>In/Out Tennis</i> (Johnson, 2021)	33
Figura 3.14 - <i>Eyes3</i> (n.d.)	34
Figura 4.1 – Etapas da arquitetura.....	40
Figura 4.2 - Fluxograma da primeira etapa.....	41
Figura 4.3 - Fluxograma da segunda etapa.....	42
Figura 4.4 - Fluxograma da terceira etapa.....	43
Figura 4.5 - Fluxograma da quarta etapa.....	43
Figura 4.6 – Seleção da tecnologia	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Modelo OSI. Adaptado de Pinto (2010).....	11
Tabela 4.1 – Identificação das funcionalidades dos <i>Smart Courts</i>	36
Tabela 4.2 – Aplicação dos <i>Smart Courts</i>	37
Tabela 4.3 – Identificação das tecnologias dos <i>Smart Courts</i>	37
Tabela 4.4 – Identificação dos dispositivos dos <i>Smart Courts</i>	38
Tabela 4.5 – Identificação dos requisitos dos <i>Smart Courts</i>	39
Tabela 4.6 – Exemplo de aplicação da primeira etapa	44
Tabela 4.7 – Exemplo de aplicação da segunda etapa	44
Tabela 4.8 – Exemplo de aplicação da terceira etapa	45
Tabela 4.9 – Perguntas de validação	46

LISTA DE SIGLAS

ATP	Association of Tennis Professionals
DSR	Design Science Research
EUA	Estados Unidos da América
FPS	Frames Per Second
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
iOS	iPhone Operating System
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ISO	International Standards Organization
ITF	International Tennis Federation
ITPD	Interação, Coisas, Processos e Dados
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NBA	National Basketball Association
OSI	Open Systems Interconnection
PAT	Player Analysis Technologies
RFID	Radio Frequency Identification
RTD	Resistance Temperature Detector
SFTP	Secure File Transfer Protocol
VAR	Video Assistant Referee
WSN	Wireless Sensor Networks
WTA	Women's Tennis Association

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO

Somos todos afetados pela revolução digital; notamos os seus efeitos constantemente no trabalho, na escola, em casa, nos videojogos, nos transportes públicos, no entretenimento, e mesmo em conflitos armados (Turban, 2012). Uma vez que todos nós vivemos cada vez mais numa sociedade dependente da tecnologia, onde a distância entre as pessoas está a diminuir, é impossível imaginar as nossas vidas sem a presença da tecnologia. Isto tem levado a mudanças significativas na forma como todos vivemos (Baron, 2008). Devido a isto, podemos dizer que estamos na Era da Informação, ou a Era da Tecnologia. Há muitos anos que os microcomputadores têm estado no centro de todos os avanços tecnológicos (Valente, 2018). A forma como a informação é obtida e transferida alterou-se em resultado desta nova realidade (Antonio, 2015). Como se poderia prever, a tecnologia teve um impacto tremendo e transformou o desporto, o que não é uma exceção à tendência.

A aplicação da tecnologia no desporto está a crescer rapidamente. Por exemplo, no futebol, são utilizadas novas tecnologias para uma variedade de objetivos, incluindo ajudar os árbitros a tomar decisões e quantificar o desempenho dos atletas durante um jogo, de forma a ajudar o treinador na elaboração dos treinos e do plano de jogo. Nos últimos anos foram desenvolvidos vários *gadgets* para analisar o desempenho dos atletas durante os jogos (Mackenzie & Cushion, 2013). O sistema de posicionamento global (GPS), acelerómetro, e sensores giroscópio, que são utilizados para descrever o movimento e as exigências físicas dos atletas, foram integrados com dispositivos que podem medir o ritmo cardíaco. Como resultado, estas novas tecnologias podem avaliar a quantidade de colisões que ocorrem ao longo de um jogo. A importância desta informação para os treinadores, treinadores físicos e médicos tem aumentado. De facto, os treinadores utilizam-na para fornecer ao seu plantel planos de jogo mais ajustados. Podem seleccionar o melhor jogador para cada posição ou trocar de jogador em função do nível do adversário, estando conscientes de exatamente onde e como os seus jogadores se movem no campo (Ventura, 2013). Os preparadores físicos utilizam esta informação para agendar treinos ao longo da época e empregam tecnologia para criar regimes de treino mensuráveis e únicos para cada jogador. Além disso os treinadores, profissionais médicos e preparadores físicos podem utilizar dados e sensores do ritmo cardíaco para prevenir lesões. Pode-se afirmar, em conclusão, que a utilização de novas tecnologias está a alterar não só a forma como praticamos desporto, mas também toda a experiência de viver e ver desporto.

Agora que já percebemos as diferentes utilidades do uso da tecnologia no desporto, vou recentrar a atenção nos desportos no qual será focada esta dissertação. Começando pelo ténis, esta modalidade tem estado ao longo dos anos na linha da frente na forma como a tecnologia pode ajudar a verdade desportiva. Chegando recentemente a ser praticada em alguns torneios oficiais sem a utilização de juizes de linha, utilizando apenas a tecnologia *Hawk-Eye*, também conhecida em Portugal como olho de falcão. Desde há uns anos que já é utilizada uma tecnologia de sensor na rede para detetar se a bola tocou, ou não, na rede no momento do serviço, uma vez que a bola vai a uma grande velocidade e torna-se muito difícil para o olho humano conseguir realizar essa deteção. Já o padel, não se encontra tão desenvolvido ao nível do

uso da tecnologia para ajudar os árbitros na tomada de decisão. Isto deve-se, acima de tudo, por se tratar de uma modalidade bem mais recente e cuja popularidade tem aumentado nos últimos anos, ao contrário do ténis que foi uma das modalidades que fez parte da primeira edição de sempre dos Jogos Olímpicos de 1896, que decorreu em Atenas, Grécia. No início da elaboração desta investigação, o uso da tecnologia no padel era, ainda, bastante rudimentar sendo que a única tecnologia utilizada era o vídeo árbitro (também conhecido como VAR). Esta tecnologia não é muito adequada á modalidade por diversos fatores, entre os quais o número de atletas. Em inúmeros lances as câmaras utilizadas pelo vídeo árbitro não permitem ao árbitro ter a certeza em variadas ocasiões. No entanto, esta tecnologia foi posta de parte no torneio *World Padel Tour Master Final* em dezembro de 2022, já que foi utilizada a tecnologia *Foxtenn*, cujo funcionamento é bastante semelhante ao *Hawk-Eye*. Todas estas tecnologias têm por objetivo tornar as partidas mais justas.

As questões relativas ao que define justiça no desporto são agora numerosas e variadas, desde os escândalos de drogas da liga profissional de basebol americana até à análise protética de Oscar Pistorius e ao teste de verificação sexual de Caster Semenya (Thomas H. Murray, 2010). Qualquer que seja o desporto, uma série de coisas podem ter impacto no quão justo é um jogo. Características físicas, diferenças de idade, capacidades técnicas, ou mesmo o clima, podem ser todos considerados. Não há muito que a tecnologia possa fazer nestas situações para afetar ou ajudar a tornar o jogo mais justo. O mesmo não se pode dizer das decisões dos árbitros. O resultado de um jogo pode ser influenciado pelas decisões tomadas pelo árbitro. Em algumas circunstâncias, uma única escolha pode alterar o resultado do jogo. Price (2006) e Connelly (2003) salientaram que acontece frequentemente o árbitro ser culpado pelo fracasso de um jogador ou equipa e por afetar o resultado de um jogo ou por não aplicar corretamente as regras. No entanto, segundo Mascarenhas (2005), muitos jogadores não entendem as expectativas feitas aos árbitros em termos de "domínio das regras" e de tomada de decisão em frações de segundo devido á dificuldade que isso representa. De acordo com o Comité Internacional de *Fair Play*, o árbitro deve avaliar eventos ou situações, emitir o juízo adequado e correto, e fazê-lo em menos de um segundo. Num jogo que ocorre a grande velocidade pode conter numerosas nuances, ambiguidades e incertezas, Mascarenhas (2005) observou que os árbitros devem reagir muito instantaneamente a essas ocorrências.

A tecnologia tem sido utilizada com mais frequência recentemente em muitas facetas do desporto, embora não necessariamente para ajudar o árbitro a chegar a um julgamento (Leveaux, 2010). A figura 1 ilustra algumas das possibilidades de utilização. Por exemplo, os atores externos que estão na posição de examinar as decisões dos árbitros, tais como comentadores, treinadores, e similares, têm frequentemente acesso a tecnologia como a reprodução em câmara lenta e repetições a partir de vários ângulos diferentes. Estas alternativas não são ocasionalmente acessíveis ao árbitro no ténis ou no padel.

Vários desportos já utilizam hoje a tecnologia para ajudar os árbitros com instrumentos, sistemas e procedimentos que ajudam a validar as suas decisões no decorrer das partidas (Ford et al., 1999). Apesar desta tendência ainda é bastante difícil que as tecnologias existentes sejam implementadas, por exemplo, a um nível mais amador devido ao elevado custo que representam.



Figura 1 - As tecnologias no desporto (Poulsen, 2021)

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal da investigação é definir uma arquitetura económica e eficiente que possa ser utilizada para ajudar a melhorar a verdade desportiva nas modalidades ténis e padel.

Por forma a se atingir o objetivo principal são definidos os seguintes objetivos intermédios:

- Elaborar uma revisão de literatura/estado da arte;
- Identificar as tecnologias e produtos disponíveis no mercado;
- Definir uma arquitetura para melhorar a verdade desportiva na modalidade ténis e padel;
- Validar a arquitetura.

1.3. RELEVÂNCIA E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

Apesar da existência de vasta literatura sobre o uso da tecnologia no desporto, nomeadamente na área da verdade desportiva, ainda não foi possível abordar e estudar mais profundamente as tecnologias na modalidade do ténis ou padel. Muitos dos estudos produzidos focam-se principalmente noutras modalidades com mais mediatismo, como por exemplo o futebol e o uso do VAR, deixando por explorar esta modalidade e as tecnologias usadas no mesmo. Com o auxílio da plataforma *Scopus* foi possível aferir que a literatura que existe dedicada ao ténis, está mais direcionada para o uso da tecnologia para o treino desportivo (Williams, 2002; Kovacs, 2007), saúde dos atletas (Powell, 1991; Kraushaar, 1999) e análise do comportamento da bola (Lane, 2017; Lane, 2016). Revelando que a temática da verdade desportiva está numa fase mais embrionária e, como tal, tem maior potencial para ser estudada. Relativamente ao padel, existe muito pouca literatura de qualquer tipo.

Do ponto de vista lógico, qualquer desporto que utilize tecnologia para ajudar os árbitros na tomada de decisões deve ser visto como uma inovação e uma melhoria para o desporto. No entanto, tem sido claro recentemente que as opiniões sobre o uso de tecnologia na arbitragem são extremamente diferentes em situações informais e até no decorrer de torneios. Recordo-me de um lance específico que gerou alguma

polémica no que diz respeito ao uso das tecnologias no ténis. Em 2019, enquanto decorria a partida entre Alejandro Davidovich Fokina e Kecmanovic a contar para o *ATP NextGen Finals* o VAR corrigiu uma decisão do *hawk-eye* gerando-se um autêntico conflito tecnológico. A pancada de um dos tenistas, no caso Alejandro Davidovich Fokina, foi claramente fora e ignorada pelo *hawk-eye*. O adversário, Kecmanovic, recorreu ao VAR e a árbitra da partida corrigiu a decisão após se aperceber que a bola tinha mesmo sido fora (Morgado, 2019). Este incidente ocorreu numa partida onde não havia juízes de linha, dependendo completamente do uso da tecnologia, neste caso o *hawk-eye* e o VAR. Este episódio não é um caso único, o que revela bem que ainda há trabalho a fazer em relação ao uso das tecnologias no desporto. Caso este trabalho conclua que é relevante, facilitará os diferentes organizadores de torneios de ténis a tomar decisões com base na arquitetura desenvolvida na dissertação.

Após a conclusão desta dissertação, tem-se a expectativa de que os diferentes atores envolvidos na modalidade possam vir a ter mais uma fonte de informação sobre a utilização das tecnologias para ajudar a verdade desportiva no ténis. Do ponto de vista da ciência, espera-se que o conhecimento gerado na dissertação possa contribuir para o seu desenvolvimento uma vez que poderá ser reutilizado por outros investigadores.

2. METODOLOGIA

A metodologia de investigação utilizada nesta dissertação foi a *Design Science Research* (DSR). A escolha desta metodologia de investigação para a dissertação foi sustentada pelo seu objetivo, pois será criado um artefacto que procura responder a um problema, neste caso esse artefacto corresponde a uma arquitetura eficiente que possa ser utilizada para ajudar a melhorar a verdade desportiva nas modalidades ténis e padel.

2.1. DESIGN SCIENCE RESEARCH

A criação de artefactos é a base desta abordagem de investigação científica (Peppers et al., 2007). Os seus principais objetivos são organizar e orientar a criação de novos produtos ou artefactos, melhorar os sistemas já existentes, e criar conhecimentos práticos e úteis sobre o tema em estudo, neste caso, a utilização de tecnologia no ténis e padel, para que os seus intervenientes possam ver esclarecidas as questões que foram identificadas (Van Aken, 2005). O princípio fundamental desta metodologia, segundo Machado et al. (2013), é que "[...] o conhecimento e a compreensão de um problema e da sua solução são aprendidos através do desenvolvimento e aplicação de um artefacto para um contexto problemático específico". De acordo com Piirainen e Gonzalez (2013), este tipo de investigação faz avançar o conhecimento através da identificação de soluções para problemas. A metodologia deve ser utilizada para produzir conhecimento, e deve ser aplicada de uma forma que permita à sociedade utilizá-lo de forma eficiente e extensiva (Lacerda et al., 2013). Os artefactos produzidos por este processo destinam-se a satisfazer necessidades ou a atingir objetivos (Lacerda et al., 2013; Peppers et al., 2007; Machado et al. 2013). De acordo com Lacerda et al. (2013), os artefactos são artigos artificiais que, quando arranjados, têm uma finalidade. De acordo com Peppers et al. (2007), inovações, novas qualidades técnicas, sociais ou informativas podem também ser considerados artefactos. De acordo com Machado et al. (2013), a produção de um artefacto é o principal método para gerar novos conhecimentos baseados em experiências do mundo real.

Em geral, a metodologia DSR é utilizada em duas situações: a investigação académica e a solução de problemas do mundo real (Aken, 2005). Tem sido amplamente utilizada no domínio dos sistemas de informação, onde os trabalhos têm características menos teóricas e onde é frequentemente utilizada para abordar questões relacionadas com a tecnologia da informação (Vaishnavi & Kuechler, 2007). Além disso, os sistemas de apoio à decisão têm-na utilizado (Omar, Mohd Nawj, Che-Ani, Sulaiman, & Goh, 2016).

A Figura 2 mostra um modelo de DSR desenvolvido por Peppers et al. (2007) como um processo de seis etapas que pode ser realizado de acordo com as necessidades de um projeto, dissertação ou investigação específica.

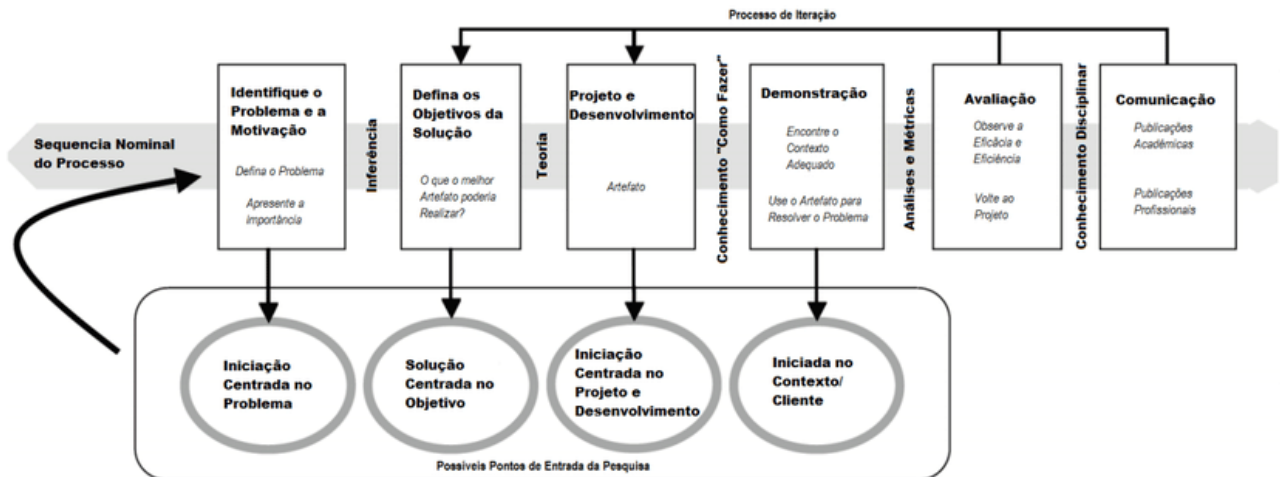


Figura 2 - Etapas da metodologia DSR. Adaptado de Peffers et al. (2007).

2.2. APLICAÇÃO DA DESIGN SCIENCE RESEARCH

Nesta secção são fornecidas explicações detalhadas sobre cada etapa da metodologia *Design Science Research* e como foi utilizada nesta investigação em particular:

1. Problema e motivação

Nesta etapa da investigação, deverá ser descrito o problema que a investigação pretende resolver e explicar porque é que a resposta é importante.

A necessidade de utilizar tecnologia para melhorar a justiça desportiva nas modalidades de ténis e padel emergiu uma vez que as soluções utilizadas para uma tomada de decisão rápida são de elevado custo e, consequentemente, bastante restritas.

Dos estimados 66 (60 no ténis e 6 no padel) milhões de praticantes, a grande maioria dos mesmos são praticantes amadores e que apenas praticam as modalidades em lazer. Isto não significa que não queiram praticar as modalidades da forma mais justa possível. No paradigma atual, é bastante difícil implementar soluções tecnológicas que melhorem a verdade desportiva em todos os *courts* ou clubes. Isto deve-se ao facto de que as soluções mais conhecidas e aprovadas pela ITF serem de um custo elevadíssimo e, também, devido á falta de informação sobre outras possíveis soluções que existem no mercado. Para se ter uma ideia, por exemplo, no que diz respeito á tecnologia *Hawk-Eye*, estima-se que a sua implementação tenha um custo de 60.000 euros por cada *court*.

É fundamental encontrar uma resposta a este problema, para que a grande maioria dos praticantes das modalidades, os amadores, possam usufruir destes recursos tecnológicos através da sua implementação em clubes desportivos com menos recursos financeiros, beneficiando a prática das modalidades e, claro, a justiça desportiva.

2. Objetivos

Na segunda etapa, deve-se, usando a especificação do problema, definir os objetivos da solução.

O objetivo principal desta solução é proporcionar uma fonte de informação a todos os donos de clubes desportivos, nomeadamente de ténis e padel, para que estes possam tomar decisões informadas que proporcionem a todos os atletas uma prática das modalidades mais justa trazendo benefício aos praticantes, aos clubes e, por fim, às modalidades em causa. O artefacto proposto deverá constituir uma forma fácil de compreender como as tecnologias afetam as modalidades e como estas podem ser utilizadas para proporcionar um aumento na verdade desportiva a um custo reduzido. As diferentes características de cada um dos produtos expressas no artefacto deverão facilitar os donos de clubes desportivos a adotar as soluções que se adequem mais ao seu caso.

3. Conceção e desenvolvimento

Nesta etapa, deverá ser revelado o processo de criação de um artefacto, que pode representar uma construção, modelo, procedimento, instância ou arquitetura.

O artefacto a ser desenvolvido nesta investigação, é uma arquitetura. Trata-se de uma arquitetura que será construída com base na revisão de literatura que será efetuada. Esta revisão irá proporcionar conhecimentos sobre os dispositivos IoT, permitirá identificar todas as tecnologias ou produtos que existem atualmente nas modalidades, assim como outras soluções que estejam disponíveis no mercado. Após ser recolhida toda a informação, esta será analisada de forma que o artefacto desenvolvido seja o mais claro e preciso possível.

4. Demonstração

Esta etapa implica mostrar como o artefacto resolve o problema identificado anteriormente, seja por experimentação, modelação, estudos de casos, provas, ou outra atividade adequada. O artefacto será submetido a testes à medida que for sendo criado, a fim de confirmar que o problema está a ser resolvido como resultado do seu desenvolvimento e, caso contrário, para fazer os ajustamentos de melhoramento necessários.

A arquitetura desenvolvida será demonstrada através da aplicação de um caso de uso, ou seja, será feito um exemplo da aplicação da arquitetura desenvolvida num caso concreto. Este método de demonstração é bastante útil e importante para se perceber de que forma prática o artefacto criado pode, ou não, colmatar as falhas identificadas anteriormente.

5. Avaliação

Por sua vez, esta etapa envolve a observação e uma avaliação se o artefacto satisfaz os critérios de resolução de problemas. O artefacto deve resolver o problema depois de ter sido criado e testado. Os investigadores podem decidir alterar o procedimento ou deixar as modificações para projetos futuros antes de passar à fase final, se o processo de avaliação indicar que o artefacto precisa de ser melhorado.

A arquitetura em causa e o respetivo caso de uso serão avaliados através da realização de entrevistas a peritos. A realização de entrevistas de investigação pareceu ser a escolha mais lógica entre os vários

métodos de avaliação existentes, uma vez que permite obter confirmação e *feedback* sobre o desempenho, fiabilidade, usabilidade, e utilidade do artefacto.

6. Comunicação

A aplicação da *Design Science Research* termina com esta última etapa, a comunicação. Nesta etapa deverá ser apresentado o artefacto desenvolvido a uma audiência. Deverá, também, ser comunicado o problema e o seu significado, para que melhor se compreenda a finalidade do artefacto desenvolvido. A partilha do artefacto poderá ser benéfica para o mesmo, uma vez que poderão ser sugeridas melhorias significativas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são analisados conceitos gerais, procedimentos e a utilização de IoT no desporto. Será, também, realizada uma revisão de literatura sobre os desportos em causa, ténis e padel, a influência de IoT nos mesmos e as soluções já existentes no mercado. Este capítulo surge com o objetivo de obter as informações necessárias para o desenvolvimento da metodologia aplicada.

3.1. INTERNET OF THINGS

O termo "*Internet das Coisas*" (*Internet of Things*, em inglês) tem as suas raízes no termo "*ubiquitous computing*" apresentado por Weiser (1991), que apoiava a ideia de que a informática está continuamente enraizada na atividade quotidiana das pessoas, independentemente do cenário. De acordo com o autor, a população interage com computadores e incorpora-os em todas as suas decisões, sem sequer os reconhecerem. Segundo Weiser, "As inovações mais revolucionárias são as que desaparecem. Estas misturam-se em objetos comuns até deixarem de ser distintas". Weiser acrescenta que a interatividade do equipamento tecnológico é o que dá a este conceito a sua verdadeira força. O termo "*Internet das Coisas*" foi utilizada pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton, cofundador do centro *MIT Auto-ID*, numa apresentação que fez para a *Procter & Gamble*, a empresa onde trabalhava. Nessa apresentação, reiterou que os dados pertencentes à organização seriam armazenados na *Internet*.

3.1.1. Conceitos

A utilização do conceito da *Internet das Coisas*, também designado como IoT, aumentou muito em anos recentes, tornando-se uma questão bastante abordada em artigos universitários, livros, conferências e investigações (Fleisch, 2010). A *Internet das Coisas*, contudo, tem significados diferentes para pessoas diferentes devido ao facto de ainda não existir uma definição única para esta ideia. IoT pode ser compreendido como um grupo de aplicações e serviços apoiados por estas tecnologias que abrem novas oportunidades de negócio e mercado, segundo Miorandi et al. (2012). De uma perspetiva mais técnica, a IoT pode ser vista como uma rede global de objetos inteligentes interligados através de tecnologias suportadas pela *internet*. Num sentido mais amplo, Vermesan & Friess (2013) afirmam que a *Internet das Coisas* pode ser definida como a infraestrutura completa de uma rede vasta e dinâmica, com base em protocolos e normas de comunicação, onde "coisas" físicas e digitais têm as suas próprias identidades, características físicas e personalidades digitais e dependem de interfaces inteligentes para uma integração de rede sem descontinuidades. De acordo com a IDC, a *Internet das Coisas* permite aos dispositivos comunicar com outros objetos e membros da rede, reconhecer alterações, e responder automaticamente a esses eventos (Aguzzi et al., 2016). Reconhece-se que a *Internet das Coisas* também pode ser considerada como a revolução tecnológica trazida pelas novas capacidades informáticas e de telecomunicações, que estão a alterar as normas sociais e organizacionais e cujos avanços dependem dos avanços em numerosas indústrias. Segundo Evans (2011), a *Internet das Coisas* surgiu quando havia mais objetos ligados do que pessoas no planeta. Como resultado da adoção generalizada de *smartphones* e *tablets*, foi projetado que até 2010, existiriam 12,5 mil milhões de dispositivos ligados à *Internet* em todo o mundo, em comparação com os 6,8 mil milhões de pessoas no planeta na altura (Evans, 2011). Tanto os tipos de dados disponibilizados como as capacidades de transmissão destes dispositivos expandiram-se

como resultado da crescente utilização de *gadgets* tecnológicos com uma variedade de sensores e conectividade. Para permitir a partilha de informação entre plataformas, este aumento veio revelar uma necessidade de satisfazer os critérios impostos pela variedade de arquiteturas IoT, plataformas, normas e aplicações utilizadas (Kazmi et al., 2017). Graças a esta variedade, foram feitos numerosos esforços para padronizar estes dados através do desenvolvimento de protocolos e normas apropriados que garantam a interoperabilidade entre as várias tecnologias empregadas pelos dispositivos.

O ecossistema IoT é dominado pela tecnologia, que é definida pela *internet* e está ligado ao *hardware*. No entanto, existem algumas tecnologias e procedimentos que devem ser mencionados, uma vez que sem eles, os dispositivos e sensores seriam inúteis. Os três grupos destacados por Kellmerit e Obodovski (2013) na abordagem do ecossistema tecnológico são:

- Aquisição de dados;
- Agregação e integração de dados;
- Análise dos dados.

3.1.2. Aquisição de dados

Os dispositivos e sensores estão incluídos na categoria relativa à aquisição de dados. Os dados de numerosos sensores são ligados nesta área e transferidos para a rede. Os dispositivos são as ferramentas tangíveis utilizadas para fazer ligação com o *software* e assegurar que uma determinada ação pode ser realizada remotamente e em tempo real sem a presença de uma pessoa. As "Coisas" são outro nome para estes dispositivos.

Podemos usar um *smartwatch*, uma *smartband*, um sensor de movimento, ou um sensor de temperatura como exemplos. Por sensores, entendemos os meios pelos quais obtemos dados dos dispositivos e aprendemos sobre o seu ambiente (McEwen & Cassimally, 2014). A Identificação por radiofrequência ou RFID (do inglês "*Radio-Frequency Identification*") está incluída neste grupo. A RFID é um pequeno dispositivo físico, de acordo com daCosta (2013), que transfere dados registados, como por exemplo o ritmo cardíaco. Para Anzelmo et al. (2011), a *Internet* das Coisas utiliza a tecnologia RFID para identificar coisas, dando a cada uma delas um endereço único e subseqüentemente um endereço eletromagnético.

Segundo Zheng e Jamalipour (2009), as redes sensoriais sem fios (WSNs, do inglês "*Wireless Sensor Network*") são uma das tecnologias mais significativas do século XXI, visto que compreendem uma variedade de dispositivos com capacidade sensorial que permitem tanto a obtenção como a transmissão de dados via comunicações *wireless*. Uma WSN é frequentemente constituída por uma coleção de aparelhos que integram sensores para criar uma rede forte, segura e adaptável com um consumo mínimo de energia e capacidades de computação e comunicação de ponta (Tavares et al., 2008). A principal função destas redes é fornecer métricas e validações feitas por estes dispositivos, de acordo com Léone (2015), e distinguem-se pelos seus recursos limitados de energia, computação, armazenamento e comunicação.

3.1.3. Agregação e integração de dados

De acordo com Kellmerit e Obodovski (2013), o transporte de dados é a fase responsável pela ligação e transferência da informação produzida pelos sensores e dispositivos para o *software* utilizado para o processamento e análise de dados. O modelo de interconexão de sistemas abertos, por vezes conhecido como o modelo OSI, representado na tabela 3.1, é a base sobre a qual operam as tecnologias de comunicação (Li et al., 2011). A organização internacional de normas (ISO) definiu formalmente este conceito de sete camadas, que é utilizado em diferentes fases das comunicações máquina-a-máquina e tem normas distintas para cada uma das suas camadas.

Tabela 3.1 - Modelo OSI. Adaptado de Pinto (2010)

7	Aplicação	HTTP, FTP, DNS, DHCP
6	Apresentação	EBCDIC, NDR
5	Sessão	RCP, SSH, SCP, NetBios
4	Transporte	TCP, UDP
3	Redes	IP, IPX, ICMP, ARP, RARP
2	Ligação de Dados	Ethernet, FDDI, Frame relay
1	Física	Modem, Hardware

Devido à diversidade de dispositivos e redes, surgem questões de interoperabilidade entre os ecossistemas IoT em cada camada do modelo OSI (Bello et al., 2017). Só através dos esforços de normalização empreendidos pelas indústrias de computação e telecomunicações dedicadas a cada camada deste paradigma foi possível integrar múltiplas tecnologias sem fios. Segundo Palattella et al. (2016), uma vez que a privacidade dos dados e a correspondente segurança da informação nunca devem ser ignoradas nos dados que são transmitidos, as organizações de desenvolvimento de normas (SDO) concentraram-se principalmente na interoperabilidade e interconexão entre dispositivos móveis e o seu acesso à *internet*. Para este fim, os fornecedores de telecomunicações continuarão a preocupar-se com a encriptação e autenticação eficaz dos dados de ambas as entidades (Symantec, 2016).

Outra componente fundamental para tudo o que envolve IoT é a agregação dos dados, ou seja, onde se guardam todos os dados que foram primeiramente capturados pelos sensores ou dispositivos e posteriormente transferidos. *Big Data*, segundo Sahu & Dhote (2016), é o termo utilizado para caracterizar o enorme volume de dados recolhidos pelas várias WSNs, que devido à sua quantidade levantou problemas com o seu armazenamento e processamento quando apoiado por sistemas convencionais de gestão de bases de dados. A sua forte ligação à IoT é causada pela enorme quantidade de dados que os dispositivos geram e transmitem, o que conseqüentemente coloca dificuldades para o armazenamento e análises relacionadas. Volume, Variedade, e Velocidade foram os três Vs que definiram a *Big Data* no início (Sagiroglu & Sinanc, 2013), mas a investigação subsequente sobre o tema levou à adição de outras qualidades como Veracidade, Variabilidade, Valor e Visualização.

As tecnologias de comunicação asseguram transmissões de dados cada vez mais rápidas e mais eficazes. A diversidade das fontes de dados utilizadas tem sido espelhada num aumento de complexidade no que diz respeito ao armazenamento da variedade de dados adquiridos. Devido a esta variabilidade, os dados foram divididos em três categorias: estruturados, semiestruturados, e não estruturados. De acordo com McAfee e Brynjolfsson (2012), os dados estruturados são o primeiro tipo de dados que as empresas têm armazenado em bases de dados relacionais de forma ordenada, facilitando uma investigação e análise eficazes. Os dados não estruturados, em contrapartida, são aqueles que são difíceis de armazenar, bem como de pesquisar e compreender devido à sua variedade de formatos (vídeos, emails, imagens e ficheiros áudio) (Sagiroglu & Sinanc, 2013). Embora exibam alguns padrões que tornam mais fácil a sua separação e organização quando estão a ser armazenados, os dados semiestruturados, como o seu nome sugere, são uma combinação dos dois tipos anteriormente discutidos (Sagiroglu & Sinanc, 2013). De acordo com Sahu e Dhote (2016), dados semiestruturados e não estruturados tornam mais difícil a análise dos dados.

Em anos recentes, tem havido uma utilização intensiva de modelos de dados baseados no armazenamento em nuvem. A eliminação de gastos significativos em servidores, eletricidade, ar condicionado, infraestruturas de rede, equipas de manutenção, bem como limitações de armazenamento, são alguns dos benefícios financeiros do armazenamento em nuvem (Shimba, 2010). As estratégias das empresas estão a mudar cada vez mais em favor das opções de armazenamento em nuvem, a fim de maximizar a utilização dos seus recursos, uma vez que a infraestrutura tecnológica usada pode sempre ser utilizada em todo o seu potencial. Dependendo das exigências de cada organização, esta tecnologia permite expandir ou diminuir a capacidade de armazenamento de forma quase instantânea. Para Subashini e Kavitha (2011), as pequenas e médias empresas compreendem agora que o armazenamento em nuvem lhes permite aceder rapidamente a melhores aplicações comerciais e mais recursos a um custo razoável.

3.1.4. Análise de dados

O grupo final destacado pelos autores, a análise de dados, preocupa-se com a informação recolhida a partir de sensores e dispositivos de utilizadores e entregue através de redes e ligações a serem analisadas e interpretadas por *software*. Esta informação ajudará as empresas a tomar decisões (Kellmerit e Obodovski, 2013).

A transformação dos dados em informação para as ações futuras da organização é uma componente vital desta fase, que visa acrescentar valor e dar significado aos dados obtidos. Uma transformação imprecisa destes dados pode destruir qualquer negócio. É crucial enfatizar o campo da ciência dos dados neste contexto, uma vez que se centra nos sistemas e processos que permitem a extração de conhecimento e *insights* sobre os dados adquiridos, sejam eles estruturados, semiestruturados, ou não estruturados (Kaisler et al., 2013). A ciência dos dados é responsável pelo processo de análise de dados e pela extração de informação correspondente (Jurney, 2013); é um campo multidisciplinar que integra estatística, *data mining* e *machine learning* (Donoho, 2017). Devido à sua ênfase no reconhecimento de padrões e a exibição de tais dados, as técnicas de extração de dados revelaram-se essenciais para a obtenção de conhecimento dos dados recolhidos (Kohavi, 2000). A fim de tornar a tecnologia IoT mais inteligente, foi

desenvolvida uma variedade de tecnologias analíticas. O *data mining* surgiu como uma das mais úteis destas tecnologias porque se foca em encontrar padrões em grandes quantidades de dados utilizando algoritmos para extrair informação desconhecida (Chen et al., 2015). Entende-se que esta tecnologia enquadra perfeitamente nesta fase da análise de dados, assumindo que o objetivo de qualquer processo de prospeção de dados é criar um modelo preditivo de um conjunto de dados de grande dimensão que permita a explicação tanto dos dados existentes como a generalização de novos dados (Chen et al., 2015). A preparação dos dados, a atribuição de significado e a apresentação dos dados compõem as três fases do processo de extração de dados, de acordo com Chen et al. (2015).

O tratamento dos dados recolhidos de vários sensores e dispositivos é o que se entende por fase de preparação de dados, que inclui também a limpeza de qualquer falha que possa ter sido introduzido nos dados, a fim de facilitar a atribuição de significado e valor aos dados do estudo. Na segunda fase, são aplicados algoritmos aos dados preparados, a fim de identificar padrões dentro dos conjuntos de dados estudados. A fase final deste procedimento concentra-se na visualização dos dados que foram produzidos através da criação de gráficos e relatórios. Entende-se que estes procedimentos analíticos incluirão cada vez menos participação humana e mais mão-de-obra automatizada, uma vez que a quantidade de dados produzidos pelos dispositivos IoT será superior à quantidade que os humanos poderão processar (Earley, 2015).

Atualmente as organizações são capazes de recolher, processar e ligar dados de uma grande variedade de formas graças ao progresso técnico trazido pela convergência do poder de processamento crescente, a expansão das capacidades de armazenamento, e as melhorias na tecnologia de rede (Tikkinen-Piri et al., 2017). A segurança e privacidade dos dados são agora cruciais em todo o fluxo, desde a recolha de dados até à sua fase de análise, devido ao crescente volume de dados que é tornado público e à sua importância crescente para as atividades comerciais das empresas.

3.1.5. Utilização de tecnologias IoT no desporto

Para Ray (2015) a *Internet das Coisas* no desporto é um campo em rápida expansão, embora se encontre nas suas fases iniciais. A nossa cultura atribui um elevado valor a qualquer conhecimento que possa melhorar o desempenho de um atleta ou aumentar a justiça de um jogo, e os desportos profissionais são notoriamente competitivos. Segundo o mesmo, através da recolha e análise de tipos de dados sobre a saúde e desempenho atlético dos atletas, a IoT no desporto tem como um dos objectivos permitir que os atletas tenham um desempenho melhorado. A estrutura do anel ITPD, que significa Interação, Coisas, Processos e Dados, deve servir de base para a estrutura arquitetónica da *Internet das Coisas* para o desporto (Antunes, 2018). A estrutura deste anel é ilustrada na figura 3.1. A fase inicial desta estrutura enfatiza a necessidade de o atleta se familiarizar e aprender a utilizar as tecnologias de recolha ou medição de dados (as "coisas"). A fase seguinte, os processos, centra-se nos procedimentos tecnológicos que lidam principalmente com as atividades de recolha, comunicação, e análise de dados. Procura simplificar e automatizar o fluxo de dados desde o ponto em que são capturados pelos dispositivos até ao ponto em que são apresentados para análise numa plataforma baseada na nuvem ou em tempo real (Ray, 2015).

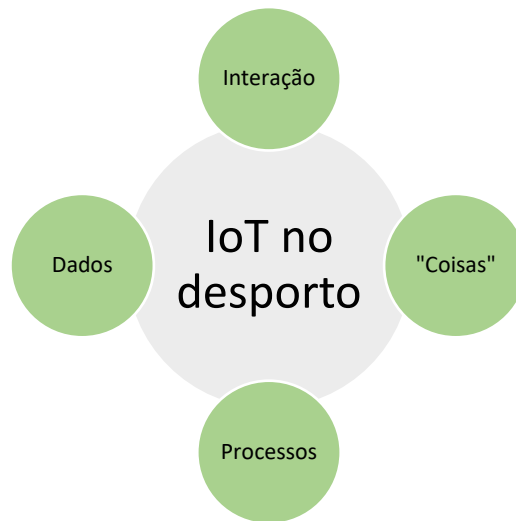


Figura 3.1 - Anel ITPD. Adaptado de Ray (2015)

Antes da *Internet das Coisas*, o único método para avaliar o desempenho de um atleta, tanto individualmente como em equipa, era através da gravação de vídeo. As equipas ainda hoje gravam em vídeo os seus treinos e jogos, a fim de compreender melhor o que correu mal e por que razão isso aconteceu. Por exemplo, na NBA (liga profissional de basquetebol nos Estados Unidos da América), jogadores e treinadores discutem frequentemente potenciais melhorias que podem ser necessárias para a equipa prosperar durante as palestras pós-jogo.

Um novo sistema de visualização para jogos de ténis chamado *TenniVis* apenas necessita da introdução de dados de jogos como pontuações, resultados de pontos e duração, informação e vídeo que pode ser gravado por uma única câmara a nível de consumidor. Isto porque os avanços tecnológicos tornaram possível alimentar com imagens de jogos um *software* que oferece novas ferramentas de visualização. O objetivo fundamental desta abordagem é proporcionar aos jogadores e treinadores não profissionais um meio prático e acessível de melhorar os seus conhecimentos de jogo. Isto permite ao jogador e treinador partilhar informação recém aprendida e reconhecer padrões (Polk, Yang, Hu, & Zhao, 2014). Mesmo enquanto a análise de vídeo ainda é uma técnica popular no desporto, as gravações fornecem normalmente muitos dados, tornando muito demorada a procura de momentos importantes. A utilização de sensores juntamente com vídeo tem sido tentada para remediar esta situação, com diferentes graus de sucesso.

Um método geral para demonstrar como os sensores podem ser utilizados para indexar vídeo foi apresentado em 2012. Outro sistema de visualização para a modalidade ténis, este exigindo dados sobre as pancadas (recolhidos por um acelerómetro montado na raquete) e dados de vídeo. O principal benefício foi que os treinadores podiam acelerar o processo de análise saltando uma quantidade significativa de dados de vídeo inúteis enquanto utilizavam esta abordagem. Além disso, haveria economias substanciais se apenas os videoclipes pertinentes fossem mantidos (Rowlands, McCarthy, e James, 2012). Para classificar o desporto, pensa-se que os sensores são tanto o presente como o futuro. De facto, foi demonstrado que as atividades desportivas podem ser classificadas de forma fiável utilizando

dados do acelerómetro e do giroscópio (Wundersitz et al., 2015). Contudo, deve-se ter cautela ao empregar tecnologia de sensores e assegurar que as validações internas e externas dos dispositivos e algoritmos relevantes são levadas a cabo com sucesso antes de tomar os resultados como exatos.

O *minimaxX*, um dispositivo de microtecnologia utilizável capaz de oferecer uma técnica fiável de quantificação do número e gravidade das colisões efetuadas na liga de rugby, foi o primeiro sensor de microtecnologia a ser validado interna e externamente (Gabbett, 2013). Foram feitas reduções do tamanho do sensor para garantir que a liberdade de movimento fosse mantida e que não houvesse perturbações (Lee et al., 2015). A utilização de sensores tem muitos benefícios, incluindo a capacidade de controlar a aptidão física e avaliar a atividade física, que pode ser utilizada para prever o desempenho e evitar lesões. Além disso, os dados dos sensores poderiam ser utilizados para avaliar lesões musculares e determinar o tempo necessário para a recuperação quando emparelhados com marcadores biofísicos. A tecnologia integrada permite a recolha de informação sobre uma variedade de características, incluindo carga de impacto, movimento direcional, e identificação da atividade, em contraste com os sistemas convencionais de análise de movimento temporal (Dellaserra, 2013). Em geral, um aumento da duração da bateria e da capacidade de memória, juntamente com mais reduções do tamanho do produto, poderia não só alargar a aplicação desta tecnologia como também melhorar a sua funcionalidade, permitindo um acesso mais rápido a novas informações, o que poderia melhorar significativamente a formação, preparação e programas de recuperação (Dellaserra, 2013).

3.2. DESPORTOS DE RAQUETE

Desportos de raquete são, como o nome indica, modalidades desportivas em que os jogadores utilizam raquetes para bater em bolas ou outro tipo de objetos. Desde o ténis ao badminton, passando pelo squash, existem mais de uma dezena de modalidades que dão uso a raquetes.

Esta investigação foca-se em duas modalidades de raquete: Ténis e Padel.

3.2.1. Ténis

Ramos (2009) afirma que as origens do jogo podem ter sido em França no final do século XII e início do século XIII, quando os jogadores começaram a usar as suas mãos para bater a bola. Com algumas alterações, o *paume*, como era conhecido, ganhou popularidade em França e eventualmente no resto da Europa. A raquete foi desenvolvida em Itália no século XIV, tornando o *paume* menos perigoso e mais amplamente disponível. Membros da Família Real Britânica começaram a praticar o desporto em Inglaterra quando este chegou lá pela primeira vez no século XIV, o que ajudou a aumentar a sua popularidade (Ramos, 2009). Walter Wingfield, um major inglês, examinou as origens do ténis em 1873 e modificou as suas regras antes de patentear o jogo. Nessa altura, o jogo era conhecido como ténis, que derivava da palavra francesa *tenez*, que significa agarrar e era gritado no *paume* quando o jogador enviava a bola para o campo da oposição. O desporto foi difundido graças ao poder industrial do século XIX na Grã-Bretanha (Carneiro, 2018). Com o passar dos anos, o ténis tornou-se num dos desportos mais populares do mundo. Estima-se que mais de 60 milhões de indivíduos jogam ténis nas mais de 200 nações que são membros da Federação Internacional de Ténis (ITF), segundo dados fornecidos por esta organização (Pluim et al., 2006). O número de futuros desportistas que prosseguem uma carreira

profissional no ténis aumentou devido ao reconhecimento social e aos salários substanciais auferidos por excelentes jogadores de ténis (Carneiro, 2018).

Dependendo do número de jogadores a competir em cada lado do campo, esta modalidade inclui duas categorias de competição: individuais e duplas. No jogo de singulares, dois jogadores do mesmo sexo enfrentam-se um contra o outro; contudo, no jogo de pares, existe a opção de jogar em pares do mesmo sexo ou do sexo oposto, os "pares mistos" (Ramos, 2009). Uma rede divide o campo em dois lados, e o objetivo do jogo é utilizar uma raquete para enviar a bola para o campo da equipa adversária do outro lado da rede. O adversário deve ser incapaz de devolver a bola, ou deve devolvê-la fora do seu campo, para que o ponto seja ganho (ITF, 2022). Os jogadores devem estar em lados opostos da rede; um iniciará o ponto e será referido como o servidor e o outro como o recetor. Começando do lado direito dos seus respetivos campos, o servidor e o recetor respetivamente iniciam o jogo. A figura 3.2 permite ver dois quadrados mais pequenos que devem ser atingidos para os serviços. O servidor tem duas hipóteses de bater a bola na área de serviço (o chamado primeiro e segundo serviço). O servidor terá outra oportunidade de iniciar o ponto no segundo serviço se falhar o primeiro. O servidor perde o ponto se ambos os serviços forem considerados fora. Com todos os desenvolvimentos ocorridos ao longo do tempo, a contagem do ténis é agora feita em "jogos" e "sets". A Federação Internacional de Ténis (2016) declara que um *set* está terminado após seis jogos, e que uma partida pode ser ganha em dois *sets* (melhores de três jogos) ou três *sets* (melhores de cinco). Se um jogador marcar o seu primeiro ponto no jogo, a sua contagem é de 15, quando marca o seu segundo ponto, sobe para 30, quando marca o seu terceiro ponto, sobe para 40, e quando marca o seu quarto ponto, chega ao jogo, a menos que a contagem anterior estivesse empatada a 40/40, caso em que um jogador tem de marcar dois pontos seguidos para ganhar o jogo. Em termos de pontuação, um *game point* é um ponto que, se ganho pelo jogador com a vantagem no jogo, adicionará um jogo à sua pontuação definida; um *set point* é um ponto que, se ganho, lhe dará o *set*; um *match point* é um ponto que, se ganho, lhe dará a partida; e um *break point* é um ponto que, se ganho, lhe dará a oportunidade de "quebrar o serviço" do adversário.

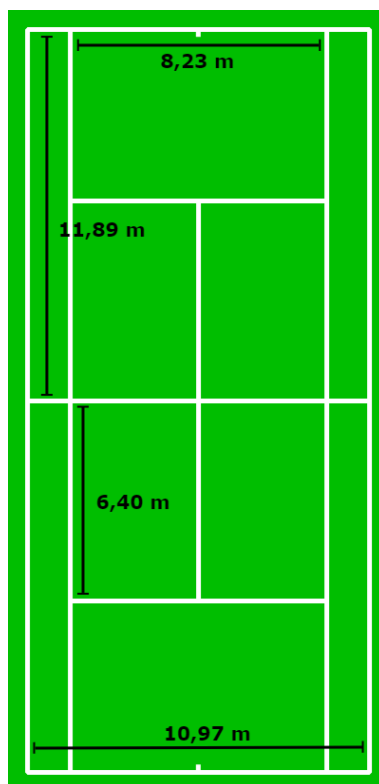


Figura 3.2 - Dimensões de um *court* de ténis (O campo de Ténis, 2007)

3.2.2. Padel

Padel é um desporto de raquete que teve origem no México em 1969 como resultado de Enrique Corcuera ter incorporado componentes de ténis no seu próprio campo de squash. O jogo cresceu em popularidade em Espanha e ao mesmo tempo na América Latina, alcançando um total de 6 milhões de jogadores e 5.500 campos (What is Padel, 2016). O Padel tem tido a taxa de crescimento mais rápida do mundo em termos desportivos, e não mostra sinais de abrandamento. O circuito mundial inaugural do padel foi conduzido em 2013, e desde então tem sido realizado anualmente, aumentando o número de jogadores profissionais (World Padel Tour, 2022). A simplicidade do desporto e a sua facilidade de aprendizagem são fatores que promovem o seu crescimento. É simples para os atletas que têm experiência com outros desportos de raquete, como o ténis ou badminton. Uma vez que o jogo é jogado por duplas num *court* mais pequeno do que o ténis, visível na figura 3.3, permite aos participantes estarem mais próximos e em conversas frequentes, fazendo com que um dos fatores que favorece o sucesso do desporto seja a sua componente social. Os campos de padel são mais pequenos do que os campos de ténis, o que incentiva alguns proprietários a converter os seus atuais campos de ténis em dois campos de padel por razões de custo. Devido ao facto de estarem distribuídos por quatro jogadores, os custos de aluguer de um campo são também menores (Kivi, 2022).

O padel é um desporto de raquete em que duas duplas competem uma contra a outra. As dimensões regulares do campo são utilizadas para o jogo; a figura 3.4 ilustra estas proporções. Ganhar pontos resulta em ganhar o jogo, ganhar jogos resulta em ganhar o *set*, e eventualmente, ganhar *sets* resulta em ganhar

a partida, á semelhança do ténis. O jogador que serve deve primeiro permitir que a bola bata no chão atrás da linha de serviço antes de a atingir, de modo a cruzar a rede na diagonal e aterrar na área recetora do campo da equipa adversária, para que o serviço seja considerado dentro. O jogo continuará com as duplas a baterem com a bola no campo da outra equipa se o serviço for aceite. A bola deve ser jogada por cada dupla antes de chegar ao seu campo uma segunda vez; caso contrário, o ponto é dado ao par oposto. O padel difere de outros desportos de raquete porque a bola durante um ponto pode bater na parede e fazer ricochete na mesma. O sistema de pontuação é semelhante ao ténis: 0 pontos - 0, 1 ponto - 15, 2 pontos - 30, 3 pontos - 40, 4 pontos - ganhou o jogo. O par que ganhar seis jogos com uma vantagem de dois jogos sobre o par adversário fica com o *set*; caso contrário, o *set* é desempatado por um *tie-break*. Neste desempate, os pontos são somados um, dois, três, quatro, e a por aí adiante até aos sete. Quem conseguir sete pontos primeiro ganha desde que o faça com uma vantagem de dois pontos; caso contrário, o desempate continua até esta margem ser alcançada. Os jogos de padel são á melhor de três *sets*.

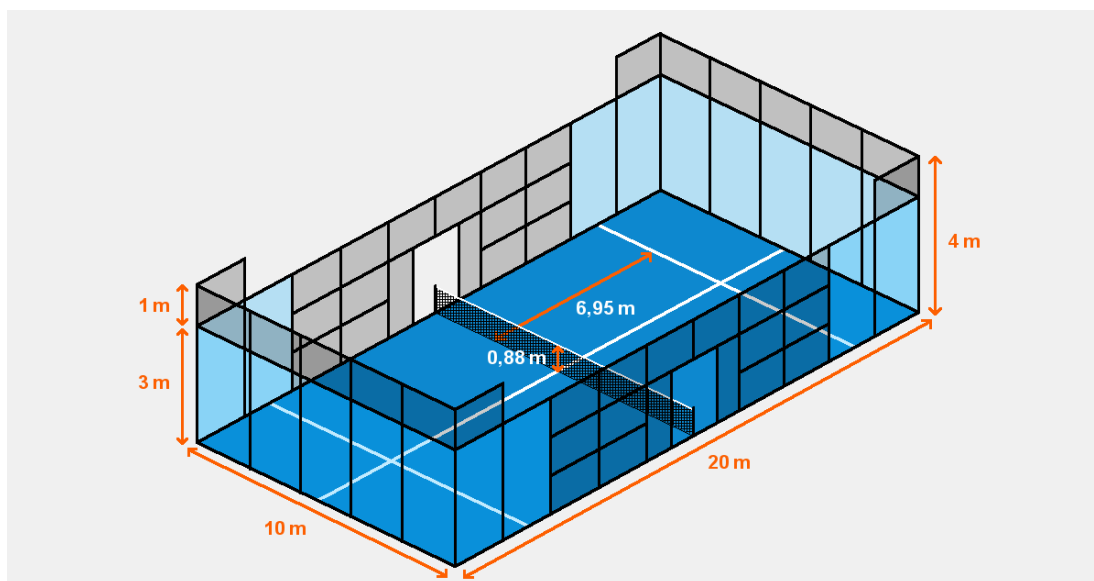


Figura 3.3 - Dimensões de um campo de padel (Pontinascavi, 2021)

3.2.3. Justiça desportiva e *fair play*

Como já foi referido anteriormente, neste momento o sistema de arbitragem no padel consiste apenas no uso de um árbitro e a tecnologia apenas entra em ação após uma das duplas pedir um *challenge*. Já no ténis, existem vários sistemas de funcionamento de arbitragem dependendo do nível que é praticado. Em competições amadoras, as partidas geralmente têm apenas um árbitro, o árbitro de cadeira. Em competições profissionais há 2 cenários possíveis:

- Partidas onde existem, para além do árbitro de cadeira, os árbitros de linha. Neste sistema, os praticantes poderão desafiar as decisões dos árbitros quando discordarem das mesmas fazendo com que a tecnologia intervenha e tire as dúvidas tomando uma decisão.

- Partidas onde, á semelhança das amadoras, contam apenas com o árbitro de cadeira, mas desta feita com o auxílio da tecnologia. Neste cenário, todas as decisões no que diz respeito á posição das bolas no *court* serão tomadas pela tecnologia.

Apenas neste último cenário a justiça desportiva é preservada, uma vez que nos outros casos as decisões tomadas são bastante menos exatas, afetando inevitavelmente a justiça do encontro. A justiça poderá ser maximizada através de *fair play* e do bom espírito desportivo.

Um dos princípios fundamentais do ideal olímpico criado por Pierre de Coubertin é a ideia de *fair play*. Segundo Lenk (1987), existem dois tipos de *fair play*: o formal e o informal. O autor afirma que o *fair play* formal é caracterizado pela adesão a leis e normas, servindo como uma "obrigação de norma". O *fair play* informal serve como uma representação dos princípios morais de um atleta através do comportamento cavalheiresco do competidor para com os seus rivais e os oficiais. Não existem regras que regulem este tipo de *fair play*.

De acordo com Gonçalves (1997) "O desportivismo é um conceito difícil de apreender. No entanto, é simples identificar alguns dos seus componentes, tais como lealdade, honestidade, aceitação da lei, respeito por si próprio e pelos outros, e igualdade de oportunidades. Há tantos componentes que compõem o conceito de desportivismo". O *fair play* surge das seguintes formas, segundo o autor e a Carta sobre o Desporto (La Régie de la Sécurité dans les Sports du Québec, 1984):

1. Aderência à lei.
2. Compreensão das decisões dos árbitros e respeito pela sua autoridade.
3. Honrar a oposição.
4. Um desejo de justiça.
5. Ser merecedor.

Gonçalves (1997) observa que poucas pessoas conseguiram chegar a uma definição do espírito desportivo que fosse aceite por todos, mesmo que todos compreendessem o que era. Apesar das discrepâncias entre os escritores, ainda é possível discernir um ponto comum nas suas interpretações do que é o *fair play*, uma vez que todos defendem o mesmo objetivo de uma atitude moral em relação ao desporto e às pessoas que neles participam.

Concluindo, o conceito de *fair play* existe para que a justiça desportiva se aplique o máximo possível. É fundamental garantir isso para os atletas e também para os adeptos. Nesse sentido, o uso de tecnologias poderá revolucionar o campo da justiça desportiva. Ainda assim, acredita-se que a solução para aumentar o máximo possível a justiça das partidas não passe unicamente pelo *fair play*, mas também pela tecnologia. Esta poderá ser um grande pilar na modalidade para que seja praticada da forma mais justa possível.

3.2.4. Utilização de TI no ténis

O ténis é um dos desportos que tem mais tecnologia desportiva à sua disposição. Podemos ver que a *Tennis Techie* (Johansson, 2022) distinguiu os produtos de tecnologia do ténis em oito categorias. Destacam-se sensores de balanço, aplicações de análise de vídeo, *smartcourts*, aplicações estatísticas,

aplicações de saúde do jogador, e aplicações de gestão de clubes. Na sua essência, existem várias tecnologias distintas criadas especificamente para o ténis, sendo que algumas das tecnologias são aplicáveis a outros desportos ou podem ser modificadas para eles. Nesta investigação iremos detalhar sobre as tecnologias que podem contribuir para a justiça desportiva.

Um destes dispositivos mais simples e usado em todas as partidas de ténis, trata-se de um sensor que é colocado na rede para que seja possível detetar quando a bola toca na rede no momento do serviço. Quando isso acontece, o sensor dispara e ouve-se um som que indica que o serviço deverá ser repetido. É uma tecnologia que também já gerou alguma discórdia, pois por inúmeras vezes atletas se queixaram que a bola não tocou na rede e, ainda assim, o sensor disparou.

Atualmente existem três produtos aprovados pela *International Tennis Federation* (ITF) como *Player Analysis Technologies* (PAT) e utilizados em torneios internacionais que atuam como sistemas de chamadas de linha (Ubitennis, 2021):

- *FlightScope Tennis* aprovado em 2020;
- *Foxtenn* aprovado em 2016;
- *Hawk-eye Innovations* aprovado em 2005.

Reconstructed Track Devices (RTDs) são a categoria sob a qual estas tecnologias se enquadram (Collins, 2012). Os RTDs seguem o percurso da bola utilizando câmaras com luz visível, e realizam um processo para remover os pixels de cada *frame*. A posição da bola é representada por certos pixels, enquanto a localização da linha ou outros elementos do *court* são mostrados por outros. Um método estatístico reconstrói o voo tendo em conta a informação sobre o tamanho da bola, a distorção da bola, a largura da linha, e outros fatores utilizando a representação numérica das coordenadas de espaço e tempo destes pixels. O sistema calcula que escolha deve ser feita com base nestes cálculos (Cross, 2014).

FlightScope Tennis

A *Flightscope* foi criada na África do Sul em 1989 por Henri Johnson, e em 2008 juntou-se à empresa polaca *Jagro* para se tornar a *Flightscope Tennis* (ITF, 2020). O sistema de pontuação ao vivo e o sistema de chamada de linha, que também inclui o rastreio de bola e jogador, são hoje as duas principais características do produto.

O *tablet Proscorer* para o árbitro da cadeira, câmaras e radares são os principais componentes do sistema de pontuação ao vivo. Este sistema recolhe inúmeros dados que são visíveis em transmissões televisivas. O *Queen's Club Championship* em 2001 em Londres assistiu à estreia do produto *FlightScope* no ténis, o que ajudou a promover a gestão de eventos e o *software* de pontuação do árbitro de cadeira. Desde 2003, torneios para a ATP e WTA, bem como para o *ITF Davis Cup World Group*, têm utilizado a tecnologia que o *FlightScope* desenvolveu.

Os componentes essenciais do sistema de chamada de linha são as oito câmaras específicas de chamada de linha e as quatro câmaras de alta velocidade que são posicionadas em cada *court*, ilustrados na figura 3.4. Os dados são processados e analisados após uma bola cair perto de uma das linhas, e a ferramenta fornece informação ao árbitro para que este tome uma decisão.

Enquanto que o sistema de pontuação ao vivo já era usado desde 2001, o sistema de chamadas de linha apenas foi aprovado pela ITF em 2020. O custo por *court* ronda os 40.000 euros.

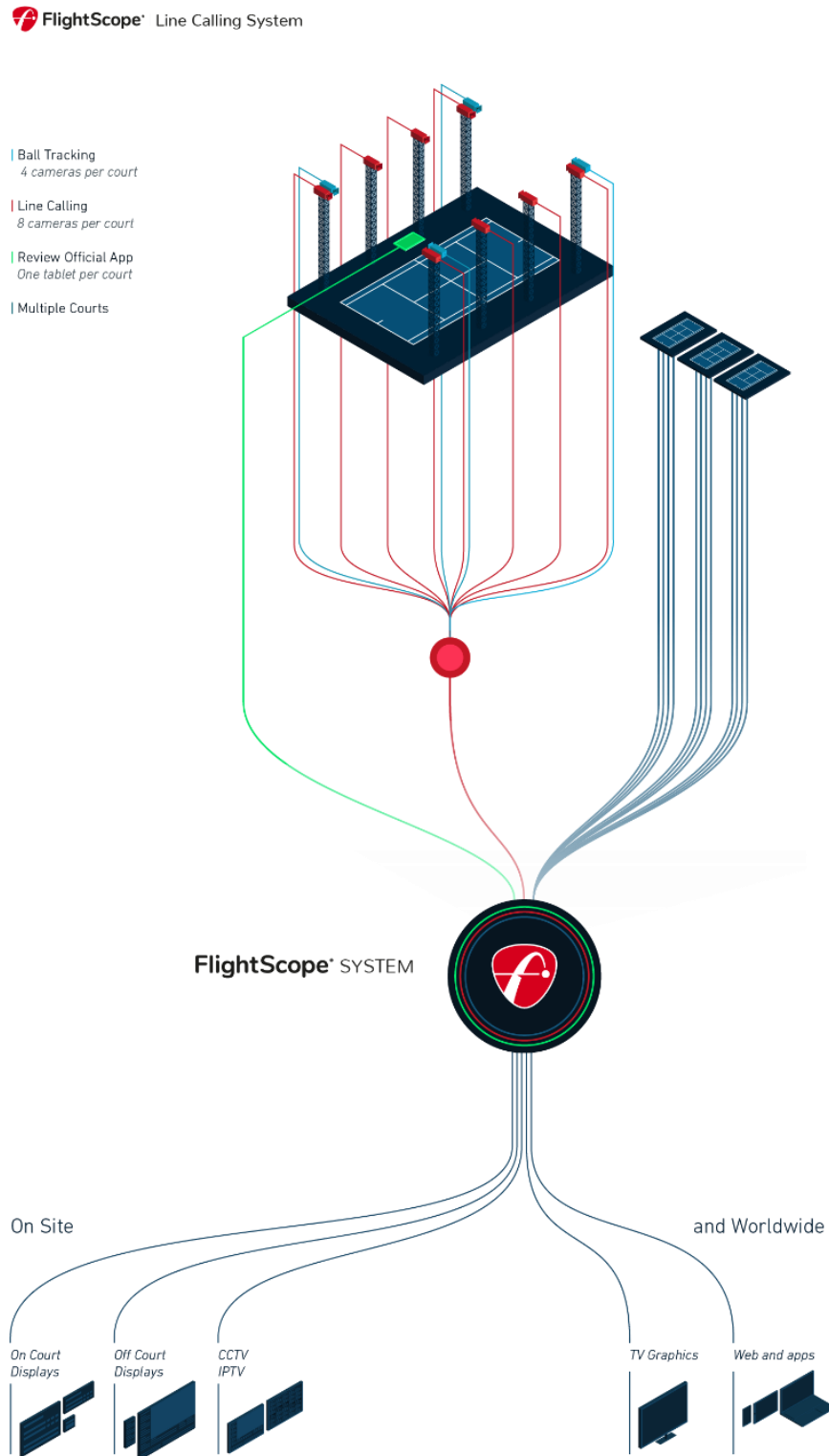


Figura 3.4 - Sistema FlightScope (Ubitennis, 2021)

Foxtenn

A mais recente empresa a dar entrada no mercado é a *FoxTenn*, uma empresa com sede em Barcelona lançada em 2012 que criou um sistema tecnológico para desafiar as soluções já existentes na indústria. Como é possível observar na figura 3.5, esta tecnologia é composta por 10 lasers de alta velocidade e 40 câmaras de alta velocidade espalhadas pelo campo. Cada câmara de alta velocidade pode tirar fotografias a uma taxa de 2500 *frames* por segundo (FPS). Estão posicionadas na outra extremidade do campo e ao nível do chão, em vez de estarem acima dele, o que é outra distinção das outras tecnologias.

A *Foxtenn* acredita que ao começar do zero, pode evitar muitas falhas possíveis noutros sistemas atuais. Em primeiro lugar, uma vez que as câmaras situadas no solo estão tão perto da ação, há pouca ou nenhuma hipótese de que os jogadores ou itens que se movimentam entre as câmaras e o campo bloqueiem a visão da bola. Isto é uma preocupação com as câmaras situadas acima das bancadas. Além disso, as câmaras colocadas por cima das bancadas podem ser mais suscetíveis às vibrações do vento e até ao movimento dos espectadores. Se a bola atingir a rede ou tiver uma trajetória elevada, o rastreio também pode ser impactado, o que poderia resultar numa estimativa menos precisa do local onde a bola aterrou. As circunstâncias acima mencionadas não têm qualquer impacto neste produto, e a tecnologia de *Foxtenn* grava efetivamente o vídeo do impacto da bola no *court*. Todas as grandes federações de ténis deram à *FoxTenn* o seu aval, pelo que pode acabar por ser o sistema *Line Calling* mais utilizado no ténis profissional. O custo de implementação ronda os 50.000 euros por *court*.

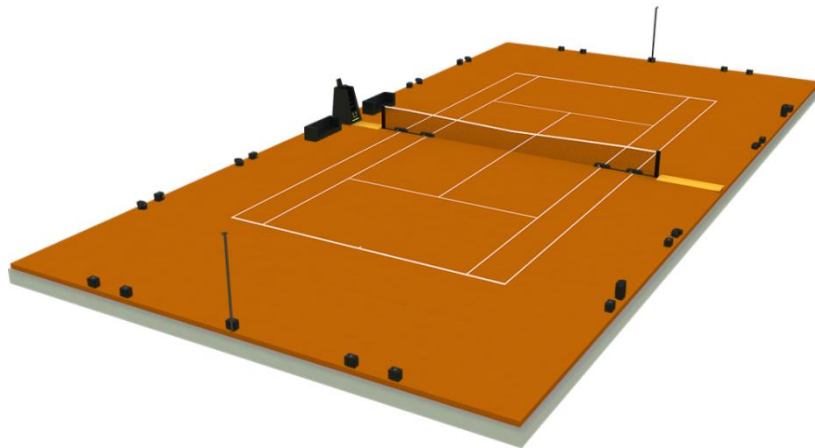


Figura 3.5 - Sistema Foxtenn (Ubitennis, 2021)

Hawk-eye Innovations

Existe um avanço tecnológico no ténis que tem maior preponderância que os restantes por ser mais amplamente utilizado: o sistema *Hawk-Eye*. Esta tecnologia é um tema que aparece na maioria das publicações sobre o uso de tecnologia no ténis. É também o foco de uma investigação aprofundada no ténis e está a tornar-se uma parte mais significativa da preparação de competições, táticas, e planos de jogo. Bal (2012) afirma que o *Hawk-Eye* é um sistema computadorizado utilizado em desportos como o

tênis e críquete para seguir visualmente o percurso da bola e mostrar um registo do seu percurso estatisticamente mais provável como uma imagem em movimento, independentemente da velocidade a que se desloca. Os tenistas atualmente, no circuito profissional masculino, servem entre 180 e 240 km/h, o que representa um desafio para os árbitros de linha. O produto é composto por câmaras, podendo o seu número variar entre 6 e 12 câmaras, e por um sistema computacional que num curto espaço de tempo processa as imagens recolhidas e calcula a trajetória de voo das bolas. Este sistema pode ser visualizado na figura 3.6. Foi criado em 1999 por engenheiros da *Romsey, Roke Manor Research Limited*, sediada em Hampshire. Mais tarde em 2001, a tecnologia deu origem a uma organização, a *Hawk-Eye Innovations Ltd.* (Bal, 2012; Collins, 2008; Mecheri et al., 2016). Organização esta que viria a ser comprada pela *Sony* em 2011 e, como já foi referido, a sua implementação tem o custo de 60.000 euros por *court*.

Após uma partida entre Serena Williams e Jennifer Capriati nos quartos-de-final do *US Open* 2004, foi pela primeira vez trazida à discussão sobre a tecnologia. Serena sofreu um *break* e criticou duramente os árbitros, alegando erros em numerosas pancadas. Os organizadores do torneio utilizaram o *Hawk-eye* para determinar que a tenista americana tinha sido efetivamente vítima de uma série de chamadas de mau julgamento e ela tinha razão. A árbitra do jogo, a juíza brasileira Mariana Alves, acabou por ser desclassificada da competição. Na sequência deste incidente, a ATP decidiu começar a utilizar a tecnologia, que foi experimentada pela primeira vez em 2005, no *Nasdaq Challenger*. No mesmo ano, foi utilizada em mais algumas competições profissionais de menor dimensão para testar e aperfeiçoar a tecnologia. A primeira tecnologia de rastreio de bola a ter passado nos exigentes procedimentos de teste da ITF foi este. O primeiro torneio *Grand Slam* a utilizar o *Hawk-Eye* foi o Open dos Estados Unidos da América (*US Open*) de 2006. O ATP estabeleceu o mecanismo de *challenge* em 2008 depois de receber reclamações de vários jogadores de tênis. As decisões dos árbitros podem ser desafiadas três vezes por jogo por cada atleta. Não há dedução do número de *challenges* se o mesmo for bem-sucedido, ou seja, se a chamada do árbitro foi de facto incorreta. O atleta perde um *challenge* se a decisão inicial tiver sido correta. A repetição da pancada é mostrada no ecrã do estádio para que todos os que estão presentes, incluindo os jogadores e espectadores, possam ver.

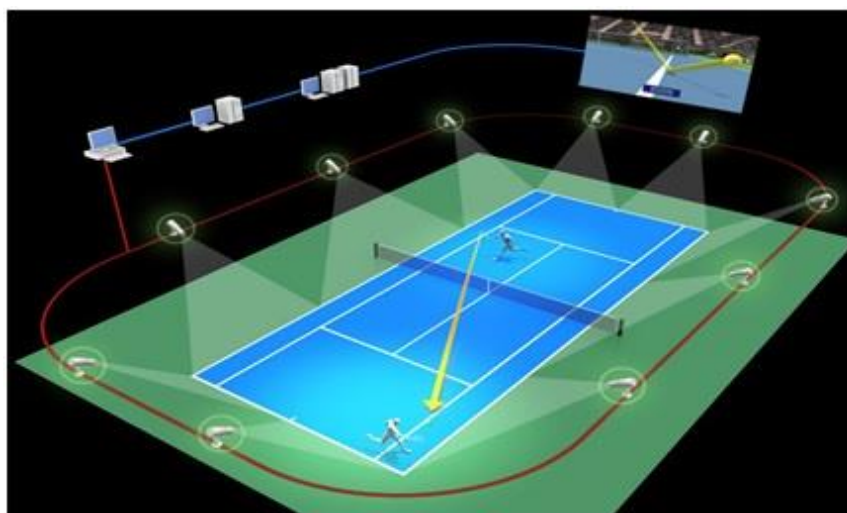


Figura 3.6 - Sistema Hawk-eye (Ubitennis, 2021)

O *Hawk-Eye* é muito útil em conjunto com outros instrumentos também nas frentes de treino e tática, onde oferece informações sobre o desempenho dos atletas e dos seus adversários. O método baseado em dados de rastreamento de bola 3D oferece mais hipóteses de ver o desempenho ou a reação ao serviço, mas também pode contribuir para a compreensão dos níveis de aptidão física e capacidade de ataque. No estudo de Mecheri (2016), foi provado que o atleta que serve tem mais probabilidades de ganhar um ponto através da análise dos dados recolhidos utilizando a tecnologia *Hawk-Eye*, sendo a superfície do *court* um aspecto bastante significativo. Os atletas têm mais de 60% de hipóteses de ganhar um ponto enquanto servem em campos mais rápidos, como os cobertos e os relvados. O estudo também examinou o impacto das posições do servidor e do receptor e se foi o primeiro ou o segundo serviço. Com a ajuda da tecnologia *Hawk-Eye*, os tenistas e treinadores podem concentrar os seus planos de jogo e sessões de treino na melhoria da eficácia do serviço, o que, dependendo do tipo de campo, pode ser essencial para ganhar partidas.

Choppin et al. (2018) avaliaram um conjunto de dados fornecidos pelo *Hawk-Eye* que incluía 71.019 pontos num total de 354 partidas da Taça Davis e da *Federations Cup*, que tiveram lugar entre 2012 e 2017 e onde os atletas representaram as suas seleções nacionais. As câmaras da tecnologia foram utilizadas para capturar os dados. Com os dados que foram obtidos foram formadas três tabelas com valores diferentes. A tabela de jogos incluía informações sobre os participantes, a competição, os tempos dos jogos, etc. Informações relativas à progressão do jogo podem ser encontradas na tabela de pontos (pontuação atual, ponto vencedor, etc.). A maior tabela de dados foi a tabela de dados sobre pancadas, que incluía detalhes completos sobre os traços físicos de cada pancada de ténis (serviço, assistência, backhand, volley e smash) (Choppin et al., 2018). Este estudo realizado veio demonstrar que os tenistas e treinadores estão a utilizar cada vez mais o *Hawk-Eye*.

No entanto, a arbitragem é a principal utilização da tecnologia do *Hawk-Eye*. Durante os jogos amadores, normalmente não há árbitros presentes para determinar as marcações adequadas de cada ponto em cada campo. Os atletas profissionais começam quase de certeza a praticar o seu desporto sem árbitros. As decisões são decididas sob estas circunstâncias por consenso entre os participantes. Quando não há consenso entre os participantes, um árbitro geral pode ser chamado em vários eventos jovens e amadores (Collins, 2010). Existem atualmente três categorias diferentes de árbitros no ténis: o juiz de cadeira, o juiz de linha, e o juiz de rede (ITF, 2022). No entanto, apesar da sua preparação, treino e perícia, ainda existem erros de arbitragem como em todos os desportos em que uma pessoa toma várias decisões (Collins, 2012). Espera-se que os participantes, espectadores e supervisores do torneio prefiram ver um número decrescente de decisões de arbitragem questionáveis e perigosas (Collins, 2010).

A bola de ténis desliza brevemente após o contacto com a superfície do campo antes de ser projetada do chão. Dependendo do ângulo do contacto da bola com as cordas da raquete, do *spin* da bola e do coeficiente de atrito entre a bola e o campo, pode deslizar ao longo de todo o impacto ou pode deslizar durante uma curta distância e depois projetar-se (Bal, 2012). Por vezes, os jogadores ou árbitros utilizam a marca que é deixada no campo para determinar se a bola caiu dentro ou fora. Mesmo em grandes competições, é normal ver os jogadores examinarem atentamente a marca se a bola aterrar perto de uma linha. Uma vez que um toque suave na borda da bola pode não deixar qualquer marca visível, a marca não pode definir inteiramente a área de contacto real entre a bola e o campo. Em campos de terra batida,

a marca é mais fácil de ver, enquanto que é mais difícil de ver em campos duros e pode não ser vista de todo em campos de relva (Cross, 2014). Tecnologias que ajudam os árbitros a decidir sobre uma marca discutível foram desenvolvidas num esforço para reduzir a controvérsia em torno da arbitragem. O *Hawk-Eye* é a peça chave do equipamento. Atualmente, a sua principal utilização no ténis é apoiar o ajuizamento dos árbitros; o ensino e a utilização da estratégia ainda são secundários (Bal, 2012). Para que os jogadores possam recorrer a uma chamada de linha feita por um árbitro de linha ou pelo árbitro principal em grandes eventos de ténis, o dispositivo *Hawk-Eye* é muitas vezes apenas acessível nos principais campos da competição. Por muito claras que as imagens reconstruídas apareçam nos jogos de ténis quando os tenistas desafiam a chamada do árbitro através do *Hawk-Eye*, representam uma estimativa do ponto de aterragem da bola no campo, com base na trajetória medida da bola, ou seja, é uma previsão do local onde a bola irá aterrar no campo, de acordo com autores como Cross (2014), Ball e Dureja (2012), Choopin et al. (2018), e Collins e Evans (2012). Para conseguir isto, o tamanho e a forma da marca são estimados utilizando informação sobre a distorção esperada da bola à medida que esta salta, e o ponto de retorno visualmente reconstruído é esticado para imitar a forma como a bola se comprime à medida que atinge o solo. Estas características dão à simulação um aspeto genuíno, juntamente com cores e outras características realistas (Collins, 2012). Os criadores da técnica de IDT reconhecem que o sistema tem uma margem de erro. Com base em testes com a *International Tennis Federation* (ITF) em 2006, a *Hawk-Eye Innovations* (2015) afirma que tem uma precisão média de 3,6 mm no ténis (Collins, 2012).

De acordo com Cross (2014), a precisão de um sistema de chamadas de linha pode ser afetada por uma variedade de coisas. Estas incluem sombras, ângulos, ritmo, luz, sombra, raquetes dos jogadores e outras distrações visuais. Bal e Dureja (2012) afirmam que o *Hawk-Eye* ainda é incapaz de prever se uma bola irá atingir uma pequena pedra, um tufo de relva, um inseto no ar, ou qualquer outro objeto quando está a atingir a superfície do campo. Isto é uma incerteza tecnológica, não obstante a baixa probabilidade de que ocorra. Apesar das numerosas controvérsias que a ferramenta possui, o julgamento desta tecnologia é soberano sobre a marcação humana, pelo que o *Hawk-Eye* é considerado mais eficaz do que o olho humano. Especificamente, se a tecnologia do olho de falcão exhibe "dentro" ou "fora", será uma decisão final tomada sobrepondo a decisão do juiz (Bal, 2012). Segundo Bal e Dureja (2012), há outro aspeto significativo desta tecnologia a enfatizar: o facto de a ferramenta não sofrer desgaste provocado pela exaustão, ao contrário de um ser humano que é suscetível a esse fator.

Apesar do sucesso global do desporto, alguns participantes ainda demonstram apreensão sobre a tecnologia. Leyton Hewitt, ex-jogador de ténis australiano, atacou a utilização do *Hawk-eye* depois de ter sido desclassificado do *Indian Wells Masters* em 2013 e afirmou que "mudar os humanos para robots é um retrocesso significativo". O italiano Fabio Fognini estava igualmente insatisfeito com a tecnologia. Este enfrentou Steve Johnson, um americano, no *US Open* em 2015. A tecnologia errou num ponto crucial do quarto set: a imagem fornecida pelo *Hawk-eye* indicava que a bola atingida por Fognini tinha tocado na linha, mas a marca indicava que tinha sido fora. O jogador de ténis gritou com raiva. O italiano ficou irritado com o árbitro, Darmien Dumosois, que se manteve em silêncio durante algum tempo antes de corrigir a marcação dada pela tecnologia. Collins (2012) adverte que as repetições televisivas que simulam a trajetória da bola dão aos telespectadores a impressão de que os dispositivos podem fazer julgamentos

com total precisão, uma vez que lhes falta qualquer informação relativa a erros ou qualquer indicação de que são suscetíveis de erro.

3.2.5. Utilização de TI no padel

Já existem várias tecnologias que permitem a extração de dados de câmaras de alta-definição para os mais conhecidos desportos de raquete, incluindo badminton, ténis de mesa, e ténis. As soluções atualmente existentes não correspondem, no entanto, às propriedades do padel. O *Hawk-Eye*, que necessita da instalação de seis câmaras profissionais de alto desempenho, é a tecnologia mais amplamente utilizada em desportos de raquete (Owens, 2003). Devido à fraca infraestrutura física e ao equipamento dispendioso, este tipo de tecnologia não pode ser implementado nos campos de padel frequentemente utilizados por jogadores amadores. O padel tem qualidades distintivas que conduzem a novos problemas. O campo de padel, que difere dos restantes, cria problemas na identificação automática do campo. O padel é jogado em duplas, e como os jogadores estão constantemente em movimento e frequentemente sobrepostos ou parcialmente escondidos dificulta a utilização de câmaras.

Atualmente, existe no padel um sistema semelhante ao do ténis onde os atletas podem desafiar as decisões tomadas pelo árbitro principal. Existia, até há bem pouco tempo, uma grande diferença na tecnologia usada nesses casos onde um dos atletas desafia a decisão. Enquanto que no ténis é utilizado, por exemplo, o *Hawk-Eye*, no padel era utilizado o Vídeio-Árbitro. Esta solução consistia em analisar os lances através da visualização de repetições em câmara lenta e de diversos ângulos. Devido aos fatores já referidos, algumas vezes as repetições a que o árbitro tem acesso não permitem ter a certeza de qual a decisão acertada, o que naturalmente pode ter uma grande influência no rumo e no desfecho da partida.

No decorrer da elaboração desta investigação foi introduzida uma tecnologia nova na modalidade. Chama-se *Foxtenn* e foi pela primeira vez utilizada no *Barcelona Master Final* decorrido em dezembro de 2022. Como já foi referido anteriormente, à semelhança do *hawk-eye*, é uma tecnologia que utiliza várias câmaras de alta qualidade. Para capturar a trajetória da bola em câmara lenta, um sistema de 40 câmaras de alta velocidade e 10 lasers rastreiam a bola a 2.500 *frames* por segundo (FPS). É uma tecnologia bastante cara e usa repetições, tal como o *hawk-Eye*. Esta tecnologia entra em ação quando uma dupla desafia uma decisão de árbitro e permite apurar com bastante exatidão se a bola tocou primeiro no chão (considerada uma bola dentro), ou se a bola tocou primeiro no vidro ou malha lateral (considerada uma bola fora). Ao contrário do ténis, ainda não existem partidas julgadas apenas pela tecnologia, sem recorrer ao árbitro. Nesta modalidade, não existem juizes de linha pelo que todas as decisões são tomadas pelo árbitro de cadeira. Esta tecnologia é uma melhoria muito grande em comparação á solução anterior para competições profissionais.

3.3. ALTERNATIVAS NO MERCADO

Atualmente, o mercado já oferece bastantes alternativas às tecnologias existentes aprovadas pela ITF para auxiliar na arbitragem das partidas. Quando a tecnologia é instalada permanentemente ou semi-permanentemente no campo e é posicionada ou fixada de forma a não obstruir os movimentos dos atletas ou a não atrapalhar uma partida, o campo de ténis é referido como um *Smart Court* (Chua, 2020). Estas soluções têm a vantagem de serem bem mais baratas, mas poderão ter algumas desvantagens,

nomeadamente a menor precisão. Geralmente estas tecnologias são utilizadas por atletas e treinadores de um ponto de vista de treino e preparação de partidas, no entanto possuem também a componente de sistema de chamada de linha. Estas alternativas foram todas testadas e criadas para a modalidade do ténis, não havendo qualquer informação sobre a sua implementação no padel. Os preços são variados, e nem todos estão disponíveis em Portugal.

3.3.1. Permanentes

Os produtos desta categoria são destinados a clubes de ténis, academias e centros de treino onde os treinadores podem utilizar a tecnologia para ajudar no desenvolvimento e treino dos jogadores. Podem, também, ser utilizados por certos clubes para a arbitragem de eventos oficiais e é com este objetivo que estas soluções são apresentadas. Estas soluções são instaladas no court permanentemente. Em termos gerais, todos eles partilham as seguintes características:

- Seguem os jogadores e a bola, confiam em grande parte nas câmaras e nos cálculos computacionais.
- Os utilizadores podem entrar e iniciar o seu jogo ou sessão de treino através de uma interface num ecrã táctil.
- Os utilizadores podem ver repetições graças à captação de vídeo dos sistemas de cada jogo ou sessão (por vezes em ângulos diferentes).
- Todos os vídeos e dados são frequentemente carregados para a nuvem porque os sistemas estão normalmente ligados à *Internet*.
- Incluem uma aplicação do utilizador que permite aos utilizadores avaliar os seus dados de desempenho de um jogo ou sessão de treino e partilhá-los com o seu treinador ou nas redes sociais.

Zenniz

Uma alternativa nesta área chama-se *Zenniz*, e consiste num grande aparelho ligado permanentemente ao lado da rede e equipado com sensores e um ecrã (*Zenniz*, n.d.). É uma *start-up* criada na Finlândia e parece estar ainda a trabalhar no aperfeiçoamento do produto que irão vender. Duas câmaras de vídeo, que gravam a atividade em ambos os lados do campo, são montadas na parte superior do aparelho eletrónico, que também apresenta um ecrã táctil. Este aparelho contém dois ecrãs LED, representados na figura 3.7, um de frente para cada lado do campo, que fornecem *feedback* em tempo real da pontuação, chamadas de linha e estatísticas. Para além disso, o sistema inclui 30 sensores sonares que se encontram dispersos pelo campo. Em conjunto, as câmaras e sensores permitem uma precisão de rastreio de bola de até 1 cm. Atualmente é possível ver na página oficial da empresa que o produto ainda não foi oficialmente lançado, sendo possível apenas fazer uma pré-reserva, ainda assim estará disponível em toda a Europa.



Figura 3.7 – Zenniz (n.d.)

AccuTennis

Esta solução foi criada por Adam Sher, entre o fim de 2016 e o início de 2017, dando origem a uma *start-up* americana. A *AccuTennis* envolve a instalação de câmaras (22 no total) à volta de cada *court* para monitorizar toda a atividade do ténis. Além disso, os altifalantes são montados ao lado de cada *court* para fornecer *feedback* áudio enquanto os jogadores estão a jogar ou a treinar, e um visor LED de dupla face montado ao lado mostra a pontuação ou oferece *feedback* visual da sessão. Cada campo de *AccuTennis* tem um *tablet* que os treinadores e os jogadores podem utilizar, como se pode visualizar na figura 3.8. O sistema tem ferramentas de treino que permitem aos treinadores entrar no sistema através do *tablet* e conceber regimes de treino únicos para os seus jogadores. O desenvolvimento dos jogadores pode ser acompanhado e monitorizado pelos treinadores, que podem determinar se os jogadores cumpriram os objetivos dessas sessões e identificar as áreas em que ainda precisam de melhorar. Para além das sessões de treino, o sistema também executa tarefas de monitorização do jogo, incluindo chamadas de linha, pontuações, cálculo de estatísticas e gravação de vídeo. O sistema cria estatísticas e *heatmaps* adicionais para análise após o jogo, e as gravações são categorizadas com base nas pancadas e no jogo, para que os jogadores possam analisar certas sequências de jogo, marcá-las e reproduzi-las a várias velocidades. Está disponível apenas nos Estados Unidos da América e tem o custo de 5 dólares por cada praticante que utilize a tecnologia.



Figura 3.8 – AccuTennis (2019)

Mojjo

Mojjo é uma organização com sede em França, criada por Emmanuel Witvoet em 2013. Existem duas variações do seu sistema baseado em câmaras: uma versão *Premium* com duas câmaras HD (uma no centro do *court* e outra na parte de trás) e um ecrã táctil para interação com o utilizador; uma versão *Lite* com apenas uma câmara HD (na parte de trás). Ambos os modelos poderão ser utilizados ao ar livre, utilizando uma estrutura com telhado para proteger o ecrã tátil, como ilustra a figura 3.9. Para além da maioria das ferramentas de treino, treino e monitorização de jogos anteriormente listadas, *Mojjo* tem também algumas características especiais. Uma delas é a capacidade de um utilizador utilizar o seu telemóvel como uma segunda ou terceira câmara enquanto ligado ao sistema primário para gravar a sessão. O telemóvel pode ser colocado em qualquer lugar do campo com a aplicação remota *Mojjo*, adicionando um ponto de vista único à vista frontal ou posterior. A sua transmissão ao vivo no *Facebook* ou no *YouTube* é outra funcionalidade deste produto. Do ponto de vista da melhoria da verdade desportiva, este produto permite visualizar em repetições se a bola foi dentro ou fora após o fim da partida, mas não oferece qualquer tipo de *feedback* durante a mesma.

De acordo com o seu *website*, parecem ser acessíveis na Europa, em algumas regiões dos EUA, e em alguns locais em Melbourne, Austrália, neste momento. O custo de instalação é de 3149 euros em campos *outdoor* e 1999 euros em campo *indoor* e terá de se ter uma licença com valor de 299 euros por mês.



Figura 3.9 – Mojjo (Tennis Club Bellinzona, 2019)

Playsight

Este sistema de inteligência artificial desportiva foi desenvolvido pela *PlaySight*. Trata-se de uma empresa israelita fundada em 2010. A tecnologia por detrás do *PlaySight* tem origens semelhantes às do *FlightScope*. O *PlaySight* foi inicialmente desenvolvido para jogadores de ténis, a fim de os ajudar a melhorar o seu jogo, utilizando tecnologia de ponta. Atualmente, permitem até 10 câmaras no seu *PlaySight Pro*, todas sincronizadas para uma experiência de visualização a partir de vários ângulos durante o jogo ou posteriormente. Cada *court* tem um dispositivo eletrónico, visível na figura 3.10, onde os

utilizadores podem inscrever-se, fazer exercícios, e começar a seguir o seu jogo ou sessão de treino. Os utilizadores e treinadores podem fazer uma pausa ou parar a qualquer momento para analisar o vídeo ou os dados. Os utilizadores podem continuar a visualizar todos os seus dados na sua aplicação móvel após o jogo ou treino. Uma das suas principais vantagens, de acordo com alguns, é a amplitude dos seus dados e análises. Entre as outras características da aplicação, encontram-se as seguintes: a capacidade de os utilizadores fazerem os seus próprios vídeos de destaque e partilhá-los com treinadores, amigos, ou em redes sociais; a capacidade de os utilizadores carregarem os seus próprios vídeos, mesmo que não tenham sido filmados num *Playsight Pro*, e mesmo assim revê-los e analisá-los. O produto contém um sistema de *challenges* chamado *PlayFair*, proporcionando repetições de vários ângulos em câmara lenta, mas não dando um *feedback* automático se a bola foi dentro ou fora. O *Playsight Pro* pode ser encontrado nos EUA, Europa, e em algumas regiões da Ásia-Pacífico. O custo de implementação ronda os 12,500 dólares, ao que acresce uma taxa mensal. Dispõe de duas versões melhoradas, as *PlaySight Pro+*, usando câmaras 4k ou 8k.

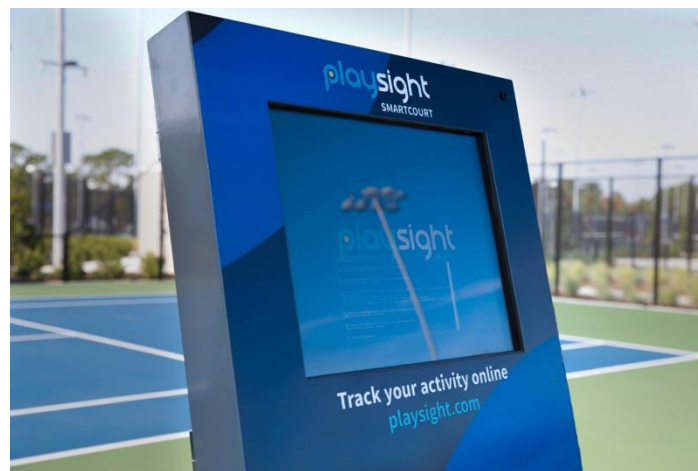


Figura 3.10 – PlaySight (USTA National Campus, n.d.)

Wingfield

Wingfield, uma *start-up* alemã, também criou uma solução baseada em câmaras, tendo algumas semelhanças com o *Zenniz*. É um pequeno sistema que se destina a encaixar no campo de ténis. Um ecrã tátil e duas câmaras de alta velocidade apontadas para cada lado do campo estão alojadas na caixa de *Wingfield*, que se deve instalar num dos dois postes da rede, como é possível observar na figura 3.11. A fim de registar uma visão completa de cada sessão, existe também uma câmara IP que pode ser colocada em qualquer parte do campo. Inclui a maioria das capacidades de treino, formação e monitorização que já foram enumeradas, tais como análise de vídeo, seguimento de traços, métricas de desempenho, análise de dados, e outras características. Uma característica exclusiva desta solução são as *Stroke Scores*, que oferecem uma métrica única para os utilizadores compreenderem a qualidade de vários tipos de traços e poderem comparar o seu progresso ao longo do tempo. Não há muita informação disponível sobre a forma como os *Stroke Scores* são avaliados, mas torna o treino mais fácil e um pouco mais divertido.

No que diz respeito á arbitragem de partidas, o produto oferece uma opção de arbitragem com inteligência artificial. No entanto, para ser possível utilizar ambos os atletas deverão estar registados na base de dados da associação alemã de ténis, limitando a utilização desta funcionalidade noutros países. O seu custo varia entre 3999 e 5999 euros por ano, sendo que o contrato mínimo tem a duração de três anos.



Figura 3.11 – Wingfield (Tennishead, 2022)

3.3.2. Portáteis

As soluções que se seguem são diferentes das já referidas. Estes equipamentos são portáteis ao invés de serem sistemas implementados fixamente nos *courts*. Podem ser detidos por equipas ou por jogadores específicos. As seguintes soluções enquadram-se nesta categoria e podem fazer a maioria das características de rastreio que foram mencionadas anteriormente, embora existam algumas diferenças:

- Devem ser instalados no campo antes de um jogo ou treino, uma vez que são portáteis.
- Não existem ecrãs tácteis significativos.
- Antes de começarem a ser rastreados e uma vez instalados, podem necessitar de calibração.

PlayReplay

PlayReplay é uma outra alternativa possível dentro desta classe de produtos autónomos baratos (*PlayReplay*, 2022). Esta tecnologia funciona se colocarmos um *smartphone* junto ao poste da rede. Através de uma aplicação de *smartphone*, o dispositivo segue a bola e dá informações. O programa mostra a trajetória da bola, onde ela ressaltou e ganhou velocidade durante o jogo. Após a partida, o sistema analisa os dados para gerar estatísticas como velocidade média, locais de ressalto e serviço mais rápido. A experiência de chamada de linha eletrónica da *PlayReplay* envolve a utilização de um *smartphone* para determinar a colocação das pancadas. Em jogos com a presença de um árbitro, o árbitro segura o telefone e vigia o jogo; em jogos sem árbitro, os jogadores deixam frequentemente o telefone numa cadeira perto do poste da rede e verificavam-no sempre que haja dúvidas. Esta solução destina-se mais para os atletas. Para os clubes, a marca dispõe de outro produto que contém oito sensores por *court*. No entanto, o custo de compra do produto não está especificado.

Baseline Vision

A empresa israelita *Baseline Vision*, fundada em 2018, criou um sistema de câmara portátil que pode ser ligado a um poste de rede, como se pode ver na figura 3.12. Tem apenas duas câmaras de vídeo incorporadas nos postes da rede, uma de cada lado. Não tem quaisquer sensores ou câmaras adicionais em redor do campo. A máquina é totalmente sem fios, o que significa que tem a sua própria *internet* e potência recarregável, e demora apenas um minuto a ser instalado no campo. As chamadas em linha, a receção de *feedback* de voz em tempo real, ferramentas de formação e ferramentas de análise de vídeo são apenas algumas das suas principais características. Para que os utilizadores se envolvam com o dispositivo, devem primeiro descarregar a sua aplicação para *smartphone*. Estão atualmente disponíveis para pré-venda para quem o quiser adquirir, quer atletas quer proprietários de clubes, sendo que estarão disponíveis para utilização em julho de 2023. O preço do produto é de 1799 dólares e poderá ser enviado para Portugal.



Figura 3.12 - Baseline Vision (2022)

In/Out Tennis

Esta solução é bastante semelhante á anterior. Foi criada em 2017 pelo empresário francês Grégoire Gentil que, de resto, já foi responsável pela aquisição de cinco *start-ups* com o objetivo de arranjar soluções *low-cost* de sistemas de chamada de linha. Duas câmaras compõem a unidade portátil chamada *Net Device*, que está instalada num poste de rede, e existe um pequeno ecrã tátil por cima do mesmo que os utilizadores podem utilizar para se deslocarem entre as suas muitas funcionalidades, que pode ser visto na figura 3.13. Este dispositivo oferece capacidades de gravação de vídeo e de visão por computador para chamadas de linha, estatísticas, e análise de desempenho, tal como a maioria dos dispositivos/sistemas listados anteriormente, e a bateria tem a duração de duas horas. O sistema *In/Out* tem a capacidade invulgar de expandir as suas capacidades de rastreio ligando um segundo dispositivo de rede no poste de rede oposto, melhorando significativamente a precisão do sistema. Desde a introdução da Versão 2.0, incorporaram também uma nova peça de *hardware* chamada *Line Device* que tenta melhorar a precisão da chamada de linha. É mais um dispositivo baseado na utilização de câmaras concebido para ser colocado no chão e registar a localização das bolas em relação à linha. Em 2021, a *start-up* anunciou a versão 3.0 onde o *Net Device* tem agora três câmaras ao invés de duas (Johnson, 2021). A empresa afirma mesmo que esta nova versão proporciona uma exatidão de 200% em relação à

anterior. Uma vantagem que este produto fornece é que um utilizador pode escolher adquirir apenas um dispositivo, dois dispositivos ou até mesmo oito dispositivos de Linha para um rastreio mais preciso. Todos estes dispositivos poderão estar conectados através de um só cabo elétrico. O produto dispõe, ainda, de uma proteção apelidada de *Cage* para aqueles que estão preocupados com o facto de o *gadget* colocado no poste da rede ser danificado por uma bola. Este produto está disponível para ser enviado para Portugal e os preços variam consoante o número de dispositivos. Um *Net Device* custa 275 dólares, dois *Line Devices* custam 149 dólares e a *Cage* tem o valor de 49 dólares.



Figura 3.13 - In/Out Tennis (Johnson, 2021)

Eyes³

Outra opção portátil baseada no uso de câmaras é a *Eyes3*. Esta tecnologia foi criada entre 2018 e 2019 por uma *start-up* de Hong Kong chamada *Infinity Cube*. A preparação da análise estatística de jogos e a arbitragem de jogos são os seus principais componentes. Um *iPhone* pode ser utilizado para seguir um lado do jogo, com a câmara (virada para trás) a cobrir essa parte do campo, ou dois *iPhones* podem ser utilizados para seguir ambos os lados do jogo, como ilustra a figura 3.14. O seu *software* permite a colocação de até 10 câmaras (*iPhones*) num *court* para gravar de várias perspetivas. A administração ou controlo das câmaras também pode ser feito utilizando um smartphone iOS diferente. O *iPhone 7* ou mais recente executando iOS 12 ou mais recente é a principal necessidade de utilizar a aplicação *Eyes3*. Até 8 dispositivos podem ser instalados em cada uma das suas licenças de *software*. Embora o *Eyes3* não requeira nenhum *hardware* em particular, aconselham o uso de suportes estáveis para manter o *iPhone* no lugar enquanto em uso, uma vez que quaisquer movimentos podem prejudicar a precisão da gravação e das medições das chamadas de linha. O seu *website* oficial também aconselha o transporte de uma bateria de reserva extra para cada *iPhone*, porque o uso frequente da câmara de vídeo rapidamente esgota a bateria do *iPhone*. Esta tecnologia possibilita um sistema de *challenge*, que quando acionado fornece uma imagem virtual da trajetória da bola, mostrando se a bola caiu dentro ou fora do *court*. No entanto, não fornece nenhum *feedback* imediato no *court* sendo necessário o pedido do *challenge* para que seja dado *feedback*. A prática ideal será com a presença de um árbitro, mas também poderá ser usado somente com a presença dos atletas.



Figura 3.14 - Eyes3 (n.d.)

SwingVision

SwingVision, que também utiliza *iPhones*, é mais uma opção. A organização foi fundada em 2015 nos Estados Unidos da América. A tecnologia *SwingVision* analisa as imagens de um jogador, enquanto regista as estatísticas e os destaques de vídeo utilizando um único dispositivo iOS (*iPhone* ou *iPad*) e a sua câmara fotográfica. No entanto, apenas são suportados *iPhones* e *iPads* que possam executar o iOS 13. O dispositivo iOS deve ser fixado num tripé ou numa vedação atrás da linha de fundo. A câmara deve ser capaz de capturar ambos os lados do *court* na sua totalidade. Pode dar muitas das capacidades listadas acima com apenas uma única câmara, incluindo *swing* e rastreio de bola (tipos de traço, velocidade, *spin*, in/out, colocação, contacto com raquete), análise de pancadas, análise de vídeo e ferramentas de treino. A aplicação *SwingVision* tem algumas características diferentes, incluindo exercícios de treino que permitem aos jogadores praticar independentemente e uma interface *Apple Watch* que permite aos jogadores assistir a vídeos em tempo real, iniciar e parar gravações, examinar estatísticas em tempo real, e sinalizar as pancadas favoritas. Os utilizadores podem optar por monitorizar apenas com a versão gratuita (que inclui exercícios de treino, rastreio de *swing*, e rastreio de bola restrito), ou podem subscrever a versão profissional, que contém tudo. Este produto utiliza o facto de os smartphones modernos terem tantas capacidades avançadas de câmara e processamento, evitando que os jogadores tenham de transportar uma peça extra de equipamento. O produto dispõe de uma funcionalidade de *challenge* através da utilização de um *Apple Watch* mostrando a repetição em câmara lenta e mostrando logo o *feedback*.

Em termos de valores de aquisição, cada suporte para telemóvel custa cerca de 110€. Existem dois tipos de subscrição do produto, uma grátis de nome *Begginer* que não oferece a funcionalidade de chamada de linha, que não inclui o suporte telemóvel e a qualidade de vídeo será SD. A outra subscrição chama-se *Pro*, este oferece uma qualidade de vídeo superior, o suporte para o telemóvel e, mais importante, o sistema de chamada de linha. O seu valor é de cerca de 11,5€ por mês. Apenas esta última subscrição será considerada para o desenvolvimento do artefacto.

3.4. DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A revisão de literatura mostrou existirem vários desafios e oportunidades para melhorar a utilização das tecnologias nos desportos de raquetes. No ténis, o desafio maior é tornar disponível uma solução tecnológica económica e rentável. Esta solução permitiria que clubes de ténis com menos recursos financeiros possam, ainda assim, possibilitar a prática da modalidade de uma forma justa mesmo a nível amador. A solução teria um grande impacto, uma vez que este grupo de praticantes representa uma grande percentagem de todos os praticantes da modalidade.

No que diz respeito ao padel, a chegada de uma nova tecnologia na modalidade melhorou bastante a sua justiça desportiva mas ainda assim, ainda há mais por onde explorar. Uma vez que, tanto a mais recente solução (*Foxtenn*) como a utilizada anteriormente (*Vídeo árbitro*), são dispendiosas, é, ainda, necessária uma solução que exija menos recursos financeiros para que os clubes amadores de padel espalhados por todo o mundo a possa implementar, resultando numa prática mais justa da modalidade. As soluções apresentadas são mais direcionadas para a modalidade do ténis, no entanto algumas delas poderão, também, funcionar em campos de padel.

4. ARQUITETURA GAME, SET & TRUTH

4.1. PRESSUPOSTOS

4.1.1. Pressupostos das aplicações de *Smart Courts*

A revisão de literatura realizada possibilitou adquirir conhecimentos sobre a utilização de dispositivos IoT e sobre as soluções que existem no mercado. Apesar da melhoria da “verdade desportiva” através de soluções tecnológicas ser o maior objetivo, estas soluções oferecem ainda outras ferramentas ou funcionalidades que poderão ser chave para uma tomada de decisão relativamente à escolha do produto. São elas: Chamada de linha automática, estatística de jogo, repetições em vídeo, exercícios de treino e *feedback* no court, e estão representadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Identificação das funcionalidades dos *Smart Courts*

		Funcionalidades				
		Chamada de linha automática	Estatística	Repetições	Exercícios de treino	<i>Feedback</i> no court
Smart Courts	<i>Hawkeye</i>	X	X	X		X
	<i>Flightscope</i>	X	X	X		X
	<i>Foxtenn</i>	X	X	X		X
	<i>Zenniz</i>	X	X	X	X	X
	<i>Mojjo</i>			X	X	
	<i>Playsight</i>			X	X	
	<i>Wingfield</i>		X	X		
	<i>AccuTennis</i>	X	X	X	X	X
	<i>Baseline Vision</i>	X	X			X
	<i>In/Out Tennis</i>	X	X			X
	<i>Eyes3</i>	X	X			
	<i>Swing Vision</i>	X	X	X		
<i>PlayReplay</i>	X	X				

Outro fator fundamental para a tomada de decisão sobre qual o produto que se adequa melhor às necessidades é a condição em que é praticada a modalidade. As modalidades em causa tanto poderão ser praticadas em recintos fechados (*Indoor*) como em recintos ao ar livre (*Outdoor*). Posto isto, é fulcral saber quais os produtos que são possíveis utilizar em cada tipo de recinto. O preço, como foi possível averiguar no capítulo anterior, é um dos maiores entraves para muitos clubes devido aos seus valores elevados dos

produtos aprovados como *Player Analysis Technologies* (PAT). Na última coluna da tabela 4.2, podemos ver o preço de cada produto identificado durante a revisão de literatura.

Tabela 4.2 – Aplicação dos *Smart Courts*

		Tipo de Court		Preço (*)
		Indoor	Outdoor	
Smart Courts	<i>Hawkeye</i>	Sim	Sim	60.000€
	<i>Flightscope</i>	Sim	Sim	40.000€
	<i>Foxtenn</i>	Sim	Sim	50.000€
	<i>Zenniz</i>	Sim	Não	8900€
	<i>Mojjo</i>	Sim	Sim	3149€ (outdoor) 1999€ (indoor) + 299€ mês
	<i>Playsight</i>	Sim	Sim	11.665€
	<i>Wingfield</i>	Sim	Sim	3600€- 4500€
	<i>AccuTennis</i>	Sim	Não	5€ por atleta
	<i>Baseline Vision</i>	Sim	Sim	1680€
	<i>In/Out Tennis</i>	Sim	Sim	255€ + 140€
	<i>Eyes3</i>	Sim	Sim	0€
	<i>Swing Vision</i>	Sim	Sim	11,5€/mês
<i>PlayReplay</i>	Sim	Sim	N/A	

*apesar de se antever que os preços possam variar no futuro, pressupõem-se no contexto desta investigação que a proporcionalidade entre os preços se manterá.

4.1.2. Pressupostos de tecnologias de *Smart Courts*

Com os avanços tecnológicos e a crescente disponibilidade tecnológica em todo o mundo, as soluções que envolvem a utilização de IoT têm vindo a aumentar bastante ao longo do tempo e algumas com um preço reduzido. Neste ecossistema da IoT é fundamental identificar as tecnologias utilizadas nas soluções existentes. Esta identificação é feita na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Identificação das tecnologias dos *Smart Courts*

Smart Courts	
Armazenamento de dados	Transmissão de dados
Cloud	Wi Fi
Servidor físico	FTP
Armazenamento interno	Ethernet

Relativamente ao *hardware*, é uma componente chave para perceber como o utilizador interage com o produto, bem como para perceber se o produto tem uma precisão elevada ou não. Foi adquirido através da revisão de literatura que as tecnologias que disponham de mais sensores possuirão um maior nível de precisão uma vez que a quantidade de informação recolhida é maior. Os sensores das tecnologias estarão representados na tabela 4.4 na coluna dos *Input Devices*, enquanto os fornecedores de *feedback* (ecrã, colunas sonoras) estarão representados na coluna *Output Devices*.

Através da revisão de literatura foi possível adquirir a informação que existem três produtos aprovados pela ITF como *Player Analysis Technologies* (PAT), ou seja, são produtos aprovados para arbitrar ou ajudar a arbitrar uma partida. No entanto, existem outros produtos aprovados pela ITF para treino. Estas tecnologias que foram autorizadas pela ITF passaram por várias avaliações e satisfizeram os critérios de imprecisão igual ou inferior a 5mm para as chamadas de linha. A última coluna representa se o produto é, ou não, aprovado pela ITF.

Tabela 4.4 – Identificação dos dispositivos dos *Smart Courts*

		Hardware		Aprovado pela ITF
		<i>Input Devices</i>	<i>Output Devices</i>	
Smart Courts	<i>Hawkeye</i>	6-12 câmaras	Visor, Emissão televisiva	Sim
	<i>Flightscope</i>	12 câmaras	Visor, Emissão televisiva	Sim
	<i>Foxtenn</i>	40 câmaras e 10 lasers	Altifalantes, <i>Tablet</i>	Sim
	<i>Zenniz</i>	3 câmaras e 30 sensores áudio	Visor LED, Ecrã touch	Sim
	<i>Mojjo</i>	3 câmaras	Ecrã <i>touch</i>	Não
	<i>Playsight</i>	5 câmaras	Ecrã <i>touch</i>	Sim
	<i>Wingfield</i>	3 câmaras	N/A	Sim
	<i>AccuTennis</i>	22 câmaras	Visor LED, altifalantes	Não
	<i>Baseline Vision</i>	2 câmaras	Altifalantes	Não
	<i>In/Out Tennis</i>	3-14 câmaras	Altifalantes, Luz, Ecrã <i>Touch</i>	Não
	<i>Eyes3</i>	2-8 câmaras (<i>iPhone's</i>)	N/A	Sim
	<i>Swing Vision</i>	<i>iPhone</i>	<i>SmartWatch</i>	Não
<i>PlayReplay</i>	8 câmaras	N/A	Não	

4.1.3. Pressupostos de requisitos de *Smart Courts*

Como seria de esperar, tendo em conta o conhecimento gerado da revisão de literatura, para que estes *Smart Courts* possam ser instalados num clube serão precisos alguns requisitos, quer do clube como também dos atletas participantes nas modalidades. Este fator pode ter uma importância bastante grande para a escolha da tecnologia, uma vez que sem estes requisitos estarem cumpridos será impossível proceder à instalação dos produtos. Do ponto de vista dos clubes, os principais requisitos para a instalação estão relacionados com o fornecimento de eletricidade e *internet*. No que diz respeito aos atletas, enquanto há alguns produtos que não requerem qualquer ação, outros requerem a utilização de uma aplicação de telemóvel que poderá não ser de fácil resolução dependendo da idade e à vontade tecnológico dos participantes. Todos estes requisitos constituem a tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Identificação dos requisitos dos *Smart Courts*

		Requisitos	
		Court	Atleta
Smart Courts	<i>Hawkeye</i>	Eletricidade, <i>Ethernet</i>	N/A
	<i>Flightscope</i>	Eletricidade, <i>Ethernet</i>	N/A
	<i>Foxtenn</i>	Eletricidade, <i>Wi Fi</i>	N/A
	<i>Zenniz</i>	Eletricidade, <i>Internet</i>	<i>Log in e log out</i> na aplicação
	<i>Mojjo</i>	Eletricidade, <i>Internet</i>	Iniciar partida no ecrã tátil
	<i>Playsight</i>	Eletricidade, <i>Internet</i> , CAT6A Shielded, Cat7 SFTP	Iniciar partida no ecrã tátil
	<i>Wingfield</i>	Eletricidade, <i>Internet</i>	N/A
	<i>AccuTennis</i>	Eletricidade, <i>Internet</i>	Iniciar partida no ecrã tátil
	<i>Baseline Vision</i>	N/A	Ler <i>QR Code</i> através da aplicação
	<i>In/Out Tennis</i>	Carregador	N/A
	<i>Eyes3</i>	Suporte para telemóvel, <i>Internet</i>	Iniciar partida na aplicação
	<i>Swing Vision</i>	Suporte para telemóvel	Iniciar partida na aplicação
	<i>PlayReplay</i>	Suporte para telemóvel, <i>Internet</i>	Registo e inicio de sessão na aplicação

4.2. ARQUITETURA

Tendo por base os pressupostos referidos na secção anterior, é possível a elaboração de uma proposta de arquitetura suportada no know-how e tecnologias mais avançadas, que possa vir a servir como uma fonte de informação para os proprietários de campos desportivos para que estes possam transformar a prática

das modalidades de ténis e padel, causando uma melhoria clara da justiça desportiva através da implementação de produtos baseados no uso da tecnologia IoT. O principal objetivo da elaboração desta arquitetura é recomendar a escolha da tecnologia que melhor se adequa a cada caso em concreto.

Este fluxograma estará dividido em quatro etapas, ilustradas na figura 4.1:

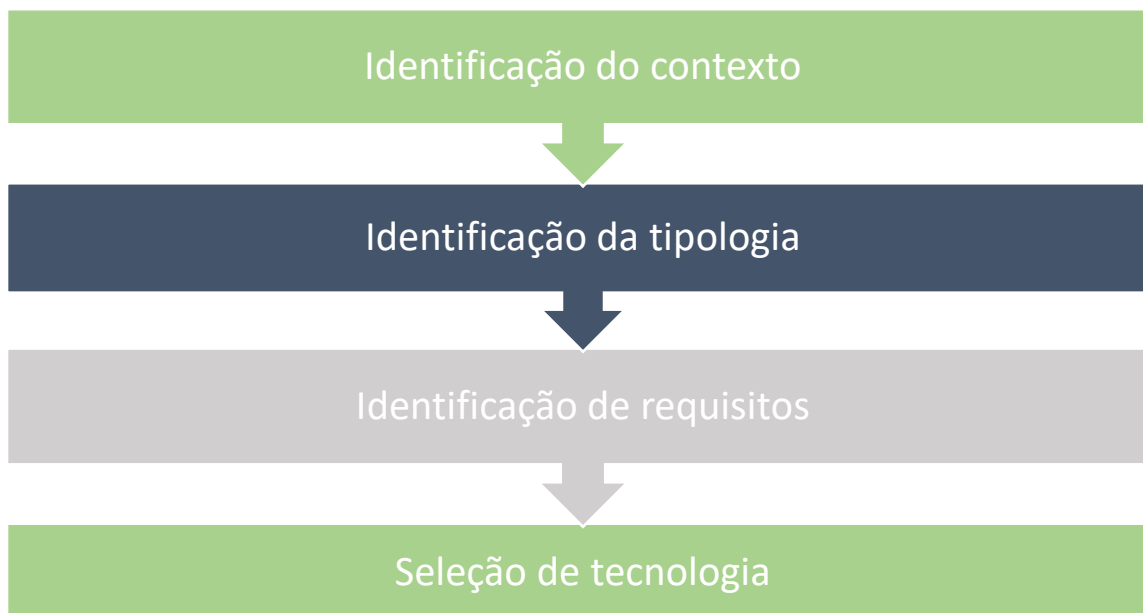


Figura 4.1 – Etapas da arquitetura

4.2.1. Identificação do contexto da prática desportiva

A primeira etapa do processo de decisão é identificar o contexto desportivo em que as modalidades em causa são praticadas. Atualmente estas modalidades podem ser praticadas em vários contextos diferentes devido á elevada quantidade e diversidade de praticantes. Trata-se de um fator muito importante para permitir perceber quais as principais características e objetivos que são necessárias para cada contexto.

As modalidades alvo de investigação nesta dissertação poderão ser praticadas em três distintos contextos:

- Ensino escolar;
- Clube desportivo;
- Profissional.

No contexto de ensino escolar, a prática destas modalidades poderá ser bastante menos recorrente em comparação com os restantes contextos identificados. Desta forma, a tecnologia que melhor se adequará será uma que não necessite de uma precisão muito elevada e onde o valor de compra também não seja elevado, uma vez que a prática destas modalidades neste contexto tem por objetivos apenas motivos relacionados com a saúde e com o ensinamento básico das modalidades.

No segundo contexto mencionado, os clubes desportivos, os objetivos da prática destas modalidades já são algo diferentes comparativamente com o anterior. Neste contexto, os objetivos passam por treinar jogadores que aspiram seguir uma carreira desportiva, mas também receber torneios ou partidas amadoras. Com base nestes objetivos, a tecnologia deverá possuir um equilíbrio entre os custos e a sua eficiência, visto que já requer um uso mais intenso e com maior rigor.

Por último, temos o contexto profissional. Aqui o objetivo é apenas e só a realização de partidas a nível profissional. Neste caso, a precisão da tecnologia deverá ser a mais exata possível, e onde o budget disponível deverá ser o mais elevado.

Esta etapa pode ser demonstrada através do fluxograma abaixo representado.

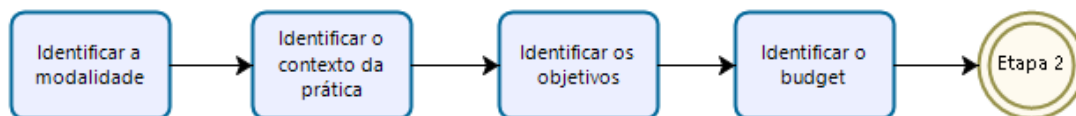


Figura 4.2 - Fluxograma da primeira etapa

O fluxograma referente à primeira etapa da arquitetura é composto por quatro tarefas. A primeira é focada na identificação da modalidade, podendo neste caso escolher entre dois valores possíveis: ténis e padel. A segunda prende-se na identificação do contexto da prática dessa mesma modalidade identificada anteriormente, cujos valores possíveis foram, também, identificados anteriormente. A terceira tarefa referente a esta primeira etapa, é a identificação dos objetivos. Esta etapa está fortemente relacionada com a tarefa anterior pois os objetivos dependerão do contexto em que é praticada a modalidade. Por último, é necessário identificar um valor de budget para a aquisição/instalação do produto mais adequado.

4.2.2. Identificação da tipologia

Encerrada a primeira etapa, inicia-se a segunda. Esta baseia-se na identificação das tipologias tal como o nome indica. Como foi possível adquirir da revisão de literatura efetuada, existem três diferentes tipologias neste contexto. Esta identificação é de uma grande importância pois as tipologias proporcionam condições diferentes que poderão afetar a eficácia e funcionamento das tecnologias.

A primeira tipologia a mencionar é o tipo de *court*. Como foi possível aferir na revisão de literatura, existem dois tipos de *court* para estas modalidades. São eles:

- *Indoor*;
- *Outdoor*.

A prática das modalidades num tipo de *court indoor*, significam que estas serão praticadas num recinto fechado. Neste tipo de *court* não existem muitas variáveis possíveis que possam afetar o funcionamento

das tecnologias, sendo a mais importante a iluminação existente. Para que as tecnologias funcionem sem problemas é necessário um bom nível de iluminação.

Já o outro tipo de *court*, o *outdoor*, refere-se á prática das modalidades em *courts* situados ao ar livre. Nesta tipologia, a iluminação é, também, um fator importante para o bom funcionamento das tecnologias. Se durante o dia esse fator está salvaguardado devido á luz natural, para a prática noturna é necessário garantir algum tipo de iluminação artificial. Para além do fator da iluminação, neste tipo de *court* um fator a considerar é a meteorologia. Este fator pode trazer algumas limitações na escolha dos produtos uma vez que nem todas as tecnologias estão preparadas para serem submetidas a elevadas temperaturas durante longos períodos, ou até mesmo a longos períodos de chuva.

É pertinente mencionar que as restantes tipologias identificadas não revelam uma importância tão elevada, pois estas não afetam a tomada de decisão da escolha da tecnologia. Estas tipologias são: tipo de piso (terra batida, relva ou piso rápido), onde basta referir que em qualquer dos tipos de pisos é fundamental que as linhas do *court* estejam claramente visíveis; tipo de jogo (singulares ou pares) sendo que esta tipologia apenas é aplicada na modalidade de ténis, uma vez que o padel não é praticado em singulares.

Esta segunda etapa está representada por um fluxograma na figura abaixo.

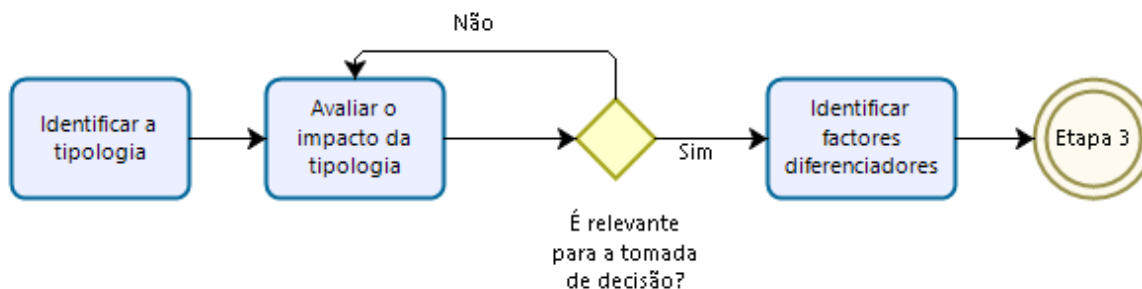


Figura 4.3 - Fluxograma da segunda etapa

Este fluxograma, à semelhança do anterior, é também composto por três tarefas. A primeira é a identificação da tipologia que poderá ter diferentes valores consoante a modalidade e o contexto. De seguida é necessário perceber se a tipologia identificada tem algum impacto para a escolha da tecnologia ou se essa tipologia não é um fator importante para a tomada de decisão. Por último, em caso de a tipologia criar impacto na escolha da tecnologia, deve se identificar o fator diferenciador dessa tipologia.

4.2.3. Identificação de requisitos

Como foi possível aferir anteriormente nesta investigação, são necessários cumprir uma quantidade variável de requisitos para que os objetivos dos diferentes contextos e tipologias sejam cumpridos, permitindo a prática das modalidades com um elevado nível de justiça desportiva. Estes requisitos serão definidos de acordo com esses mesmos objetivos e necessidades de cada utilizador da arquitetura. Os requisitos podem ser funcionais ou não funcionais.

O comportamento esperado do sistema é capturado pelos requisitos funcionais. Estes refletem as funções que o sistema deve conseguir realizar.

Os requisitos não funcionais têm frequentemente a ver com desempenho, resiliência, e outros critérios de qualidade. Estas especificações são cruciais porque determinam se o artefacto em causa será eficaz e apropriado para a tarefa que é suposto executar. Os requisitos não funcionais, de acordo com Kirner e Davis (1996), são requisitos suplementares que especificam os traços ou atributos globais gerais a serem satisfeitos pelo sistema final. Ao contrário dos requisitos funcionais, os requisitos não-funcionais apenas fornecem os comportamentos e restrições a que o sistema deve aderir. Isto porque os requisitos não-funcionais não especificam nenhuma função específica que o programa deve executar.

Esta terceira etapa encontra-se representada por um fluxograma na figura 4.4.

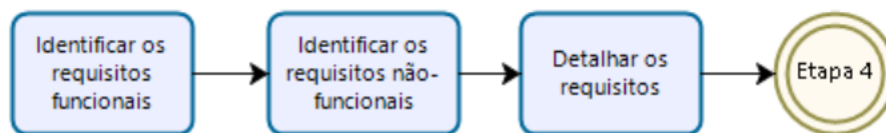


Figura 4.4 - Fluxograma da terceira etapa

Este fluxograma mostra que para cumprir a terceira etapa da arquitetura, teremos de identificar os requisitos quer funcionais quer não-funcionais. O objetivo destas tarefas é identificar o que é necessário da tecnologia. Através do caso de uso no capítulo seguinte será possível ver alguns exemplos de requisitos e, conseqüentemente obter uma visão mais clara desta etapa.

4.2.4. Seleção da tecnologia

A última etapa desta arquitetura foca-se na etapa de decisão da escolha da tecnologia mais adequada a situação. Para que a tecnologia seja escolhida, deverá necessariamente fazer cumprir todos os requisitos identificados na etapa anterior.

Esta etapa está representada por um fluxograma visível na figura abaixo.

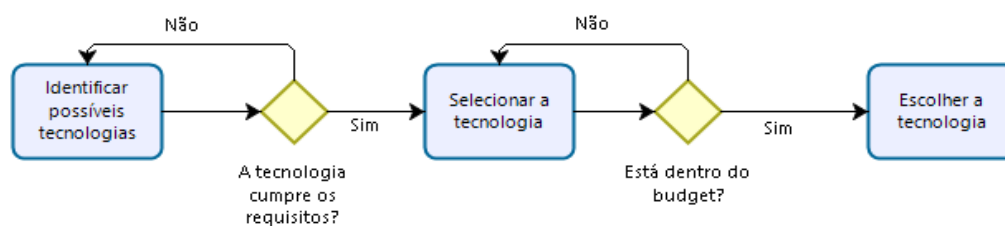


Figura 4.5 - Fluxograma da quarta etapa

A última etapa, tal como se ilustra na figura 4.5, é composta por três tarefas. Através dos requisitos identificados na terceira etapa, deveremos identificar possíveis tecnologias. Se a tecnologia cumprir todos os requisitos incluindo a tipologia, esta deve ser selecionada e, de seguida deve se verificar se está enquadrada com o budget escolhido na primeira etapa.

4.3. DEMONSTRAÇÃO – CASO DE USO

Concluída a conceção e desenvolvimento do artefacto em causa, neste caso uma arquitetura, segue-se a sua demonstração. A arquitetura desenvolvida será demonstrada através da aplicação de um caso de uso, ou seja, será feito um exemplo da aplicação da arquitetura desenvolvida num caso concreto. Os dados representados neste caso de uso são fictícios.

Caso de uso:

Um clube de ténis pretende implementar uma tecnologia que auxilie na arbitragem de forma a aumentar a verdade desportiva. As partidas praticadas no clube são praticadas por atletas profissionais, o *court* é num pavilhão fechado e a tecnologia deverá ser aprovado pela ITF, deve dar *feedback* das chamadas de linha automaticamente e deverá mostrar repetições. Por último, o *budget* do clube é de 10.000€ e o dono do clube também se preocupa com a segurança dos dados, com a estabilidade da tecnologia e, ainda, com a usabilidade da mesma.

Na tabela 4.6, apresenta-se a aplicação da primeira etapa da arquitetura neste cenário específico.

Tabela 4.6 – Exemplo de aplicação da primeira etapa

Identificação do contexto			
Modalidade	Contexto	Objetivo	Budget
Ténis	Profissional	Competição	10.000€

Em seguida, na tabela 4.7, visualiza-se a aplicação da segunda etapa da arquitetura.

Tabela 4.7 – Exemplo de aplicação da segunda etapa

Identificação do contexto				Identificação da tipologia
Modalidade	Contexto	Objetivo	Budget	Tipo de Court
Ténis	Profissional	Competição	10.000€	Indoor

Na tabela 4.8, podemos ver a aplicação da terceira etapa da arquitetura.

Tabela 4.8 – Exemplo de aplicação da terceira etapa

Identificação do contexto				Identificação da tipologia	Identificação de requisitos	
Modalidade	Contexto	Objetivo	Budget	Tipo de Court	Requisitos Funcionais	Requisitos Não-Funcionais
Ténis	Profissional	Competição	10.000€	Indoor	Aprovado pela ITF.	Usabilidade
					Deve dar <i>feedback</i> automaticamente.	Segurança
					Deve mostrar repetições.	Estabilidade

Finalmente, na figura 4.6 é apresentada uma possível aplicação da última etapa da arquitetura desenvolvida. As caixas apresentadas a azul representam os requisitos anteriormente identificados e á frente é possível ver as tecnologias que cumprem o requisito em causa. Desta forma os requisitos vão diminuindo o número de tecnologias adequadas até apenas restar uma. É importante referir que os requisitos não-funcionais previamente identificados não fazem parte da figura abaixo uma vez que todos os possíveis produtos asseguram bons níveis de usabilidade, segurança e estabilidade, fazendo com que estes dois requisitos não possibilitam um fator de escolha da tecnologia.

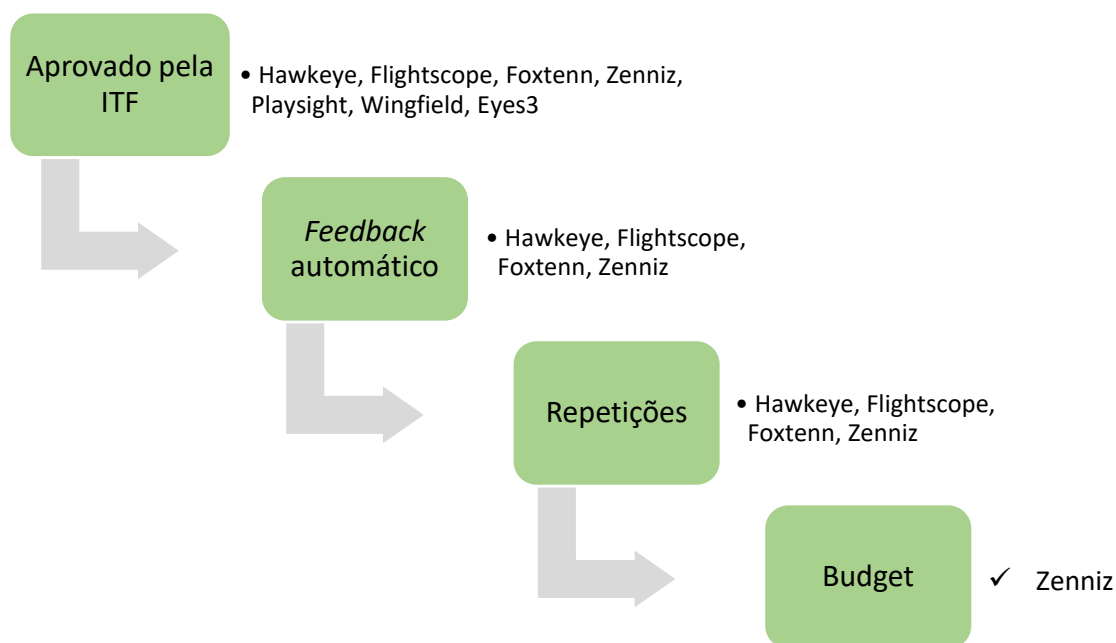


Figura 4.6 – Seleção da tecnologia

4.4. AVALIAÇÃO

O artefacto desenvolvido chegou agora à última fase da metodologia aplicada, a avaliação. Nesta fase, a arquitetura terá de ser avaliada de forma a encontrar possíveis melhorias, sugestões e críticas. Para que esta fase seja concluída foi necessário a realização de entrevistas a peritos na área do ténis e padel, onde foram realizadas três questões. Para a apresentação das questões, foi elaborado um documento *PowerPoint* onde estava ilustrado a identificação dos problemas e a respetiva solução, a arquitetura e as questões selecionadas.

As questões relacionadas com o artefacto efetuadas aos peritos foram as seguintes:

Tabela 4.9 - Perguntas de validação

Q1	Considera que a arquitetura proposta é útil e porquê? Em caso negativo, por que razão considera que não é útil?
Q2	Considera a possibilidade de aplicar a arquitetura proposta? Por favor, esclareça porquê.
Q3	Tem alguma recomendação ou sugestão para melhorar a arquitetura proposta?

De forma a validar o artefacto desenvolvido, foram realizadas entrevistas a três peritos. Todos eles têm perfis, perspetivas e visões diferentes, são eles: jogador amador de Padel (JP), treinador de ténis (TT) e proprietário de clube de padel (PP).

Respostas à pergunta 1 (Q1):

JP: Como praticante amador de padel, considero a arquitetura proposta útil, uma vez que tanto o padel como o ténis, são modalidades que se revêm muito no desportivismo e na ética desportiva e, tendo uma tecnologia deste género implementada nos clubes, seria mais uma solução para a continuidade deste mesmo desportivismo, uma vez que existem lances e bolas duvidosas ou menos claras, que poderiam facilmente ser esclarecidas com recurso a tecnologia. Ao utilizar esta arquitetura, iria facilitar muito o processo de decisão dos donos dos clubes sobre a tecnologia que deveriam adotar nos seus *courts*.

PP: Penso que sim. A arquitetura que apresentaste pode vir a ter cada vez mais importância no futuro. Nos últimos anos temos tido cada vez mais praticantes, o que mostra a grande expansão que a modalidade tem tido. Nós para além de alugarmos os *courts* para partidas casuais temos também vários torneios durante a semana e ao fim-de-semana e ainda damos aulas. Em qualquer um destes três contextos a tecnologia poderá ser útil. Do ponto de vista de negócio, apesar do investimento económico que teríamos de realizar poderá compensar rapidamente devido a atração de novos praticantes visto ser uma novidade na região.

TT: Em primeiro lugar, em termos de desempenho dos jogadores, a tecnologia trouxe melhorias significativas. Os jogadores de ténis e padel têm agora acesso a equipamento de alta tecnologia, como raquetes com sensores incorporados, que fornecem dados em tempo real sobre o seu jogo. Estes sensores

registam métricas como a velocidade do swing, a rotação da bola e a localização do impacto, permitindo aos jogadores aperfeiçoar as suas técnicas e fazer ajustes com base em dados. Este nível de precisão era inimaginável no passado e tem ajudado os jogadores a atingir novos patamares no seu desempenho. Além disso, a utilização da tecnologia na formação e no treino tem-se tornado cada vez mais frequente. O software de análise de vídeo e as câmaras de alta velocidade permitem aos treinadores dissecar a técnica de um jogador em pormenor, identificando áreas de melhoria e ajudando os jogadores a aperfeiçoar as suas capacidades. Esta abordagem personalizada ao treino tem sido fundamental para o desenvolvimento de muitos jogadores. Por estes motivos considero que a introdução de tecnologia em clubes de ténis e padel é vista com muito bons olhos e esta arquitetura fornece informação que pode ser importante para essa mesma decisão.

Respostas á pergunta 2 (Q2):

JP: No meu caso, não posso aplicar a arquitetura. Posso, no entanto, recomendar a mesma a donos de clubes que procurem melhorar as suas condições e queiram instalar uma tecnologia de *Smart Courts* nos seus clubes.

PP: Penso que a implementação da tecnologia nos nossos campos de padel poderia ser uma ideia fantástica. A tecnologia já teve um impacto significativo no mundo do desporto e a sua integração nas infraestruturas do nosso clube pode trazer vários benefícios, tanto para os nossos membros como para a experiência geral. Em primeiro lugar, penso que a incorporação da tecnologia pode melhorar a própria jogabilidade. Por exemplo, poderíamos considerar a instalação de sistemas automatizados de registo de resultados que eliminem a necessidade de registo manual de resultados, reduzindo as discussões e tornando os jogos mais eficientes. Também seria ótimo ter sensores nos campos que registassem a velocidade da bola, o movimento dos jogadores e outras métricas de desempenho. Estes dados podem ser valiosos para os jogadores que procuram analisar o seu desempenho e fazer melhorias. Além disso, a tecnologia poderia oferecer opções adicionais de entretenimento e envolvimento para os nossos membros. Poderíamos explorar a possibilidade de transmitir jogos em direto a partir dos nossos campos, permitindo que amigos e familiares assistam aos jogos à distância. Isto não só aumentaria a visibilidade do nosso clube, como também criaria um sentido de comunidade entre os nossos membros. Para além disso, a implementação de tecnologia pode melhorar a segurança e a proteção das nossas instalações. Os sistemas de câmaras inteligentes e as soluções de controlo de acesso poderiam ajudar-nos a monitorizar os campos e a controlar a entrada, garantindo a segurança dos nossos membros e dos seus pertences. No entanto, teríamos de considerar cuidadosamente os custos associados à implementação e manutenção desta tecnologia. É essencial encontrar um equilíbrio entre os benefícios que oferece e o investimento financeiro necessário. Devemos também garantir que qualquer tecnologia que introduzimos está de acordo com as preferências e necessidades dos nossos membros, melhorando a sua experiência global em vez de a complicar.

Para concluir, apesar de ser muito vantajoso na teoria, em termos práticos será mais difícil. As tecnologias que identificaste ao longo da pesquisa são todas elas estrangeiras e isso poderá ser um entrave. Os custos do envio poderão ser significativos, tal como o tempo de entrega e em termos de manutenção e de apoio ao cliente também é difícil, pois se alguma peça se avariar o processo será longo. Digo isto, mas penso

que será uma questão de tempo até chegarem novas tecnologias ao mercado português, com melhores condições.

TT: Acredito que a incorporação de tecnologia nos nossos campos de ténis pode ser um enorme trunfo para os nossos programas de treino e formação. A tecnologia já provou ser um fator de mudança no ténis, fornecendo informações valiosas e melhorando o desenvolvimento dos jogadores. A arquitetura, apesar de não considerar como principal foco o treino de atletas, mas sim a justiça das partidas, considera também a componente de exercícios de treino e de estatísticas que poderão vir a ser muito úteis para a melhoria dos tenistas. No nosso caso, uma vez que não dispomos de qualquer atleta profissional no clube o budget seria mais curto, mas não deixa de ser uma melhoria para o clube.

Respostas á pergunta 3 (Q3):

JP: Apesar da arquitetura me parecer bastante bem construída, apenas fala do custo inicial de instalação de qualquer tipo de tecnologia e não do custo de manutenção da mesma, seja ele a médio ou longo prazo. Acredito que os donos de clubes invistam nestas tecnologias para durar algum tempo e os custos de manutenção devem ser tidos em conta.

PP: Em relação á arquitetura em si não tenho qualquer sugestão porque parece-me adequada mas no que toca á informação que recolheste tenho duas coisas a dizer: não é claro quais dos produtos são utilizados no padel, quais são usados no ténis e quais podem ser usados nos dois; outra coisa que podias adicionar é o espaço que cada produto precisa para ser instalado, porque no meu caso os campos estão todos muito próximos uns dos outros e poderá não haver espaço suficiente para instalar algumas das tecnologias.

TT: Não me ocorre nenhuma melhoria para a arquitetura.

4.5. DISCUSSÃO

Após a transcrição do *feedback* dos peritos, analisou-se o mesmo. Esta análise foi focada na utilidade da arquitetura, em possíveis melhorias e na dissecação de outras observações realizadas pelos entrevistados.

Assim, no que diz respeito á utilidade da arquitetura, todos os peritos mostraram que a mesma poderá ser útil, seja em que contexto for. O crescente número de atletas nas modalidades, especialmente no padel, e o desportivismo e respeito que são imperativos nestas modalidades revelam que a aquisição de tecnologia que ajude a tomada de decisão e, conseqüentemente, a verdade desportiva, será vista com muito agrado. A arquitetura poderá servir de meio a conseguir essa implementação de tecnologias nos campos de ténis ou padel. O facto de a tecnologia poder ser utilizada em mais do que um contexto, também contribui para a aceitação da arquitetura, uma vez que os clubes para além de jogos casuais recebem, também torneios, que apesar poderem ser amadores o nível de competitividade poderá ser bastante elevado, e, ainda, em aulas individuais e coletivas. Neste último contexto, a identificação dos requisitos será fundamental para que a tecnologia escolhida contenha características que possam ser úteis em contexto de aprendizagem, nomeadamente exercícios personalizados e estatísticas individuais. Por último, a possibilidade de escolha do budget também se revelou um fator chave em termos da utilidade da arquitetura, visto que, em contextos amadores, os recursos financeiros dos clubes não são

muito elevados. Atualmente, o uso de tecnologia nos clubes de padel e ténis ainda é escasso na maioria das zonas do país, fazendo com que a aquisição de um produto tecnológico pudesse ser vista como uma novidade e proporcionar uma atração maior por parte dos praticantes, algo que podia trazer benefícios do ponto de vista económico.

Ainda assim, foram ainda registados alguns desafios para pôr em prática a arquitetura. O facto de todas as tecnologias serem de origem estrangeira poderá ser um desafio tendo em conta os custos de transportação, tempo de entrega e, ainda, o serviço de apoio ao cliente.

Em termos de sugestões de melhorias, estas estão mais relacionadas com os pressupostos, ou seja, a informação que foi recolhida da revisão de literatura e depois estruturada de forma a comparar todos os produtos encontrados, do que com a estrutura da arquitetura em si. As melhorias sugeridas foram: indicação do budget a X anos, ao invés de apenas o budget inicial que abrange a compra e instalação da tecnologia; distinção entre quais as tecnologias elegíveis para o ténis e quais as elegíveis para o padel; indicação do espaço necessário para a instalação de cada uma das tecnologias. Ambas a primeira e terceira sugestões poderão ter impacto na arquitetura através da adição de duas novas tarefas como “Definir budget a 5 anos” e “Espaço necessário para instalação”. Ainda assim, esses dois fatores são difíceis de investigar e averiguar devido á escassez de informação existente sobre as tecnologias.

5. CONCLUSÕES

Neste último capítulo dá-se por concluído o trabalho desenvolvido. Nesta fase, irei refletir sobre as conclusões, realizar uma síntese do trabalho desenvolvido e, ainda, deixar algumas recomendações para trabalhos/investigações futuras. O objetivo, definido inicialmente, que era definir uma arquitetura económica e eficiente que possa ser utilizada para ajudar a melhorar a verdade desportiva nas modalidades ténis e padel foi cumprido, tendo em conta o *feedback* obtido através das entrevistas a peritos.

5.1. SÍNTESE DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Este trabalho deu início com uma investigação sobre o estado da arte dos desportos de raquete, das tecnologias IoT e, ainda, sobre as alternativas tecnológicas existentes no mercado que possam ser utilizadas nestas modalidades desportivas. No que diz respeito á *Internet of Things*, foram estudados os seus conceitos principais, os processos de aquisição de dados, agregação e integração de dados e de análise de dados e a utilização desta tecnologia para fins desportivos. De seguida, foram estudados os desportos de raquete, com um foco nas modalidades de ténis e padel. Foi, ainda, abordada a justiça desportiva e o *fair play* no desporto, assim como o uso de tecnologias de informação em ambas as modalidades. Por último, foram analisadas as alternativas (aos produtos tradicionalmente usados no ténis e do padel) disponíveis no mercado, tendo sido divididas em permanentes e portáteis.

O conhecimento gerado através da revisão de literatura tornou possível a realização da arquitetura que suporte a tomada de decisão dos donos de clubes de ténis ou padel. Posteriormente, o artefacto desenvolvido foi validado por peritos de forma a verificar a sua utilidade.

Assim, pode-se afirmar que o objetivo da investigação foi atingido.

5.2. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHO FUTURO

No decorrer desta investigação surgiram algumas limitações e restrições que condicionaram o desenvolvimento da investigação nas fases de recolha de dados sobre as tecnologias usadas no padel e, ainda, na fase da realização de entrevistas aos peritos. A escassez de investigações sobre o uso de tecnologias IoT na modalidade de padel, criou dificuldades na aquisição de conhecimento nesta área. Por outro lado, a demora e a dificuldade de obter resposta por parte dos peritos também afetou negativamente a conceção deste estudo, uma vez que veio atrasar o seu desenvolvimento.

Em relação a recomendações para trabalhos futuros, o processo de validação do artefacto proposto poderia ser melhorado através da recolha de informação de um maior número de pessoas. Este aumento de amostra permitiria á arquitetura ser validada em diversos contextos e cenários diferentes, tornando a mesma mais abrangente. Tendo em conta a grande diversidade de tecnologias e a sua rápida expansão, a atualização das tecnologias e dispositivos, assim como dos seus preços, seria uma melhoria considerável para o artefacto. A inovação que é bastante visível do campo de IoT faz com que novos dispositivos e soluções sejam lançadas inevitavelmente e, por isso, o acompanhamento destes avanços tecnológicos seria de grande importância para a arquitetura desenvolvida.

Para finalizar, a disponibilização desta investigação para o mundo académico através, por exemplo, de uma publicação numa revista científica permitiria uma maior acessibilidade ao documento e, conseqüentemente, um número crescente de investigações.

REFERÊNCIAS

- AccuTennis (2019). Acedido a 17 de janeiro de 2023. <https://app.accutennis.com/>
- Aguzzi, Stefania., Bradshaw, David., Canning, Martin., Cansfield, Mike., Carter, Philip., Cattaneo, Gabriella., Gusmeroli, Sergio., Micheletti, Giorgio., Rotondi, Domenico., Stevens, Richard., European Commission. Directorate-General for the Information Society and Media., IDC., & TXT. (2016). *Definition of a research and innovation policy leveraging Cloud Computing and IoT combination: final report*. Publications Office.
- António, P. F. (2015). *Informática e Tecnologias da Informação*.
- Antunes, A. (2018). *Use of IoT technologies to improve shooting performance in basketball*.
- Anzelmo, E., Bassi, A., Caprio, D., Dodson, S., Kranenburg, R. van, & Ratto, M. (2011). *Discussion Paper on the Internet of Things commissioned by the Institute for Internet and Society, Berlin*.
- Bal, B., & Dureja, G. (2012). Hawk Eye: A Logical Innovative Technology Use in Sports for Effective Decision Making. *Sport Science Review*, 21(1–2), 107–119. <https://doi.org/10.2478/v10237-012-0006-6>
- Baron, N. (2008). Always On: Language in an Online and Mobile World. In *Always On: Language in an Online and Mobile World*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195313055.001.0001>
- Baseline Vision. (2022). Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://www.baselinevision.com/product>
- Bello, O., Zeadally, S., & Badra, M. (2017). Network layer inter-operation of Device-to-Device communication technologies in Internet of Things (IoT). *Ad Hoc Networks*, 57, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.06.010>
- Carneiro, F. C. R. (2018). *Análise do impacto da tecnologia na gestão do ténis de campo*.
- Chen, F., Deng, P., Wan, J., Zhang, D., Vasilakos, A. v, & Rong, X. (2015). Data Mining for the Internet of Things: Literature Review and Challenges. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(8), 431047. <https://doi.org/10.1155/2015/431047>
- Choppin, S., Albrecht, S., Spurr, J., & Capel-Davies, J. (2018). The Effect of Ball Wear on Ball Aerodynamics: An Investigation Using Hawk-Eye Data. *Proceedings*, 2(6). <https://doi.org/10.3390/proceedings2060265>
- Chua, J. (2020). An Overview Of Smart Tennis Courts 2020. Sports Technology Blog. <https://sportstechnologyblog.com/2020/09/07/an-overview-of-smart-tennis-courts-2020/>
- Collins, H. (2010). The Philosophy of Umpiring and the Introduction of Decision-Aid Technology. *Journal of the Philosophy of Sport*, 37(2), 135–146. <https://doi.org/10.1080/00948705.2010.9714772>

- Collins, H., & Evans, R. (2008). You cannot be serious! Public understanding of technology with special reference to “Hawk-Eye.” *Public Understanding of Science*, 17(3), 283–308. <https://doi.org/10.1177/0963662508093370>
- Collins, H., & Evans, R. (2011). Sport-decision aids and the “CSI-effect”: Why cricket uses Hawk-Eye well and tennis uses it badly. *Public Understanding of Science*, 21(8), 904–921. <https://doi.org/10.1177/0963662511407991>
- CIFP - International Fair Play Committee Introduction. <http://www.fairplayinternational.org/introduction.php>
- Cross, R. (2014). The footprint of a tennis ball. *Sports Engineering*, 17(4), 239–247. <https://doi.org/10.1007/s12283-014-0159-x>
- Dacosta, F. (2013). *Rethinking the Internet of Things - A Scalable Approach*.
- Dellaserra, C. L., Gao, Y., & Ransdell, L. (2013). Use of Integrated Technology in Team Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1097/jsc.0000000000000209>
- Poulsen, N. J. L., *Digital transformation in sports*. (2021).
- Donoho, D. (2017). 50 Years of Data Science. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 26(4), 745–766. <https://doi.org/10.1080/10618600.2017.1384734>
- Earley, S. (2015). Analytics, Machine Learning, and the Internet of Things. *IT Professional*, 17(1), 10–13. <https://doi.org/10.1109/mitp.2015.3>
- Editorial: Tecnologias de Informação (TI) na Educação. (2015). *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. <https://doi.org/10.17013/risti.16.ix-xi>
- Evans, D. (2011). How the Next Evolution of Internet is Changing Everything. http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Eyes3. (n.d.). Case Study: Setting up eyes3 at Dongguan, China. <https://www.eyes3.com/articles/blogs/case-study-setting-up-eyes3-at-dongguan-china-2>
- Fleisch, E. (2007). What is the Internet of Things? An Economic Perspective. <Http://Www.Alexandria.Unisg.Ch/Publikationen/68983>, *Auto-ID White Paper*.
- Ford, G. G., Gallagher, S. H., Lacy, B. A., Bridwell, A. M., & Goodwin, F. (1999). Repositioning the home plate umpire to provide enhanced perceptual cues and more accurate ball-strike judgments. *Journal of Sport Behavior*, 22, 28. <https://link.gale.com/apps/doc/A54194985/AONE?u=anon~6dc9b1fe&sid=googleScholar&xid=ad7cb0e1>

- Gabbett, T. (2012). Quantifying the Physical Demands of Collision Sports: Does Microsensor Technology Measure What It Claims to Measure? *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 27. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318277fd21>
- Gabbett, T. J. (2013). Quantifying the Physical Demands of Collision Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2319–2322. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318277fd21>
- Gonçalves, C. (1997). O pensamento dos treinadores sobre o espírito desportivo na formação dos jovens praticantes. 2 ed. Oeiras: Câmara municipal de Oeiras.
- Gupta, S., Ryall, E., Mohant, A., & Baodong, Y. (2014). Hawkeye technology using tennis match Use of Technology in Games and Sport t o Support Referee’s Decision Making IOSR Journals Seminar Report On “Hawk-Eye” Hawkeye technology using tennis match. In *COMPUTER MODELLING & NEW TECHNOLOGIES* (Vol. 18, Issue 12C). www.cmnt.lv
- ITF (2022). ITF Rules of Tennis 2022. p. 38.
- ITF (2020). FlightScope line-calling system makes the grade. <https://www.itftennis.com/en/news-and-media/articles/flightscope-line-calling-system-makes-the-grade/>
- Johansson, A. (2022). Tennis Technology Products. <https://www.tennistechie.com/tennis-technology-products>
- Johnson, D. (2021). In/Out 3.0 tennis line call device is more accurate than ever. *Gadgets & Wearables*. <https://gadgetsandwearables.com/2021/06/09/in-out-3-tennis-line-call-device/>
- Jurney, R. (2013). *Agile data science*. O’Reilly Media.
- Kabat, K. J. (2009). Naomi S. Baron, Always on: Language in an online and mobile world. New York, NY: Oxford University Press, 2008. Pp. ix, 289. Hb. \$29.95. *Language in Society*, 38(5), 647–648. <https://doi.org/10.1017/s0047404509990595>
- Kaisler, S., Armour, F., Espinosa, J. A., & Money, W. (2013). Big Data: Issues and Challenges Moving Forward. *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, 995–1004. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.645>
- Kazmi, A. H., Jan, Z., Zappa, A., & Serrano, M. (2016). Overcoming the Heterogeneity in the Internet of Things for Smart Cities.
- Kellmereit, D. & Ododovski, D. (2013). The Silent Intelligence. DnD Ventures
- Kirner, T. G. & Davis, A. M. (1996). Nonfunctional requirements of real-time systems. *Advances in Computers*, Vol. 42, 1–37.
- Kivi, N. (2022). *Why Is Padel So Popular*. <https://www.tenniskit24.com/padel/why-is-padel-so-popular/>
- Kohavi, R. (2000). *Data Mining and Visualization*. <http://www.sgi.com/software/mineset/demos.html>.

- Kovacs, M. S. (2007). Tennis Physiology. *Sports Medicine*, 37(3), 189–198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737030-00001>
- Kraushaar, B. S., & Nirschl, R. P. (1999). Current Concepts Review - Tendinosis of the Elbow (Tennis Elbow). Clinical Features and Findings of Histological, Immunohistochemical, and Electron Microscopy Studies*. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 81(2), 259–278. <https://doi.org/10.2106/00004623-199902000-00014>
- Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A., & Antunes Júnior, J. A. V. (2013). Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, 20(4), 741–761. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014>
- Lane, B., Sherratt, P., Hu, X., & Harland, A. (2017). Characterisation of ball degradation events in professional tennis. *Sports Engineering*, 20(3), 185–197. <https://doi.org/10.1007/s12283-017-0228-z>
- Lane, B., Sherratt, P., Xiao, H., & Harland, A. (2016). Characterisation of ball impact conditions in professional tennis: Matches played on hard court. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 230(4), 236–245. <https://doi.org/10.1177/1754337115617580>
- Lee, J., Espinosa, H., & James, D. (2015). The inertial sensor: A base platform for wider adoption in sports science applications. *Journal of Fitness Research*, 4.
- Lenk, H. (1987). Vers une anthropologie philosophique del athlete olympique et comme l etre a complissant une réalisation. A.O.I, Profesional. La Haban.
- Léone, R., Leguay, J., Medagliani, P., & Chaudet, C. (2015). Tee: Traffic-based energy estimators for duty-cycled Wireless Sensor Networks. *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 6749–6754. <https://doi.org/10.1109/ICC.2015.7249401>
- Leong, L. H., Zulkifley, M. A., & Hussain, A. B. (2014). Computer vision approach to automatic linesman. *Proceedings - 2014 IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications, CSPA 2014*, 212–215. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2014.6805750>
- Leveaux, R. (2010). Facilitating Referee's Decision Making in Sport via the Application of Technology. *Communications of the IBIMA*, 1–8. <https://doi.org/10.5171/2010.545333>
- Li, Y., Li, D., Cui, W., & Zhang, R. (2011). Research based on OSI model. *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, 554–557. <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2011.6014631>
- Machado, L., Freitas Junior, J. C. S., Klein, A. Z., & Freitas, A. S. (2013). Design Research: aplicações práticas e lições aprendidas. *Revista de Administração FACES Journal*, 14(1), 95-116.

- Mackenzie, R., & Cushion, C. (2013). Performance analysis in football: A critical review and implications for future research. *Journal of Sports Sciences*, 31(6), 639–676. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746720>
- Mascarenhas, D. R. D., Collins, D., & Mortimer, P. (2005). The Accuracy, Agreement and Coherence of Decision-Making in Rugby Union Officials. *Journal of Sport Behavior*, 28(3), 253–271.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: the management revolution. *Harvard business review*, 90(10), 60–128.
- McEwen, A., & Cassimally, H. (2014). *Designing The Internet of Things*. John Wiley and Sons, Ltd
- Mecheri, S., Rioult, F., Mantel, B., Kauffmann, F., & Benguigui, N. (2016). The serve impact in tennis: First large-scale study of big Hawk-Eye data. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 9(5), 310–325. <https://doi.org/10.1002/sam.11316>
- Miorandi, D., Sicari, S., de Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497–1516. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- Morgado, J. (2019). Pela primeira vez, o olho de falcão foi corrigido pelo VAR. Bola Amarela. Acedido a 26 de setembro de 2022. <https://bolamarela.pt/video-pela-primeira-vez-o-olho-de-falcao-foi-corrigido-pelo-var/>
- Murray, T. H. (2010). Making Sense of Fairness in Sports. *Hastings Center Report*, 40(2), 13–15. <https://doi.org/10.1353/hcr.0.0241>
- O campo de Ténis. (2007). Acedido a 6 de dezembro de 2022. <https://escaladatenis.blogs.sapo.pt/778.html>
- Omar, M. F., Mohd Nawi, M. N., Che-Ani, A. I., Saniah Sulaiman, N. I., & Goh, K. C. (2016). Innovative Approach for IBS Vendor Selection Problem. *MATEC Web of Conferences*, 47, 04018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164704018>
- Owens, N., Harris, C., & Stennett, C. (2003). *Hawk-Eye tennis system*. <https://doi.org/10.1049/cp:20030517>
- Palattella, M. R., Dohler, M., Grieco, A., Rizzo, G., Torsner, J., Engel, T., & Ladid, L. (2016). Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 510–527. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2525418>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/mis0742-1222240302>

- Piirainen, K. A., & Gonzalez, R. A. (2013). Seeking Constructive Synergy: Design Science and the Constructive Research Approach. In J. vom Brocke, R. Hekkala, S. Ram, & M. Rossi (Eds.), *Design Science at the Intersection of Physical and Virtual Design* (pp. 59–72). Springer Berlin Heidelberg.
- Pinto, P. (2010). Acedido a 19 de dezembro de 2022. *Redes – Sabe o que é o modelo OSI?* <https://pplware.sapo.pt/tutoriais/networking/redes-sabe-o-que-e-o-modelo-osi/>
- PlayReplay (2022). Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://www.playreplay.io/>
- PlaySight (2020). Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://playsight.com/our-sports/tennis/>
- Pluim, B. M., Staal, J. B., Windler, G. E., & Jayanthi, N. (2006). Tennis injuries: occurrence, aetiology, and prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 415–423. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.023184>
- Polk, T., Yang, J., Hu, Y., & Zhao, Y. (2014). TenniVis: Visualization for Tennis Match Analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(12), 2339–2348. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2014.2346445>
- Pontinascavi. (2021). Costruire Campo Paddle, permessi e terreni cosa c'è da sapere. Servizi Edili Roma. Acedido a 6 de dezembro de 2022. <https://www.serviziedilroma.it/costruire-campo-paddle-permessi-e-terreni-cosa-ce-da-sapere/>
- Poulsen, N. J. L. (2021). Digital transformation in sports: How digital transformation influence value creation in sports organizations.
- Powell, S. G., & Burke, A. L. (1991). Surgical and therapeutic management of tennis elbow: An update. *Journal of Hand Therapy*, 4(2), 64–68. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80105-0](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80105-0)
- Price, K. (2006), “Officials Encouraged to Blow it”, *Sporting News*, May 5: 230, 18.
- Ramos, N. V. M. (2009). Avaliação do Desempenho dinâmico das raquetes de ténis em condição de utilização.
- Ray, P. P. (2015). Internet of Things for Sports (IoTSport): An architectural framework for sports and recreational activity. *2015 International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*, 1–4.
- Rowlands, D. D., McCarthy, M., & James, D. A. (2012). Using inertial sensors to index into video. *Procedia Engineering*, 34, 598–603. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.102>
- Sagioglu, S., & Sinanc, D. (2013). Big data: A review. *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567202>
- Sahu, S. & Dhote, Y. (2016). A Study on Big data: Issues, Challenges and Applications. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. doi: 10.15680/ijircce.2016.0406055

- Shimba, F. (2010). *Cloud Computing: Strategies for Cloud Computing Adoption*.
- Symantec (2016). An Internet of Things Reference Architecture. https://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/white_papers/iot-security-referencearchitecture-wp-en.pdf
- Subashini, S., & Kavitha, V. (2011). A survey on security issues in service delivery models of cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2010.07.006>
- Tavares, J., Velez, F., & Ferro, J. (2008). Application of Wireless Sensor Networks to Automobiles. *Measurement Science Review*, 8(3). <https://doi.org/10.2478/v10048-008-0017-8>
- Tennis Club Bellinzona. (2019). Field Cameras 4 – Mojjo. Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://www.tcbellinzona.ch/cameras-on-field-4-mojjo/>
- Tennishead. (2022). Lifting your game with the Wingfield connected court. Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://tennishead.net/lifting-your-game-with-the-wingfield-connected-court/>
- Thomas H. Murray. (2010). Making Sense of Fairness in Sports. *Hastings Center Report*, 40(2), 13–15. <https://doi.org/10.1353/hcr.0.0241>
- Tikkinen-Piri, C., Rohunen, A., & Markkula, J. (2018). EU General Data Protection Regulation: Changes and implications for personal data collecting companies. *Computer Law & Security Review*, 34(1), 134–153. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2017.05.015>
- Turban E. (2012). *Electronic commerce 2012: a managerial and social networks perspective*. Pearson Prentice Hall.
- Ubitennis. (2021). Staff, Tennis And Data: Methods Used To Collect Information And How Much Each One Costs! Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://www.ubitenis.net/2021/01/tennis-and-data-methods-used-to-collect-information-and-how-much-each-one-cost/>
- USTA National Campus. (n.d.). Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://www.ustanationalcampus.com/en/home/about/playsight.html>
- Vaishnavi, V., & Kuechler, B. (2004). Design Science Research in Information Systems. *Association for Information Systems*.
- van Aken, J. E. (2005). Management Research as a Design Science: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. *British Journal of Management*, 16(1), 19–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00437.x>
- Valente, C. (2018). *Desporto, uma revisão sistemática da literatura*.
- Ventura, N. (2013). *Observar Para Ganhar (1a Edição)*. Prime Books.

- Vermessan, O., & Friess, P. (2013). *Internet Of Things – Conversing Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. River Publishers.
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 265(3), 94–104. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94>
- What is padel?* (2006). Acedido a 9 de novembro de 2022. <https://www.usaplayspadel.com/what-is-padel/>
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(4), 259–270. <https://doi.org/10.1037/1076-898x.8.4.259>
- World Padel Tour (2022). Acedido a 9 de novembro de 2022. <https://www.worldpadeltour.com/en/world-padel-tour/>.
- Wundersitz, D. W. T., Josman, C., Gupta, R., Netto, K. J., Gatin, P. B., & Robertson, S. (2015). Classification of team sport activities using a single wearable tracking device. *Journal of Biomechanics*, 48(15), 3975–3981. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.09.015>
- Zenniz (n.d.). Acedido a 18 de janeiro de 2023. <https://zenniz.com>
- Zheng, J., & Jamalipour, A. (2009). *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*. <https://doi.org/10.1002/9780470443521>