



Realidade aumentada na indústria do calçado - Aprendizagem imersiva na operação de máquinas

ANA RITA TROCADO FERREIRA

Outubro de 2021

Realidade aumentada na indústria do calçado

Aprendizagem imersiva na operação de máquinas

Rita Ferreira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em Engenharia de
Software**

Orientador: Carlos Vaz de Carvalho

Porto, Outubro 2021

Dedicatória

Aos meus pais e irmão, pelo apoio incondicional durante todos estes anos. À minha carometade, por acreditar em mim e me fazer continuar até ao fim. A todos os colegas que me acompanharam nestes anos de estudo e me ajudaram a finalizar esta etapa. Por fim, um agradecimento também ao orientador Vaz de Carvalho e aos profissionais do CTCP que colaboraram comigo no decorrer do projeto.

Resumo

Com a evolução tecnológica nas linhas de produção, várias indústrias começaram a substituir os processos manuais que requeriam mão de obra especializada pela utilização de máquinas industriais. Desta forma, a formação profissional necessária transitou para o conhecimento sobre estas máquinas e a sua operação.

A indústria do calçado é uma dessas indústrias, que tem atualmente uma forte presença em Portugal, mas que tem vindo a reportar falta de mão de obra especializada nos últimos anos. Tendo por isso como um dos seus objetivos a inovação dos processos de formação de forma a atrair jovens profissionais.

Este projeto, em parceria com o grupo GILT, visa o desenvolvimento de uma aplicação mobile capaz de auxiliar estes processos utilizando a tecnologia de realidade aumentada. Com o objetivo de fornecer *just in time learning* acerca das máquinas utilizadas nesta indústria, melhorando a experiência pessoal de aprendizagem.

No final, a avaliação da qualidade e do cumprimento dos objetivos feita através da análise de dados recolhidos por questionários distribuídos por um segmento de utilizadores considerados relevantes. Os resultados dessa avaliação mostraram-se bastante positivos, principalmente entre profissionais da área, que mostraram interesse na continuação do desenvolvimento de mais conteúdo e forneceram sugestões de melhoria para trabalho futuro.

Palavras-chave: indústria do calçado, máquinas industriais, realidade aumentada, aplicação mobile, *just in time learning*

Abstract

With the technological evolution in the manufacturing area, several industries started to replace the manual processes that required qualified labor by the usage of industrial machines. With these changes, the required professional qualification migrated to detained knowledge about these machines and it's handling.

The footwear industry fits in that category, being one of the most impactful industries in Portugal. However, the lack of qualified professionals is being reported in the last couple of years, which resulted in focusing some of its goals in innovating and creating better training processes to appeal younger to potential professionals.

This project, partnering with GILT, envisions the development of a mobile app that aids those processes by taking advantage of the augmented reality technology. It aims to provide just in time learning about the machines used in this industry, as well as improving the learning experience for every individual.

Lastly, to evaluate the quality of the solution and the met goals, the app was distributed to relevant users alongside a questionnaire that will provide enough data to analyze it. Results of that evaluation were mostly positive, mainly between professionals that work in the industry, showing that they were interested in seeing more content being supported in the app and, they also gave interesting feedback about improvements for future work.

Keywords: Footwear industry, industrial machines, mobile app, augmented reality, just in time learning

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Problema	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Análise de valor	3
1.5	Abordagem preconizada	3
1.6	Estrutura do documento	4
2	Contexto e estado de arte	5
2.1	Indústria do calçado	5
2.1.1	Componentes do calçado	6
2.1.2	Processos de produção	7
2.1.3	Máquinas	8
2.2	Realidade aumentada	11
2.2.1	Áreas chave	12
2.2.2	Aplicações de realidade aumentada	16
2.2.3	Ferramentas de desenvolvimento	21
3	Análise de valor	23
3.1	The new concept development (NCD) model	23
3.2	Valor	26
3.3	Proposta de valor	27
3.4	Modelo de negócio canvas	27
3.5	Modelo de Verna Allee	30
3.6	Método AHP	31
4	Design e desenvolvimento	37
4.1	Avaliação de abordagens existentes	37
4.1.1	Critérios	37
4.1.2	Comparação de abordagens	37
4.2	Design conceptual	39
4.3	Engenharia de requisitos	41
4.3.1	Requisitos funcionais	41
4.3.2	Requisitos não funcionais	42
4.3.3	Restrições	43
4.4	Casos de Uso	43
4.5	Desenvolvimento	44
4.5.1	Ambiente de desenvolvimento	44

4.5.2	Componentes de desenvolvimento interno	46
4.5.3	Reconhecimento de imagem.....	50
4.5.4	Reconhecimento 3D	54
4.5.5	Interatividade	59
5	Avaliação	63
5.1	Critérios.....	63
5.2	Hipótese.....	64
5.3	Metodologia de avaliação	64
5.3.1	Caracterização demográfica	64
5.3.2	Questionário.....	65
5.4	Resultados	67
5.4.1	Feedback geral.....	67
5.4.2	Feedback de profissionais da área	71
5.4.3	Feedback de indivíduos não relacionados com a área	73
5.4.4	Sugestões e melhorias	74
6	Conclusão.....	75
6.1	Trabalho futuro	76
	Referências	77

Lista de Figuras

Figura 1 - Componentes base do calçado [6]	6
Figura 2 - Continuum de realidade-virtualidade [9]	11
Figura 3 - App Wannakicks	16
Figura 4 - Solução Boeing [22]	17
Figura 5 - Solução Bosch CAP [24]	18
Figura 6 - App ZEISS	19
Figura 7 - App Liebherr	20
Figura 8 - Modelo NCD [32]	23
Figura 9 - Modelo canvas	29
Figura 10 - Modelo de Verna Allee	31
Figura 11 - Árvore hierárquica base	32
Figura 12 - Árvore hierárquica completa	35
Figura 13 - Modelo de conceito	40
Figura 14 - Diagrama de casos de uso	44
Figura 15 - Arquitetura do sistema	46
Figura 16 - Classe modelo Machine	47
Figura 17 - Classe modelo Progress	48
Figura 18 - Classe MachineFactory	48
Figura 19 - Função de controlo de estados	50
Figura 20 - Nomenclatura de imagens	52
Figura 21 - Função de reconhecimento de imagem	53
Figura 22 - Setup do vetor Z	54
Figura 23 - Setup de unidades métricas do modelo	55
Figura 24 - Coloração do modelo	55
Figura 25 - Confirmação da complexidade do modelo	56
Figura 26 - Setup do tipo de modelo	56
Figura 27 - Setup da dica de movimento	57
Figura 28 - Setup de vistas guia do modelo	58
Figura 29 - Classe Controller de reconhecimento do modelo	59
Figura 30 - Posicionamento da UI	60
Figura 31 - Representação da UI	61
Figura 32 - Resultados da questão 1	67
Figura 33 - Resultados da questão 2	68
Figura 34 - Resultados da questão 3	68
Figura 35 - Resultados da questão 4	69
Figura 36 - Resultados da questão 5	69
Figura 37 - Resultados da questão 6	70
Figura 38 - Resultados da questão 7	70
Figura 39 - Resultados da questão 8	71
Figura 40 - Resultados da questão 9	71

Figura 41 - Resultados da questão 10.....	71
Figura 42 - Resultados da questão 11.....	72
Figura 43 - Resultados da questão 12.....	72
Figura 44 - Resultados da questão 13.....	73
Figura 45 - Resultados da questão 14.....	73
Figura 46 - Resultados da questão 15.....	74
Figura 47 - Respostas a feedback livre.....	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Máquinas da indústria	8
Tabela 2 - Prioridade entre critérios.....	32
Tabela 3 - Prioridade relativa de cada critério	32
Tabela 4 - Prioridade das alternativas quanto à imersividade	33
Tabela 5 - Prioridade das alternativas quanto ao custo de hardware.....	34
Tabela 6 - Prioridade relativa quanto à disponibilidade.....	34
Tabela 7 - Comparação de abordagens	38
Tabela 8 - Critérios de avaliação.....	63
Tabela 9 - Fatores e requisitos de avaliação.....	66

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

AR	Realidade aumentada
App	Aplicação móvel
VST	Video see-through
OST	Optical see-through
UI	User interface
SDK	<i>Software development kit</i>

1 Introdução

Neste primeiro capítulo, é dada ao leitor uma visão introdutória do tema principal da tese bem como de tópicos que são abordados, com mais detalhe, ao longo do documento. Inicialmente, é apresentado de uma forma breve o contexto e problema em que a solução a desenvolver se insere, de seguida os principais objetivos que se pretende atingir no final do projeto, e uma resumida análise de valor. Por fim, é também apresentada a estrutura documental.

1.1 Contextualização

A produção de calçado está associada, desde o seu início, a um conjunto de trabalhos manuais suficientemente complexos para carecer de mão de obra especializada, e conhecimento suficiente para trabalhar os diferentes tipos de calçados existentes, bem como os materiais pelos quais estes são constituídos. Devido à automatização e informatização de sistemas, esta produção sofreu algumas modificações no seu funcionamento.

Atualmente este processo está fortemente dependente da utilização de máquinas especializadas tanto na produção de materiais utilizados no calçado como na produção do próprio calçado em si. Dependendo da etapa do processo e dos materiais utilizados no calçado, estas máquinas podem variar bastante no seu aspeto e funcionalidade, necessitando assim de formação especializada de profissionais capazes de as operar.

Em parceria com GILT – ISEP, grupo de investigação que se foca no estudo e inovação nas áreas de *serious games*, tecnologia assistiva, tecnologia de aprendizagem, e tecnologia de saúde, a proposta a ser trabalhada tenciona estudar e apresentar uma solução tecnológica capaz de fornecer ao aprendiz uma experiência de aprendizagem imersiva, recorrendo ao uso de tecnologia de AR.

1.2 Problema

Nos últimos anos, a indústria do calçado em Portugal tem tido uma forte presença a nível económico, e embora a sua taxa de empregabilidade tenha vindo a subir existe uma grande escassez de mão de obra devidamente qualificada numa parte significativa das empresas nacionais. Sendo esta situação considerada agravante, começa a surgir a necessidade de medidas que procurem atrair jovens e qualificar profissionais, e com estas medidas faz-se também notar a falta de ferramentas de auxílio às mesmas.

Esta necessidade tem feito com que comecem já a surgir algumas respostas como programas de formação que promovem a inovação e o uso de tecnologia nesta indústria. No entanto existe ainda um défice de possibilidades ou cursos que se desviem das técnicas tradicionais de ensino, e que apelem potenciais jovens profissionais.

Aliando este défice da indústria às tecnologias atualmente disponíveis que possibilitam uma experiência de aprendizagem mais imersiva, como o caso em específico da Realidade Aumentada (*Augmented Reality - AR*), surge então a necessidade de estudar uma melhor forma de proporcionar uma formação mais inovadora e flexível capaz de atender as exigências específicas da indústria.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo responder ao défice de inovação no processo de formação de profissionais inseridos na indústria do calçado. Este objetivo principal tem como seguimento o estudo e desenvolvimento de uma solução focada em proporcionar uma experiência de aprendizagem *just in time*, disponibilizando informação suficiente relevante relacionada com as máquinas utilizadas na área de produção desta indústria.

Esta solução suportada pela tecnologia de realidade aumentada sendo o fator chave responsável por proporcionar ao operário uma aprendizagem mais imersiva da máquina em questão, bem como tornar mais fluída a posterior interação entre os dois. Para além do foco na interatividade com as máquinas virtualizadas por AR, esta deve também contar com interfaces de utilizador intuitivas que auxiliem a navegação da informação complementar ao modelo.

Finalmente numa fase final de desenvolvimento, planeia-se também apurar se a aplicação terá alguma real utilidade e benefício para o mercado onde esta se pretende enquadrar, utilizando uma metodologia de avaliação possível para análise de dados.

1.4 Análise de valor

A solução para o problema acima descrito é direcionada para um público-alvo em específico, os profissionais (atuais e futuros) envolvidos na produção da indústria do calçado. Como tal, de forma a criar valor para este tipo de cliente a aplicação pretende facilitar alguns processos de formação, mais concretamente ligados a máquinas utilizadas durante a produção, fornecendo uma solução capaz de disponibilizar informação em qualquer altura e lugar e material informativo suficiente para a substituição da utilização de outros métodos de formação tradicionais, atualmente utilizados, com a ajuda de recursos externos. Acompanhada também de uma tecnologia inovadora capaz de fornecer uma experiência imersiva e moderna na formação dos operadores dessas máquinas. Uma análise de valor mais completa e aprofundada poderá ser encontrada no capítulo 3 do documento.

1.5 Abordagem preconizada

Atendendo aos objetivos acima descritos, e como já referido anteriormente, a solução consistia numa aplicação móvel, especificamente em Android, que suportada pela tecnologia de realidade aumentada, tecnologia esta que permite proporcionar uma experiência de aprendizagem otimizada e imersiva.

De forma a perceber melhor de que maneira se poderia proporcionar esta experiência de utilização ao aprendiz, foi feita uma recolha de informação à volta de soluções semelhantes, e também do estado de arte da tecnologia a ser utilizada nesta solução. Depois de recolhida e avaliada, foram apresentados alguns possíveis designs da solução final, seguidas de algumas conclusões técnicas.

Depois foi apresentado também o desenho e desenvolvimento da solução final, acompanhada de documentação que refletirá as práticas de engenharia de software, e as escolhas técnicas feitas durante o desenvolvimento.

Numa última fase, a aplicação foi distribuída seletivamente a indivíduos que se considerem inseridos na indústria e/ou formação para inserção na indústria, acompanhada de um questionário responsável por recolher o feedback de utilização, que serviu para apurar a utilidade e possíveis melhorias/falhas da mesma.

1.6 Estrutura do documento

Este documento é composto por cinco capítulos principais. Iniciando pelo capítulo introdução, o leitor poderá encontrar uma visão introdutória ao contexto, problema que está a ser estudado, e análise de valor da solução. E também perceber de uma forma sucinta quais os objetivos e a abordagem seguida no decorrer do projeto.

De seguida, no segundo capítulo denominado contexto e estado de arte, o leitor poderá encontrar de forma mais detalhada o contexto e problema em que a solução se insere, a informação recolhida relativa ao estado de arte de soluções semelhantes relacionadas com a tecnologia de AR utilizadas num contexto de aprendizagem, e um contexto teórico seguido de estado de arte de tecnologias relevantes para a solução - mais concretamente AR e Android.

Depois, é apresentado o capítulo de avaliação de soluções existentes, onde o principal foco será fazer uma recolha da informação de outras soluções que poderão, ou não, ser adequadas/adaptadas para utilização na solução pretendida.

No quarto capítulo correspondente ao design e desenvolvimento, são apresentadas algumas possíveis soluções para o desenho da solução final, que refletem as conclusões técnicas que foram retiradas da avaliação feita no capítulo anterior.

O quinto capítulo denominado avaliação, são apresentadas as metodologias utilizadas de forma a apurar se os objetivos inicialmente estabelecidos para o projeto são cumpridos. São também apresentados alguns resultados dessa metodologia acompanhados por uma análise aos dados obtidos.

Por fim, o sexto e último capítulo, onde é apresentado ao leitor uma conclusão de toda a informação recolhida e apresentada ao longo de todo o documento, bem como algumas reflexões e expectativas para trabalho futuro.

2 Contexto e estado de arte

2.1 Indústria do calçado

A presença da indústria do calçado em Portugal, que engloba a produção de calçado e a produção de componentes e máquinas para calçado (embora estas representem uma parte muito menor), tem sido fortemente notada nos últimos anos, tanto nacionalmente como internacionalmente. Inicialmente esta indústria tinha como foco a produção em massa a baixo custo, e exportações. Atualmente o foco ainda se mantém nas exportações, mas com o aumento da concorrência da produção a baixo custo principalmente do continente asiático, o foco virou-se para o aumento de qualidade e inovação dos produtos a exportar, sendo que grande parte desse produto exportado se trata de produtos de couro [1].

Estatisticamente falando, nos últimos anos esta indústria tem vindo a crescer gradualmente, com balanços positivos em aspetos considerados chave como: um forte impacto na economia portuguesa e nas taxas de exportação, sendo que segundo dados recolhidos em 2018 a exportação desta indústria representou cerca de 3,6% dos bens nacionais exportados [1]; um aumento volume de negócio que vem a crescer desde 2009; e consequentemente desde esse mesmo ano, o número de trabalhadores tem vindo também a aumentar, contando com mais de 47 mil trabalhadores no ano 2017 [2].

Apesar do crescimento do número de trabalhadores ao longo dos tempos, mais de 30% das empresas nacionais reporta uma escassez de mão de obra qualificada [3] em diversos setores. E por isso esta indústria tem tido presente nos seus planos estratégicos intenções de qualificar e atrair pessoal mais jovem de uma forma inovadora [4], tendo até sido criados pelo Centro Tecnológico do Calçado de Portugal vários programas de formação que têm em foco essas mesmas intenções.

De forma a criar uma solução que seja capaz de responder a um problema relacionado com a produção de calçado é importante perceber os conceitos base que constituem uma peça de calçado, os processos de produção a que estas estão sujeitas e alguns exemplos de recursos utilizados nestes processos.

2.1.1 Componentes do calçado

Uma peça de calçado, independentemente do seu tipo, é quase sempre constituída por um conjunto de componentes base que representam conceitos fundamentais desta indústria. Estes componentes são:

- **Sola (*sole*):** representa a parte do sapato que está em contacto direto com a superfície, normalmente constituída por borracha, pele, plástico ou madeira.
- **Sola interior/palmilha (*insole*):** representa a parte interior da sola que está em contacto direto com o pé, e que separa a sola da parte superior da peça.
- **Parte superior (*upper*):** representa toda a parte superior da peça de calçado que se encontra cosida e/ou colada à sola.
- **Tacão (*heel*):** Localizada na parte de trás da sola. Embora não esteja presente em todo o tipo de calçados, continua a ser uma peça importante em grande parte dele.

Para além dos constituintes que podem ser encontrados na peça final de calçado, existe ainda um componente crucial utilizado na produção do mesmo – o molde (*last*, em inglês), é o componente utilizada na fase de montagem que representa o modelo de medida de pé a ser utilizado para a sua construção [5]. Estes componentes encontram-se representados na figura abaixo.



Figura 1 - Componentes base do calçado [6]

2.1.2 Processos de produção

A produção de calçado sempre foi associada a trabalhos manuais, que obrigavam a retenção de um vasto conhecimento acerca dos materiais utilizados na constituição do calçado e de variadas técnicas de montagem da peça completa. Com a chegada das máquinas industriais este processo passou a ser otimizado, mas fortemente dependente de conhecimento relacionado com o seu funcionamento.

Generalizando o processo de manufatura de calçado pode ser agrupado em: Design, Corte, Moldagem e Fabricação, e Acabamentos e empacotamento [7].

Após estabelecido o design da peça é que se inicia o processo de montagem dos componentes acima mencionados. Resumindo todos os processos de manufatura, as principais fases de tratamento de cada um dos componentes principais descritos na secção 2.1.1 são:

- Preparação do molde a ser utilizado na construção da peça, e do *upper*, inicialmente achatado e visualmente estabelecido pelos designs, é submetido a processos de corte.
- Montagem e fixação do *upper* ao molde de forma a dar início ao processo de junção de peças - estes dois são mantidos fixos um ao outro durante algum tempo, e sujeitos a tratamentos que potenciam a transformação do *upper* de forma a tomar a forma do molde.
- Preparação e junção da palmilha à parte inferior do *upper*
- Preparação e fixação da sola à palmilha, previamente colada ao *upper*
- Remoção do molde e retoques finais

Estes processos descritos de forma simplificada podem ser completamente manuais ou suportados por máquinas semiautomáticas/automáticas, existindo uma grande variedade de máquinas específicas a cada um dos processos [5].

2.1.3 Máquinas

Nesta indústria, existe um conjunto de máquinas especializadas para diferentes processos, cuja utilização depende do tipo de material a aplicar no calçado [8]. Alguns exemplos dessas máquinas são:

Tabela 1 - Máquinas da indústria

<p>Prensa de sola: como o próprio nome indica, esta máquina consiste numa prensa, que pode ser hidráulica ou pneumática, utilizada para colar a sola à parte superior do sapato aplicando uma determinada pressão durante um determinado tempo.</p>	
<p>Máquina de ilhós: utilizada para colocar ilhós no material constituinte do sapato. Através da força aplicada no pedal da máquina, esta força o ilhó no material do calçado, causando um furo e dobrando a parte de trás da mesma.</p>	

Máquina de escovagem e lixa: uma das principais máquinas utilizadas no acabamento do sapato. Como o próprio nome indica, esta dispõe de várias escovas de material próprio para escovar e lixar o material exterior do sapato. Após ligada as escovas começam automaticamente a rodar e o trabalhador é responsável por controlar o restante processo.



Clicker press: utilizadas para corte do upper, com a ajuda de moldes, que tenham como material tecido, pele, borracha, entre outros meios rijos.



Máquinas de costura: como o próprio nome indica, são máquinas utilizadas para costurar o upper.



Toe lasting: máquina utilizada para a junção do upper com o last, que faz com que o upper tome a forma do last.



Thermo folding: utilizada para assentar e acabar a junção da insole trabalhando as arestas da mesma.



2.2 Realidade aumentada

A Realidade aumentada (ou *Augmented Reality* - AR) é uma tecnologia que nos últimos anos tem crescido significativamente, principalmente em aplicações móveis, pela sua forte capacidade de cativar e imergir o utilizador numa experiência que mistura o ambiente real em que este se encontra e objetos virtuais proporcionados pelo dispositivo utilizado.

Teoricamente falando, esta tecnologia pode ser descrita por: combinar o meio real com um meio virtual e ser interativa em tempo real. Esta mistura de ambientes faz com que esta se insira num espectro realidade-virtualidade, mais conhecido como *virtuality continuum*, onde o oposto mais à esquerda representa um ambiente composto unicamente por objetos reais, e contrariamente, o oposto mais à direita representa um ambiente totalmente composto por objetos virtualmente simulados. A área entre estes dois opostos representa a definição de realidade mista, mais conhecida como *mixed reality* ou MR, e como o próprio nome indica, é uma mistura entre o ambiente real e objetos virtuais reproduzido através de um meio [9]. Este espectro, também conhecido como continuum de Milgram, encontra-se explicado abaixo na figura 2.

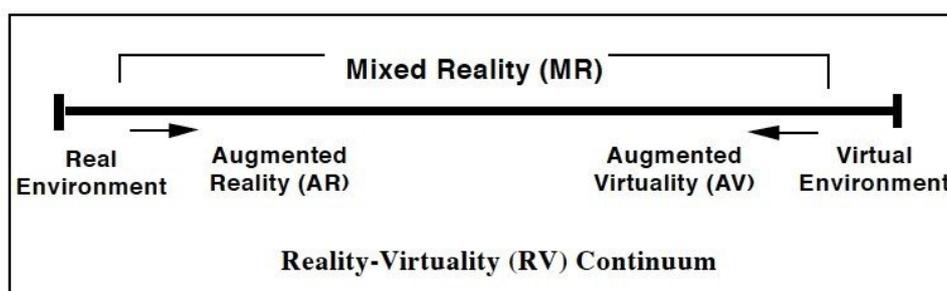


Figura 2 - Continuum de realidade-virtualidade [9]

Ambas as tecnologias de AR e VR se encontram representadas neste continuum, e embora sejam comparadas frequentemente como se fossem tecnologias distintas têm bastantes semelhanças nos seus casos de uso, com particularidades distintas.

A realidade virtual permite a total imersão do utilizador num mundo virtualizado. Para isso é necessária a utilização de hardware específico, mais concretamente um *headset* que preenche o campo de visão na sua totalidade, com a ajuda de gráficos computacionais exigentes que tornam o cenário virtual à volta do utilizador o mais realista possível.

Já a realidade aumentada permite o enriquecimento da interação do utilizador e o meio físico que o rodeia através da adição de informação ou objetos virtuais. A utilização desta tecnologia está disponível através de um conjunto de hardware mais abrangente e acessível, como por exemplo o telemóvel pessoal de um indivíduo. Nestes o campo de visão do utilizador é apenas parcialmente preenchido com objetos virtuais, que integram com a visão do meio físico que o rodeia. Nas aplicações de AR existe uma menor exigência nos gráficos visuais permitindo uma perceção distinta entre o que é real e o que é virtual.

Dada a forte componente interativa desta tecnologia existem três áreas chave que englobam o essencial de uma aplicação AR: *tracking* que é o sistema responsável por interpretar a posição e movimentação do utilizador no meio que o rodeia; *display* – meio utilizado para visualizar a combinação de ambientes físicos e virtuais; interfaces de utilizador - técnicas utilizadas para permitir a interação do utilizador com a mistura de realidades [10] [11].

2.2.1 Áreas chave

2.2.1.1 Tracking

Uma das partes mais relevantes de aplicações em AR é a integração dos elementos virtualizados com o ambiente físico que rodeia o utilizador, e que esta integração ocorra sempre da forma mais natural possível. É expectável que o utilizador consiga movimentar-se livremente sem que este afete negativamente a precisão do alinhamento dos objetos virtuais posicionados. De forma a manter esta precisão são utilizadas várias técnicas de *tracking*, que são responsáveis por detetar e relacionar a posição, movimento e orientação do utilizador. Estas podem ser agrupadas em: *sensor based*, *vision based* e híbridas [11] [12].

Baseado em sensores

Estas técnicas baseiam-se na utilização de sensores capazes de detetar a movimentação entre dois pontos. Geralmente as vantagens e desvantagens entre estes estão fortemente vinculados a fatores como precisão, calibração, custo, meio ambiente, temperatura e pressão a que cada sensor está sujeito [11]. As técnicas *sensor based* são:

- **Tracking óptico:** Tira partido do uso de câmaras de vídeo para a localização de objetos num meio ambiente. Usualmente são necessárias várias câmaras posicionadas em diferentes ângulos de forma a ser possível realizar uma medição espacial para a deteção dos objetos 3D, no entanto é possível tirar partido da utilização de apenas uma câmara para uma deteção em 3D. Estas técnicas são fortemente impactadas pela iluminação do cenário.
- **Tracking magnético:** Como o próprio nome indica, são utilizadas as propriedades e variações do campo magnético. É utilizado um transmissor que atua como âncora no meio físico e que produz as alterações ao campo magnético, e um dispositivo recetor que é responsável por detetar essas alterações e através delas calcular a sua posição e orientação relativamente ao transmissor. Esta técnica é fortemente caracterizada pela rapidez da troca de informação, mas também pela sua suscetibilidade a interferências e a áreas limitadas dependendo a força do campo magnético.
- **Tracking acústico:** São utilizados transmissores ultrassom, usualmente posicionados no utilizador, que são responsáveis por emitir som, e recetores acústicos espalhados pelo meio físico que capturam o som emitido. Aqui a posição e movimentação do utilizador são calculadas através do tempo que o som demora até chegar aos recetores. As

principais limitações estão diretamente ligadas à velocidade de propagação do som, considerada lenta o suficiente para impactar a precisão desta técnica, e à constituição do meio físico que possa impactar essa propagação.

- **Tracking inercial:** Geralmente são utilizados dois tipos de sensores. O giroscópio responsável por obter a orientação do utilizador através do cálculo da velocidade angular do seu movimento, e o acelerómetro responsável por obter a posição do utilizador através do cálculo da sua velocidade linear. Ambos os sensores são capazes de obter a informação que necessitam sem a utilização de um fator externo não estando sujeitos a limitações relacionadas com distância ou interferências. No entanto são suscetíveis a desvios nos seus cálculos ao longo do tempo se não existir uma calibração apropriada ao longo do tempo.

Baseado na visão

Nas técnicas *vision based* a posição do utilizador é obtida através da análise e processamento de imagens recolhidas por sensores óticos. De forma simplificada, estas técnicas podem-se dividir essencialmente entre *marker-based* e *markerless*. Em abordagens *marker based* existe uma alteração do meio físico, onde são colocados pontos âncora mais conhecidos como marcadores que servirão para o alinhamento dos objetos virtuais. Enquanto que em abordagens *markerless* este alinhamento é obtido através da análise de objetos reais que já se encontrem posicionados no meio físico [10] [12].

- **Tracking fiducial:** Fiduciais são mais conhecidos como marcadores artificiais que são colocados de forma estratégica no meio físico com o intuito de servirem como pontos âncora que auxiliam o registo dos objetos virtuais. A colocação destes depende exclusivamente destes marcadores, sendo que mal estes saiam do campo de captura da câmara o objeto virtualizado deixa de aparecer. Estes marcadores podem variar no seu aspeto e forma dependendo do caso de uso pretendido, mas essencialmente têm de ser facilmente distinguíveis do meio físico.
- **Tracking de características naturais:** Como nem sempre a alteração do meio físico é possível ou desejável, recorrendo a algoritmos de processamento de imagens mais complexos estas técnicas consistem na deteção de características naturais ao meio ambiente em que o utilizador se encontra inserido. Estas características naturais podem ser cantos, pontos, ou interseções de linhas que em conjunto sejam suficientes para se assemelharem com o objeto a ser registado.
- **Tracking baseado em modelos:** Nestas técnicas são previamente construídos modelos 3D dos objetos a serem registados, e são construídos através de formas primitivas, e em alguns casos também pela textura. As imagens capturas pelas câmaras são comparadas com o modelo, e quando este é identificado o objeto virtualizado é posicionado em cima da imagem do objeto capturado. Através desta técnica surgiu também a tecnologia SLAM, que consiste na criação e atualização de um mapeamento

de objetos registados no meio físico enquanto simultaneamente vai localizando a sua posição dentro desse mapa. Normalmente estas técnicas funcionam melhor em áreas menores e ambientes interiores, e não estão preparados para a movimentação dos objetos no meio sendo que estes têm de se manter estáticos durante a utilização.

Híbrido

No *tracking* híbrido a informação recolhida por variados sensores é utilizada em conjunto de forma a diminuir as limitações do uso singular de cada um, enquanto se complementam melhorando a precisão dos seus resultados. Esta técnica é a que consegue melhores resultados tanto em ambientes interiores como exteriores, e está fortemente presente nos dispositivos móveis utilizados atualmente, visto que estes representam um grande potencial por já serem integrados por componentes chave necessários à recolha de informação para o *tracking* como a câmara, o acelerómetro e giroscópio, sinal GPS e funcionalidades wireless [13] [14] [15].

2.2.1.2 Display

Display é o meio usado pelo utilizador para visualizar a combinação do ambiente virtual com o ambiente real. Estes são agrupados pela abordagem e tecnologia utilizadas para cumprir o seu propósito [13] [14]. Podem ser:

- **Video see-through (VST):** Estes são caracterizados pela utilização de câmaras de vídeo para capturarem as imagens do meio físico, enquanto o utilizador pode visualizar as imagens já compostas pelos objetos virtualizados através de um ecrã. São o tipo de display mais utilizado dada a facilidade de ter ligada uma câmara a um hardware que já disponha de um ecrã e que seja suficientemente capaz de processar as imagens recebidas, como é o exemplo de computadores, telemóveis ou tablets. No entanto a sua grande limitação está na visualização do meio ambiente que rodeia o utilizador ser indireta e a necessidade de desviar constantemente a sua atenção para o que está no ecrã, que em casos extremos pode colocar em risco a sua segurança.
- **Optical see-through (OST):** São caracterizados pela utilização de sistemas óticos para a visualização dos meios compostos. Usualmente estes sistemas óticos tiram partido de *beam splitters* - componentes óticos utilizados para dividir uma luz incidente em dois feixes de luz -, que combinam a visão do meio físico através da sua transparência com a reflexão das imagens processadas, que são capturadas também com a ajuda de uma câmara. Estes displays já permitem uma visão direta do meio em que está inserido visto serem utilizados entre a visão do utilizador do meio físico, e o meio que físico capturado. Podem ser encontrados mais frequentemente em *smart glasses*.
- **Projection based:** A combinação entre os ambientes ocorre através da projeção direta do meio virtual na superfície do meio físico. Ao contrário dos anteriores, este não necessita que o utilizador tenha algum tipo de tecnologia em si, mas requer hardware

muito próprio, como o caso de projetores, com uma baixa mobilidade e uma fraca performance em ambientes exteriores ou ambientes com muita iluminação natural.

2.2.1.3 Interface de utilizador

As interfaces de utilizador permitem ao utilizador interagir com a visualização composta dos meios. Estas interfaces podem tirar partido de várias formas de input desde interfaces gráficas, ao uso de comandos, e até tirar partido de inputs corporais como gestos ou voz, dependendo do caso da aplicação e hardware usado pelo utilizador para visualização [12][16]. Podem ser:

- **Interfaces gráficas (GUI):** Baseiam-se em fornecer ao utilizador a possibilidade de navegar e interagir com a informação fornecida através das tradicionais interfaces gráficas. Nestes casos o utilizador dispõe de input como teclado, rato, ou toque nos casos de dispositivos móveis com os quais o utilizador já está familiarizado. A grande limitação destas interfaces é a perda da sensação de envolvimento direto do utilizador com a tecnologia AR.
- **UI tangível:** Nestas interfaces os objetos físicos atuam como meio de interação, onde a sua manipulação e movimentação são mapeados para inputs. É a forma mais imersiva do ponto de vista do utilizador, pois permite-lhe interagir com a tecnologia através de objetos que lhe são tangíveis sem a barreira de input dedicado. As limitações destas interfaces são muitas vezes o tamanho do ecrã utilizado para visualizar o meio, que facilmente pode ser insuficiente para capturar a manipulação dos objetos e ainda mostrar a informação resultante do seu input, e a liberdade de movimento do utilizador, visto que este necessita de ter ambas as mãos livres.
- **UI 3D:** São fornecidas tecnologias de 3D UI ao utilizador de forma a que este consiga interagir com o meio virtualizado da forma mais livre possível. A grande diferença entre estas e as tangíveis são os dispositivos de input, dado que estas requerem um hardware de input específico como joysticks 6DOF, ratos 3D, ou apontadores [10].
- **Interfaces naturais:** São as interfaces que permitem que o utilizador utilize input corporal como gestos, que podem ser capturados por uma câmara ou que podem requerer a utilização de luvas especializadas, ou então comandos de voz mapeados para ações.
- **Interação multimodal:** Estas combinam diversas formas de input do utilizador, permitindo assim uma interação mais completa. As modalidades mais utilizadas em conjunto são as interfaces naturais: input através de comandos de voz, e input através de gestos, pois complementam-se em termos quantitativos e qualitativos [10] [16].

2.2.2 Aplicações de realidade aumentada

No que toca a soluções que ataquem especificamente o auxílio de formação/acompanhamento na operação de maquinarias no âmbito da indústria do calçado, não foi encontrada nenhuma que seja capaz de ser comparada diretamente com aquilo que se pretende desenvolver. No entanto, vão ser apresentadas algumas que, tanto por terem a temática do calçado, como por tirarem partido da tecnologia AR para de alguma forma melhorar os processos de manufatura ou formação de uma indústria em específico, apresentam características interessantes a considerar no desenho e desenvolvimento da solução em questão.

2.2.2.1 Na indústria do calçado

Wanna kicks

Da empresa Wannaby, esta é uma aplicação mobile gratuita, relativamente recente da área de marketing e comércio de calçado, mais concretamente de *sneakers* [21]. Com o objetivo de revolucionar a experiência do comprador, utilizando a tecnologia de AR, esta aplicação permite que o utilizador visualize o aspeto que um determinado modelo de sapatilhas tem nos seus próprios pés, através da câmara do telemóvel. Após a escolha do modelo que o utilizador pretende visualizar, a aplicação abre a câmara e tenta detetar pés, em caso de sucesso um modelo 3D dos *sneakers* previamente escolhidos aparece à volta do pé, e até acompanhando o movimento do mesmo. Para além da visualização dos modelos, a *app* também apresenta ao utilizador uma descrição do modelo, o preço esperado, e o encaminhamento a uma loja que o comercializa.



Figura 3 - App Wannakicks

2.2.2.2 Outras indústrias

Boeing

A empresa aeroespacial mundialmente conhecida, Boeing, decidiu tirar proveito da tecnologia de AR para melhorar o complexo processo de instalação de elétrica nas suas aeronaves, e diminuir o erro durante as suas montagens [22] [23]. De modo a substituir os livros ou portáteis que os seus colaboradores usavam para retirar a informação necessária à montagem, que muitas vezes obrigavam o colaborador a interromper uma ação e a direcionar a sua atenção para as instruções, adaptaram o uso de AR *wearables*, mais concretamente os óculos inteligentes da Google. Através dos *wearables* integrados com comandos de voz e/ou inputs no *touch pad*, e o sistema de *tracking* responsável por identificar o que o colaborador esteja a visualizar, este pode aceder a qualquer informação acerca de um determinado tipo de cabo, equipamento, ou peça que esteja envolvida na montagem, sem que necessite de desviar a sua atenção ou parar uma ação que exija instruções mais complexas. Estes dispõem ainda de uma funcionalidade de *streaming* possibilitando a partilha do campo de visão, permitindo uma colaboração imediata e entre ajuda entre colaboradores.



Figura 4 - Solução Boeing [22]

BOSCH CAP

A empresa Bosch, no seu setor automotivo, implementou também uma solução em AR mais conhecido como Common Augmented Reality Platform [24] [25]. De modo a auxiliar o processo de treino de profissionais da área, e com o uso de um dispositivo móvel ou os óculos inteligentes, mais concretamente, os Microsoft HoloLens, a plataforma permite a visualização das componentes internas de um veículo, bem como informações mais detalhadas como imagens, vídeos, cliques de áudio, modelos 3D e instruções de segurança acerca de um determinado modelo que o aprendiz desejar ver com a ajuda de vistas combinadas entre o veículo físico e informação virtualizada utilizando AR. Para além disso, permite também sessões

de treino ou workshops colaborativos, onde desenhos ou indicações podem ser transmitidos para os dispositivos AR dos profissionais em treino.

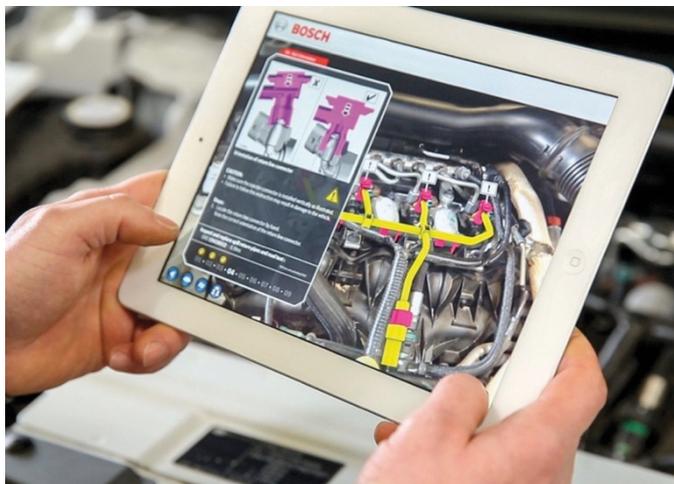


Figura 5 - Solução Bosch CAP [24]

ZEISS AR Metrology

Da empresa ZEISS Industrial Metrology, que como indica o nome é uma empresa da indústria da metrologia, é uma aplicação mobile gratuita, que através da utilização da tecnologia AR procura dar a conhecer as suas máquinas, o seu funcionamento, e algumas curiosidades acerca das mesmas [26]. Esta aplicação é de uma utilização simples, o utilizador começa por seleccionar um modelo 3D da máquina, que lhe seja interessante, para descarregar. Após descarregado, a aplicação abre a câmara e pede ao utilizador que encontre uma superfície plana para posicionar o modelo no meio físico. Depois de posicionado, o utilizador poderá mover a câmara de forma a visualizar o modelo posicionado de diferentes ângulos e distâncias, ou ainda alterar o tamanho ou rotação do modelo utilizando gestos no *touch screen*. Em relação ao modelo em si, este dispõe de variados pontos chave para o utilizador clicar, onde são apresentados factos, animações do modelo de modo a demonstrar o seu funcionamento e raio X da máquina.



Figura 6 - App ZEISS

Liebherr AR Experience

Do grupo Liebherr, o mundialmente conhecido fabricante de maquinarias da área de construção, é uma aplicação que está disponível nas plataformas Android e iOS que dá a conhecer ao utilizador alguns factos sobre as suas maquinarias e o seu funcionamento [27]. Esta aplicação consiste num ecrã principal onde o utilizador poderá seleccionar a máquina que pretende visualizar, bem como uma breve introdução a esta. Depois de seleccionada, a aplicação abre a camera do dispositivo, pede que esta seja apontada para uma superfície plana no seu meio físico onde o modelo possa ser colocado, e de seguida pede ao utilizador que posicione o modelo num sítio e rotação que mais lhe seja conveniente. Após fixado o modelo, este disponibiliza pontos chave espalhados por si que contêm informação detalhada acerca do modelo e do seu funcionamento. Esta informação é apresentada no formato de áudio acompanhado de uma animação do próprio modelo.



Figura 7 - App Liebherr

2.2.2.3 Na formação

Atualmente esta tecnologia pode ser encontrada nas mais variadas áreas, e estão entre as mais populares o entretenimento com os vastamente utilizados filtros faciais das redes sociais, e a área de jogos com jogos que obrigam a interação do utilizador com o meio que o rodeia, por exemplo o jogo Pokemon GO. No entanto na área de educação, vários estudos realizados até agora sugerem que esta pode ter um impacto positivo no aluno, quando comparado com as metodologias tradicionais. Aliando materiais informativos como a apresentação de material escrito, visual ou sonoro, com a visualização virtual e interação de um objeto ou componente a ser estudado, que podem não estar disponíveis para exemplificação para todos os alunos, torna a experiência do aluno mais completa, com aspetos específicos que podem não ser tao evidentes em vídeos ou simples imagens [17], e permite uma exploração ao seu próprio ritmo, permitindo assim uma experiência adaptada a si mesmo [18]. Não só estas características podem ter um impacto positivo na experiência, como também na motivação do aluno.

Limitações

Para além das vantagens apontadas acima, existem também algumas limitações relacionadas com o uso desta tecnologia, que podem não estar diretamente relacionadas com o uso na área da educação, mas que naturalmente acabam por ter um impacto negativo na experiência do utilizador. Algumas delas são: problemas na usabilidade, onde o utilizador sente dificuldades em interagir com a tecnologia por falta de interfaces gráficas apropriadas; necessidade de um elevado esforço cognitivo quando a quantidade de informação é atirada ao utilizador em demasia, ou com uma grande quantidade de detalhes; e por fim, problemas técnicos relacionados com o funcionamento da tecnologia em si [19] [20].

Existem também ainda algumas condições a serem consideradas na decisão da abordagem a ter com a utilização desta tecnologia de forma a criar um impacto positivo na experiência de aprendizagem - o uso simplificado da mesma não basta para que se note uma diferença entre esta e outras metodologias. Em estudos feitos onde o foco principal era a comparação da aprendizagem e interação do utilizador submetido a diferentes metodologias de aprendizagem, algumas das conclusões foram que apesar da utilização da tecnologia de AR ter maioritariamente um impacto positivo nos indivíduos no que toca a envolvimento, interesse e foco, estes não mostraram uma diferença suficientemente notória no que toca a ritmo de aprendizagem ou uma melhor retenção da matéria e até curiosidade. Estas conclusões levam então a crer que apesar desta tecnologia ter potencial para melhorar a experiência do utilizador, deve ser considerado que esta tem de ser acompanhada por outros estimulantes visuais e interativos de forma a complementar o tradicional texto informativo. [37]

2.2.3 Ferramentas de desenvolvimento

No que toca a ferramentas de desenvolvimento de aplicações AR existem, hoje em dia, variadas opções que se diferenciam umas das outras pelo tipo de projeto que se pretende desenvolver e pela tecnologia que disponibilizam para a criação de soluções AR. Este projeto foca-se principalmente nas que existem para mobile.

Vuforia

Este é um SDK que suporta Android e iOS nativos ou ainda Unity. Sendo um dos mais conhecidos atualmente, este disponibiliza uma API bastante completa que possibilita o desenvolvimento de variadas *apps* em AR. As suas funcionalidades mais conhecidas são: suporte para soluções *marker* e *markerless*; identificação e localização de objetos 2D e 3D; posicionamento de modelos 3D e informação digital em função do meio físico. Esta é uma solução paga, com a possibilidade de utilizar uma versão gratuita mais limitada [28].

Wikitude

O Wikitude SDK é pago, contando uma versão gratuita limitada, que suporta Android, iOS, Windows OS e outros dispositivos. Este permite o desenvolvimento de aplicações *marker-based* e *location-based*, e ainda a tecnologia SLAM. As suas principais características são: renderização de modelos 3D, *tracking* de imagens e objetos, *tracking* simultâneo utilizando a tecnologia SLAM e geolocalização [29].

AR Core

É um SDK da mundialmente conhecida Google, que permite o desenvolvimento de aplicações AR para dispositivos Android. As suas três capacidades chave que permitem o desenvolvimento em AR são: *tracking* de movimentação que permite detetar a posição e orientação do telemóvel, deteção do meio físico que o rodeia permitindo a deteção do tamanho e posição superfícies e estimativa das condições de luz do meio ambiente em que se insere [30].

Kudan

É um SDK de AR que suporta Android, iOS e Unity, necessita de uma licença paga possibilitando também uma licença gratuita mais limitada. As principais capacidades são: possibilidade de *tracking marker-based* e *markerless*, reconhecimento de imagens 2D e 3D e tecnologia de localização e mapeamento simultâneo (SLAM) [31].

3 Análise de valor

3.1 The new concept development (NCD) model

O processo de inovação é tipicamente dividido em três partes: o *front-end* da inovação, o desenvolvimento do novo produto, e a comercialização. Sendo o *front-end* considerado uma parte crítica deste processo, foi criado um modelo com o intuito de fornecer uma visão mais abrangente desta fase do processo chamado *the new concept development model*.

Este modelo consiste então em dividir o *front-end* em três áreas: o motor, a roda e o aro. O motor representa os atributos organizacionais, equipas, e colaboração, e é o que potencia o *front-end* da inovação; a roda representa os cinco elementos-chave do *front-end*; e o aro que representa os fatores ambientais que têm a sua influência nas áreas até agora descritas, como por exemplo, clientes e as influências mundiais, ou mudanças regulatórias. Este modelo está representado na figura 1 abaixo apresentada, onde as setas representam os pontos de começo para projetos, e indicam que um projeto poderá começar na identificação de oportunidades, ou na geração de ideias [32].

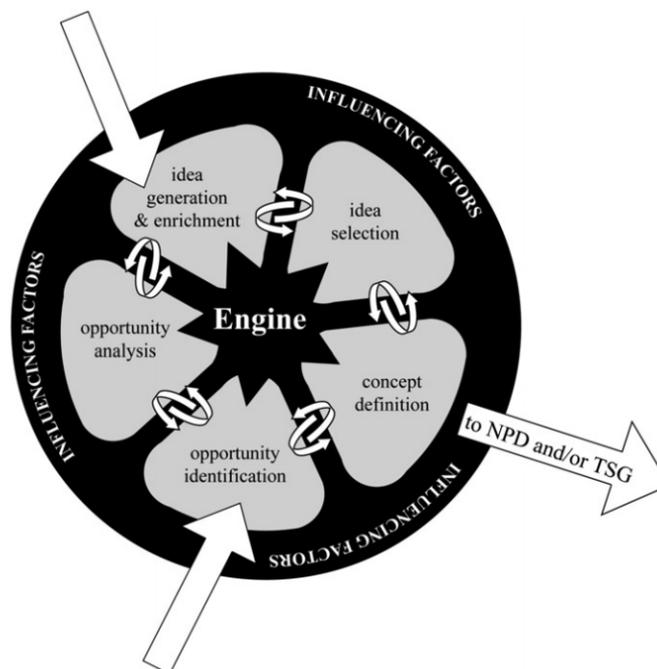


Figura 8 - Modelo NCD [32]

Identificação de oportunidade

Este elemento, como o próprio nome indica, foca-se na identificação de oportunidades que são potenciais áreas de interesses, e/ou na definição de mercados ou tecnologias em que um indivíduo ou organização tenha interesse em se inserir. Normalmente direcionado pelos objetivos de negócio previamente definidos. Os métodos de identificação podem ser tanto formais como traçar *roadmaps*, ou diferentes análises relevantes como a tendências de clientes, ou de tecnologias de interesse, ou informais como sessões *ad hoc* ou recolha de opiniões individuais [33].

Neste projeto, a oportunidade identificada foi a necessidade de inovação na indústria de calçado. Estando o grupo GILT já familiarizado com esta indústria, por participação noutros trabalhos/estudos relacionados com esta, foi reconhecida a oportunidade de auxiliar a inovação tecnológica da mesma.

Análise de oportunidade

Depois de identificada a potencial oportunidade, é inevitável a realização de uma análise capaz de apurar se esta é viável e/ou adequada para os interesses da organização ou indivíduo. É neste elemento que é recolhida informação adicional responsável por traduzir a identificação feita, em negócios específicos ou oportunidades tecnológicas. Grande parte dos métodos e ferramentas usadas na análise também são usadas na identificação, como por exemplo *roadmapping*, e análise de tendências de tecnologia, com a diferença no propósito de utilização destas e nos recursos gastos na sua utilização, visto a análise ser mais dispendiosa dada a conveniência de resultados detalhados [33]. Uma análise a uma oportunidade de grande escala pode tipicamente incluir:

- Enquadramento estratégico – determinar de que forma é que a oportunidade encaixa no mercado da organização.
- Avaliação do segmento de mercado – análise detalhada de um mercado, com visão em variados fatores que podem impactar o mesmo.
- Análise da competição – determinar a competição nos segmentos de mercado anteriormente analisados.
- Avaliação de clientes – determinar que necessidades de clientes é que estão em faltas noutros produtos semelhantes.

Adequando este elemento ao projeto, dada a oportunidade de inovar a indústria em questão, sendo ela uma indústria com uma forte presença no norte de Portugal com alguma falta de pessoal devidamente qualificado, concluiu-se que a oportunidade de inovar no auxílio de formação da indústria seria benéfico dada a falta de soluções tecnológicas e necessidade de apelar a pessoal jovem profissional.

Geração de ideias e enriquecimento

Este elemento está relacionado com o desenvolvimento e maturação de uma ideia em concreto. Partindo do princípio de que possíveis ideias foram recolhidas, cada uma delas passa por diferentes iterações e modificações à medida que são estudadas e discutidas. Os métodos utilizados podem ser processos formais como sessões de brainstorming, como podem surgir de uma forma mais natural [33].

Após a decisão de arranjar uma solução capaz de alguma forma de auxiliar a formação na indústria do calçado foram surgindo algumas ideias relacionadas com a forma de resolução do problema, e com a tecnologia a usar. As que mais se destacaram foram: utilização de AR para visualização de diferentes materiais/modelos de calçado; visualização e interação com maquinarias usadas na indústria do calçado, com possibilidade de utilização tanto de AR como VR.

Seleção de ideias

Apresentadas as potenciais ideias, como o próprio nome indica, é necessário fazer uma seleção de qual a ideia a seguir. Esta seleção representa uma das decisões mais difíceis dado que tem um forte impacto no futuro sucesso de negócio. Os métodos utilizados para a seleção podem ser informais e simplificados, como uma análise e escolha individual, tal como pode estar sujeito a processos mais formais, como a anteriormente falada sessão de brainstorming, ou sessões de feedback dado aos indivíduos responsáveis pela geração da ideia [33].

Depois de apresentadas algumas ideias que poderiam interessar a oportunidade identificada, foram descartadas as ideias consideradas menos interessantes tendo em conta o mercado em que a solução se encaixa, como por exemplo, a exclusão da utilização de tecnologia VR por representar uma necessidade da aquisição de material específico onde outras tecnologias semelhantes como o AR teriam um impacto semelhante.

Definição de conceito

Por fim, o último elemento, e o único que poderá representar a passagem da fase de *front-end* para o desenvolvimento de um novo produto. Nesta fase é agregada toda a informação relevante à volta da ideia escolhida e do mercado impactado, com o intuito de se mostrar um conceito viável para investimento [33].

Neste projeto, o estudo e desenvolvimento de uma app capaz de auxiliar a formação de operação de maquinarias na indústria do calçado arrancou com o intuito de facilitar a interação do aprendiz com a máquina que este pretender, com a ajuda de tecnologia capaz de envolver o individuo numa experiência de aprendizagem imersiva.

3.2 Valor

No núcleo do seu fundamento, a análise de valor procura identificar e eliminar funcionalidades de um determinado produto ou serviço que inflacionem o custo de produção ou desenvolvimento de um produto e que não adicionem valor significativo para os seus clientes. De forma a atingir este objetivo é importante perceber qual o verdadeiro significado de valor, em que contextos pode ser discutido e de que forma pode ser racionado.

Quando se fala em valor de um produto existem três elementos essenciais a considerar:

- **Valor de utilidade** - quão útil/funcional deve ser;
- **Valor de estimação** - relacionado com o valor subjetivo e estético atribuído pelo cliente;
- **Valor do mercado** - aquilo que o mercado está disposto a pagar pelo produto, resultado da junção do valor de utilidade com o valor de estimação.

Qualquer tentativa de aperfeiçoamento de um determinado produto tem de ter em consideração estes três elementos e a sua gestão de forma a que haja uma maior geração de valor para o cliente.

No entanto pode existir uma diferença entre a interpretação de valor de um produto entre clientes distintos, onde cada um deles percebe este valor de forma diferente dependendo das suas necessidades e/ou expectativas. Estas funções podem ser uma combinação entre performance, aptidão, apelo emocional, entre outros. Assim, relativizando estas funções com o custo do produto, o seu valor pode se expressar por:

$$Valor = \frac{performance + aptidão}{custo} = \frac{função}{custo}$$

No contexto do projeto a ser desenvolvido, de forma a avaliar o valor para o cliente é necessária uma compreensão de benefícios e sacrifícios a que este está sujeito. No que toca a benefícios, estes podem ser vistos de duas perspetivas de utilização que embora estejam fortemente acopladas podem ter implicação ligeiramente divergentes - o utilizador que está a obter a formação, que com a utilização da tecnologia de AR poderá visualizar e aceder a informação relacionada com uma determinada máquina sem necessitar de ter uma na sua pose ou de estar fisicamente presente junto a ela; e a entidade que fornece a formação que poderá substituir o custo de recursos associado à utilização de máquinas físicas para fins exclusivamente educativos com a utilização de uma tecnologia inovadora e interativa. No que toca a sacrifícios, está presente a clara necessidade de possuir/fornecer um hardware capaz de suportar a tecnologia utilizada.

3.3 Proposta de valor

A proposta de valor permite definir a forma como determinados produtos ou serviços são capazes de trazer valor significativo a um segmento específico de clientes, destacando-se daquilo que já é fornecido pela concorrência. De forma que esta se torne favorável, deve fornecer benefícios suficientemente distintos e focados em resolver os problemas dos seus clientes, bem como preencher as suas necessidades e vontades. Através do fornecimento de respostas a algumas afirmações chave como “o quê”, “a quem”, “como” e “porquê” uma proposta de valor deve ser capaz de clarificar o cliente na sua decisão final acerca do interesse num produto ou serviço.

Este projeto visa o desenvolvimento de uma aplicação de realidade aumentada capaz de fornecer informação relacionada com as máquinas utilizadas na indústria do calçado através visualização dos seus modelos em tempo real bem como as suas características e particularidades de funcionamento. Assim sendo, a proposta de valor reside na capacidade do utilizador de ter acesso em tempo real e através de Realidade Aumentada à informação de funcionamento, características e funcionalidades das máquinas da indústria de calçado.

Direcionada para a área de formação desta indústria, a solução pretende auxiliar entidades que fornecem esta formação, bem como os seus formandos, ao disponibilizar uma solução de formação just in time de uma forma mais imersiva. Atualmente, estas formações baseiam-se nas metodologias tradicionais com a necessidade de recursos visuais estáticos ou ao modelo físico em si. Com a utilização da solução, a visualização de informação/modelo de uma determinada máquina poderá ocorrer em qualquer lugar e espaço, sem recorrer a recursos adicionais além do hardware onde a aplicação é suportada.

No mercado atual não existe uma solução semelhante para além das já mencionadas metodologias tradicionais como livros ou documentos educacionais. Esta solução pretende inovar tecnologicamente uma porção desta indústria, também na tentativa de cativar jovens profissionais de que esta área carece atualmente.

3.4 Modelo de negócio canvas

O modelo de negócio descreve a forma como uma empresa ou organização captura, criar e entrega valor [34]. Este modelo pode ser construído através da definição de nove blocos fundamentais, onde é descrito o funcionamento de uma empresa nas áreas principais do negócio como: clientela, oferta, infraestrutura e viabilidade financeira. Estes blocos são:

1. **Parceiros chave:** descreve a rede de parcerias e fornecedores envolvidos no funcionamento do negócio;
2. **Atividades chave:** descreve as principais atividades ou ações que devem ser tomadas para um viável funcionamento do negócio;

3. **Recursos chave:** recursos que podem ser físicos, financeiros, intelectuais ou humanos necessários ao funcionamento do negócio;
4. **Estrutura de custos:** descreve os custos a que o negócio está sujeito;
5. **Propostas de valor:** descreve o conjunto de produtos/serviços que são capazes de criar valor para um segmento específico de clientes;
6. **Relação com o cliente:** descreve o tipo de relação que pretende que seja estabelecida entre a organização/empresa e os seus clientes;
7. **Canais:** define os meios utilizados para alcançar e comunicar com o seu segmento de clientes;
8. **Segmentos de clientes:** define o grupo ou comunidade de clientes que pretende alcançar e cativar;
9. **Fluxos de receita:** descreve a receita financeira gerada pelos segmentos de cliente

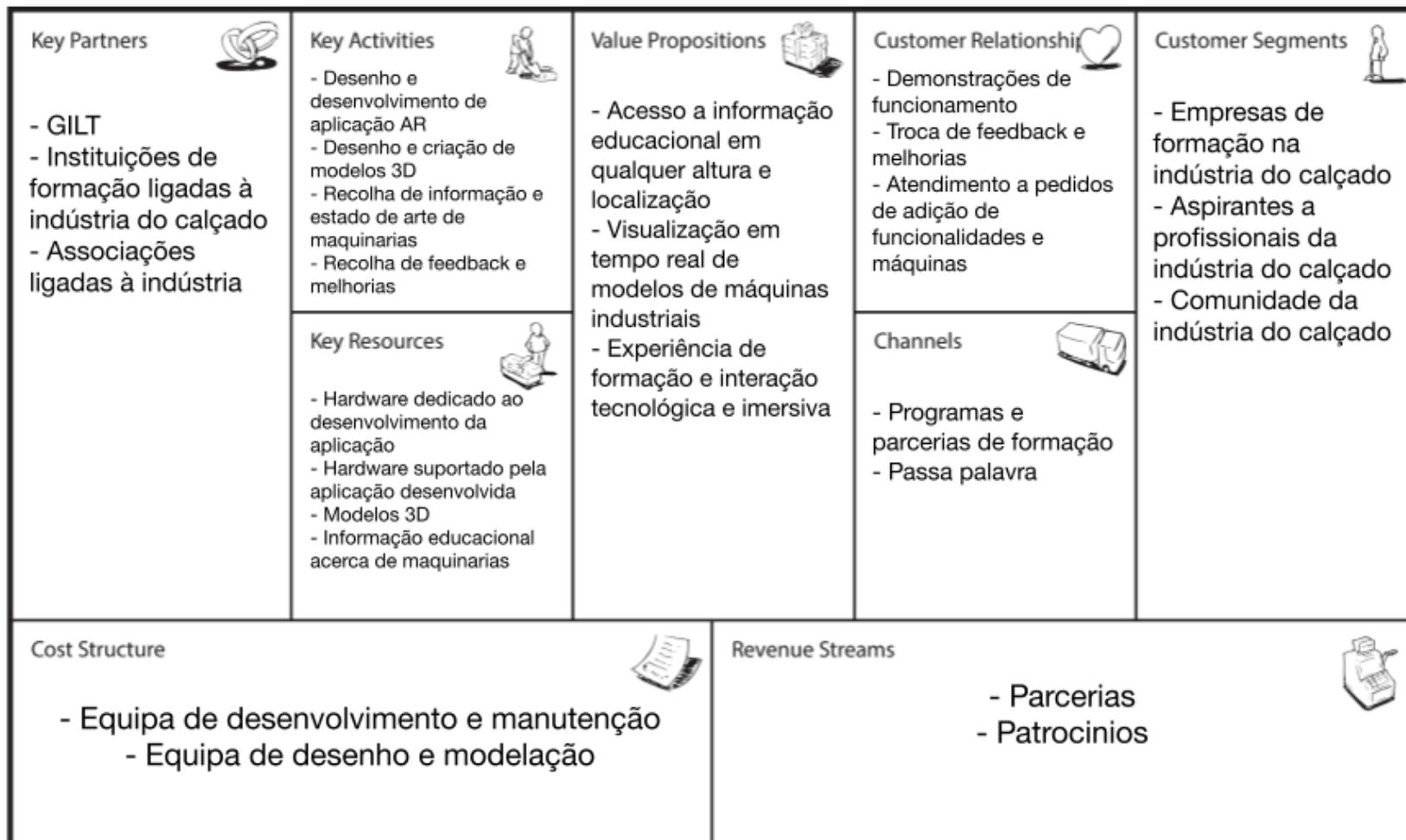


Figura 9 - Modelo canvas

3.5 Modelo de Verna Allee

O modelo apresentado por Verna Allee descreve os negócios como sendo redes de valor. Estas redes de valor são representadas pelos constituintes de um negócio que poderão ser outras empresas parceiras, fornecedores, clientes, ou comunidades, e pelas trocas dinâmicas que existem entre si, que são feitas em torno de interesses de valor [35]. Estes interesses de valor, que podem também ser chamados de moeda por servirem como meio de troca, subdividem-se em três principais categorias:

1. **Bens, serviços e receitas:** sendo estes o principal foco de modelos como a cadeia de valor, representam as trocas de bens tangíveis que podem englobar contratos, faturas, lucros, pagamentos entre outros.
2. **Conhecimento:** trocas de informação essencial ou relevante para o negócio. Estes ganharam a sua relevância com a modernização das redes de comunicação e informatização de sistemas. Podem englobar conhecimento estratégico, de planeamento, político, entre outros.
3. **Benefícios intangíveis:** aqueles que normalmente não estão incluídos nas medidas financeiras, mas que representam ganhos que vão além do produto/serviço. Alguns exemplos são a lealdade da clientela, senso de comunidade, e aprimoramento de imagem de empresa ou produto.

Na modelação de negócio a relação entre as entidades, as suas trocas e direções das mesmas têm de estar bem definidas de forma a ser perceptível que atividades da organização são capazes de gerar determinado valor para o seu cliente e para si mesmo [35].

No contexto do documento, a rede de valor é fortemente integrada na comunidade da indústria do calçado pois é para ela que se pretende criar valor e, dada a sua natureza académica, baseia-se maioritariamente na troca de bens intangíveis, mais concretamente passagem de conhecimento. O modelo de Verna Allee encontra-se na figura abaixo.

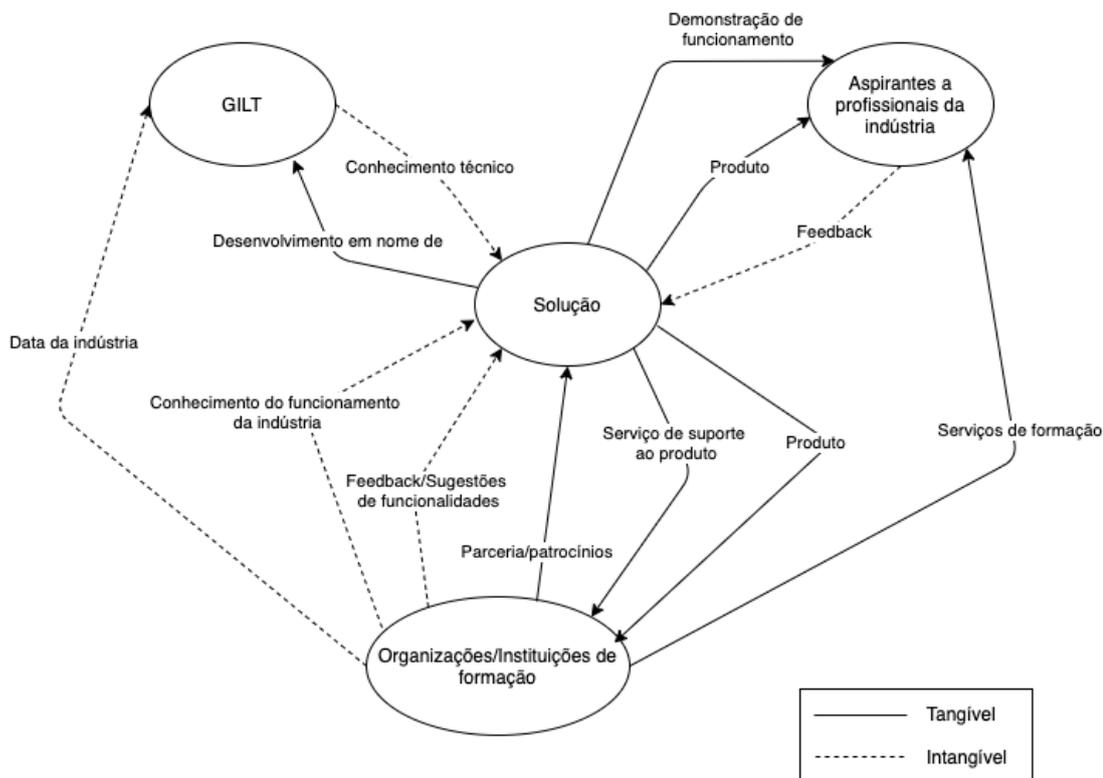


Figura 10 - Modelo de Verna Allee

3.6 Método AHP

O método de análise hierárquica, mais conhecido em inglês por *Analytic Hierarchy Process*, é um método de decisão multicritério que tem como objetivo auxiliar o processo de decisão de uma opção de um conjunto discreto de alternativas. Este método pode ser dividido em sete partes, que se inicia pela decomposição do problema de decisão numa hierarquia integrada por objetivo, critérios e alternativas [36].

Tomando como problema a escolha da tecnologia a utilizar num meio de formação tecnológico, onde os critérios são:

- Grau de imersividade: capacidade de imergir o utilizador no tópico da *app*;
- Custo de hardware: acessibilidade a hardware capaz de correr a *app*;
- Disponibilidade: a possibilidade de tirar completo proveito da aplicação em qualquer altura e lugar.

Com o objetivo definido e os seus critérios estabelecidos, é possível construir a árvore hierárquica que será a base da análise. As alternativas possíveis para o resultado final são: *app* em AR, *app* em VR ou uma *app* standard.

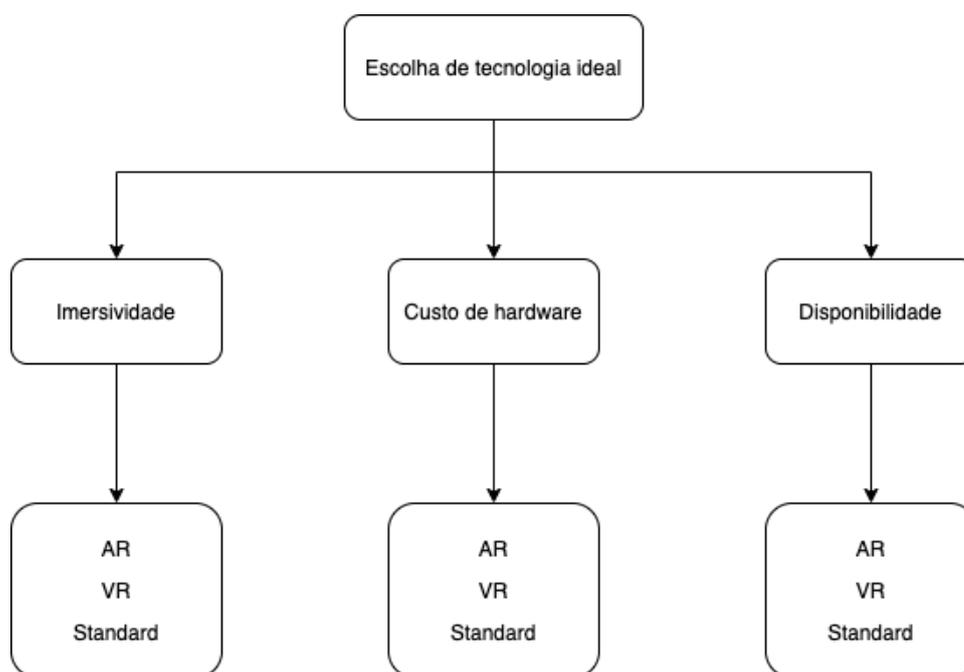


Figura 11 - Árvore hierárquica base

Antes de serem analisadas as alternativas devem ser primeiro estabelecidas as prioridades entre os critérios de decisão. Estas prioridades são obtidas através da construção de uma matriz de prioridades. Nesta matriz, os critérios são colocados numa tabela par a par com os seus valores correspondentes de prioridade. Esta escala de prioridade está definida de 1 a 9.

Tabela 2 - Prioridade entre critérios

	Imersividade	Custo hardware	Disponibilidade
Imersividade	1	5	1/2
Custo hardware	1/5	1	1/5
Disponibilidade	2	5	1

Esta matriz é então utilizada para estabelecer a prioridade relativa de cada um dos critérios de forma a obter o vetor da prioridade relativa.

Tabela 3 - Prioridade relativa de cada critério

	Prioridade relativa
Imersividade	0,352
Custo hardware	0,089
Disponibilidade	0,559

Continuando, é avaliada a consistência das prioridades relativas através do cálculo da razão de consistência que tem como objetivo medir o quanto os julgamentos foram consistentes em amostras de juízos aleatórios.

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 1/2 \\ 1/5 & 1 & 1/5 \\ 2 & 5 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,352 \\ 0,089 \\ 0,559 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,076 \\ 0,271 \\ 1,708 \end{bmatrix}$$

$$\lambda \max = \text{média} \left\{ \frac{1,076}{0,352}, \frac{0,271}{0,089}, \frac{1,708}{0,559} \right\} = 3,054$$

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} = \frac{3,054 - 3}{3 - 1} = 0,027$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,027}{0,58} = 0,046$$

Obtido um grau de confiança de aproximadamente 0,0460 que é um valor menor que 0,1 podemos afirmar que os valores das prioridades relativas são consistentes e confiáveis.

Com os critérios estabelecidos, as alternativas são agora o próximo foco de comparação relativamente a cada um dos critérios. De modo a simplificar, cada alternativa é atribuída a uma letra:

- X – AR
- Y – VR
- Z – Standard

Primeiramente é construída uma tabela com a comparação relativa à imersividade, onde mais uma vez são usados valores compreendidos de 1 a 9. Aqui os valores de VR são os maiores dada a imersividade naturalmente criada pela tecnologia, seguida de AR.

Tabela 4 - Prioridade das alternativas quanto à imersividade

	X	Y	Z	Prioridade
X	1	1/3	5	0,279
Y	3	1	7	0,649
Z	1/5	1/7	1	0,072

Depois comparadas relativamente ao custo de hardware. Aqui tem-se em conta que o utilizador de uma aplicação mobile já tem o equipamento necessário. Já VR requer um hardware especializado.

Tabela 5 - Prioridade das alternativas quanto ao custo de hardware

	X	Y	Z	Prioridade
X	1	5	1/2	0,342
Y	1/5	1	1/6	0,081
Z	2	6	1	0,577

E por fim comparadas relativamente à disponibilidade. Por fim, na disponibilidade VR tem os valores mais baixos dada a necessidade do equipamento especializado para utilização que adiciona algumas restrições ao momento de utilização.

Tabela 6 - Prioridade relativa quanto à disponibilidade

	X	Y	Z	Prioridade
X	1	3	1	0,405
Y	1/3	1	1/7	0,114
Z	1	7	1	0,481

Com as prioridades relativas de cada alternativa a cada critério é então finalizado a árvore hierárquica construída inicialmente, dando origem a uma matriz de prioridades.

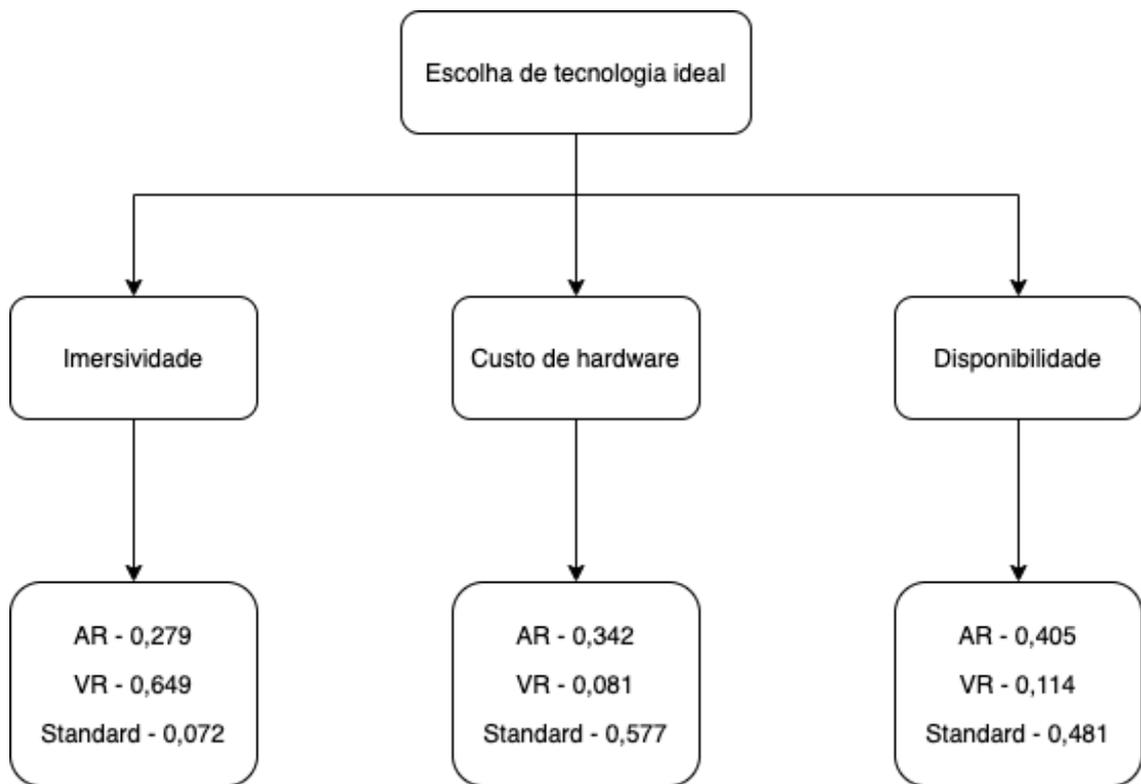


Figura 12 - Árvore hierárquica completa

Essa matriz de prioridades é então multiplicada pelo vetor de prioridades relativas calculado anteriormente de forma a obter o melhor resultado.

$$\begin{bmatrix} 0,279 & 0,342 & 0,405 \\ 0,649 & 0,081 & 0,114 \\ 0,072 & 0,577 & 0,481 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,352 \\ 0,089 \\ 0,559 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,355 \\ 0,299 \\ 0,345 \end{bmatrix}$$

E por fim, selecionada a alternativa mais indicada. Neste caso podemos ver que apesar das alternativas terem resultados bastante próximos, AR é a que tem o maior valor, representando assim a melhor escolha.

4 Design e desenvolvimento

Este capítulo visa representar o design e implementação da solução final. Aqui serão encontrados em mais detalhe técnico alguns detalhes fundamentais como requisitos funcionais e não funcionais, a arquitetura visionada e implementada da solução, e escolhas e limitações que surgiram ao longo do período de desenvolvimento.

4.1 Avaliação de abordagens existentes

De forma a chegar a requisitos que se mostram interessantes com a utilização de AR foi feita uma avaliação conclusiva da informação recolhida ao longo do capítulo 2. Juntando o problema retratado e todas as suas nuances com o estado de arte da tecnologia e de soluções já existentes, é feita uma comparação e avaliação de forma a separar as melhores abordagens de que a solução deste documento pode tirar partido.

4.1.1 Critérios

Como já descrito na análise de valor, a solução pretendida deve consistir no desenvolvimento de uma aplicação AR que seja capaz de auxiliar o processo de formação *just in time* na operação de máquinas ligadas à indústria do calçado. Dado que as máquinas normalmente são operadas por um único operador, é expectável que a solução se incline para uma experiência individual, e de alta mobilidade de forma a conseguir garantir o fator de informação imediata quando necessária, sem restrições como por exemplo conexão à internet ou localização específica.

Para além da experiência de utilizador, é também ideal que a abordagem escolhida remova e/ou reduza a necessidade da utilização a recursos externos como a presença da máquina física, pelo que a utilização de modelos 3D que representem as máquinas seria preferencial embora que não obrigatório. Adicionalmente, o hardware necessário para correr a aplicação deverá ser, se possível, um dispositivo o mais acessível dentro do possível.

4.1.2 Comparação de abordagens

Nas soluções existentes encontradas, nenhuma corresponde concretamente à utilização de realidade aumentada na operação de máquinas ligadas à indústria do calçado, no entanto todas elas têm o propósito altamente acoplado com o auxílio no setor da produção das suas respetivas indústrias, e todas trazem abordagens interessantes para a utilização de AR nesse efeito.

As soluções podem ser divididas em duas categorias: 1) as utilizadas para integração no dia-a-dia de trabalho e que contêm informação específica de uma ação a ser realizada; 2) as utilizadas para demonstração do funcionamento de maquinarias da sua indústria. Embora a solução pretendida se identifique mais com as soluções 2), existem aspectos interessantes presentes nas soluções 1) a serem considerados. Já a aplicação Wannakicks não se mostra tão relevante para o problema deste documento visto que embora se insira na indústria do calçado, o seu propósito é focado na área de marketing. A tabela abaixo apresenta alguns detalhes e funcionalidades de AR presentes nessas soluções.

Tabela 7 - Comparação de abordagens

	Visibilidade	Hardware	Meios de informação	Modelos 3D	Posicionamento de modelos	Input	Colaborativa
Boeing	Proprietária	Óculos	Áudio Texto Animações Vídeos	Não	-	Comandos de voz Touch screen	Sim
BOSCH CAP	Proprietária	Óculos Dispositivo móvel	Texto	Sim	Complementar ao objeto físico	Touch screen Gestos	Sim
ZEISS AR Metrology	Pública	Dispositivo móvel	Texto Animações	Sim	Superfície plana	Touch screen	Não
Liebherr AR experience	Pública	Dispositivo móvel	Texto Áudio Animações	Sim	Superfície plana	Touch screen	Não

Pela análise da tabela é imediatamente perceptível que as soluções proprietárias têm o seu foco virado para uma formação completa e personalizada dos colaboradores da sua empresa. A utilização de hardware mais específico como os óculos inteligentes, as funcionalidades colaborativas, que permitem o *streaming* da visão ou a manipulação da informação que aparece no campo de visão de outrem, e um input mais personalizado com comandos de voz ou gestos constituem soluções muito mais custosas e complexas tanto a nível de hardware - sendo necessária a aquisição dos óculos inteligentes que não são considerados acessíveis, como a nível de desenvolvimento técnico - a necessidade de integração de comandos de voz e gestos, bem como soluções colaborativas em tempo real são áreas algo complexas que podem representar um interesse no futuro, mas que atualmente se consideram inatingíveis no prazo estipulado para o decorrer do projeto, e ainda ao nível cognitivo necessário para a sua utilização - a necessidade de formação dos próprios formadores que utilizam a tecnologia.

Já as soluções públicas têm várias semelhanças com o que seria expectável para a solução deste projeto, a utilização de modelos 3D das máquinas em questão, com o apoio de meios de informação textual e audiovisual constituem a base pensada para a resolução do problema de onde a solução poderá ainda crescer. Assim sendo, as principais características a retirar da comparação de abordagens são:

- Utilização de dispositivos móveis como hardware;
- Embora os textos sejam o principal meio de informação desejado, a utilização de outros meios torna a solução mais apelativa;
- Utilização de modelos 3D para a demonstração de objetos;
- Utilização do *touch screen* como meio de input.

4.2 Design conceptual

A solução visa o desenvolvimento de uma aplicação móvel de AR que permite a visualização de máquinas relacionadas com a indústria do calçado e informação relevante acerca destas. De forma a atingir o resultado final pretendido é necessário que primeiro sejam estabelecidos os componentes que fazem parte da aplicação, as suas responsabilidades e a forma como interagem entre si.

Começando pelo dispositivo físico que correrá a aplicação - um dispositivo móvel equipado com câmara, que será o componente responsável por capturar imagens do meio físico, sensores necessários que auxiliam na determinação do posicionamento e orientação do dispositivo, e um processador potente o suficiente para ser capaz de renderizar o modelo 3D na máquina em função da informação capturada pela câmara e pelos sensores. Grande parte dos telemóveis de hoje em dia dispõem destes componentes descritos.

De um ponto de vista técnico, o desenvolvimento direcionado para o dispositivo móvel é suportado pela *framework* necessária à plataforma para o qual este está a ser desenvolvido (e.g. Android, iOS, Unity, entre outros) e o desenvolvimento das funcionalidades que tiram partido de AR é suportado por um SDK escolhido para esse fim, como os que foram apresentados na secção 2.2.3.

Resumidamente, o conceito da aplicação consiste em capturar a informação que rodeia o utilizador, com a ajuda da tecnologia, aumentar informação acerca das máquinas e dar a possibilidade ao utilizador de interagir com os modelos aumentados. A figura abaixo representa o funcionamento e interação dos componentes do conceito.

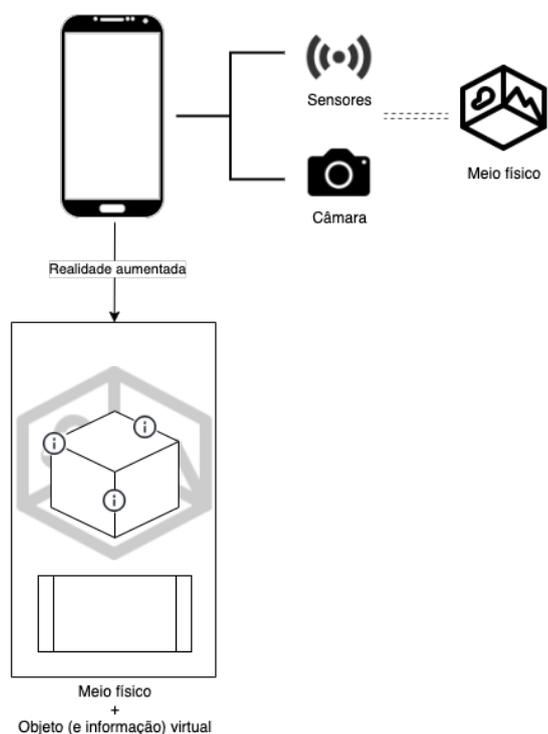


Figura 13 - Modelo de conceito

4.3 Engenharia de requisitos

De forma a explicitar com mais clareza de que forma é que a solução pretendida para o problema acima explicado se traduzirá em desenvolvimento técnico é necessário primeiro um recolhimento de requisitos. Estes requisitos seguem o modelo de classificação FURPS+, onde a funcionalidade está descrita nos requisitos funcionais, as restantes categorias nos requisitos não funcionais e ainda as restrições.

4.3.1 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais descrevem de forma explícita as funcionalidades e serviços disponibilizados ao utilizador. Toda a solução é focada num único interveniente, um utilizador simples sem qualquer papel, e foca-se principalmente em fornecer uma experiência de formação individual e não colaborativa, pelo que o objetivo é adaptar a forma de aprendizagem à sua própria interação com a máquina ou objeto virtualizado.

Embora a existência de um único tipo de utilizador a interagir com o sistema possa transparecer demasiada simplicidade, o principal desafio desta solução esteve presente na utilização da tecnologia escolhida e a forma como esta possibilita uma interação e experiência mais enriquecedora ao utilizador. Abaixo encontram-se listados os principais requisitos funcionais da solução:

- A aplicação deve conseguir identificar uma das máquinas suportadas, com o auxílio da camera do dispositivo, quando uma imagem semelhante à mesma se encontre enquadrada no campo de visão da mesma;
- A aplicação deve conseguir identificar uma das máquinas suportadas, com o auxílio da camera do dispositivo, quando a mesma se encontre enquadrada no campo de visão da mesma;
- O utilizador deve ser capaz de identificar qual a máquina a ser apresentada através de informação textual;
- O utilizador deve ser capaz de identificar qual a máquina a ser apresentada através da presença de um modelo 3D da mesma;
- O utilizador deve ser capaz de retirar informação sobre a máquina em questão, através de animações interativos e texto informativo;
- O utilizador deve ser capaz de aceder à informação da aplicação sem necessitar de qualquer recurso adicional (localização, internet, entre outros) para além de um dispositivo capaz de suportar a *framework* de AR.

De forma a suportar os requisitos descritos acima, também foi se pressupôs que seria necessário uma recolha e/ou adaptação de recursos externos como:

- Modelos 3D das máquinas de interesse;

- Animações relativas ao funcionamento das máquinas;
- Fotografias para reconhecimento das máquinas;
- Informação técnica relativa ao funcionamento das máquinas.

4.3.2 Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais representam o comportamento da solução no que toca a determinadas especificações que não se traduzem em funcionalidades explícitas. Estes são normalmente relativos a usabilidade, confiabilidade, performance, suportabilidade e outros.

Usabilidade

A usabilidade está fortemente relacionada com a interface de utilizador e a sua qualidade em aspetos como a acessibilidade, estética e consistência.

No âmbito deste projeto, como já referido ao longo do documento, a interface de utilizador tem de se integrar de forma fluída com a tecnologia de AR. Esta deve ser simples o suficiente e fácil de usar sem tirar o foco da tecnologia principal - o modelo aumentado, e ao mesmo tempo eficiente no auxílio à imersão com AR. Os botões não devem sobrepor qualquer parte do modelo, e a informação textual deve ser mostrada em destaque, mas sem fazer desaparecer o modelo.

Confiabilidade

A confiabilidade diz respeito a aspetos como a disponibilidade, precisão e recuperabilidade.

Um dos principais problemas em aplicações de realidade aumentada é a precisão do ancoramento dos objetos virtualizados com o meio físico que rodeia o utilizador, o que se pode traduzir numa má experiência para o utilizador. Desta forma, a solução deve garantir que estes casos de falta de precisão devem ser o mais reduzido possível, e dando a possibilidade de reposição da cena em caso de falha ou posicionamento perdido. A solução deverá também garantir que o utilizador seja capaz de utilizar a aplicação no maior número de ambientes físicos possível.

Performance

A performance está relacionada com a capacidade de recuperação em casos de falha, e os seus tempos.

Deve ser claro para o utilizador quando algo no seu ambiente está em falta (luz, características encontradas, entre outros), para que o utilizador seja capaz de se adaptar e tirar o maior partido do melhor ambiente performativo da *app*.

Suportabilidade

Os requisitos de suportabilidade estão associados a testabilidade, adaptabilidade, manutenibilidade, compatibilidade, escalabilidade, entre outros.

Neste projeto apenas algumas máquinas e informação serão apresentadas numa fase inicial, no entanto é expectável que a solução esteja apta para possibilitar a adição de modelos e mais informação no futuro. Esta deve estar também apta para a adição de outros meios de apresentação de informação para além daquele que ainda será escolhido.

4.3.3 Restrições

Existem também algumas restrições que ajudam a moldar a tecnologia a utilizar e a moldar a solução final. Uma das restrições é a necessidade de aquisição de hardware específico - dentro das tecnologias imersivas, algumas delas como o caso de VR, ou até em alguns casos específicos de AR, há uma necessidade de aquisição de hardware específico que nem sempre é acessível a todos os indivíduos, e que pode tomar custos elevados desnecessários dependendo do caso de uso – como se verifica na solução pretendida onde se concluiu que uma das formas de evitar esta necessidade seria o desenvolvimento numa plataforma o mais abrangente possível. Outra limitação, considerada mais técnica ao nível de conhecimento e informação relacionados com a indústria do calçado, é a seleção de tópicos e informação a ser colocada na aplicação - a quantidade de maquinarias, recolha de informação necessária sobre estas e seleção de informação por relevância impossibilita que no seu tempo de desenvolvimento esta solução abranja a indústria do calçado na íntegra pelo que apenas alguns tópicos estarão disponíveis para consulta.

4.4 Casos de Uso

O diagrama de casos de uso é a conclusão do conteúdo apresentado no decorrer do subcapítulo 4.3 de engenharia de requisitos em forma de diagrama que reflete os processos presentes na solução, normalmente realizados por um ou vários atores. Na solução em questão, todos os processos existentes são realizados por um ator apenas, o utilizador simples, e estão representados no diagrama abaixo.

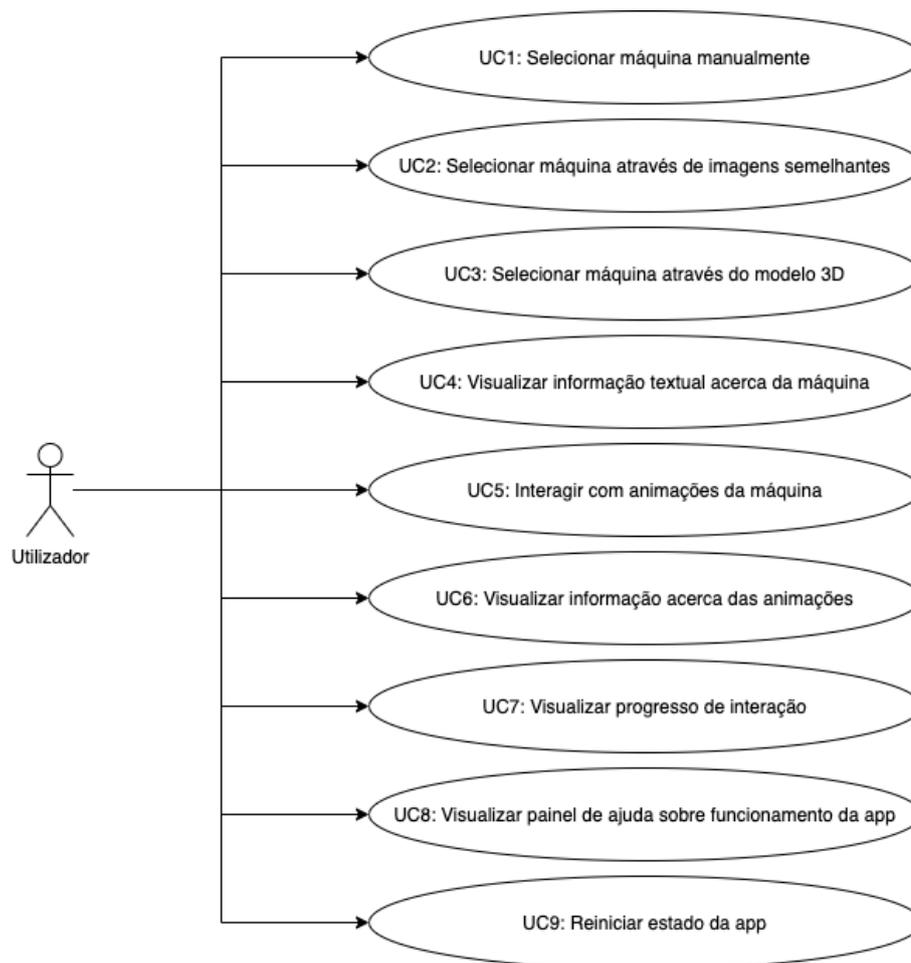


Figura 14 - Diagrama de casos de uso

Este diagrama apresenta uma lista mais generalizada das ações presentes na aplicação, visto que os casos de uso 1 até ao 7 foram implementados de forma separada podendo ainda serem subdivididos em casos de uso diferentes para cada uma das máquinas suportadas na aplicação - a prensa de sola, a máquina de escovagem e engraxamento, e a máquina de colocação de ilhós.

4.5 Desenvolvimento

4.5.1 Ambiente de desenvolvimento

Neste subcapítulo ambiente de desenvolvimento é dada uma visão ampla do sistema da aplicação, bem como as ferramentas e *frameworks* utilizadas ao longo do desenvolvimento, passando também por esclarecer as suas vantagens e limitações exclusivas ao projeto.

Numa fase inicial do projeto, foi decidido que de forma a chegar aos requisitos iniciais, a solução seria uma aplicação Android desenvolvida de forma nativa utilizando a *framework* de AR disponibilizada pela Google, ARCore. De forma a apurar se o ambiente de desenvolvimento escolhido serviria para a solução foi então desenvolvida uma prova de conceito, com algumas funcionalidades base tipicamente encontradas em soluções AR como o *tracking* de superfícies, utilização de modelos 3D com anotações, manipulação de objetos virtuais, entre outros, utilizando como ferramenta IDE o Android Studio e algumas bibliotecas auxiliares como SceneForm [38]. No entanto verificou-se que o estado atual da plataforma não se encontrava estável o suficiente para desenvolver um projeto como este. Algumas das principais razões de descarte foram:

- *Guidelines* confusas e com falta de apoio oficial;
- Bibliotecas auxiliares deprecadas e sem grande apoio por parte da própria Google;
- Necessidade de uma quantidade exagerada de código *boilerplate* quando comparada com outros ambientes de desenvolvimento;
- Falta de funcionalidades visuais de que uma aplicação fortemente gamificada/dependente de animações requer.

Optou-se então por escolher desenvolver em Unity utilizando ARFoundation (ARCore + ARKit) e utilizando as funcionalidades de construção de modelos com anotações e animações, também após o desenvolvimento de um POC semelhante ao acima descrito.

É também importante salientar que a *framework* ARCore também tem as suas limitações relevantes para o projeto: apenas é suportado por alguns dispositivos em específico [39] que embora seja uma vasta lista representa sempre algum impacto nos utilizadores alvo; e também não suporta atualmente reconhecimento de modelos 3D tendo sido necessário recorrer a outra *framework* – Vuforia - para conseguir implementar tal funcionalidade.

O sistema da aplicação está abaixo representado pela imagem. As dependências do mesmo são:

- ARFoundation – *framework* principal usada para controlar os componentes AR.
- Vuforia – *framework* auxiliar que permite o reconhecimento de modelos 3D.
- XR Interaction Toolkit – *framework* auxiliar que permite a manipulação de modelos 3D de forma facilitada.

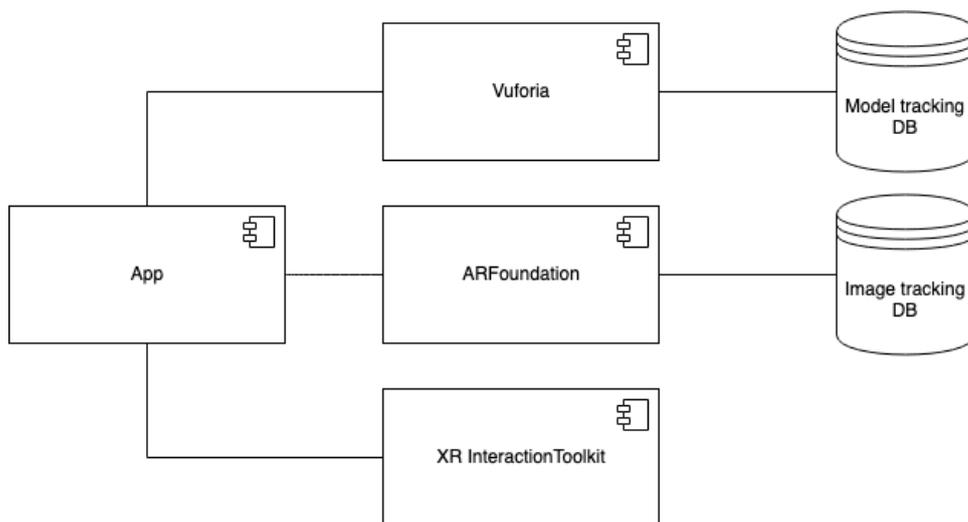


Figura 15 - Arquitetura do sistema

4.5.2 Componentes de desenvolvimento interno

A arquitetura do sistema representa a forma como os componentes envolvidos na aplicação se relacionam entre si. Como já planejado numa fase inicial, não existem planos de integração de uma API ou base dados, e a informação é apenas local e não modificável, não existindo qualquer tipo de operações ou tratamento de dados.

Tipicamente, uma aplicação desenvolvida em Unity não tem a mesma estrutura arquitetural que uma aplicação nativa, daí o planeamento inicial não corresponder totalmente à arquitetura final aqui apresentada. Posto isto, a complexidade da arquitetura da solução reside na organização dos componentes internos específicos de desenvolvimento da plataforma com a integração dos componentes necessários à tecnologia AR.

A principal preocupação da arquitetura escolhida foi a atenção à separação de responsabilidades de componentes, componentes estes que são tipicamente denominados de GameObject no ambiente de desenvolvimento Unity, com a sua lógica num script C# associado a si mesmo. Agrupando os constituintes de uma aplicação AR foi retirada a seguinte separação de responsabilidades:

- UI: responsabilidades específicas do funcionamento ao funcionamento da interface de utilizador;
- Device: responsabilidades específicas do acesso a componentes externos, no caso deste projeto, a câmara;
- AR: responsabilidades associadas a tudo que seja relacionado com a tecnologia AR e SDK utilizado para o efeito;

- Data: responsabilidades associadas aos dados complementares aos modelos de AR.

De modo também a perceber melhor como o funcionamento da aplicação foi envisioned, alguns dos principais exemplos de cada um destes componentes são:

ARSessionOrigin

É um componente da *framework*, crucial para o funcionamento da tecnologia AR. Dentro deste objeto encontram-se outros componentes igualmente necessários como: a ARCamera, que como o próprio nome indica é responsável pelo funcionamento da camera do dispositivo; o ARPlaneManager responsável pela deteção de planos no mundo real; ARRaycastManager responsável pela deteção de *raycasts* – um raio de interação desde o ponto de origem até ao ponto físico no objeto virtual; e os managers de reconhecimento de imagem, abordados de forma mais aprofundada mais a frente no documento.

GameStateController

Dos componentes mais importantes para o funcionamento da *app*. O comportamento da mesma é controlado pelo estado atual em que se encontra. Este estado reflete maioritariamente a máquina atualmente detetada ou escolhida, se tem algum modelo 3D posicionado no mundo, e o estado do progresso do tutorial da máquina. Este passa também esta informação a outros componentes que dependem fortemente do estado da *app* para o seu funcionamento.

Existem também algumas classes de modelo criadas especificamente para que a informação disponibilizada por este componente seja interpretada de forma mais clara e concisa. Como modelos temos:

```
public class Machine
{
    public enum GameState { SolePressing, EyeletAttaching, RoughingAndBrushing };

    public GameState idState;
    public Progress progress;

    public Machine(GameState state, Progress progress)
    {
        this.idState = state;
        this.progress = progress;
    }
}
```

Figura 16 - Classe modelo Machine

```

public class Progress
{
    private int total;
    private int actual;

    public Progress(int total)
    {
        this.actual = 0;
        this.total = total;
    }

    public void IncreaseActual()
    {
        if (actual < total)
        {
            actual++;
        }
    }

    public bool IsComplete()
    {
        return actual == total;
    }

    public int GetActual()
    {
        return actual;
    }

    public int GetTotal()
    {
        return total;
    }
}

```

Figura 17 - Classe modelo Progress

E de forma a incorporar alguns padrões de design, é também utilizado o padrão Factory [40] para a criação de instâncias do modelo.

```

public static class MachineFactory
{
    private const int EYELET_TOTAL_PROGRESS = 3;
    private const int SOLE_PRESSING_TOTAL_PROGRESS = 4;
    private const int ROUGHING_TOTAL_PROGRESS = 3;

    public static Machine Get(GameState state)
    {
        switch (state)
        {
            case GameState.EyeletAttaching:
                return new Machine(state, new Progress(EYELET_TOTAL_PROGRESS));
            case GameState.SolePressing:
                return new Machine(state, new Progress(SOLE_PRESSING_TOTAL_PROGRESS));
            case GameState.RoughingAndBrushing:
                return new Machine(state, new Progress(ROUGHING_TOTAL_PROGRESS));
        }
        return null;
    }
}

```

Figura 18 - Classe MachineFactory

ARPlacementInteractable

Outro componente necessário da *framework*, maioritariamente usado para o posicionamento do modelo virtual num dos planos detetados. Normalmente este componente não precisaria de uma modificação de comportamento se o objetivo fosse apenas posicionar vários modelos no plano, mas como nesta solução para além de apenas dever suportar um modelo virtual de cada vez, o seu posicionamento está condicionado pela identificação/seleção prévia de uma máquina em específico, como também deve ser só possível a seleção da posição após um modelo que serve como indicador de posicionamento estar visível para o utilizador, de forma a dar ao utilizador uma pré-visualização de como o modelo irá estar.

ModelTargetGroup

Um componente genérico que por si só não tem nenhum comportamento associado, mas que é responsável por agrupar componentes de reconhecimento de modelos 3D – disponibilizado pela *framework* Vuforia. Como a aplicação suporta atualmente 3 máquinas, este grupo tem como componentes filhos: *SolePressingModelTarget*, *RoughingAndBrushingModelTarget*, *EyeletModelTarget* e *ModelTargetRecognitionController*. Uma explicação mais técnica de cada um destes componentes encontra-se no subcapítulo 4.8.

SolePressingStateController

Este é apenas um exemplo para uma máquina em específico, no entanto, mais componentes semelhantes a este estão disponíveis para as outras máquinas. Cada uma destas máquinas suportadas tem associado a si um estado interno, que controla maioritariamente as áreas interativas e as animações a serem mostradas. Este depende de todos os componentes visuais como os modelos de auxílio à animação, ou painéis textuais informativos. Funciona também como *callback* para o início ou fim das animações interativas, cada uma delas inicia com o estado *Idle*, e cada vez que uma interação realizada inicia uma animação, a *callback* associada gere o que é mostrado ao utilizador e transita automaticamente de estado. A implementação deste componente é semelhante à implementação de uma máquina de estados [41]. Um exemplo pode ser encontrado na imagem abaixo.

```

private void NextState()
{
    switch (currentState)
    {
        case State.Idle:
            currentState = State.MachineOn;
            turnOnHand.SetActive(false);
            topBaseCollider.SetActive(true);
            SetupInformationalText();
            break;
        case State.MachineOn:
            currentState = State.ShoePositioned;
            handWithShoe.SetActive(false);
            shoePlaced.SetActive(true);
            adjustableBarCollider.SetActive(true);
            SetupInformationalText();
            break;
        case State.ShoePositioned:
            currentState = State.BarAdjusted;
            adjustHand.SetActive(false);
            footPedalCollider.SetActive(true);
            SetupInformationalText();
            break;
        case State.BarAdjusted:
            currentState = State.Completed;
            foot.SetActive(false);
            handWithShoe.SetActive(true);
            shoePlaced.SetActive(false);
            SetupInformationalText();
            break;
        case State.Completed:
            handWithShoe.SetActive(false);
            break;
    }
}

```

Figura 19 - Função de controlo de estados

4.5.3 Reconhecimento de imagem

Esta funcionalidade permite que o utilizador consiga identificar uma máquina através de fotografias do modelo em questão, dando depois início ao tutorial da máquina. Da forma que foi implementada, a *app* inicia já com esta funcionalidade ativa, não sendo necessário qualquer modificação de definições ou cliques extra. O utilizador aponta a camara do telemóvel para uma imagem da máquina que pretende ver, ou outra semelhante, e quando o reconhecimento é feito, é-lhe mostrada uma mensagem textual de confirmação.

4.5.3.1 Detalhes de implementação

Suportado pela framework ARFoundation (ARCore + ARKit), permite ao desenvolvedor integrar reconhecimento de imagens na *app* sem a necessidade de previamente treinar um modelo capaz de reconhecer traços de imagens a reconhecer. Inicialmente, é necessário juntar algumas

imagens referência das máquinas suportadas. A própria *framework* estabelece já algumas boas práticas na altura de escolha destas imagens:

- Imagens com uma resolução de pelo menos 300x300 pixéis;
- A cor não é utilizada como meio de deteção, o que significa que as imagens podem ser coloridas ou monocromáticas;
- Evitar imagens de compressão pesada;
- Evitar imagens complexas e/ou demasiado escassas em características geométricas;
- Evitar imagens com padrões repetitivos.

Depois de escolhidas e recolhidas as imagens referência, foi então criada uma base de dados com as mesmas. Estas bases de dados suportam até 1000 imagens de referência e permitem um *tracking* de 20 imagens em simultâneo [42]. Depois dessa base de dados ser criada, foi adicionado à Scene um AR Tracked Image Manager – componente que recebe a base de dados criada, um modelo 3D a aumentar e algumas definições de comportamento, e que é responsável pela emissão de eventos associados ao reconhecimento da imagem.

O funcionamento padrão desta funcionalidade, sem a adição de mais componentes fora os descritos até agora, consiste na deteção de uma imagem ou mais imagens que estão associados a um modelo 3D a ser aumentado. No entanto nesta solução, esse não é o caso dado que a aplicação deve ser capaz de identificar diferentes tipos de máquinas, pelo que foi necessária uma modificação do comportamento padrão. Primeiramente, as imagens foram renomeadas de forma que alguma informação seja extraível em código - uma *tag* de identificação seguida de um número não repetível, separados por um *underscore*, como demonstrado na imagem abaixo.

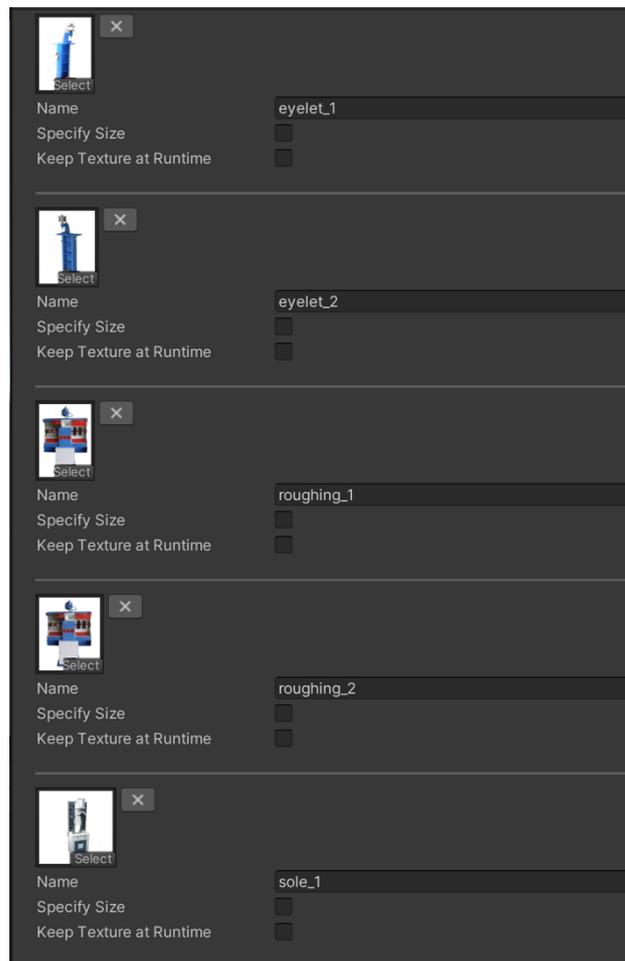


Figura 20 - Nomenclatura de imagens

Depois, foi criado um novo componente com um script, responsável por associar a *tag* da imagem reconhecida à instânciação do modelo 3D pretendido, e atualizar o estado da *app*, passando essa informação para o *GameStateController*, componente já descrito no subcapítulo anterior e dando assim início ao processo de tutorial da máquina identificada.

```

private void OnImageChanged(ARTrackedImagesChangedEventArgs eventArgs)
{
    if(eventArgs.added.Count > 0)
    {
        GetRecognizedMachine(eventArgs.added[0]);
    }
}

private void GetRecognizedMachine(ARTrackedImage image)
{
    string name = image.referenceImage.name.Split('_')[0];
    string stateText = "";

    if (name == "eyelet")
    {
        GameState state = GameState.EyeletAttaching;
        gameStateController.SetSelectedGameState(state);
        stateText = state.GetString();
    } else if (name == "roughing")
    {
        GameState state = GameState.RoughingAndBrushing;
        gameStateController.SetSelectedGameState(state);
        stateText = state.GetString();
    } else if (name == "sole")
    {
        GameState state = GameState.SolePressing;
        gameStateController.SetSelectedGameState(state);
        stateText = state.GetString();
    }

    StartCoroutine(SetupText(VISIBLE_TIME, stateText));
    trackedImageManager.enabled = false;
}

```

Figura 21 - Função de reconhecimento de imagem

4.5.3.2 Limitações

Apesar do reconhecimento funcionar de forma bastante simples, com um tempo de deteção considerado rápido, existem algumas limitações no que toca ao desenvolvimento desta funcionalidade na área do calçado. As máquinas apesar de terem as suas semelhanças, podem variar no seu aspeto e características geométricas de marca para marca, e visto que o reconhecimento está fortemente dependente destas, seria necessária uma grande amostra de imagens referência para atingir uma solução genérica. Para além disso, e apesar de não ser propriamente uma limitação, o facto de as imagens terem de ser identificadas e renomeadas manualmente aumenta substancialmente a complexidade de escalabilidade da aplicação no que toca à implementação de novas máquinas, ou simplesmente novas imagens referência.

4.5.4 Reconhecimento 3D

Utilizando a tecnologia Model Target suportado pela *framework* Vuforia, este permite que a aplicação identifique um objeto 3D no meio físico. Como se trata de uma *framework* diferente daquela usada para implementar esta funcionalidade foram utilizados os modelos CAD das máquinas suportadas para alimentar uma base de dados. Tal como no *tracking* de imagens descrito acima, esta funcionalidade também dispõe de uma lista de boas práticas de forma a melhorar o seu desempenho:

- Ter posição estática no meio físico;
- Ter uma superfície rica em padrões ou cores;
- Quanto mais complexo em termos de características geométricas, melhor;
- Embora haja suporte para objetos que sofram ligeiros movimentos, o corpo deve ser rígido e não maleável;
- Ser o mais semelhante possível ao modelo CAD alimentado.

Depois de recolhidos os modelos CAD, foi utilizada a ferramenta Model Target Generator [43] que ajuda na preparação dos modelos para a base de dados. O preparamento do modelo passa pelas seguintes fases:

1. Vetor do modelo – O correto vetor Z do modelo.



Figura 22 - Setup do vetor Z

2. Unidades do modelo – As unidades métricas de tamanho do modelo.

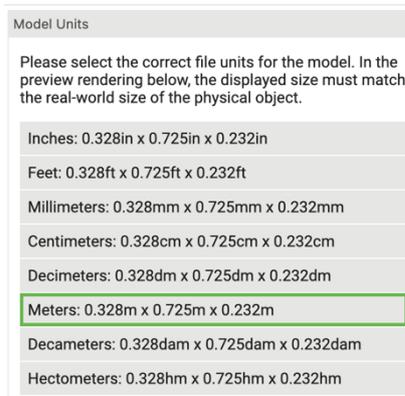


Figura 23 - Setup de unidades métricas do modelo

3. Coloração - Aplicação de cor aos diferentes componentes do modelo. Este passo é crucial pois melhora o reconhecimento das características específicas da máquina.

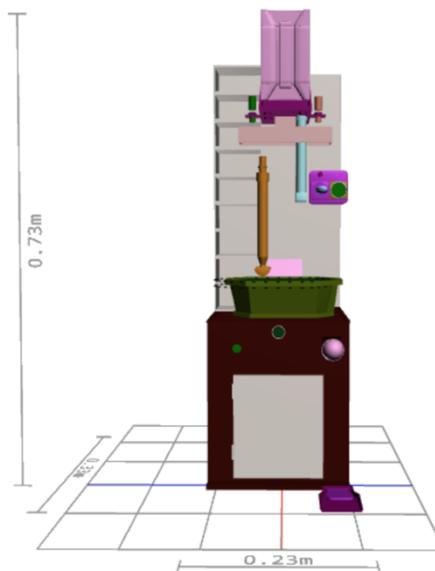


Figura 24 - Coloração do modelo

4. Complexidade – Passo de verificação para garantir que o modelo se encontra dentro das boas práticas da *framework*.

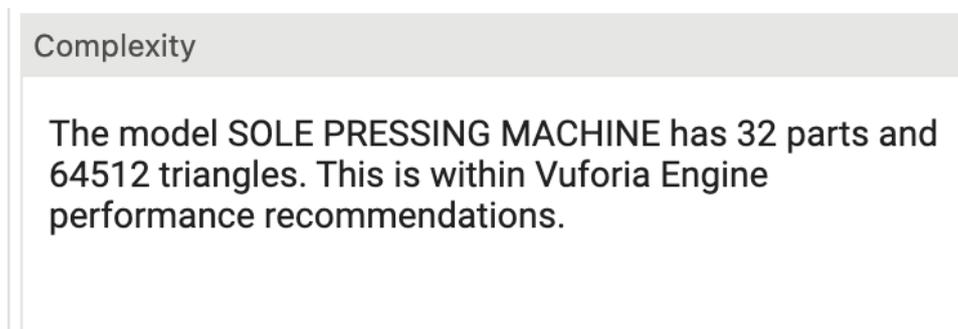


Figura 25 - Confirmação da complexidade do modelo

5. Tipo de modelo – Tipo de objeto que o modelo deve representar. Neste caso a ferramenta já apresenta uma opção para maquinarias.

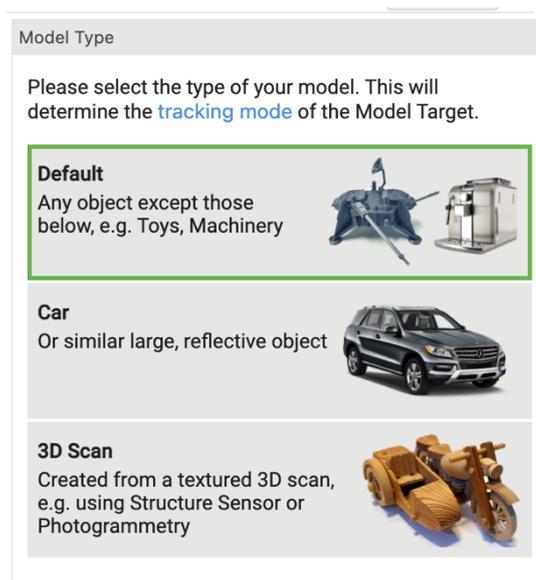


Figura 26 - Setup do tipo de modelo

6. Dica de movimento – Se deve ser esperado algum tipo de movimento no objeto.

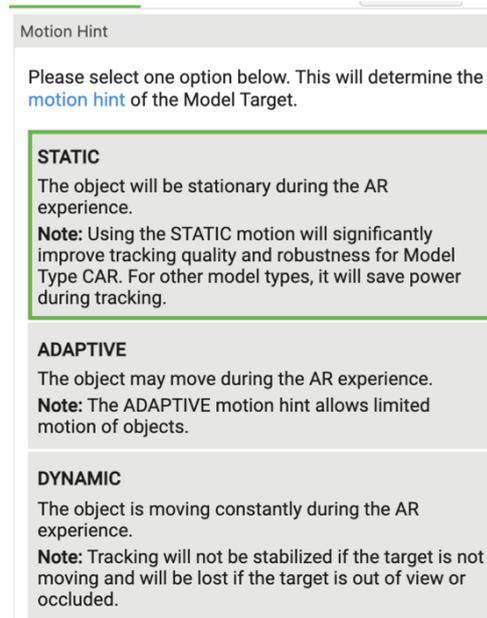


Figura 27 - Setup da dica de movimento

7. Vistas guia – Vista que é esperado que o utilizador se encontra em relação à máquina na altura do reconhecimento. A *framework* permite a criação de vistas mais avançadas de forma a permitir que este reconhecimento seja possível de vários ângulos. No entanto, não se verificou um bom funcionamento desta funcionalidade pelo que se ficou pela vista simples.

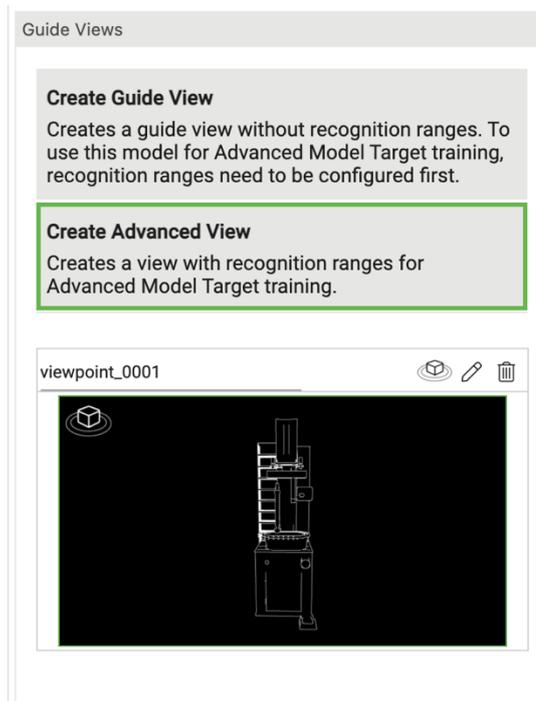


Figura 28 - Setup de vistas guia do modelo

Depois de concluída esta preparação para todos os modelos suportados na *app*, é gerada uma base de dados que é treinada pelos servidores Vuforia. Como acima referidos, foram criados os componentes `SolePressingModelTarget`, `RoughingAndBrushingModelTarget` e `EyeletModelTarget` responsáveis por associar cada um dos modelos existentes nessa base de dados a um evento cada vez que a máquina do meio físico se alinhe com a vista guia criada anteriormente. Por mim, esse evento é capturado pelo `ModelTargetRecognitionController` que é responsável por atualizar o estado da *app* com a máquina encontrado, passando essa informação para o `GameStateController`.

```

public class ModelTargetRecognitionController : MonoBehaviour
{
    [SerializeField]
    private GameStateController gameStateController;

    public void OnSolePressingTargetFound()
    {
        gameStateController.SetSelectedGameState(GameState.SolePressing);
    }

    public void OnEyeletTargetFound()
    {
        gameStateController.SetSelectedGameState(GameState.EyeletAttaching);
    }

    public void OnRoughingAndBrushingTargetFound()
    {
        gameStateController.SetSelectedGameState(GameState.RoughingAndBrushing);
    }
}

```

Figura 29 - Classe Controller de reconhecimento do modelo

4.5.4.1 Limitações

Apesar de implementada, esta funcionalidade é considerada com muitas falhas devido às variadas limitações que provocam uma taxa de sucesso de reconhecimento algo baixa. O facto de não ter sido possível colocar a funcionar as vistas avançadas limita fortemente os ângulos dos quais a *app* consegue reconhecer a máquina, e embora as vistas simples sejam criadas na assunção do ângulo usado pelo utilizador, é sempre uma decisão subjetiva e propensa a falhas. Outra forte limitação é que a margem de diferença entre a visão da camara e a vista guiada tem de ser muito pequena, ao ponto de quase ter de coincidir de forma perfeita, o que nem sempre é totalmente possível ou intuitivo. E por fim, o facto de a aplicação ter de suportar uma *framework* totalmente diferente da escolhida inicialmente fez com que a performance baixasse notavelmente, chegando ao ponto em que muitas vezes o dispositivo se tornava lento enquanto tentava efetuar um reconhecimento.

4.5.5 Interatividade

Por fim, abordando o tópico da interação com o utilizador, houve alguns aspetos importantes a considerar aquando do planeamento da interface de utilizador e como esta se comportaria. Uma das preocupações foi manter todos os botões interativas o mais longe possível do modelo aumentado, pelo que a melhor escolha foi colocá-los nos limites do ecrã de forma acessível, mas não intrusiva.



Figura 30 - Posicionamento da UI

No que toca à interação com os modelos, o principal objetivo era fazer com que o utilizador aprendesse de forma mais intuitiva sobre estas máquinas e como as operar. Estudando as soluções no capítulo 4.1, a forma mais interativa de mostrar o funcionamento destas máquinas passa pela existência de animações que demonstram como é que a máquina se comporta ao interagir com os seus vários constituintes. Assim sendo, foram desenvolvidas animações em Unity, que espelham o *flow* utilizado pelos operários destas máquinas. Mas como mostrar simples animações sem qualquer ligação a uma ação, foram colocados pontos de interação no modelo, acompanhados por um pequeno texto explicativo acerca da ação que está prestes a realizar. A imagem abaixo retrata um típico os principais pontos de interação, incluindo uma breve descrição do que representam.

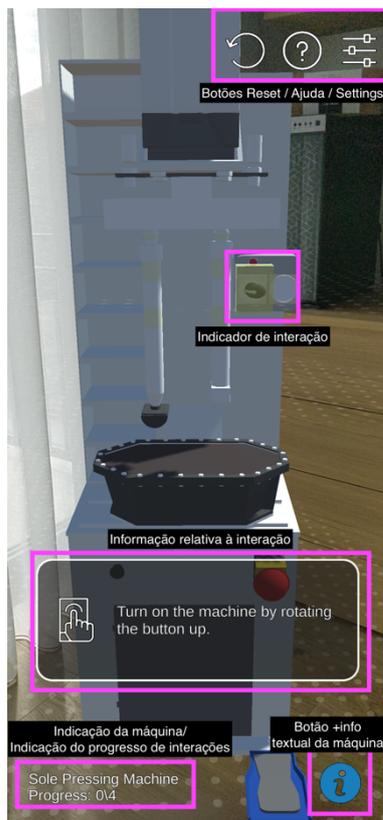


Figura 31 - Representação da UI

5 Avaliação

Neste capítulo é apresentada a metodologia de avaliação do projeto de forma a aferir se todos os seus objetivos e expectativas foram atingidos.

5.1 Critérios

De forma a perceber os critérios e a sua importância, é necessário realçar o segmento de clientes, já anteriormente descrito no capítulo 3 da análise de valor, para o qual esta solução é direcionada – profissionais associados ou inseridos na produção da indústria do calçado.

Dada a natureza técnica do segmento interessado é importante que primeiramente seja apurada a relevância e utilidade da existência da aplicação e da informação que esta disponibiliza, e do valor inerente que esta traz para a área do calçado. Por exemplo, pontos como o grau de satisfação e probabilidade de utilizar ou recomendar são indispensáveis.

Para além dos critérios específicos ao segmento de cliente, existem ainda os critérios relacionados com os requisitos não funcionais da solução que são mais abrangentes a aplicações AR, sendo que os principais são responsividade e interatividade com o modelo, e usabilidade de interfaces intuitivas.

Tabela 8 - Critérios de avaliação

Dimensões	Fatores
Usabilidade	Intuitividade das interfaces
	Interatividade do modelo
Confiabilidade	Responsividade do modelo
Funcionalidade	Qualidade de conteúdo
	Utilidade de conteúdo

5.2 Hipótese

Tratando-se de uma solução que procura inovar e auxiliar um sistema de formação que atualmente se baseia em métodos tradicionais, é importante perceber se o seu propósito é viável o suficiente em comparação ao processo atual. Daí surge a necessidade de definir uma hipótese estatística que terá como princípio a avaliação de uma afirmação.

H₀: A solução não traz qualquer benefício para a experiência de formação

H₁: A solução é útil e vantajosa para o processo de formação.

No contexto do projeto, a hipótese que a solução pretende afirmar é que o uso da solução no processo de formação de operação das máquinas é útil e vantajoso para os envolvidos. Enquanto na hipótese nula, que normalmente afirma um facto atualmente aceite como verdadeiro, que neste caso como mencionado acima é que a solução não tem qualquer vantagem ou utilidade acima da já utilizada metodologia tradicional. A confirmação da hipótese encontra-se fortemente dependente da satisfação dos seus utilizadores.

5.3 Metodologia de avaliação

O apuramento da afirmação da hipótese foi então feito através da análise estatística de questionários a que os utilizadores foram submetidos na fase final do projeto do documento presente. Foram contactados indivíduos considerados como potenciais interessados na aplicação, descritos no capítulo 5.3.1. A estes foi-lhes fornecida a aplicação de forma a testarem livremente e de seguida, foi pedido que preenchessem um questionário com algumas perguntas consideradas relevantes para a apuração dos objetivos do projeto juntamente com uma pergunta de resposta livre sobre qualquer feedback adicional. Nos próximos subcapítulos do documento é possível retirar a utilidade desta metodologia, onde serão comparados os objetivos inicialmente estabelecidos com a perceção de utilizadores reais da aplicação.

5.3.1 Caracterização demográfica

Uma vez que a solução do projeto se trata de uma aplicação direcionada para aprendizagem, não foi considerada qualquer limitação para a demográfica necessária para a avaliação da mesma visto que qualquer indivíduo é capaz de dar feedback com o que aprendeu ou como interagiu com informação, tendo ou não já conhecimento prévio acerca da matéria. No entanto, sendo esta uma solução especificamente direcionada para profissionais da indústria do calçado, também foi fundamental recolher feedback de indivíduos que se insiram nesta indústria. Por associação ao grupo GILT, foram contactados indivíduos da área do calçado, mais concretamente trabalhadores do maior centro associado à indústria, o Centro Tecnológico do Calçado de Portugal. Não foi imposta qualquer limitação de género, idades ou cargos/nível

profissional pelo que a obtenção de feedback variado é considerada uma mais-valia em diferentes aspetos da aplicação.

Para complementar a avaliação foram contactados indivíduos que, não estando relacionados com a indústria do calçado, tinham grande experiência em lidar com tecnologia e, particularmente, com dispositivos e aplicações móveis. No total, a avaliação incluiu 16 participantes.

5.3.2 Questionário

De forma a avaliar a qualidade baseada nos objetivos definidos, foi seguido o modelo *Quantitative Evaluation Framework*, mais conhecido como QEF, onde os objetivos são traduzidos em referenciais de qualidade como as dimensões e fatores apresentados acima. Os critérios descritos na secção 6.1 foram o principal foco do questionário já que são os alvos de avaliação dos objetivos previamente definidos. Cada um dos fatores listados na tabela 8 têm associadas a si diferentes partes da aplicação, que se traduzem também em focos no questionário. O *flow* de utilização disponibilizado ao utilizador será semelhante aos processos descritos na secção 5.2.1:

- Listar e navegar pelos modelos disponíveis;
- Escolher o modelo que mais lhe interessa;
- Posicionar o modelo no meio físico;
- Visualização e interação com a informação das particularidades do modelo.

Desta forma, cada fator previamente definido pode ser associado a ações na aplicação através de requisitos de qualidade, como listado na tabela abaixo. Abaixo encontra-se uma tabela que traduz os fatores e de avaliação e seus requisitos. Para além da avaliação dos requisitos, foi também disponibilizada uma questão aberta para recolha de possíveis melhorias e sugestões.

Tabela 9 - Fatores e requisitos de avaliação

Fatores	Indicadores
1. Intuitividade das interfaces	1.1 A aplicação é fácil de utilizar
	1.2 A navegação na app é intuitiva
2. Interatividade do modelo	2.1 Os pontos de interação da máquina são intuitivos
	2.2 Os modelos têm uma contribuição positiva para o interesse pela informação apresentada
3. Responsividade do modelo	3.1 O reconhecimento de imagem/modelo como forma de identificação da máquina é útil
	3.2 O reconhecimento de imagem/modelo funciona sem problemas
	3.3 A integração do modelo com o meio físico é prática
4. Qualidade do conteúdo	4.1 A informação disponibilizada é de fácil compreensão
	4.2 A informação está bem organizada e apresentada em alturas adequadas
	4.3 A informação apresentada ajuda a conhecer melhor as máquinas
	4.4 Os meios de informação (textos e animações) facilitam a minha compreensão do funcionamento da máquina
5. Utilidade do conteúdo	5.1 Os modelos e sua informação estão fortemente relacionados com a sua utilização profissional
	5.2 Os modelos e sua informação são úteis para a formação profissional
	5.3 Na falta de uma máquina física, os modelos e sua informação são interessantes e constituem um processo viável de formação

A tabela acima descrita apresenta as perguntas que fizeram parte do questionário disponibilizado aos utilizadores da aplicação. Como seria de esperar, estando em causa dois tipos de utilizador: o profissional ligado à área e o indivíduo sem qualquer conhecimento da área, o questionário estava dividido em 3 secções. Uma secção geral onde as perguntas relacionadas com os fatores 1 – 4 (com a exceção da pergunta 4.3) eram apresentadas e respondidas por toda a amostra de utilizadores, uma secção especificamente designada para os profissionais da indústria onde foram apresentadas todas as perguntas do fator 5. Uma secção especificamente para pessoas fora da área, com a pergunta do indicador 4.3. E por fim, uma secção de feedback livre, onde foi questionado sobre o interesse em dar continuidade ao projeto e ver outras máquinas suportadas na *app*, juntamente com uma pergunta de resposta livre com qualquer sugestão que o utilizador achasse relevante. Grande parte das perguntas tinha como opções 1-5, abrangendo uma escala onde 1 representa “discordo totalmente” e o 5 “concordo totalmente”.

5.4 Resultados

Neste subcapítulo são então apresentados os resultados do feedback recolhido através do questionário aos utilizadores da aplicação. Foram então contactados indivíduos do CTCP, onde foi possível distribuir a aplicação para teste por um total de oito pessoas do ramo, onde algumas delas eram inclusive colaboradores diretamente ligados à área de formação. De forma a complementar a recolha de feedback para obtenção de dados que fizessem sentido para comparação, foram contactados outros oito indivíduos, desta vez sem qualquer associação ao ramo do calçado, dando um total de 16 indivíduos. No fim da análise individual do feedback destes dois grupos, foi feita então uma conclusão e um resumo de todo o feedback juntado.

5.4.1 Feedback geral

Em relação à intuitividade das interfaces foi pedido ao utilizador que navegasse um pouco pela *app* e avaliasse a facilidade de utilização, naturalidade da interface e posicionamento de botões. Nas questões: “A *app* é fácil de utilizar” e “A navegação na *app* é intuitiva” os resultados foram bastante positivos em ambas as questões, onde a grande maioria votou nas escalas 4 e 5, com uma ligeira pontuação neutra de 18,8% no que toca à navegação dentro da aplicação. O gráfico de resultados pode ser encontra nas duas imagens abaixo.

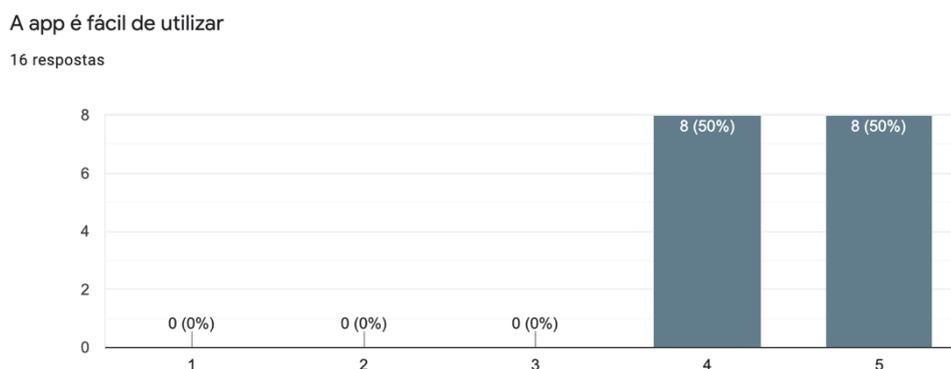


Figura 32 - Resultados da questão 1

A navegação na app é intuitiva

16 respostas

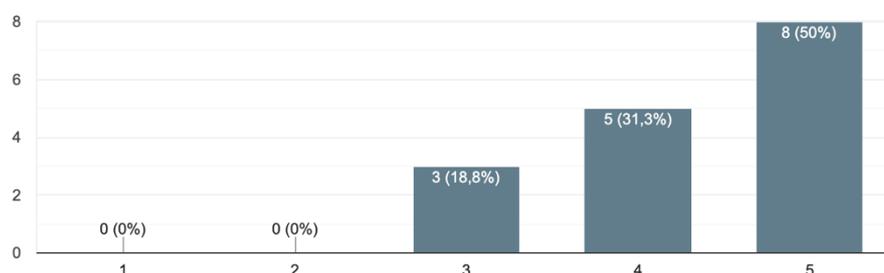


Figura 33 - Resultados da questão 2

Em respeito ao fator de interatividade do modelo foi pedido aos utilizadores que avaliassem os modelos das máquinas e a facilidade de interação com a informação de cada uma das máquinas apresentadas. Foram apresentadas as perguntas “Os pontos de interação das máquinas são intuitivos” e “Os modelos têm uma contribuição positiva para o meu interesse pela informação apresentada”, e mais uma vez os resultados foram maioritariamente positivos. Porém é importante notar que na primeira questão houve alguns resultados mais baixos, onde 31,3% dos utilizadores responderam com um valor de escala neutro, indicando que poderá ter de ser alvo de algumas melhorias por se tratar de pontos cruciais de interação da *app*. As imagens abaixo mostram os resultados concretos deste fator.

Os pontos de interação das máquinas são intuitivos

16 respostas

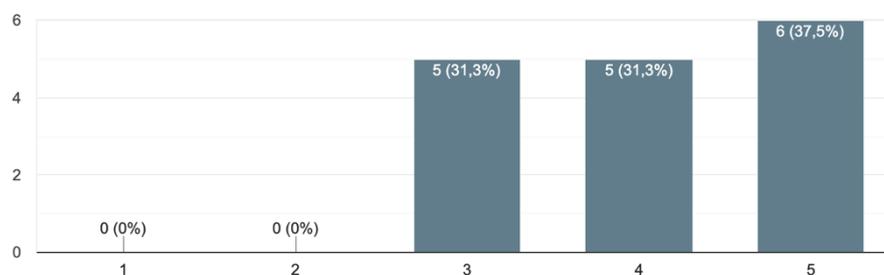


Figura 34 - Resultados da questão 3

Os modelos têm uma contribuição positiva para o meu interesse pela informação apresentada

16 respostas

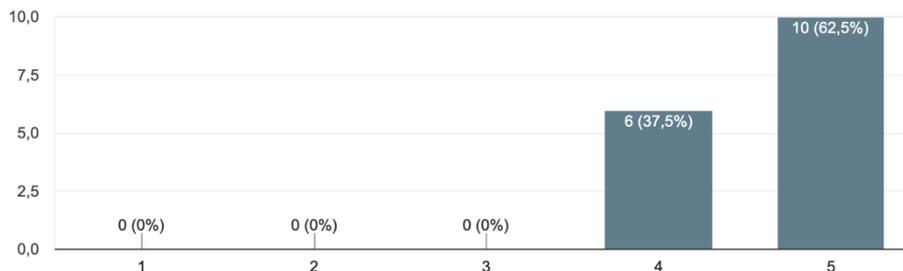


Figura 35 - Resultados da questão 4

De seguida, foram apresentadas perguntas relacionadas com a responsividade da *app*, mais concretamente da responsividade no que toca à informação recolhida pela camara. Foi então pedido que estes testassem o reconhecimento de máquina por imagem, e que após reconhecer o modelo da máquina, colocassem o modelo aumentado num espaço à sua volta, apontando a camara para o meio físico. Estes responderam às perguntas “O reconhecimento de imagem/modelo como forma de identificação da máquina é útil”, “O reconhecimento de imagem/modelo funciona sem problemas” e por último “A integração do modelo com o meio físico é prática”. Como expectável dadas as limitações do reconhecimento de imagem e modelo, os utilizadores não pareceram ter uma boa experiência com esta, embora a maioria tenha achado que esta funcionalidade era útil (56,3%), 18,8% responderam uma escala neutra ou negativa. E no que toca ao seu funcionamento, 37,5% dos utilizadores achou que havia problemas com a funcionalidade, não tirando partido da mesma. Concluindo assim que esta funcionalidade poderá ser repensada de forma a perceber se existirá uma melhor forma de implementação ou se, dadas as limitações, fará sentido continuar com o suporte à mesma.

No que diz respeito à integração do modelo com o meio físico, os resultados parecem mostrar uma elevada satisfação.

O reconhecimento de imagem/modelo como forma de identificação da máquina é útil

16 respostas

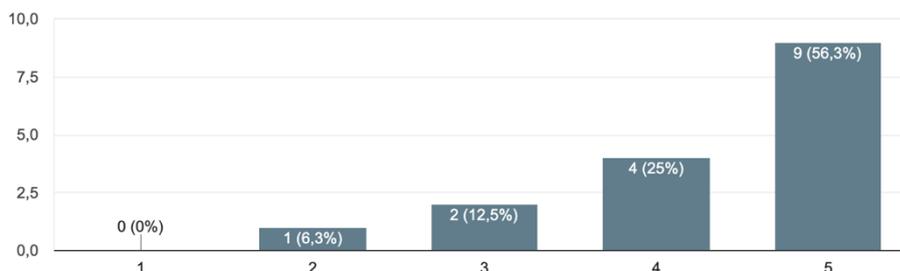


Figura 36 - Resultados da questão 5

A integração do modelo com o meio físico é prática

16 respostas

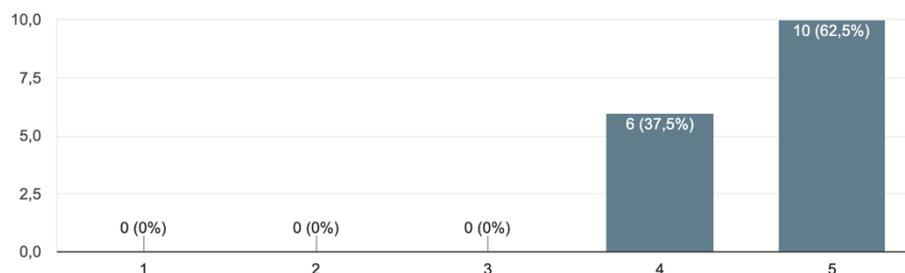


Figura 37 - Resultados da questão 6

O reconhecimento de imagem/modelo funciona sem problemas

16 respostas

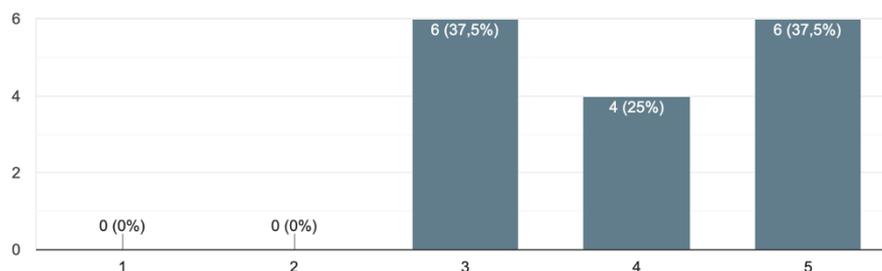


Figura 38 - Resultados da questão 7

Em relação à avaliação do fator qualidade de conteúdo, com as perguntas “A informação disponibilizada é de fácil compreensão”, “A informação está bem organizada e apresentada em alturas adequadas” e “Os meios de informação (texto e animações) facilitam a minha compreensão do funcionamento da máquina”, os utilizadores demonstraram uma grande satisfação, com uma grande maioria a concordar que a informação era acessível e bem organizada, e que os meios de informação utilizados fazem sentido e potenciam a experiência do utilizador. Estes resultados mostram-se bastante positivos principalmente porque um dos objetivos de soluções AR de aprendizagem é conseguir fornecer ao utilizador uma experiência de aprendizagem acessível e interessante, sem o confundir ainda mais com cargas de informação densas.

A informação disponibilizada é de fácil compreensão

16 respostas

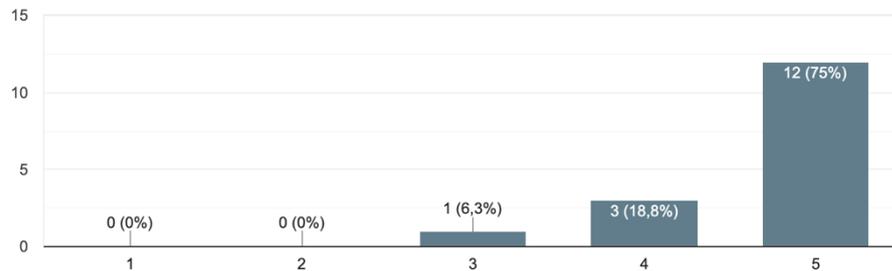


Figura 39 - Resultados da questão 8

A informação está bem organizada e apresentada em alturas adequadas

16 respostas

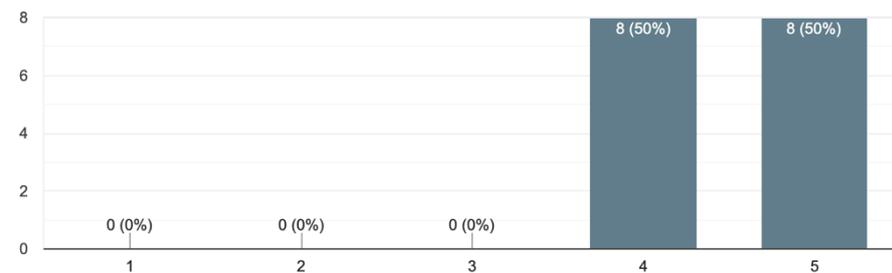


Figura 40 - Resultados da questão 9

Os meios de informação (textos e animações) facilitam a minha compreensão do funcionamento da máquina

16 respostas

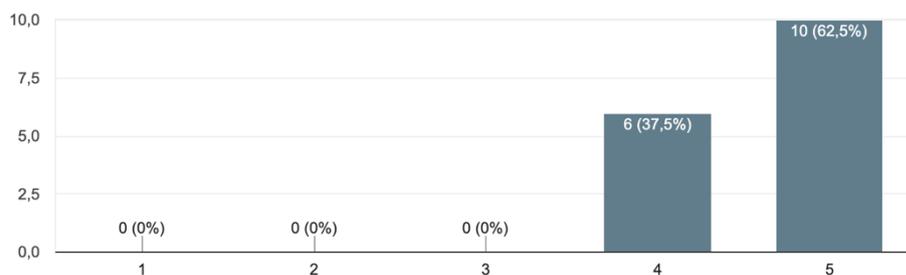


Figura 41 - Resultados da questão 10

5.4.2 Feedback de profissionais da área

Nesta secção do questionário, preenchido unicamente por indivíduos que trabalham na indústria, o objetivo era apurar principalmente se a informação que estava a ser fornecida pela *app* seria útil num contexto de formação. Os resultados foram maioritariamente positivos com alguns aspetos a apurar.

A primeira questão que perguntava “Os modelos e sua informação estão fortemente relacionados com a sua utilização profissional” foi a mais divisiva das três e a que mais indicou que ainda havia alguma informação a faltar nos modelos de forma a melhorar a experiência de aprendizagem. Na escala de 1 a 5, embora a maioria tenha respondido positivamente, uns 37,5% discordaram.



Figura 42 - Resultados da questão 11

Na segunda questão - “A informação disponibilizada é a suficiente para um iniciante da área”, já mais direcionada para perceber se com a informação disponibilizada, haveria algum benefício retirado para alguém que estaria a iniciar na área, as respostas foram mais positivas, complementando assim a conclusão de que existe já alguma utilidade no que foi desenvolvido, havendo apenas uma discordância de 12,5%.

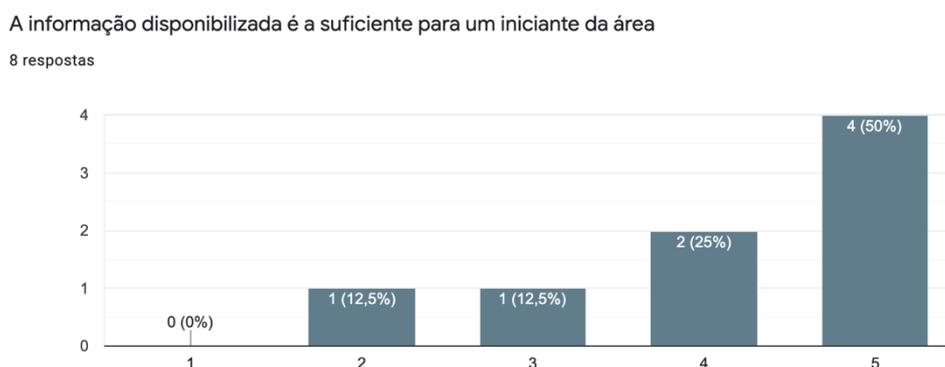


Figura 43 - Resultados da questão 12

Por fim, na terceira questão, e uma das mais importantes de todo o questionário, visto ir de encontro com um dos principais objetivos do projeto, era “Na falta de uma máquina física, os modelos e sua informação são interessantes e constituem um processo viável de aprendizagem” os resultados foram bastante positivos com uma concordância absoluta. Havendo 62,5% a concordar totalmente, e 37,5% a concordar.

Na falta de uma máquina física, os modelos e sua informação são interessantes e constituem um processo viável de aprendizagem

8 respostas

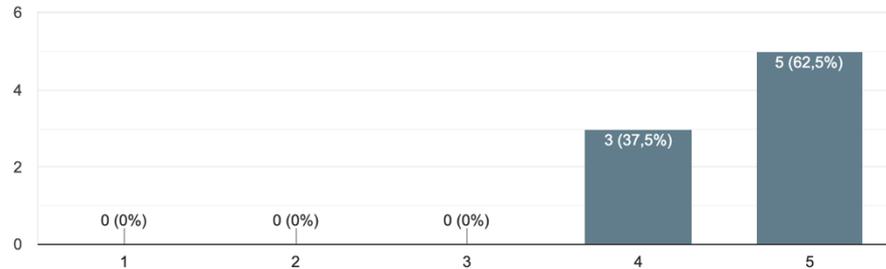


Figura 44 - Resultados da questão 13

5.4.3 Feedback de indivíduos não relacionados com a área

A secção do questionário direcionada para indivíduos fora da área era das mais pequenas, visto que o interesse era perceber se estes utilizadores tinham tido alguma experiência de aprendizagem enquanto usavam a *app*. Esta foi também das mais positivas, contando com 100% de concordância às questões: “Conseguir perceber como trabalham as máquinas apresentadas” e “A informação apresentada ajudou-me a conhecer melhor as máquinas”. Assim, pode-se concluir que a informação está facilmente perceptível para alguém que tenha pouco ou nenhum conhecimento sobre estas máquinas e que os meios de interação são realmente um ponto positivo para a aprendizagem e percepção da informação apresentada. As imagens abaixo demonstram os resultados.

Conseguir perceber como trabalham as máquinas apresentadas

8 respostas

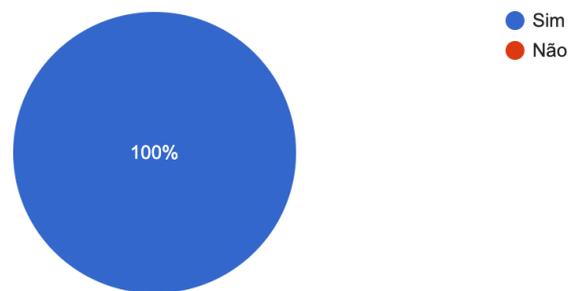


Figura 45 - Resultados da questão 14

A informação apresentada ajudou-me a conhecer melhor as máquinas

8 respostas

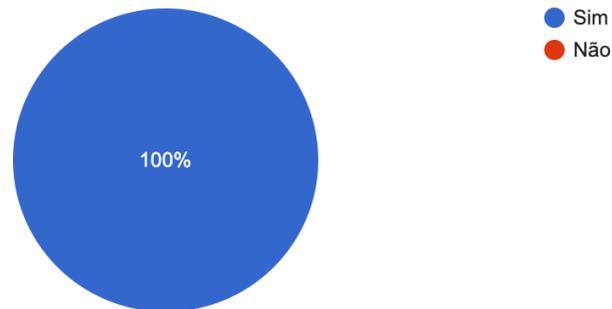


Figura 46 - Resultados da questão 15

5.4.4 Sugestões e melhorias

Como última questão, foi disponibilizada uma pergunta de resposta aberta onde cada um poderia deixar qualquer feedback que não tivesse sido refletido nas questões anteriores. Esta questão deixou claro os principais pontos prioritários no que poderia ser melhorado, e até complementou o que já havia sido analisado nas questões acima descritas – uma grande parte dos utilizadores acha que os pontos de interação do modelo deveriam ser alvo de melhoria de forma a torná-los mais intuitivos e visíveis. Outros sugeriram que deveria estar disponibilizada mais informação e mais pontos de interação, levando a crer que esta atualmente se encontra um pouco incompleta. Por fim, outra sugestão que foi dada mais que uma vez, foi a melhoria do aspeto dos modelos 3D. Alguns exemplos podem ser encontrados na imagem abaixo.

talvez os pontos de interação serem mais visíveis
A imagem mais realista e mais informacao sobre a maquina e modo de funcionamento
Ciar mais pontos de interaçao
Os locais onde se interage com a app mais destacados cores/dimensão
Somente acho que podia-se melhorar o aspeto da máquina sendo mais realista. Parabéns continuação de um bom trabalho!

Figura 47 - Respostas a feedback livre

6 Conclusão

Tendo em conta o desafio proposto, de chegar a uma solução inovadora para o processo de formação de profissionais inseridos na indústria do calçado, e analisando todo o seu desenvolvimento e resultados obtidos, pode-se concluir que os objetivos previamente definidos para o projeto foram atingidos com sucesso, inclusive contando com um feedback bastante positivo por parte de profissionais da área do calçado.

Inicialmente, de forma a perceber melhor o papel desta indústria no nosso país, foi feita uma pesquisa sobre o estado atual da mesma, passando por perceber de que forma é que esta tem evoluído ao longo dos tempos, e como tem sido a perspectiva de empregabilidade e formação dos seus colaboradores. Depois foi também dada uma breve visão sobre como funcionam os principais processos de manufatura do calçado, conhecendo alguns constituintes do mesmo e percebendo que máquinas são utilizadas nas diferentes fases e processos a que o sapato é submetido.

Depois de dado o contexto inicial em que o projeto se insere, foi então estudada em mais detalhe a tecnologia chave utilizada no projeto, Realidade Aumentada. Esta recolha de informação acerca do estado de arte da tecnologia permitiu conhecer melhor as opções disponíveis de utilização da tecnologia, as suas capacidades e as suas limitações. De forma a complementar a informação acerca da tecnologia, foi feita uma pesquisa de aplicações que tiravam proveito da tecnologia AR, dessa pesquisa foram retiradas as que tinham soluções mais semelhantes com o problema de aprendizagem e que tinham funcionalidades interessantes alinhadas com o objetivo do projeto. Foi também recolhida informação sobre as ferramentas de desenvolvimento AR existentes para perceber qual seria a que fazia mais sentido no projeto.

De seguida, utilizando técnicas de análise próprias, foi feita uma análise de valor da solução. Esta permitiu perceber as expectativas que a solução devia trazer para o utilizador, bem como as suas relações e dependências.

Depois destes estudos e pesquisas, que marcaram a primeira fase do projeto, foram feitas as análises e decisões mais importantes como funcionalidades principais e de diferenciação para outras soluções, escolha de tecnologias a utilizar na continuação do projeto, e desenho conceptual e técnico do que seria feito durante o período de desenvolvimento.

Dando início ao desenvolvimento de uma aplicação Android, utilizando a *framework* ARFoundation em conjunto com Vuforia. Esta consistiu também na preparação de reconhecimento de imagem e modelos, animações, junção de informação textual acerca das máquinas e estudo de uma interface de utilizador intuitiva e não demasiado intrusiva. Durante este período de desenvolvimento foram também encontradas alguns problemas e limitações, nomeadamente problemas com o suporte do reconhecimento de modelos e com a criação de algumas animações, imposto pelo ambiente de desenvolvimento.

No fim do período de desenvolvimento, foi feita uma avaliação do que foi desenvolvido, distribuindo-se a aplicação por um segmento de utilizadores da área do calçado e outro segmento fora da área. Esta distribuição foi então acompanhada por um questionário com algumas questões relevantes para os critérios de avaliação relacionados com os objetivos do projeto, gerando assim dados suficientes para uma análise final e algumas conclusões sobre o cumprimento dos objetivos estabelecidos e o desempenho do projeto.

Desde as expectativas estabelecidas numa fase inicial do projeto até à conclusão do desenvolvimento, considera-se que o planeamento e execução foram bem-sucedidos e concluídos na sua totalidade, embora na presença de algumas limitações durante a fase de desenvolvimento. As principais limitações deram-se aquando da escolha da tecnologia a utilizar, tendo havido a necessidade de um estudo através do desenvolvimento de pequenas provas de conceito, e ainda aquando da implementação do reconhecimento de modelos 3D que apesar de implementado não se encontra 100% funcional. No final, foi possível verificar a satisfação dos utilizadores, principalmente da parte dos profissionais da área do calçado, sendo estes os utilizadores de maior interesse para a solução apresentada.

6.1 Trabalho futuro

Embora se tenha dado como concluída a aplicação tendo em conta os objetivos estabelecidos inicialmente, existe ainda uma necessidade de melhorar alguns aspetos na eventualidade de existir interesse em continuar o desenvolvimento do projeto. Primeiramente, é importante tratar do feedback recolhido e melhorar no que foi maioritariamente sugerido: recolha de informação mais técnica acerca das máquinas atualmente suportadas de forma a adicionar pontos de interação; complementar a informação existente e adicionar mais animações; e melhorar a UI correspondente aos pontos de interação da máquina de forma a torná-los mais intuitivos para os utilizadores. Depois de concluídas essa melhoria, será também fundamental acrescentar o suporte para mais máquinas que sejam usadas na produção do calçado, de forma a tornar este projeto o mais abrangente possível a qualquer fase de produção.

Referências

- [1] Direção-Geral das Atividades Económicas, “Indústrias do Couro e do Calçado,” Novembro 2017. [Online]. Available: https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/sinopse-industria-do-calcado_2017_vf-pdf. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [2] APICCAPS - Portuguese shoes, “FACTS & NUMBERS 2019,” Julho 2019. [Online]. Available: <https://www.apiccaps.pt/publications/facts--numbers/126.html>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [3] APICCAPS - Portuguese shoes, “Monografia Estatística - Cluster do calçado 2018,” [Online]. Available: <https://www.apiccaps.pt/publications/monografia-estatistica/112.html>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [4] APICCAPS - Portuguese shoes, “Footure 2020 Plano Estratégico - Cluster do Calçado,” Julho 2013. [Online]. Available: <https://www.apiccaps.pt/publications/plano-estrategico/116.html>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [5] G. Danese, S. Dulio, M. Giachero e F. Leporati, “A Novel Standard for Footwear Industrial Machineries,” *IEEE Trans. Industrial Informatics*. 7. 713-722, 10.1109/TII.2011.2166789, 2011.
- [6] M. Ozdemir, G. Cascini e J. C. Verlinden, “A Mass Personalization Framework for Knitted Footwear,” 2020.
- [7] S. Muhammed, Eryilmaz, A. Kusakci, H. Gavranovic e F. Findik, “Analysis Of Shoe Manufacturing Factory By Simulation Of Production Processes,” *Southeast Europe Journal of Soft Computing*. 1, 10.21533/scjournal.v1i1.81, 2012.
- [8] The Sneaker Factory, “Shoe Factory Equipment: What do I need to make shoes?,” Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://www.sneakerfactory.net/2018/12/shoe-factory-equipment-need-make-shoes/>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [9] P. Milgram e F. Kishino, “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays,” *IEICE Trans. Information Systems*. vol. E77-D, no. 12. 1321-1329, 1994.
- [10] M. Billinghurst, A. Clark e G. Lee, “A Survey of Augmented Reality,” *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*. 8. 73-272, 10.1561/1100000049, 2015.

- [11] I. Rabbi e S. Ullah, "A Survey of Augmented Reality Challenges and Tracking," *ACTA GRAPHICA*. 24. 29-46, 2013.
- [12] S.-K. Kim, S.-J. Kang, Y.-J. Choi, M.-H. Choi e M. Hong, "Augmented-Reality Survey: from Concept to Application," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*. 11. 982-1004, 10.3837/tiis.2017.02.019, 2017.
- [13] F. Zhou, H. Duh e M. Billinghurst, "Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR," 2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2. 193-202, 10.1109/ISMAR.2008.4637362, 2008.
- [14] R. Van Krevelen e R. Poelman, "A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations," *International Journal of Virtual Reality (ISSN 1081-1451)*. 9. 1, 10.20870/IJVR.2010.9.2.2767, 2010.
- [15] Z. Huang, P. Hui, C. Peylo e D. Chatzopoulos, "Mobile augmented reality survey: a bottom-up approach," 2013.
- [16] M. Billinghurst, H. Kato e S. Myojin, "Advanced Interaction Techniques for Augmented Reality Applications," *Lecture Notes in Computer Science*. 5622. 13-22, 10.1007/978-3-642-02771-0_2, 2009.
- [17] F. Liarokapis, N. Mourkoussis, M. White, J. Darcy, M. Sifniotis, P. Petridis, A. Basu e P. Lister, "Web3D and augmented reality to support engineering education," *World Transactions on Engineering and Technology Education*. 3, 2004.
- [18] S. C.-Y. Yuen, G. Yaoyuneyong e E. Johnson, "Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education," *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE): Vol. 4 : Iss. 1 , Article 11*, 10.18785/jetde.0401.10, 2011.
- [19] M. Akçayır, "Akçayır, M. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education : A systematic review of the literature.," 2017.
- [20] M. Dunleavy, C. Dede e R. Mitchell, "Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning," *Journal of Science Education and Technology*. 18. 7-22, 10.1007/s10956-008-9119-1, 2009.
- [21] Wannaby, "Wanna," [Online]. Available: <https://wanna.fashion/>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [22] Boeing, "Upskill + Boeing," [Online]. Available: <https://upskill.io/landing/upskill-and-boeing/>. [Acedido em Fevereiro 2021].

- [23] Boeing, "Boeing Tests Augmented Reality in the Factory," [Online]. Available: <https://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [24] BOSCH, "Common Augmented Reality Platform (CAP) From Bosch," [Online]. Available: <https://www.boschautoparts.com/en/news/quarterly-news/first-qtr-2017/augmented-reality>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [25] Re-flekt, "BOSCH COMMON AUGMENTED REALITY PLATFORM," [Online]. Available: <https://www.re-flekt.com/portfolio-item/bosch-common-ar-platform>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [26] ZEISS, "ZEISS AR Metrology App," [Online]. Available: <https://www.zeiss.com/metrology/campaigns/ar-app.html>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [27] Liebherr, "Liebherr AR Experience," [Online]. Available: <https://www.liebherr.com/en/can/products/construction-machines/deep-foundation/digital-solutions/augmented-reality/ar.html>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [28] PTC, "Vuforia," [Online]. Available: <https://www.ptc.com/pt/products/vuforia>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [29] Wikitude, "Wikitude Augmented Reality," [Online]. Available: <https://www.wikitude.com/>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [30] Google, "ARCore," [Online]. Available: <https://developers.google.com/ar/discover>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [31] Kudan, "Kudan inc.," [Online]. Available: <https://www.kudan.io/>. [Acedido em Fevereiro 2021].
- [32] P. Koen, H. Bertels e E. Kleinschmidt, "Managing the Front End of Innovation Part-I Results From a Three-Year Study," *Research-Technology Management*. 57, 10.5437/08956308X5703199, 2014.
- [33] P. Belliveau, A. Griffin e S. Somermeyer, em *The PDMA Toolbook for New Product Development*, John Wiley & Sons, 2002, pp. 15-29.
- [34] A. Osterwalder e Y. Pigneur, "Canvas," em *Business Model Generation A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, John Wiley & Sons, 2010, pp. 14-44.
- [35] V. Allee, "RECONFIGURING THE VALUE NETWORK," *Journal of Business Strategy*, Vol. 21 Iss 4 pp. 36 - 39, 2000.

- [36] R. Saaty, "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used," *Mathematical Modelling*, Volume 9, Issues 3–5, 1987, p.161-176, 10.1016/0270-0255(87)90473-8.
- [37] I. a. S. B. Radu, "What Can We Learn from Augmented Reality (AR)? Benefits and Drawbacks of AR for Inquiry-Based Learning of Physics," *Association for Computing Machinery*, 2019.
- [38] "Sceneform overview," [Online]. Available: <https://developers.google.com/sceneform/develop>.
- [39] "ARCore supported devices," [Online]. Available: <https://developers.google.com/ar/devices>.
- [40] "Factory Method," [Online]. Available: <https://refactoring.guru/design-patterns/factory-method>.
- [41] "State," [Online]. Available: <https://refactoring.guru/design-patterns/state>.
- [42] "Augmented Images for ARFoundation," [Online]. Available: <https://developers.google.com/ar/develop/unity-arf/augmented-images>.
- [43] "Model Target Generator User Guide," [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Solution/model-target-generator-user-guide.html>.