

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Informática



**VISUALIZAÇÃO DE PONTOS DE INTERESSE  
EM DISPOSITIVOS MÓVEIS USANDO  
REALIDADE AUMENTADA**

**Edgar José de Sousa Montez**

**PROJECTO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA**  
Especialização em Sistemas de Informação

2012



**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Informática



**VISUALIZAÇÃO DE PONTOS DE INTERESSE  
EM DISPOSITIVOS MÓVEIS USANDO  
REALIDADE AUMENTADA**

**Edgar José de Sousa Montez**

**PROJECTO**

Trabalho orientado pela Professora Doutora Maria Beatriz Duarte Pereira Carmo  
e co-orientado pela Professora Doutora Ana Paula Pereira Afonso

**MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA**  
Especialização em Sistemas de Informação

**2012**



# Agradecimentos

Escrevo estes agradecimentos como forma de reconhecimento das pessoas mais importantes que sempre me acompanharam por todos estes anos de árduo estudo, que culminaram com a escrita da presente Tese. Esta página é pouca para agradecer todo o apoio, companheirismo, divertimento e coragem que me deram durante esta jornada.

Começo por agradecer à FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) pelo financiamento do presente trabalho.

Agradeço às minhas orientadoras, as professoras Beatriz Carmo e Ana Paula Afonso por toda ajuda que me deram para realizar esta Tese e por toda a sua simpatia e ainda ao professor António Ferreira pela sua ajuda na análise dos resultados. Um grande obrigado também para todos os outros meus professores que ao longo dos anos contribuíram de forma decisiva para a minha formação.

A todo o pessoal do LabMAg, que tão bem me acolheu neste ano lectivo, pessoas que se transformaram numa autêntica família, um enorme obrigado. Enumerando algumas dessas pessoas mais decisivas neste meu percurso, agradeço ao Fernando Silva, Jorge Gomes, Nuno Henriques, Phil Lopes, Christian Marques, Davide Nunes, João Lobo, Rui Flores e ao professor Paulo Urbano. Agradeço também ao meu colega do lado, João Amaro Silva, por todo o seu companheirismo e *brainstorming* prestado.

Um enorme obrigado a todos os meus colegas de faculdade, em especial, ao João Cruz, Gonçalo Rodrigues, André Silva, Jorge Flório, Luís Marquito, Tiago Pereira, Hugo Silva, João Casais, Bruno Fernandes e David Alexandre.

Agradeço também ao João Periquito, João Maximiano, João Alabaça, Diogo Venâncio, Diogo Piedade (talvez o meu mais antigo genuíno amigo) e todo o resto do pessoal de Santarém que me acompanharam nas mais diversas etapas da vida sempre com boa disposição e sentido de camaradagem. Um grande obrigado ainda para a Catarina Lopes pelo apoio que me deu em tantos tempos tempestuosos.

Finalmente, agradeço à minha família, sobretudo à minha mãe e ao meu pai que me passaram os valores que tenho hoje e sempre suportaram as minhas decisões mesmo sabendo que por vezes estava errado. Obrigado por me ajudarem a crescer a todos os níveis. Um especial obrigado também ao meu tio-avô Edgar Sousa que me incutiu desde tenra idade o gosto pelo conhecimento.



*À minha Mãe*



## Resumo

Recentemente tem-se verificado um crescimento na utilização de dispositivos de computação móvel e um aumento das tecnologias integradas nestes. A existência de bússola, GPS, câmara de vídeo e placa de rede sem fios, torna estes dispositivos boas plataformas de suporte a aplicações de Realidade Aumentada. No entanto, a autonomia da bateria, o tamanho do ecrã e a capacidade de processamento destes dispositivos ainda apresentam limitações desafiantes na concepção de aplicações.

Num sistema de Realidade Aumentada é necessário sobrepor a imagens do ambiente real informação representada através de símbolos virtuais. Devido à impossibilidade em controlar as características da maioria dos ambientes exteriores, é por vezes difícil distinguir os símbolos virtuais sobrepostos às imagens captadas.

Com o objectivo de oferecer informação clara aos utilizadores este projecto visa estudar formas de criar visualizações adaptativas que ajustem dinamicamente as características dos símbolos virtuais em função do ambiente real captado. É necessário que a adaptação dos símbolos preserve o seu significado.

Neste projecto efectuaram-se dois estudos com utilizadores e desenvolveu-se uma aplicação. O primeiro estudo teve como objectivo identificar a variação mínima de luminosidade necessária aplicar à cor de um símbolo para que esta se distinga da cor de fundo numa visualização no exterior. Os resultados deste estudo indicam que deve ser considerada uma variação de cerca de 0.25 unidades (numa escala de 0 a 1) no modelo HSV. O segundo estudo compara duas formas de adaptação: a adição de um rebordo e a alteração da luminosidade da cor de um símbolo. Este estudo analisa também qual a solução mais adequada para preservar a semântica entre adaptar todos os símbolos ou apenas aqueles que não se distinguem do fundo. Neste estudo os utilizadores preferiram a adaptação por rebordo e a adaptação de todos os símbolos. A aplicação desenvolvida concretiza as adaptações estudadas realizando a adaptação automática dos símbolos em tempo-real.

**Palavras-chave:** realidade aumentada, adaptação de simbologia, pontos de interesse, preservação de semântica, dispositivos móveis.



# Abstract

Recently, there has been a strong growth in the use of mobile computer devices and an increase in the integrated technologies. The existence of digital compass, GPS, video camera and wireless network interface, enables the development of Augmented Reality applications. However, the battery autonomy, the screen size and the processing power of these devices still present a great challenge for application development.

In an Augmented Reality system it is necessary to overlay the information represented by virtual symbols to real world images. Due the impossibility to control the characteristics of outdoor environments, sometimes it is hard to distinguish the virtual symbols overlaid on the captured images.

In order to present clear information to the users, this project intends to study ways to make adaptive visualizations that can adjust dynamically the characteristics of the virtual symbols according to the background images. It is necessary to preserve the symbol semantics in the adaptation process.

In this project two user studies and an application were made. The first study had the purpose of identifying the minimal value variation that should be applied to a symbol's color in order to make it salient from their background on an outdoor visualization. The results from this study point that it must be considered a variation of about 0.25 unities (on a scale of 0 to 1) in the HSV model. The second study compares two adaptation forms: adding a border and adjusting color lightness of a symbol. This study also analysis if it is better to adapt all symbols or adapt only those symbols that are similar to the background in order to preserve the semantics. In this study, users preferred the border adaptation and to adapt all symbols. The developed application implements the studied adaptations making a real time automatic symbol adaptation.

**Keywords:** augmented reality, symbol adaptation, points of interest, semantics preservation, mobile devices.



# Conteúdo

Capítulo 1	Introdução .....	1
1.1	Motivação .....	1
1.2	Objectivos e Contribuições .....	2
1.3	Metodologia e Planeamento.....	4
1.4	Organização do Documento.....	5
Capítulo 2	Trabalho Relacionado .....	7
2.1	Realidade Aumentada .....	7
2.1.1	Ecrãs de Sistemas de Realidade Aumentada.....	9
2.1.2	<i>Tracking</i> .....	14
2.1.3	Realidade Aumentada Interior e Exterior.....	17
2.2	Estudos Sobre a Percepção e Atenção Humana.....	18
2.3	Comparação de Modelos de Cor.....	21
2.3.1	Modelo de Cor RGB .....	22
2.3.2	Modelo de Cor HSV.....	23
2.3.3	Modelo de Cor CIELab .....	23
2.4	Estudos Sobre a Variação de Simbologia .....	24
2.5	Adaptação da Cor em Aplicações de Realidade Aumentada.....	27
2.5.1	ARQuake.....	27
2.5.2	Harmonização de Cor.....	28
2.6	Adaptação de Texto em Realidade Aumentada Exterior.....	29
2.7	Visualização de Informação em Dispositivos Móveis.....	32
2.8	Simbologia em Realidade Aumentada.....	35
2.9	A Plataforma de Realidade Aumentada RUBI .....	36
2.10	Conclusão.....	36
Capítulo 3	Estudo para Ajuste de Luminosidade .....	39
3.1	Variações na luminosidade .....	39
3.2	Aplicação para testes .....	40
3.3	Estudo com utilizadores .....	41
3.3.1	Participantes .....	41
3.3.2	<i>Apparatus</i> .....	41

3.3.3	Tarefas .....	41
3.3.4	<i>Design</i> .....	42
3.3.5	Procedimento.....	42
3.3.6	Resultados e Discussão .....	43
3.4	Sumário e Conclusões.....	43
Capítulo 4	Estudo Sobre a Preservação da Semântica e o Tipo de Adaptação ..	45
4.1	A aplicação desenvolvida para os testes .....	46
4.2	Estudo com utilizadores.....	47
4.2.1	Participantes .....	47
4.2.2	<i>Aparattus</i> .....	48
4.2.3	Tarefas .....	48
4.2.4	<i>Design</i> .....	49
4.2.5	Procedimento.....	52
4.2.6	Hipóteses .....	53
4.2.7	Testes estatísticos efectuados .....	54
4.2.8	Apresentação dos resultados .....	55
4.2.9	Análise dos resultados .....	64
4.3	Conclusões .....	68
Capítulo 5	Aplicação Desenvolvida .....	71
5.1	Características dos símbolos utilizados .....	71
5.2	Condições para avaliar a necessidade de adaptação .....	72
5.3	Algoritmo para adaptação de um grupo de símbolos do mesmo tipo...	73
5.4	Algoritmo para avaliar cores semelhantes .....	74
5.5	Algoritmo de adaptação por rebordo .....	76
5.6	Algoritmo de adaptação por cor.....	77
5.7	Filtros de pontos de interesse implementados .....	78
5.8	Utilização .....	79
5.9	Conclusão.....	79
Capítulo 6	Conclusões e Trabalho Futuro .....	81
6.1	Conclusões .....	81
6.2	Trabalho Futuro .....	82
Bibliografia	.....	85
Anexo A	.....	91

Anexo B .....	93
Anexo C .....	95
Anexo D .....	97
Anexo E.....	101
Anexo F.....	105
Anexo G.....	111
Anexo H.....	121



# Lista de Figuras

Figura 2.1 – Representação simplificada de um <i>Continuum</i> de Realidade Virtual [18].	7
Figura 2.2 – Exemplo de uma aplicação de Realidade Aumentada [21].	8
Figura 2.3 – Geração de imagens para ecrãs de Realidade Aumentada [22].	9
Figura 2.4 – Diagrama conceptual de um ecrã do tipo <i>Video see-through</i> HMD [24].	10
Figura 2.5 - Diagrama conceptual de um ecrã do tipo <i>Optical see-through</i> HMD [24].	11
Figura 2.6 - Diagrama simplificado de um ecrã do tipo <i>Retinal Display</i> [22].	12
Figura 2.7 - Exemplo de um ecrã do tipo <i>Hand-Held Video See-Through</i> [22].	13
Figura 2.8 - Representação dos três ângulos para orientação [26].	14
Figura 2.9 - Representação do cubo RGB com respectiva cor dos vértices [43].	22
Figura 2.10 - Representação do modelo de cor HSV e respectiva cor dos vértices [43].	23
Figura 2.11 - Representação do espaço de cor CIELab [46].	24
Figura 2.12 - Número de respostas correctas correspondentes ao significado de cada símbolo num universo de 22 respostas [47].	25
Figura 2.13 - Exemplo da utilização de um operador de agregação [57].	34
Figura 2.14 - Exemplo da utilização de um operador de tipificação [57].	34
Figura 2.15 - Exemplo da utilização de um operador de deslocamento [57].	34
Figura 3.1 - Exemplo de imagens da aplicação.	40
Figura 3.2 - Contraste mínimo necessário para cada cor em função da luminosidade do fundo.	43
Figura 4.1 - Possível sequência de adaptações por rebordo de diferentes formas numa imagem de fundo claro no primeiro bloco de testes.	50
Figura 4.2 - Possível sequência de adaptações por cor de diferentes formas numa imagem de fundo escuro no primeiro bloco de testes.	50
Figura 4.3 – Sequência de adaptação por rebordo numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.	51
Figura 4.4 - Sequência de adaptação por cor numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.	51
Figura 4.5 - Sequência de adaptação dupla (cor e rebordo em simultâneo) com a letra “H” numa imagem de fundo claro no segundo bloco de testes.	51

Figura 4.6 - Sequência de adaptação dupla (cor e rebordo em simultâneo) numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.....	52
Figura 4.7 – Comparação da percentagem de respostas dos utilizadores em que há preservação da semântica por tipo e forma de adaptação.....	56
Figura 4.8 - Preservação da semântica da simbologia em cada uma das imagens com adaptações por cor e com formas de adaptação diferentes.....	57
Figura 4.9 - Preferência da forma de adaptação em todas as imagens com adaptações por cor.....	57
Figura 4.10 - Preferência da forma de adaptação (adaptação total do grupo de símbolos ou apenas parcial) por tipo de adaptação (rebordo ou cor).....	58
Figura 4.11 - Total de símbolos encontrados por tipo de adaptação (cor, rebordo ou base) e pela característica da imagem (clara ou escura).....	58
Figura 4.12 - Tempo que os utilizadores demoram a pressionar um símbolo (o primeiro, o segundo e o terceiro respectivamente) com determinado tipo de adaptação (rebordo ou cor).....	60
Figura 4.13 - Tempo médio para encontrar um símbolo por tipo de adaptação (cor ou rebordo) e característica da imagem de fundo (clara ou escura). ....	61
Figura 4.14 - Preferência dos utilizadores quanto ao tipo de adaptação (rebordo ou cor) quando as duas são apresentadas em simultâneo na mesma imagem.....	62
Figura 4.15 - Preferência dos utilizadores pelo tipo de adaptação (rebordo ou cor) e dependendo se os símbolos apresentam uma letra no meio ou não.....	63
Figura 4.16 - Preferência dos utilizadores pelo tipo de adaptação (rebordo ou cor) e pela característica da imagem de fundo (clara ou escura).....	63
Figura 4.17 – Adaptação do símbolo com má visualização na imagem de fundo “Normal Clara” .....	65
Figura 5.1- Símbolos criados para usar na Plataforma RUBI .....	72
Figura 5.2 – Condição mínima para que exista uma adaptação em grupo. ....	74
Figura 5.3 – Condição necessária para que exista desadaptação ou não adaptação do grupo.....	74
Figura 5.4 – Símbolo e área envolvente para análise de cor dominante com os valores por defeito.....	75
Figura 5.5 – Imagem do filtro por categorias implementado na plataforma RUBI.....	78
Figura 5.6 – Imagem do filtro de distância implementado na plataforma RUBI. ....	78

Figura 5.7 – Visualização de pontos de interesse sem adaptação. ....	79
Figura 5.8 – Visualização de pontos de interesse adaptados por rebordo. ....	79
Figura 5.9 – Visualização de pontos de interesse adaptados por alteração da luminosidade da cor.....	79



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação entre diversas tecnologias para efectuar *tracking* [5]..... 16

## Lista de Siglas

A-GPS – *Assisted GPS*

AR – *Augmented Reality*

CPU – *Central Processing Unit*

GPS – *Global Positioning System*

GPU – *Graphics Processing Unit*

HSDPA – *High-Speed Downlink Packet Access*

IDE – *Integrated Development Environment*

LCD – *Liquid Crystal Display*

MIDP – *Mobile Information Device Profile*

RAM – *Random Access Memory*

SD – *Secure Digital*

TFT – *Thin-Film Transistor*

VGA – *Video Graphics Array*

## Glossário

*Cluttering* – Sobrecarga, confusão

*Design* – Desenho

*Flickering* – Tremulação

*Floating Point* – Vírgula Flutuante

*Frustum* – Tronco

*Label* – Etiqueta

*Onboard* – Incorporado

*Plugin* – Extensão

*Rendering* – Geração de Imagem

*Template* – Modelo



# Capítulo 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Nos últimos anos tem sido notório o aumento da utilização de dispositivos de computação móvel. Estes dispositivos estão a tornar-se progressivamente em objectos indispensáveis para realizar ou simplificar muitas das variadas tarefas exigidas diariamente a cada um de nós. Actualmente, os dispositivos móveis têm vindo a ganhar relevância devido à sua portabilidade, preços mais atractivos para o grande público e a características computacionais mais poderosas. Destas podem-se destacar: os seus ecrãs a cor de alta qualidade, a integração de câmaras de alta-resolução (que permitem capturar imagens em tempo-real), maior capacidade a nível de processamento gráfico, facilidade de localização devido ao GPS e bússola e integração de placas de rede sem fios que permitem uma conectividade à internet de banda larga [1][2].

Estes dispositivos móveis apresentam, no entanto, algumas limitações que deverão ser consideradas no desenho de aplicações. Quando comparados com os tradicionais computadores de secretária apresentam desvantagens quanto ao fornecimento de energia, uma vez que estes dispositivos dependem da capacidade de armazenamento de energia das suas baterias, as quais são obrigadas a alimentar ecrãs que se revelam grandes consumidores de energia [3]. Outras limitações a ter em consideração encontram-se relacionadas com o poder de processamento, com o tamanho do ecrã e com as modalidades de entrada (*input*) disponíveis [3]. Por exemplo, em comparação com um *smartphone*, um PC rápido apresenta uma vantagem de velocidade de processamento na ordem dos 3000% [4].

Recorrendo às novas capacidades dos dispositivos móveis foi possível adaptar a estes o conceito de Realidade Aumentada. Num sistema de Realidade Aumentada há uma integração de elementos virtuais sobre imagens do mundo real. A Realidade Aumentada foi apresentada pela primeira vez por Ivan Sutherland em 1968 [5]. No entanto esta área só viria a ser explorada mais aprofundadamente já nos anos 90, uma

vez que só aí a tecnologia evoluiu a ponto de permitir sistemas de Realidade Aumentada de maior desempenho. A primeira aplicação de realidade aumentada móvel exterior foi a “The Touring Machine”[6], que foi usada no *campus* da universidade de Columbia em Nova Iorque. Esta servia de guia turístico mostrando anotações virtuais nos edifícios reais da universidade. Embora simples, esta aplicação conseguiu mostrar a capacidade da apresentação de informação georreferenciada no local [2]. Uma vez que a capacidade de processamento dos dispositivos móveis foi progressivamente aumentando, foi possível transferir a tecnologia do final dos anos 90, que era usada em computadores transportados às costas (*backpacks*), para dispositivos móveis tais como Tablet PCs, PDAs e telemóveis (onde se incluem os *smartphones*) [2].

A apresentação de Pontos de Interesse a utilizadores de uma forma clara e informativa cada vez mais se apresenta como uma tarefa de extrema importância. Isto acontece porque permite a um utilizador que se encontra em qualquer local obter toda a informação relativa ao local que o rodeia, através da simples utilização do seu dispositivo de computação móvel. Este tipo de aplicações tem especial relevância no contexto do turismo, uma vez que o utilizador desconhece o local em que está inserido e quer obter informação sobre este. Isto faz com que estas aplicações consigam substituir os tradicionais guias turísticos. Ao se visualizar pontos de interesse usando a técnica de Realidade Aumentada há uma integração de símbolos virtuais sobre imagens do mundo real captadas em tempo-real. Estes símbolos virtuais transmitem informação ao utilizador sobre os pontos de interesse ao qual estão associados.

Devido à impossibilidade de se controlar o mundo exterior, coloca-se o problema da imperceptibilidade dos símbolos virtuais usados para identificar os pontos de interesse. Isto pode acontecer devido à relação entre os elementos virtuais inseridos e as características dos objectos presentes no mundo real (com especial ênfase para a cor).

Apesar de já existirem alguns estudos que abordam alguns aspectos do problema da adaptação de elementos virtuais em contextos do ambiente real sob a forma de texto [7][8][9], estes não se preocupam em preservar a semântica dos objectos adaptados.

## **1.2 Objectivos e Contribuições**

Este projecto teve por objectivo propor soluções para a adaptação de símbolos, correspondentes a pontos de interesse, em ambientes exteriores em tempo-real para que estes sejam sempre perceptíveis para o utilizador. É necessário que o utilizador consiga

identificar todos os símbolos presentes numa imagem facilmente e sem que a adaptação altere a semântica desses símbolos [10].

Este projecto continua o trabalho sobre simbologia em Realidade Aumentada realizado por Raul Simplício no Projecto de Engenharia Informática [11]. Neste trabalho o autor estudou formas de adaptação de simbologia que melhorassem a sua detecção sobre imagens do mundo real. No presente projecto procuram-se soluções para Realidade Aumentada em dispositivos móveis, em ambientes exteriores e garantindo ao mesmo tempo a preservação da semântica dos símbolos adaptados. Para a realização deste projecto foi utilizada a plataforma de Realidade Aumentada para dispositivos móveis, RUBI, desenvolvida por Pedro Silva no Projecto de Engenharia Informática [12].

Encontra-se descrito em seguida um sumário com as diversas contribuições efectuadas com a realização deste projecto:

- Análise extensiva sobre modelos de cor de modo a concluir qual o melhor para a comparação de cores e qual o melhor para a adaptação de cor;
- Análise da amplitude mínima da variação de luminosidade que é necessária aplicar a uma cor dentro do modelo de HSV, para obter contraste suficiente para se distinguirem cores com a mesma tonalidade e saturação numa visualização efectuada no exterior com forte exposição solar;
  - Estudo com utilizadores como forma de suporte a esta análise.
- Análise de técnicas de adaptação de simbologia em Realidade Aumentada que garantam a preservação da semântica dos símbolos adaptados;
  - Estudo com utilizadores relativo à sua preferência em termos da preservação da semântica e do tipo de adaptação (adição de um rebordo e alteração da luminosidade da cor), e da eficiência e do desempenho de cada tipo de adaptação;
  - Estudo com utilizadores a nível da preservação da semântica da simbologia nas situações em que se adaptam todos os símbolos do mesmo tipo e nas situações em que se adaptam apenas aqueles que se distinguem mal do fundo em adaptações por adição de rebordo e por alteração da luminosidade da cor.
- Implementação de uma aplicação de Realidade Aumentada, desenvolvida para *Android*, que estende a plataforma RUBI [13] para suportar a adaptação de simbologia por adição de um rebordo e por alteração da luminosidade da cor em

tempo-real, livre de *flickering* e de acordo com os resultados obtidos nos estudos efectuados com utilizadores de modo a preservar a semântica da simbologia.

- Colaboração na escrita do artigo “Adaptação de Simbologia em Realidade Aumentada” [14] aceite para publicação na conferência nacional 20º Encontro Português de Computação Gráfica a decorrer em Viana do Castelo, de 24 a 26 de Outubro de 2012. Este artigo apresenta os resultados do primeiro estudo efectuado neste projecto, bem como o trabalho que lhe serviu de base desenvolvido por Raul Simplício [11].

### 1.3 Metodologia e Planeamento

A metodologia utilizada para cumprir os objectivos propostos foi baseada numa metodologia de validação experimental que é utilizada no desenvolvimento de projectos na área de engenharia de *software* [15][16]. Esta metodologia é baseada no aperfeiçoamento de soluções propostas através de um processo iterativo, recorrendo a sucessivas análises das soluções desenvolvidas. A utilização deste tipo de metodologia requer:

- Primeiro: realizar um estudo aprofundado sobre o trabalho relacionado (Capítulo 2).
- Segundo: tomar consciência das limitações e deficiências das soluções já encontradas no âmbito do objecto de estudo, e propor novas soluções que resolvam, ou atenuem, as limitações identificadas (Capítulos 3 e 4).
- Terceiro: desenvolver uma aplicação que implemente as propostas anteriormente elaboradas e avaliadas de forma positiva (Capítulo 5).

Este projecto envolveu o desenvolvimento de duas aplicações para efectuar testes com utilizadores e também de uma aplicação que estende a plataforma RUBI. Para o desenvolvimento destas aplicações foi adoptada a metodologia de desenvolvimento de *software* SCRUM. Esta metodologia é composta por diversas fases. Numa primeira fase é necessário realizar o planeamento onde se deverá desenvolver uma arquitectura. Após esta fase, este método contempla curtas etapas de desenvolvimento, onde há uma entrega incremental do produto. E finalmente, há uma fase de fecho em que se completa o desenvolvimento do produto. Está também comprovado que esta metodologia funciona bem com pequenas equipas de desenvolvimento (neste caso de apenas um elemento) [17].

A duração exacta e mais detalhada das tarefas realizadas, assim como uma pequena discussão que a compara com a duração prevista, encontra-se presente no Anexo A. No entanto, pode-se dividir a realização deste projecto em quatro grandes tarefas. Apresentam-se de seguida estas tarefas e a sua duração aproximada:

A primeira tarefa centrou-se na pesquisa de trabalho relacionado e na exploração de conceitos essenciais, nomeadamente: o conceito de Realidade Aumentada, os tipos de ecrãs em Realidade Aumentada, o *tracking* em Realidade Aumentada, a comparação entre os ambientes interiores e exteriores em Realidade Aumentada, a percepção e atenção humana, os modelos de cor, estudos sobre a variação de simbologia, adaptações em Realidade Aumentada, visualização de informação em dispositivos móveis, simbologia em Realidade Aumentada e na plataforma RUBI. Esta tarefa teve uma duração total de aproximadamente 4 meses, sendo efectuada por vezes em simultâneo com outras.

A segunda tarefa centrou-se na criação de soluções a partir da análise do trabalho relacionado recolhido e na realização de estudos com utilizadores de modo a validar estas soluções propostas. Esta tarefa teve uma duração aproximada de 5 meses.

A terceira tarefa é relativa à familiarização com a plataforma RUBI e ao desenvolvimento de uma aplicação que estende esta plataforma, a qual foi sendo realizada ao longo de todo o projecto e em paralelo com as restantes tarefas.

A quarta tarefa é relativa à elaboração deste documento, a qual teve uma duração de aproximadamente 2 meses.

## **1.4 Organização do Documento**

Este documento encontra-se organizado em 6 capítulos principais. É ainda complementado com a bibliografia utilizada, e por diversos anexos.

No capítulo 1 é apresenta-se a motivação deste projecto, seguindo-se os objectivos e as contribuições realizadas e, finalmente, a metodologia e o planeamento.

No capítulo 2 apresentam-se os conceitos de Realidade Aumentada e o trabalho desenvolvido nesta área relacionado com o projecto realizado. É dado especial ênfase à Realidade Aumentada em ambientes exteriores, à percepção e atenção humana e a trabalhos já desenvolvidos na área da adaptação de elementos virtuais. Uma vez que o presente projecto se apresenta como uma continuação do trabalho desenvolvido por Raul Simplício em [11] e estende a plataforma RUBI desenvolvida por Pedro Silva em

[12], encontra-se no fim do mesmo capítulo uma descrição mais detalhada relativa a estes trabalhos.

No capítulo 3 apresenta-se o primeiro estudo efectuado no âmbito deste projecto. Neste estudo são efectuados testes com utilizadores para identificar qual a variação de luminosidade que é necessária numa dada cor, para que esta se torne visível quando sobreposta a uma cor com a mesma tonalidade e saturação (ou seja, mantendo inalterada a informação cromática da cor). Este estudo foi efectuado num dispositivo móvel, no exterior e sobre condições de luminosidade solar muito intensas.

No capítulo 4 apresenta-se o segundo estudo efectuado no âmbito deste projecto. Neste estudo foram efectuados testes para perceber qual o tipo de adaptação (por adição de um rebordo ou alteração da luminosidade da cor) e qual a forma de adaptação (adaptar todos os símbolos ou apenas aqueles que se distinguem mal num grupo de símbolos do mesmo tipo) mais vantajosa para o utilizador. Ou seja, que garanta a preservação da semântica da simbologia, um melhor desempenho e eficácia na sua procura e esteja de acordo com as preferências do utilizador.

No capítulo 5 apresentam-se as extensões feitas à plataforma RUBI para que esta suporte as técnicas de adaptação resultantes dos estudos anteriores (com os algoritmos de adaptação detalhados no Anexo H) de modo a preservar a semântica da simbologia e ainda as implementações de alguns filtros de informação.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões em relação ao trabalho efectuado e ainda algumas sugestões para trabalho futuro.

## Capítulo 2 Trabalho Relacionado

Neste capítulo serão debatidos os estudos mais importantes para este projecto nas áreas de Realidade Aumentada, atenção e percepção humana, modelos de cor, adaptação de elementos virtuais ao contexto e visualização de informação em dispositivos móveis. Este capítulo pretende assim dar uma perspectiva do estado da arte no âmbito do projecto desenvolvido, assim como apresentar os trabalhos que serviram de ponto de partida ao presente projecto.

### 2.1 Realidade Aumentada

Para melhor introduzir o conceito de Realidade Aumentada é importante citar P. Milgram, que refere que se pode considerar existir um “Continuum de Realidade-Virtualidade” (Figura 2.1) o qual tem vários estados. Entre um Ambiente Real e um Ambiente Virtual podem considerar-se ambientes mistos em que à realidade se juntam elementos virtuais (Realidade Aumentada) ou a ambientes virtuais se juntam aspectos reais (Virtualidade Aumentada) [18].

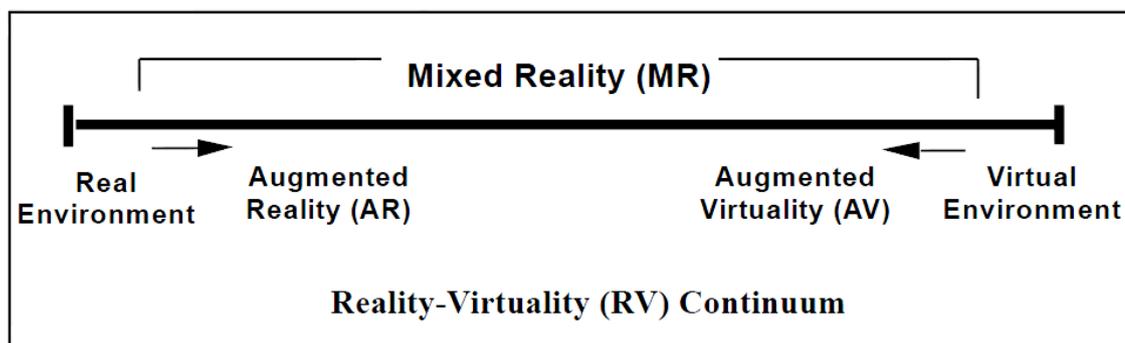


Figura 2.1 – Representação simplificada de um *Continuum* de Realidade Virtual [18].

Azuma em [19] define o conceito de Realidade Aumentada como um sistema que complementa o mundo real através de elementos virtuais, de modo a que estes pareçam coexistir no mesmo espaço que o mundo real. Ainda segundo o mesmo autor, um

sistema para ser considerado de Realidade Aumentada tem de respeitar três regras: combinar objectos reais e virtuais num ambiente real; correr interactivamente, e em tempo-real; e os objectos reais e virtuais têm de estar alinhados entre si. Pode-se relacionar a Realidade Aumentada com a Realidade Virtual uma vez que é objectivo comum o utilizador explorar interactivamente o mundo, predominantemente através do sentido da visão (também possível através do sentido auditivo ou táctil mas não tão usual). A diferença centra-se no facto do mundo não ser construído artificialmente mas ser sim o real [20]. Isto torna o mundo, do ponto de vista computacional, imprevisível e complexo.

Actualmente existem aplicações práticas que recorrem à técnica de Realidade Aumentada nos mais diversos domínios, dos quais podem-se nomear: montagem e construção, navegação e *path-finding*, turismo, geografia, jornalismo, arquitectura e arqueologia, modelação urbana, entretenimento, medicina, treino militar e combate, gestão de informação pessoal e marketing [20].

Na Figura 2.2 é apresentado um exemplo de uma aplicação de Realidade Aumentada, em que no ecrã do dispositivo (um *smartphone*, tal como é usado neste projecto) se pode ver a adição de elementos virtuais no ambiente real.



Figura 2.2 – Exemplo de uma aplicação de Realidade Aumentada [21].

Nas próximas subsecções são apresentados os principais tipos de ecrãs que se podem utilizar num sistema de Realidade Aumentada, é definido o conceito de *tracking* e é efectuada a comparação de sistemas de Realidade Aumentada no interior e no exterior.

### 2.1.1 Ecrãs de Sistemas de Realidade Aumentada

Os ecrãs (*displays*) classificam-se como sendo sistemas de formação de imagem que requerem um conjunto de componentes ópticas, electrónicas e mecânicas para gerar imagens algures no caminho óptico (*optical path*) entre os olhos do observador e o objecto físico a ser aumentado [22].

Os tipos de ecrãs de Sistemas de Realidade Aumentada podem classificar-se segundo o local onde estão posicionados. Existem três locais possíveis: adjunto à cabeça (*Head-Attached*), segurado pelas mãos (*Hand-Held*) e em frente ao utilizador sem ser suportado por este (*Spacial*). Também se pode classificar o tipo de ecrãs de Realidade Aumentada pela forma de apresentação visual da Realidade Aumentada ao utilizador. Estas formas são: visualizar através de vídeo (*Video See-Trough*), visualizar através de superfícies transparentes (*Optical See-Trough*), ou visualizar através de uma projecção dos elementos virtuais no mundo real (*Projective*). A combinação das classificações para os *displays* em Realidade Aumentada está esquematizada na Figura 2.3 [20][23].

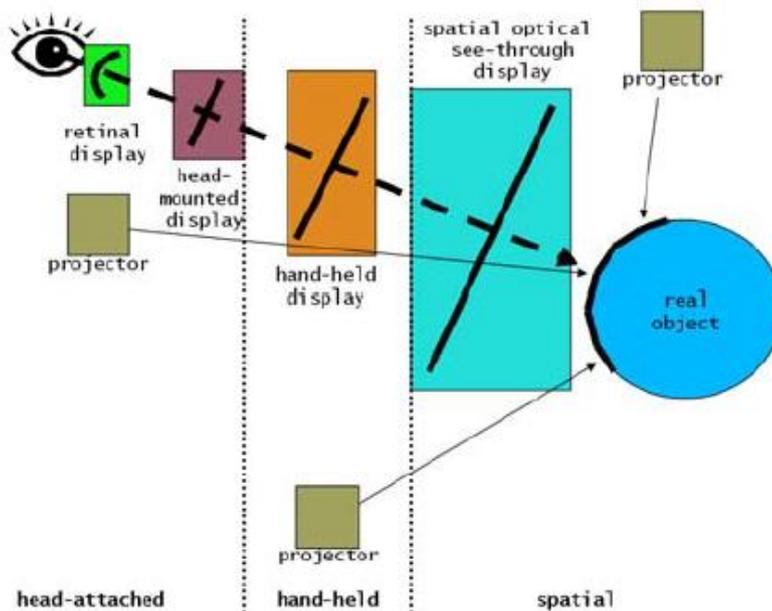


Figura 2.3 – Geração de imagens para ecrãs de Realidade Aumentada [22].

Apresentação dos vários tipos de ecrãs de Realidade Aumentada pela forma de apresentação visual da Realidade Aumentada ao utilizador:

- Ecrãs do tipo *Video See-Trough*:

Este tipo de ecrãs caracteriza-se por se observar o ambiente real através de vídeo gravado em tempo-real e que é projectado ao utilizador juntamente com os elementos virtuais gerados [24]. Neste tipo de ecrãs, é fácil integrar ou remover elementos virtuais

no ambiente real (como por exemplo, substituir uma marca fiducial por determinado elemento virtual), e também é fácil de controlar a luminosidade e o contraste dos elementos virtuais de acordo com o ambiente real [23]. É possível obter um campo de visão mais amplo e aplicar técnicas de *tracking* (ver subsecção 2.1.2 ) baseada na análise de vídeo [24].

No entanto, apresentam a desvantagem de limitar a resolução do ambiente real capturado [24]. Este tipo de ecrãs quando é *Head-Attached*, ou seja, *Video See-Through Head Mounted Display* (HMD), Figura 2.4, apresenta desvantagens específicas, nomeadamente: a segurança ser menor (uma vez que o ecrã pode ficar sem energia, ou mesmo avariar-se, levando a que o utilizador perca por momentos o contacto visual com o mundo físico), e a existência de paralaxe (distância entre os pontos correspondentes das imagens do olho direito e do esquerdo na imagem projectada na tela [25]) que pode levar o utilizador a ficar desorientado [24].

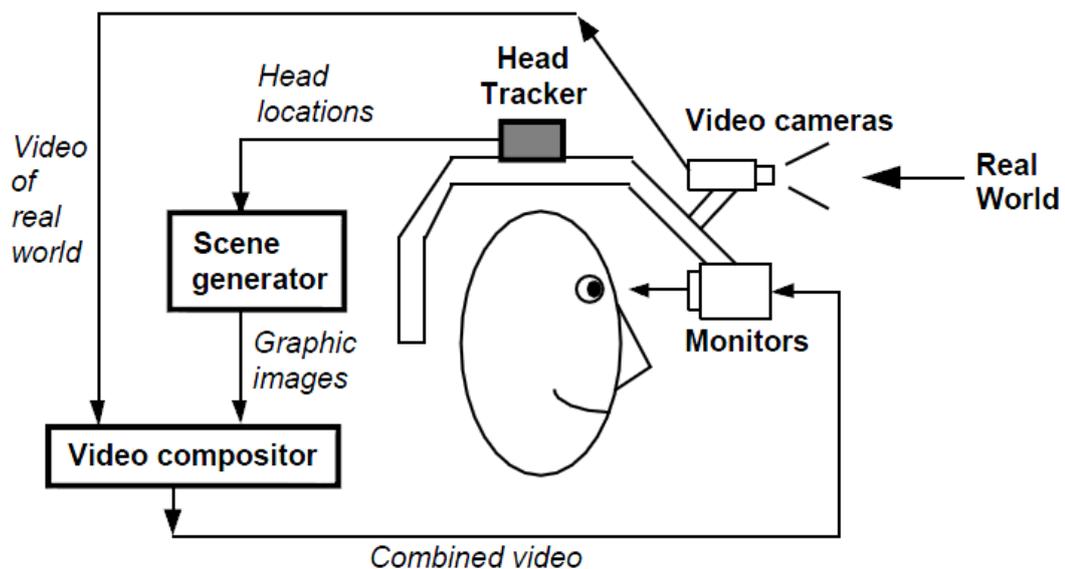


Figura 2.4 – Diagrama conceptual de um ecrã do tipo *Video see-through* HMD [24].

- Ecrãs do tipo *Optical See-Trough*:

Este tipo de ecrãs caracteriza-se por se observar o mundo real directamente pelo ecrã uma vez que este é transparente [24]. Assim os elementos virtuais são projectados no ecrã, sendo sobrepostos ao ambiente real devido à transparência que estes ecrãs possuem [24]. Ao contrário do que se passava com os ecrãs do tipo *Video See-Trough*, a resolução apresentada ao utilizador é a da fóvea deste [24], são mais seguros (o

utilizador nunca perde o contacto com o mundo físico) e não sofrem do efeito de paralaxe [23].

No entanto, este tipo de ecrãs também apresenta algumas desvantagens. Uma delas é ser preciso mais recursos para o *tracking* (definição na subsecção 2.1.2 ) na medida em que não é possível efectuá-lo através do método de tratamento de imagem [23]. São menos indicados para utilizações no exterior devido aos elementos virtuais se apresentarem semitransparentes, o que faz com que não se consiga sobrepor determinados elementos virtuais a alguns objectos do ambiente real de uma forma clara [24]. O campo de visão não é tão amplo como nos ecrãs do tipo *Video See-Through* [24]. A visualização dos elementos virtuais pode não estar sincronizada com o ambiente real observado [24]. Na Figura 2.5 pode ser observado um exemplo de um ecrã do tipo *Optical See-Trough*.

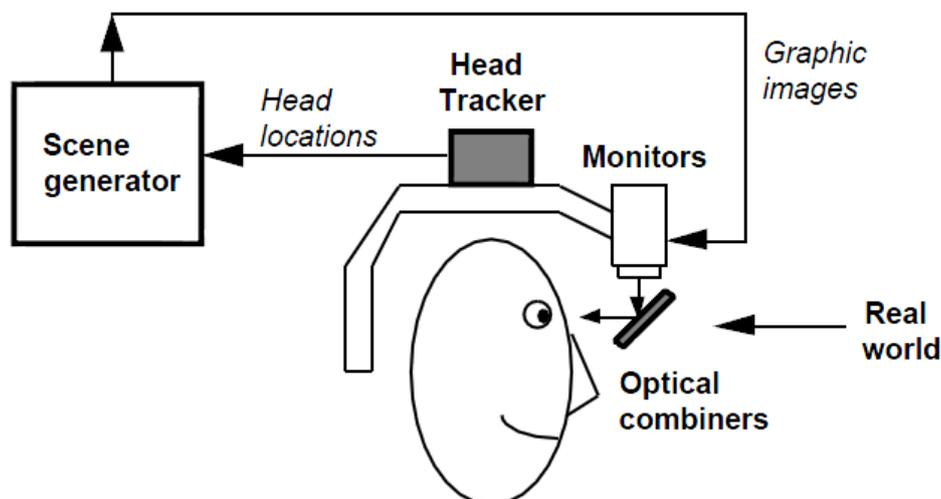


Figura 2.5 - Diagrama conceptual de um ecrã do tipo *Optical see-through* HMD [24].

- Ecrãs do tipo *Projective*:

Este tipo de ecrãs caracteriza-se por não necessitar de nenhuma superfície intermédia especial para acomodar os olhos do utilizador, sendo que é possível cobrir grandes superfícies para um amplo campo de visão [23]. No entanto, este tipo de ecrãs é indicado para se usar só no interior devido ao baixo brilho e contraste das imagens projectadas [23].

Apresentação dos vários tipos de ecrãs de sistemas de Realidade Aumentada segundo o local onde estão posicionados:

- Ecrãs do tipo *Head-Attached*:

Este tipo de ecrãs caracteriza-se por estar adjunto à cabeça do utilizador. Dentro deste tipo de ecrãs encontramos os *Video See-Through HMDs*, os *Optical See-Through HMDs*, os *Head-Mounted Projective Displays* (HMPD) e os *Retinal Displays* [23].

Os *Retinal Displays* caracterizam-se por utilizarem lasers semicondutores de baixa energia para enviar luz modulada directamente para a retina do olho humano. São indicados para o uso exterior uma vez que apresentam uma alta luminosidade e contraste e um baixo consumo de energia. As suas desvantagens prendem-se com o facto de só poderem ser apresentadas imagens monocromáticas (a vermelho) uma vez que ainda não existem lasers de baixa energia azuis e verdes económicos, o comprimento de foco é fixo e não existem versões estereoscópicas [22] (exemplo na Figura 2.6).

Os HMPD são ecrãs também do tipo *Projective*. Funcionam com o princípio de redireccionar o *frustum* de direcção com um espelho divisor de feixes. Isto para que as imagens que são transmitidas em superfícies retro-reflectivas estejam localizadas em frente ao utilizador. As superfícies reflectivas estão cobertas por milhares de micro cubos de canto (*corner cubes*) que têm como única função óptica a de reflectir de volta a luz pela sua direcção incidente. Assim, estas superfícies reflectem imagens com maior luminosidade do que as superfícies que difundem luz [22].

Verifica-se, no entanto, que os *Head-Attached Displays* sofrem de problemas a nível tecnológico e ergonómico, tornando-se assim ineficaz o seu uso efectivo em todas as áreas de aplicação [22].

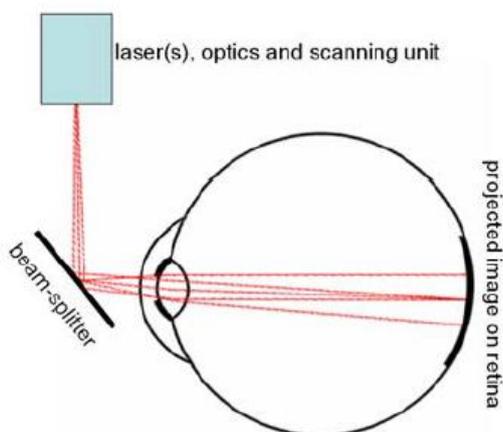


Figura 2.6 - Diagrama simplificado de um ecrã do tipo *Retinal Display* [22].

- Ecrãs do tipo *Hand-Held*:

Estes ecrãs caracterizam-se por poderem ser agarrados pelos utilizadores e poderem ser vistos à distância de um braço, apresentando facilidade de mobilidade. Nesta categoria de ecrãs pode-se incluir os *Hand-Held Video/Optical See-Through Displays* e os *Hand-Held Projectors* [23]. Este tipo de ecrãs apresentam a desvantagem de não permitirem que o utilizador tenha as suas mãos livres para poder realizar outras tarefas em simultâneo [22].

Considera-se de interesse fazer uma análise mais profunda aos dispositivos com ecrãs do tipo *Hand-Held Video See-Through* (Figura 2.7), uma vez que será este tipo de ecrãs que irá ser usado neste projecto. Apresentam-se como dispositivos com baixo custo de produção e com *hardware* integrado que permite a realização do *tracking*, como é o caso do GPS, bússola e câmara de vídeo. No entanto, este tipo de dispositivos também apresenta algumas desvantagens. Pode-se mencionar a falta (na maioria dos dispositivos) da unidade de *floating point*. Pode-se ainda mencionar a utilização de forma intensiva do processador e da memória por parte das componentes de análise de imagem e *rendering* que coloca problemas na autonomia destes dispositivos. É importante também referir que o tamanho limitado do ecrã da maioria destes dispositivos restringe a distância a que pode ser visualizado. E finalmente, que as câmaras integradas nestes dispositivos não são preparadas para este tipo de funções apresentando uma qualidade limitada para tarefas de processamento de imagens (como por exemplo não suportarem a função de auto-foco) [22].



Figura 2.7 - Exemplo de um ecrã do tipo *Hand-Held Video See-Through* [22].

- Ecrãs do tipo *Spacial*:

Esta categoria de ecrãs caracteriza-se por ser colocada estaticamente no ambiente, o que faz deles bons para grandes apresentações e exibições com interacção limitada [23]. Ou seja, os objectos virtuais são projectados no mundo real, por intermédio de uma superfície transparente que se situa entre o observador e o mundo físico. Pode-se incluir os ecrãs do tipo *Screen-Based Video See-Through*, *Spacial See-Through* e *Projective* [23].

### 2.1.2 *Tracking*

Para mostrar elementos virtuais alinhados sobre o ambiente real é necessário entender o ambiente e seguir o movimento relativo do observador de preferência com seis graus de liberdade (*6DOF*), estes graus de liberdade são compostos por três variáveis para a posição (x, y e z) e três ângulos para orientação (*yaw*, *pitch*, e *roll*, ou seja, desvio de direcção, inclinação de longitude e inclinação transversal, como pode ser visto na Figura 2.8) [23].



Figura 2.8 - Representação dos três ângulos para orientação [26].

As diversas tecnologias usadas para efectuar *tracking* nas aplicações de Realidade Aumentada necessitam de garantir alta precisão, pouca latência e permitirem operações robustas nos mais diversos ambientes [27]. Essas tecnologias assentam em marcas fiduciais, análise de imagem (por exemplo, por procura de arestas) e em GPS em conjunto com sensores inerciais.

Existe muito trabalho de investigação realizado com marcas fiduciais como técnica de *tracking* em Realidade Aumentada. As marcas fiduciais apresentam-se como marcas físicas constituídas por determinados padrões e que são previamente dispostas

num ambiente controlado, e assim, são detectadas através de imagens captadas por câmaras digitais usando um algoritmo de detecção [28]. Estas marcas fiduciais são muito úteis em aplicações em que a posição relativa entre a câmara e o objecto é importante [28]. É mais indicado utilizar marcas fiduciais no interior do que no exterior uma vez que é complicado colocar marcas fiduciais (e garantir a sua manutenção) em todos os objectos reais alvo de interesse em ambientes exteriores (isto porque, por exemplo, muitas vezes não é permitido colar estas marcas em património e pode ser intrusivo). No exterior também é difícil identificar marcas fiduciais a longa distância e estas podem ficar ocultas a qualquer momento devido à própria dinâmica presente em ambientes exteriores que dificilmente são controlados. No entanto, a utilização de marcas fiduciais consegue prevenir situações de ocultação de elementos virtuais por outros elementos virtuais, sem ser necessário recorrer a nenhum algoritmo especial para isso. Isto porque se pode controlar as posições em que são colocadas estas marcas.

Existem algumas técnicas de *tracking* ligadas à análise de imagem (*Vision-based*), sendo uma das mais usadas a *Model-Based*. Nesta técnica é necessário um modelo preciso do ambiente com as suas características conhecidas que possam ser reconhecidas nas imagens capturadas [20]. No entanto, o que se passa regra geral, é que os algoritmos utilizados nas técnicas ligadas à análise de imagem apresentam falta de robustez e requerem uma imensa quantidade de cálculos que podem afectar o desempenho em tempo-real [20]. As técnicas *Vision-based* dependem das características dos sensores de câmara e imagem, tais como, o tamanho dos *frames*, a taxa de actualização, a profundidade de cores (quanto maior mais abrangente se torna a escala de cores) ou a distorção da lente [4]. Este tipo de técnicas pode ser também usado em conjunto com GPS e bússola de forma a colmatar alguns erros nas medidas obtidas a partir destes, criando uma alternativa híbrida, tal como acontece no sistema descrito em [29].

No entanto, este projecto apresenta como objectivo o estudo da adaptação de simbologia, correspondente a pontos de interesse, em ambientes exteriores. Nestes ambientes as tecnologias a que a maioria dos sistemas recorre para o *tracking* são o GPS e técnicas de *tracking* inerciais com o uso de acelerómetros, giroscópios, bússola e/ou outros sensores de rotação [5]. O GPS, apesar de usualmente dar apenas a localização com uma imprecisão com um limite de cerca de 20 metros [29], fornece um sistema simples de *tracking* para ambientes exteriores, que em conjunto com alguns sensores

inerciais, permitem calcular a localização e orientação do utilizador [5]. Mesmo a própria bússola apresenta uma imprecisão com um limite de cerca de 20 graus.

Technology	Range (m)	Setup time (hr)	Precision (mm)	Time (s)	Environment
Optical: marker-based	10	0	10	$\infty$	in/out
Optical: markerless	50	0–1	10	$\infty$	in/out
Optical: outside-in	10	10	10	$\infty$	in
Optical: inside-out	50	0–1	10	$\infty$	in/out
GPS	$\infty$	0	5000	$\infty$	out
WiFi	100	10	1000	$\infty$	in/out
Accelerometer	1000	0	100	1000	in/out
Magnetic	1	1	1	$\infty$	in/out
Ultrasound	10	1	10	$\infty$	in
Inertial	1	0	1	10	in/out
Hybrid	30	10	1	$\infty$	in/out
UWB	10–300	10	500	$\infty$	in
RFID: active	20–100	when needed	500	$\infty$	in/out
RFID: passive	0.05–5	when needed	500	$\infty$	in/out

Tabela 2.1 - Comparação entre diversas tecnologias para efectuar *tracking* [5].

A tarefa de determinar a orientação de um utilizador continua a apresentar-se como uma tarefa complexa, onde inclusive continua a não existir uma solução adequada, especialmente quando o *tracking* é realizado em ambiente exterior [23]. Isto acontece porque no exterior, muitas vezes não é prático usar marcas fiduciais e existe uma maior gama de objectos a considerar para se poder efectuar *tracking* por análise de imagem. As técnicas de *tracking* mais comuns são efectuadas através de câmara de vídeo digital e/ou outros sensores ópticos, GPS, acelerómetro, bússola, sensores sem fios (*wireless*) [5]. Na Tabela 2.1 apresenta-se uma comparação das diversas tecnologias que existem para o *tracking*. Nesta tabela *Technology* trata-se da tecnologia para realizar *tracking*; *Range* trata-se do tamanho da região na qual se pode fazer *tracking*; *Setup* trata-se da quantidade de tempo para a preparação dos instrumentos e calibragem; *Precision* trata-se da granularidade de uma única obtenção de valor da posição; *Time* trata-se da duração que se demora a devolver dados de *tracking* usáveis; *Environment* trata-se de onde a técnica de *tracking* pode ser usada, ou seja, no interior ou exterior [5].

### 2.1.3 Realidade Aumentada Interior e Exterior

Os sistemas de Realidade Aumentada podem ser utilizados em dois tipos de ambientes: os interiores (*indoor*) e os exteriores (*outdoor*), em que ambos apresentam diferentes características. As mais importantes no âmbito deste projecto são apresentadas a seguir.

Os ambientes interiores dizem respeito a ambientes contidos dentro de edifícios em que o ambiente pode ser controlado e mais facilmente ser feita a integração entre elementos virtuais e reais. Nestes ambientes, é fácil de garantir que as suas condições de iluminação, as suas texturas e outras condições que possam fazer variar a legibilidade de elementos virtuais sobrepostos a imagens captadas deste ambiente, se mantenham constantes.

Os ambientes exteriores, referem-se a áreas externas aos edifícios. Nos ambientes exteriores é possível recorrer à utilização de novos recursos para o *tracking*, como o GPS. No entanto, normalmente este tipo de ambiente não é possível de controlar, logo, encontra-se sujeito a grandes flutuações da luz natural, às mais variadas condições meteorológicas e a inúmeros tipos de diferentes texturas. Assim, este tipo de ambiente apresenta diversos desafios à legibilidade dos elementos virtuais quando sobrepostos às imagens captados nesse ambiente. A luz natural presente no exterior durante o dia pode mesmo chegar a variar entre 1 e 100.000 lux em curtos períodos de tempo [30]. A legibilidade dos elementos virtuais é degradada, ou por vezes mesmo impossibilitada, nos casos em que a cor e a luminosidade de fundo criam conflitos a nível visual e perceptual com a cor ou o contraste dos elementos virtuais. Uma estratégia para mitigar este problema é, em tempo-real, efectuar activamente uma adaptação dos elementos virtuais às diversas condições do ambiente exterior [20][31].

Actualmente, existem diversas aplicações de Realidade Aumentada em ambientes exteriores, que têm como objectivo mostrar pontos de interesse aos utilizadores através da integração de símbolos virtuais em imagens do mundo real (*AR browsers*) como a Wikitude [32] e a Layar [33]. No entanto, estas não fazem nem a adaptação dos símbolos em relação ao contexto (mundo real captado) caso se verifique essa necessidade.

## 2.2 Estudos Sobre a Percepção e Atenção Humana

A percepção e a atenção humana são duas características fundamentais para garantir que um utilizador consegue facilmente localizar um elemento virtual projectado sobre o mundo real. É necessário compreender estas características para se saber como adaptar os elementos virtuais com atributos capazes de capturar a atenção humana perceptíveis pelo utilizador. Desta forma, será possível fazer uma melhor adaptação destes elementos em qualquer contexto (ambiente real) em que estejam inseridos.

A qualquer momento existe um enorme número de objectos e eventos a competir pela atenção visual e controlo de acção de uma pessoa. Para lidar com este facto, existem mecanismos de atenção que priorizam e seleccionam a informação relevante [34]. Wolfe e Horowitz [35] identificaram quais os atributos que contribuem para uma melhor atenção visual. É conhecido que dado um cérebro de um tamanho razoável é-lhe impossível processar todos os acontecimentos em todo o lado ao mesmo tempo. Devido a isto, existem mecanismos de atenção no sistema visual para escolher um pequeno conjunto de possíveis estímulos que serão melhor processados. No entanto, em [36], os autores, citando L. Fei Fei, referem que a descrição de uma entrada visual torna-se mais rica e compreensiva assim que o tempo de apresentação para o estímulo é aumentado. Contudo, no trabalho em causa pretende-se transmitir ao observador estímulos que num curto espaço de tempo possam ser processados e que direccionem o utilizador para os elementos correctos.

Em [36] é referido que o processo de visão perceptual envolve inicialmente o processamento de imagens pré-atentivo e a subsequente fixação em pontos da imagem enquanto os mecanismos de atenção se compõem. Este processamento de imagens no estado pré-atentivo pode conduzir a atenção a seleccionar determinados objectos para um segundo estado em que se realiza um processamento mais avançado [35]. As características salientes do estado pré-atentivo dividem-se na fiel reprodução da imagem da retina no córtex e no processo de separação da informação da intensidade e cor presente nos estímulos visuais [36]. Pequenas características, como o tamanho e o movimento podem ser extraídas pré-atentivamente, mas características mais complexas requerem atenção [35].

A atenção implementa um estrangulamento no processamento de informação que faz com que apenas uma pequena parte da informação sensorial recebida chegue à memória de curto termo e à consciência visual [37].

Chun [34], chama à atenção para o paradigma da atenção visual do utilizador em função do contexto que observa. Ou seja, o observador ao visualizar determinado contexto obtém logo pistas daquilo que deverá observar, são-lhe dadas pistas (isto é, estímulos) sobre o que deverá esperar ver e onde (ou seja, onde procurar determinados elementos expectáveis naquele contexto). Significa isto que são logo fornecidas algumas pistas que ditam que elementos deverão ser notados e quais deverão ser ignorados.

O mesmo autor refere ainda um estudo publicado por J. M. Henderson e A. Hollingworth, que comprova que quando era pedido a um observador para localizar um determinado elemento, é necessário menos focalizações para localizar um elemento que era semanticamente consistente com a cena que quando comparado com um que não fosse consistente. O que prova que o contexto pode facilitar a codificação perceptual em estados precários do processamento visual [34]. Este contexto guia os movimentos oculares do observador de modo a que se focalize nos aspectos mais importantes de uma cena.

Uma das formas que existe de medir o custo de adicionar um item para se procurar no ecrã é multiplicando o tempo de reacção (tempo necessário para dizer se um item está ou não presente) pelo número de itens presentes no ecrã (*display*). Através desta métrica, é possível concluir que fazendo variar a quantidade no conjunto de itens presentes no ecrã numa dada tarefa de pesquisa de itens por alteração de cor, pode-se verificar que o tempo de reacção é quase nulo e, assim sendo, pode-se considerar que a pesquisa por cor é eficiente [35].

Para além da eficiência de pesquisa existem pelo menos mais outros quatro indicadores que podem devolver evidências convergentes [35].

- Primeiro indicador:

Reside numa propriedade que produza tanto uma pesquisa eficiente assim como uma segmentação de textura sem esforço. No entanto, este indicador pode não ser perfeito, pois em [35], os autores citando um trabalho seu, referem que pode haver segmentação sem pesquisa eficiente e pesquisa eficiente sem segmentação.

- Segundo indicador:

Reside no facto de que a presença de uma propriedade é mais fácil de detectar do que a sua ausência. Isto leva a que seja mais fácil encontrar um item em movimento no

meio de vários itens estáticos que o contrário, conduzido aquilo que é chamado de “assimetria de pesquisa”.

- O terceiro indicador:

Reside no facto de que a habilidade para se participar em “conjunções ilusórias” constitui uma prova para o estado da característica. Por exemplo, quando se mostra brevemente a um observador uma linha vermelha vertical intersectada por uma linha verde horizontal este por vezes dirá que viu uma linha verde vertical ou uma linha vermelha horizontal, portanto, a interpretação da informação é complexa devido à existência de conjunções ilusórias de alta ordem.

- O quarto indicador:

Reside no facto de que a detecção de um alvo que é definido por uma característica candidata deverá ser capaz de tolerar alguma heterogeneidade distractora. Os efeitos da heterogeneidade distractora reforçam as diferenças entre os determinantes do desempenho da pesquisa e os determinantes da discriminabilidade. Assim numa pesquisa é mais fácil de encontrar o item alvo caso este apresente uma inclinação ou profundidade diferente dos restantes itens (logo o estado categórico do item alvo é importante). É mais fácil realizar uma pesquisa no ambiente com distractores homogéneos do que heterogéneos. Quanto maior a diferença entre as características dos distractores e as características do item alvo mais fácil é a sua pesquisa.

Os atributos que melhoram a procura visual indubitavelmente são a cor, o movimento, a orientação e o tamanho [35]. Os atributos que provavelmente melhoram a procura visual são a polaridade da luminosidade (sendo que se pode considerar como um atributo subconjunto da cor), a forma (aqui é claro que alguns aspectos da forma podem melhorar a atenção, mas não é exactamente claro quais), a direcção da curvatura e a proximidade.

No estudo de Chun [34] é concluído que quando um elemento é marcado por uma característica visual única como a cor, a orientação, o tamanho, ou um início abrupto transitório (*abrupt transiente onset*), este pode efectivamente captar a atenção só por si. No entanto, quando se está perante um contexto como uma estrada na baixa de uma cidade, isto leva a que existam muitas pistas que guiam a atenção do utilizador. Desta forma o utilizador torna-se incapaz de prestar atenção a todos os elementos, ou seja, um grande número de detalhes visuais presentes numa cena é tipicamente ignorado pelos

observadores. No âmbito deste projecto, torna-se relevante que a atenção do observador não fique reservada a elementos distractivos da cena pertencente ao mundo real mas sim aos elementos virtuais colocados sobre a cena.

Huang e Chiu [38] fazem um estudo com vários símbolos de modo a perceber quais as características que podem aumentar o desempenho de uma pesquisa visual num ecrã do tipo LCD. Neste estudo foram colocados 20 símbolos num vector circular, sendo 19 destes distractores e um deles o alvo. As características examinadas foram a combinação de cor entre o fundo do símbolo e uma figura no centro deste (um carácter chinês) e a forma do símbolo. Conjuntamente com as características anteriores foi examinado se estas interagem com a largura de linha de rebordo do símbolo. Para a figura presente no símbolo foram usadas 6 cores: vermelho, amarelo, azul, branco e preto. Para o fundo do símbolo foram usadas 4 cores: vermelho, amarelo, azul e verde. As 4 formas testadas foram: círculo, quadrado, triângulo equilátero a apontar para cima e diamante, sendo as áreas de todos os símbolos aproximadamente iguais. Para a largura da linha de rebordo foram usadas linhas com uma largura de 1, 2 e 3 *pixels*. Os testes foram realizados com uma iluminação de aproximadamente 300 lux (condições normalmente encontradas em ambientes internos). Após os testes com utilizadores os autores chegaram à conclusão que as melhores combinações de cor (mais respostas correctas num espaço de tempo mais reduzido) para a figura/fundo do símbolo eram: branco/amarelo, branco/azul, preto/azul e preto/vermelho. A pior forma em termos de tempo de pesquisa foi a forma triangular. O tempo de pesquisa também foi menor para símbolos que apresentavam um rebordo com uma largura de 3 *pixels*, depois os de 2 *pixels* e em último os de 1 *pixel*.

Uma outra aproximação para captar a atenção visual de um utilizador é através de técnicas de Focus+Context [39], amplamente usadas no âmbito do cinema e da fotografia. No contexto deste projecto decidiu-se não se adoptar por técnicas deste tipo uma vez que estas tipicamente ocultam informação importante pertencente ao ambiente real.

## **2.3 Comparação de Modelos de Cor**

De forma a explorar a adaptação da simbologia baseada na cor, é necessário saber qual o modelo de cor mais adequado a aplicar. Um modelo de cor trata-se de um modelo matemático abstracto que descreve a maneira em que as cores podem ser representadas

como tuplos, tipicamente com três ou quatro números, ou componentes da cor. Quando o modelo é associado com uma descrição precisa de como os componentes deverão de ser interpretados, o conjunto resultante de cores é chamado de “espaço de cor” [40]. Nesta secção serão comparados os modelos de cor RGB (*Red, Green, Blue*), HSV (*Hue, Saturation, Value*), ambos descrevem o esquema de cor de *tristimulus*, e CIELab.

### 2.3.1 Modelo de Cor RGB

Pode-se encontrar descrito em [40] que neste modelo, as cores primárias são o vermelho, o verde e o azul. Este modelo trata-se de um modelo aditivo, o que significa que se obtém qualquer cor através da soma dos seus componentes, sendo o branco a soma de todas as componentes com valor máximo e o preto com o valor mínimo. Este modelo é usualmente representado através de um cubo. Este cubo tem um canto localizado na origem de um sistema de coordenadas de cor tridimensional. Os seus eixos são nomeados de R, G e B e têm uma amplitude de valores contida entre 0 e 1 ou 0 e 255. O seu vértice na origem representa a cor preto e o seu vértice na diagonal oposta representa o branco. As cores nesta diagonal representam uma escala de cinzentos. Este modelo é amplamente usado nos ecrãs de dispositivos como televisões e computadores.

No entanto, este modelo apresenta uma alta correlação entre canais, uma significativa não-linearidade perceptual com a percepção visual, é dependente do dispositivo e mistura os dados da luminosidade com os da cromaticidade, o que faz deste modelo uma escolha pouco favorável para o processamento de cor em imagens [41]. Um modelo de cor que seja dependente do dispositivo é um modelo de cor em que a cor produzida depende tanto dos parâmetros usados como do equipamento usado para o mostrar [42]. Uma representação deste modelo pode ser encontrada na Figura 2.9.

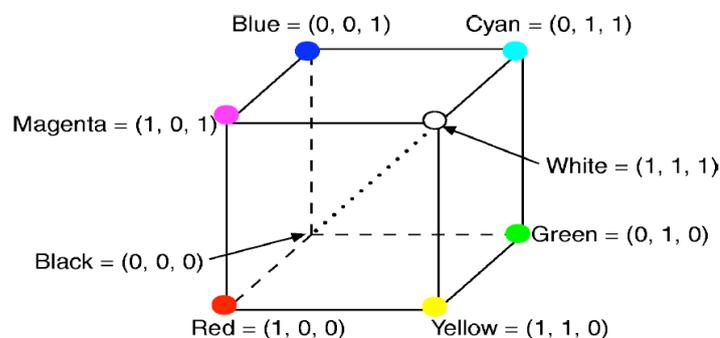


Figura 2.9 - Representação do cubo RGB com respectiva cor dos vértices [43].

### 2.3.2 Modelo de Cor HSV

Segundo [41][42], este modelo trata-se de uma transformação não linear do espaço de cor RGB. Neste modelo existe uma separação perfeita da componente referente à luminosidade da restante informação cromática. Isto leva a que este modelo seja vantajoso no âmbito do processamento de imagem sendo amplamente usado no campo da visão de cor (*color vision*). A separação da cor nas componentes de tonalidade, saturação e luminosidade conduz a que este modelo se apresente como muito intuitivo para os humanos. No entanto este modelo é não-linear e dependente do dispositivo, ou seja, depende inteiramente das características do equipamento.

Em [44], os autores referem que devido à fórmula de transformação das coordenadas RGB para HSV ser não-linear, isto introduz instabilidades e singularidades neste modelo. Os autores referem algumas soluções tradicionais de outros autores para este facto usando limiares (*thresholdings*). Essas soluções consistem em: rejeitar valores de cor se a soma dos valores das componentes no modelo RGB é menos de 30; rejeitar valores de tonalidade (*hue*) caso a saturação vezes a luminosidade for menos que 9; ou mesmo, rejeitar valores de tonalidade caso a luminosidade ou a saturação estejam abaixo de 10%. Uma representação deste modelo pode ser encontrada na Figura 2.10.

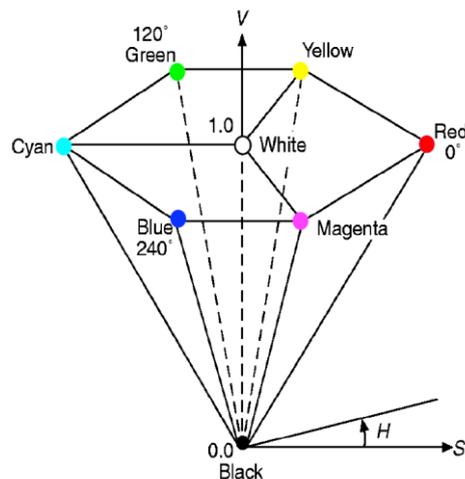


Figura 2.10 - Representação do modelo de cor HSV e respectiva cor dos vértices [43].

### 2.3.3 Modelo de Cor CIELab

Através de [40] pode-se verificar que este modelo de cor (também chamado de CIE  $L^*a^*b^*$ ) é o mais completo especificado pela Comissão Internacional de Iluminação. Este modelo consegue descrever todas as cores visíveis aos olhos humanos e foi criado para servir como modelo independente do dispositivo a ser usado como referência. Este modelo é composto por três componentes: a luminosidade da cor ( $L^* = 0$  para preto e

$L^*$  = 100 para branco difuso);  $a^*$  que estabelece a posição da cor entre o vermelho/magenta (valores positivos) e o verde (valores negativos);  $b^*$  que estabelece a posição da cor entre o amarelo (valores positivos) e o azul (valores negativos). As componentes  $a^*$  e  $b^*$  assumem valores entre -127 e +127.

Também através de [40] pode-se concluir que a vantagem deste modelo é ter sido concebido para se aproximar da visão humana. Ou seja, este modelo aspira uniformidade perceptual, e a sua componente  $L^*$  coincide praticamente com a percepção humana de luminosidade. Assim, este modelo apresenta a interessante característica de a distância calculada entre duas cores ser directamente proporcional à diferença entre essas duas cores percebidas pelos olhos humanos. Para se obter uma diferença mais refinada entre duas cores neste modelo, pode-se usar a equação CIEDE2000 deduzida no trabalho [45]. Uma representação deste modelo pode ser encontrada na Figura 2.11.

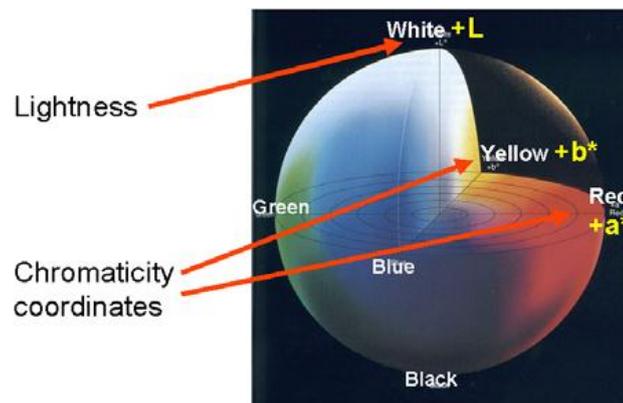


Figura 2.11 - Representação do espaço de cor CIELab [46].

## 2.4 Estudos Sobre a Variação de Simbologia

Nivala *et al.* em [47], realiza um estudo sobre o tipo de símbolos que deve ser usado para que um utilizador facilmente reconheça o seu significado de forma a evitar a frustração e interpretações incorrectas. Este estudo considera também a adaptação de simbologia a contextos de utilização em dispositivos com ecrã de reduzidas dimensões. Tal como na aplicação desenvolvida pelas autoras no âmbito dos mapas móveis como no projecto a desenvolver existe a vertente de ser necessário mostrar pontos de interesse num ecrã de reduzidas dimensões. O tipo de utilizadores mais provável para utilizar estes sistemas são os turistas uma vez que desconhecem a informação completa do local em que se encontram imersos, ou seja, estão em ambientes que não lhes são familiares. Estes utilizadores não estão interessados em perder muito tempo a aprender a interpretar

a informação que lhes é apresentada, e querem ter acesso permanente a informação adaptada às suas necessidades (de fácil interpretação).

É referido (citando Forgas e Melamed, 1976) que numa acção de reconhecimento os observadores conseguem perceber melhor algo que estão a observar se lhes for familiar. Com isto pode-se também concluir que com o auxílio de elementos familiares aos observadores é-lhes possível transmitir mais informação de mais fácil compreensão. Neste trabalho é também realçada a necessidade de adaptar a simbologia ao perfil do utilizador, em particular, à sua faixa etária.

As autoras avaliam os vários símbolos quanto à cor que a sua área é preenchida, às cores das linhas e linhas de contorno, e finalmente, quanto ao contraste quando comparados com outros objectos do mapa ou outros símbolos. Questões de relevo que também foram estudadas foram as de se a cor dos símbolos era associativa, se os símbolos eram auto-evidentes, se era possível entender o mapa sem legendas e qual era a legibilidade do mapa no geral.

Na Figura 2.12 encontra-se o número de respostas correctas dadas a 16 dos símbolos da aplicação. A maioria dos símbolos foram facilmente reconhecidos, apesar de que em alguns casos os utilizadores não perceberam o seu significado exacto. A percepção de cada símbolo é afectada pela sua relação com outros símbolos e elementos presentes no mapa, logo os símbolos deverão ser estudados em conjunto com outros símbolos. Foi possível observar neste estudo que utilizadores de diferentes nacionalidades e faixas etárias identificaram os símbolos de maneira diferente. As autoras concluem o artigo referindo que é de extrema importância perceber como as pessoas interagem com os dispositivos de processamento de informação.

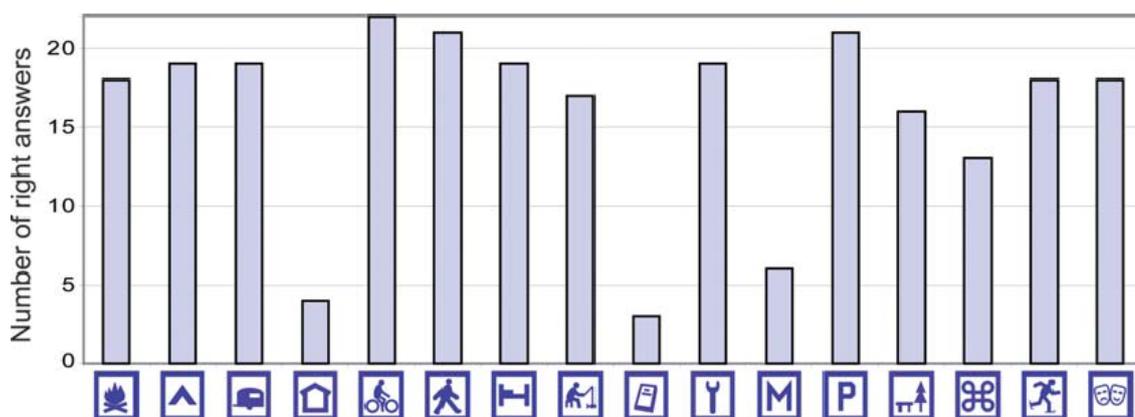


Figura 2.12 - Número de respostas correctas correspondentes ao significado de cada símbolo num universo de 22 respostas [47].

Já no estudo [48] foram levantados dezanove elementos relacionados com o *design* de ícones, os quais depois foram votados por utilizadores especializados em *design* de ícones para aplicações computacionais. Todos os elementos que tiveram uma avaliação positiva foram:

- a) Rebordo: O ícone deverá apresentar um rebordo bem definido.
- b) Cor: A cor deverá ser usada no *design* do ícone.
- c) Comunicatividade: O ícone deverá expressar as mensagens pretendidas de forma clara.
- d) Consistência: O significado de um ícone deverá ser consistente com o modelo mental do utilizador.
- e) Facilidade de Distinção: O ícone deverá ser fácil de distinguir dos restantes.
- f) Familiaridade: O ícone deverá lembrar o utilizador de coisas que este já conhece.
- g) *Feedback*: O ícone deverá devolver algum *feedback* ao utilizador. Por exemplo quando o utilizador apaga um ficheiro o ícone do lixo fica cheio.
- h) Relação Figura/Fundo: O ícone deverá ser claramente diferenciado do fundo.
- i) Amigo do utilizador: O utilizador não deverá ser obrigado a aceitar um determinado ícone, podendo alterá-lo para outro que prefira.
- j) *Layout*: As características do ícone deverão ser organizadas cuidadosamente (como a sua direcção relativa ou a sua localização).
- k) Metáfora: O significado implícito do ícone deverá ser próximo do pretendido.
- l) Ordem: Quando um ícone é dinâmico, deverá ser levando em conta a sequência de apresentação da série de ícones.
- m) Facilidade de Reconhecimento: O ícone deverá ser fácil de reconhecer.
- n) Confiança: O significado do ícone deverá ser estável. Por exemplo, se a cor vermelha for usada para expressar paixão, não deverá expressar outros significados como proibição no mesmo sistema.
- o) Simplicidade: O ícone deverá ser o mais simples possível.
- p) Representatividade Simbólica: O ícone deverá ser uma ilustração que retrata com confiança de forma visual aquilo que se pretende representar.
- q) Testar-antes-de-usar: O ícone deverá ser testado antes de ser usado.
- r) Tipografia: A tipografia usada no ícone deverá ser limitada a uma ou duas famílias.

## 2.5 Adaptação da Cor em Aplicações de Realidade

### Aumentada

Como foi identificado anteriormente, a cor é um elemento fundamental da percepção humana, e assim sendo é objectivo deste trabalho adaptar as cores dos elementos gráficos utilizados para uma melhor compreensão do utilizador. De seguida são apresentados dois projectos em que a cor de elementos virtuais é adaptada tendo em conta o ambiente real.

#### 2.5.1 ARQuake

O projecto ARQuake [49] trata-se de uma extensão do jogo de computador Quake [50], e pretende investigar como converter uma aplicação de computador jogada em modo de primeira pessoa numa aplicação de Realidade Aumentada interior/exterior móvel.

Neste projecto, em que se usava um sistema de *tracking* baseado em GPS, bússola digital e marcas fiduciais, os criadores deparam-se com problemas de usabilidade (por exemplo, que cor atribuir aos monstros) idênticos aos que se pretende colmatar no presente trabalho. Os criadores da aplicação ARQuake tiveram em atenção que as cores do ecrã para imagens puramente virtuais têm de ser consideradas levando em linha de conta as condições de iluminação e as cores de fundo correspondentes ao ambiente real exterior. De modo a tornar os monstros mais perceptíveis e a distingui-los do mundo físico, a escolha das cores usadas nas texturas dos mapas ou na “pele” dos monstros foi baseada num teste de usabilidade. Este teste consistiu em avaliar diferentes cores para quatro condições distintas:

- a) A partir da sombra a olhar para uma zona de sombra;
- b) A partir de uma zona de sombra a olhar para uma zona de Sol;
- c) A partir de uma zona de Sol a olhar para uma zona de sombra;
- d) A partir de uma zona de Sol a olhar para uma zona de Sol

Foram testadas 36 cores e combinações de intensidade diferentes, sendo que a representação de cada teste é dada pela combinação que é indicada pelo nome da cor seguida pela intensidade entre parêntesis, sendo que o valor (1) da intensidade se refere à mais alta e o (4) à mais baixa, assim pode-se obter por exemplo: *green(2)*, o que significa cor verde de intensidade igual a dois. Os testes foram realizados no exterior usando um computador *wearable* Tinmith-3 uns I-Glasses see-through HMD. Para cada combinação cor/intensidade foi dada uma classificação para a sua visibilidade e

opacidade, nas quatro condições anteriormente descritas, sendo que a escala da classificação varia entre um (muito má) e dez (muito boa). Nove cores conseguiram uma classificação média de sete nas quatro condições distintas, sendo que no mínimo em cada uma delas só podiam ter a classificação de seis. Essas cores foram: *purple(2)*, *purple(3)*, *blue(2)*, *blue(3)*, *yellow(1)*, *purple(1)*, *yellow(3)*, *green(1)* e *green(3)*. No teste informal realizado com utilizadores, a visibilidade do sistema é boa para a maioria dos utilizadores. No entanto, para muitos destes era difícil ver através do ecrã em condições de muita luminosidade.

Este estudo explora quais as cores mais legíveis para a maioria dos contextos. Contudo não contempla a adaptação das cores ao contexto em tempo-real, algo que se pretende no presente projecto.

## 2.5.2 Harmonização de Cor

Uma das propriedades que define se uma imagem é apelativa é a sua combinação de cores e uma técnica interessante de adaptação de cor numa visualização é a de “harmonização de cor” (*color harmonization*) [51]. Esta técnica é usada com o objectivo de ajustar as cores do vídeo apresentado baseado em Realidade Aumentada de modo a que este siga as regras da estética. Esta técnica consiste, portanto, em repintar tanto os elementos virtuais como os reais, isto para que se obtenha resultados que no geral sejam mais agradáveis a nível de estética. Através desta técnica é possível aumentar a eficiência das visualizações em Realidade Aumentada.

Neste trabalho [51], de forma a se conseguir um desempenho em tempo real são usadas tabelas de *look-up* em que são guardados os valores correspondentes à alteração de cor para cada cor, que são pré-calculados para todos os *templates* e orientações. Para se conseguir lidar com condições em que a luz do ambiente se encontra instável ou com o ruído que pode surgir no vídeo capturado, o que pode levar a uma má escolha de cores devido à constante alteração de *templates* ou orientação dos *templates*, as alterações de cor não são logo efectuadas para o *template* actual. Essas alterações são efectuadas para o *template* e orientação que mais vezes se repete ao longo dos últimos *n frames*, sendo que a próxima verificação só será efectuada após *n frames*.

No entanto, nem todos os objectos no ambiente poderão alterar as suas cores já que a sua cor original poderá conter um significado importante para a semântica do objecto. Caso isto aconteça pode conduzir o utilizador a uma maior carga cognitiva e como consequência tornar a aplicação menos útil ao utilizador. Devido a este facto, os

autores em [51] identificam quatro diferentes tipos de tarefas para atribuir cores a objectos. Os tipos de restrições apontadas pelos autores são: *hard* (para objectos em que não se pode alterar a cor), *continuous soft* (para objectos que a cor pode variar dentro de um intervalo), *discrete soft* (para objectos em que a cor pode ser qualquer uma dentro de um conjunto pré-definido) e sem-restricção (para objectos que podem ser representados com uma cor qualquer). De modo a balancear a quantidade de alterações que são precisas para adaptar cores sem restrições e o impacto dos objectos com restrições, os autores permitem que se calcule o *template* a partir das imagens com ênfase nas partes que apresentam restrições. Para isto foi introduzido um parâmetro que avalia no histograma de cores o valor das cores dos píxeis de objectos que apresentam restrições. Uma vez que o histograma de cores é usado para calcular o *template* de harmonização e as suas orientações, a avaliação efectuada permite então ajustar a importância dos objectos com restrições na visualização final. Uma avaliação com valor alto irá seleccionar um *template*, que cobre o valor das cores das porções da cena que apresentam restrições e caso contrário será dada uma maior importância às porções da cena que não apresentam restrições.

## 2.6 Adaptação de Texto em Realidade Aumentada Exterior

A adaptação de texto em Realidade Aumentada exterior tem pontos comuns com o presente trabalho. A. Leykin e M. Tuceryan [9] desenvolveram trabalho sobre a adaptação de *labels* textuais em ambientes exteriores. Estes ambientes apresentam uma grande variação de texturas em que é preciso sobrepor as várias *labels*. Nesse trabalho tiveram como objectivo identificar métodos de descrever quantitativamente condições sobre as quais determinadas *labels* de texto são ou não legíveis. De modo a atingir o seu objectivo os autores usaram técnicas de reconhecimento de padrões com base na estatística para criar um classificador.

Os autores citam Scharf *et al.* ao identificar o contraste e o conteúdo da frequência espacial da textura do fundo como os factores que afectam a legibilidade do texto. Os autores citam também Baudisch e Gutwin [52] quando falam da técnica de “*multi-blending*”, que consiste em se aplicar um conjunto de técnicas de processamento de imagem que preservam a informação de fundo (*background*) enquanto se torna mais visível a informação a ser apresentada por cima. Os autores apontam que é necessário

existir uma forma automática de analisar a imagem de fundo e perceber como esta interage com o texto (que no caso deste projecto será um símbolo virtual) que lhe está sobreposto. É importante perceber que saber se um determinado elemento gráfico, seja texto ou não, está legível é muito subjectivo e requer uma avaliação humana com vários sujeitos para se poder tirar algumas conclusões.

Os mesmos autores realizaram um estudo recorrendo a 6 sujeitos que avaliaram 100 imagens cada um. As texturas presentes nestas imagens foram pré-seleccionadas para cobrirem uniformemente um leque de frequências e orientações. O texto apresentado era composto por palavras simples todas com aproximadamente o mesmo número de letras. Foi atribuída uma classificação à legibilidade de cada visualização de 1 a 8 em que os valores de 1 a 4 representam uma combinação de texto e textura ilegível e de 5 a 8 para o caso contrário. Foram realizados dois conjuntos de experiências com os utilizadores de modo a ter em conta os estados atentos e pré-atentos das entradas visuais. No primeiro conjunto de testes os utilizadores não tinham tempo limite de visualização enquanto no segundo conjunto existia um tempo limite variando de 150 a 300 milissegundos. Os resultados da experiência corroboram a ideia de que as variações de texturas do fundo afectam a legibilidade quando o contraste do texto é baixo. Foi também possível concluir com este estudo que é possível fazer um texto (ou elemento gráfico no caso deste projecto) mais legível sem lhe aumentar muito o tamanho ou carregá-lo (colocar a *bold*), sendo que neste caso o objectivo é de fornecer informação textual não abstrusiva de forma a não obscurecer a cena a ser observada.

O “contraste perceptível” é condicionado pelo contraste da iluminação e da textura do fundo. A característica de contraste foi calculada como a diferença absoluta entre as intensidades médias do texto e da região em redor, ou seja, dada a intensidade média do texto,  $I_t$ , e a intensidade média do fundo (*background*),  $I_b$ , a medida do contraste é dada pela expressão:  $C = |I_t - I_b|$ ; Sendo que  $I_b$  foi calculado usando os *pixels* nas imediações mais próximas (numa região rectangular) do texto e não de toda a imagem de fundo. Num sistema típico de Realidade Aumentada esta técnica serviria para colocar o texto sobre regiões legíveis.

Apesar de a partir deste trabalho ser possível tirar conclusões muito importantes em termos de legibilidade de elementos virtuais (texto) projectados em ambientes reais, este trabalho não foi realizado com o uso de cores.

Outro trabalho em que os autores tentam também resolver o problema da legibilidade de texto em Realidade Aumentada exterior foi realizado por Gabbard *et al.* [8]. Neste trabalho, é apresentado um ambiente de testes que mostra o campo de visão do utilizador e recolhe o valor da luminosidade presente na sua posição. Com recurso a este ambiente de testes, foram examinados os efeitos no desempenho do utilizador numa tarefa de identificação de texto. Para isto, foram usadas quatro texturas de fundo no exterior, quatro cores para o texto, três estilos de texto e dois algoritmos de estilo de texto. Este ambiente de testes capta as condições do ambiente através do uso de uma câmara de vídeo e de um fotómetro. No entanto, ao contrário do que acontece no âmbito do presente projecto, em [8], o tipo de ecrã usado é do tipo *Optical See-Through*.

Os autores apontam a problemática de se ser impossível controlar as condições ambientais como a grande flutuação na luz natural e a grande variedade de fundos ou objectos na cena. Isto são tudo aspectos a que um sistema de Realidade Aumentada no exterior está sujeito. Os autores esclarecem ainda que existem casos frequentes em que a cor e/ou a luminosidade do fundo correspondente ao ambiente real criam um conflito visual e perceptual com a cor e/ou o contraste de elementos gráficos presentes na interface do utilizador. Isto resulta numa pouca ou quase impossível legibilidade.

Assim, a solução apontada pelos autores para mitigar este problema das representações visuais em Realidade Aumentada será executar adaptações activamente, em tempo-real e consoante variação das condições do ambiente exterior. Neste trabalho, são aplicados algoritmos activos nos elementos gráficos textuais da interface do utilizador baseados na informação recebida pela câmara de vídeo e pelo fotómetro. Deste modo, a apresentação visual do texto é alterada de modo a criar um maior contraste entre o texto e os fundos correspondentes ao ambiente-real, com o objectivo de alcançar uma melhor legibilidade e consequente melhoria no desempenho do utilizador.

Tal como é pretendido no âmbito deste trabalho, em [8] os autores têm a preocupação de preservar a semântica associada aos gráficos a serem adaptados. Neste caso os autores preocupam-se em preservar a cor pois é a característica que consideram mais ligada à semântica dos objectos gráficos. Isto pode ser alcançado, usando por exemplo uma linha de fronteira entre o texto e o fundo (ou seja, um rebordo) que possua uma cor que seja activamente determinada para otimizar o contraste, e assim, a legibilidade.

## 2.7 Visualização de Informação em Dispositivos Móveis

Os ecrãs de reduzidas dimensões são uma característica dos dispositivos de computação móvel, inclusive, os dispositivos que são usados no âmbito deste projecto. Uma grande quantidade de informação apresentada numa pequena área do ecrã, ou num pequeno ecrã, resulta numa confusão (*clutter*) visual, que será responsável por diminuir o potencial de utilização dessa visualização [53]. Para além de usualmente terem ecrãs de reduzidas dimensões, os dispositivos móveis apresentam também ecrãs com baixas resoluções e com poucas cores, têm um aspecto de relação entre a sua largura e altura muito diferente do habitual 4:3, têm um hardware *onboard* (de onde se inclui o CPU, a memória e os *buses*), um hardware gráfico muito pouco poderoso, e a sua conectividade é lenta o que afecta a sua interactividade quando uma quantidade significativa de dados está guardada em base de dados remotas [54].

Os dispositivos móveis podem ser usados nas mais variadas condições de luminosidade, que variam desde a luminosidade intensa até à escuridão total (facto o qual pode conduzir a uma deterioração na percepção das cores e dos gráficos) [54]. Em condições de exposição à luz do dia, as imagens ou texto mostrado num ecrã de um dispositivo móvel podem ser percebidos de uma maneira mais escura, ou seja, há uma degradação da legibilidade devido à exposição à luz solar, isto porque o sistema visual humano altera a sua sensibilidade de acordo com o ambiente que o rodeia [55]. Quando a luz ambiente ilumina o ecrã LCD de um dispositivo móvel, este ecrã irá reflectir alguma da luz incidente, somando-a às cores também produzidas por si próprio [55].

Os dispositivos móveis podem, inclusive, ser usados por uma pessoa em qualquer local, por vezes até em conflito com outras tarefas que o utilizador também esteja a realizar, sendo que é preciso ter em atenção neste facto já que os recursos cognitivos de uma pessoa são limitados [54].

Segundo Luca Chittaro [54], o desenvolvimento de aplicações de visualização de informação em dispositivos móveis deverá respeitar as seguintes seis regras fundamentais:

- a) Mapeamento. Um mapeamento preciso entre objectos de dados e suas relações e os objectos virtuais e suas relações deverá ser definido e consistentemente

aplicado. Isto é, aspectos conceptualmente importantes deverão se apresentar como perceptivelmente importantes.

b) Seleção. É importante considerar a quantidade de informação a mostrar, logo a seleção é um aspecto importantíssimo de qualquer visualização, principalmente em dispositivos com ecrãs de dimensões reduzidas.

c) Apresentação. Mesmo tendo um bom mapeamento e uma boa seleção é fulcral que se obtenha uma maneira de apresentar a visualização no ecrã disponível.

d) Interactividade. É importante permitir um alto nível de interactividade para que se obtenha um compromisso entre os dados observados e as capacidades de exploração avançadas.

e) Factores Humanos. Os utilizadores deverão ser capazes de rapidamente reconhecer e facilmente interpretar uma visualização, logo a interface deverá ter em conta as capacidades cognitivas dos humanos.

f) Avaliação. É comum haver rigorosos procedimentos de avaliação com utilizadores no campo da interacção pessoa-máquina, é portanto importante garantir que a eficácia da visualização já tenha sido testada em utilizadores.

Chittaro [54], na sua aplicação de teste (visualização de pontos de interesse num mapa) chega mesmo a alertar que não se deve desenhar todos os pontos de interesse como se fossem igualmente importantes para o utilizador. Em vez disso, tipicamente, usam-se algoritmos que desenham os ícones apenas dos pontos de interesse que satisfazem pré-requisitos (ou filtros) definidos pelo utilizador. No entanto, existe sempre o perigo dos pré-requisitos definidos pelo utilizador serem muito vagos o que pode levar a uma confusão (*cluttering*) de ícones. Pelo contrário, também existe o perigo desses pré-requisitos serem demasiado restritos e por isso haver muito poucos ou mesmo nenhuns pontos de interesse para mostrar ao utilizador. A solução apontada pelo autor passa pelo refinamento da codificação visual e da interactividade de exploração.

Em [56] os autores chamam a atenção para o facto que uma confusão (*cluttering*) de símbolos numa determinada visualização pode levar aos seguintes quatro efeitos perniciosos:

- a) Informação importante pode ser obscurecida ou mascarada.
- b) Informação irrelevante pode receber atenção indevida.
- c) As respostas podem ser atrasadas.
- d) A carga de trabalho cognitivo pode escalar desnecessariamente.

Uma técnica interessante apontada por Chittaro [54], é a de comprimir mais elementos no mesmo ecrã e permitir que seja possível expandir dinamicamente os elementos mais próximos do elemento seleccionado pelo utilizador.

Em [57] os autores chamam à atenção para o facto de que um mapeamento entre a informação e os elementos visuais deverá ser adaptado, isto para que o utilizador facilmente compreenda o seu significado. Também em [57], de modo a representar sem *clutter* diversos pontos de interesse num mapa, os autores recorrem a uma função de grau de interesse (permite quantificar o interesse de cada ponto de interesse para o utilizador) e a operadores de generalização que são usados quando uma célula da “grelha” na área de visualização está cheia. Pode ser usado um operador de agregação (Figura 2.13) em que todos os pontos de interesse do mesmo tipo numa certa célula da “grelha” são agrupados. Pode também ser usado um operador de tipificação (Figura 2.14) que funciona de igual modo que o operador de agregação mas para pontos de interesse de tipos diferentes. E finalmente, pode ser usado um operador de deslocação (Figura 2.15) em que os pontos de interesse são deslocados para uma área vazia, sendo que a sua posição original é dada por uma linha vermelha que une o símbolo representativo do ponto de interesse ao seu local original.

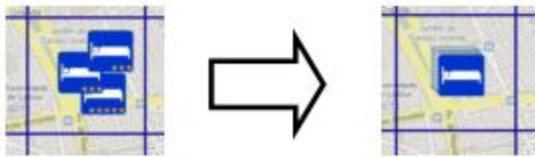


Figura 2.13 - Exemplo da utilização de um operador de agregação [57].

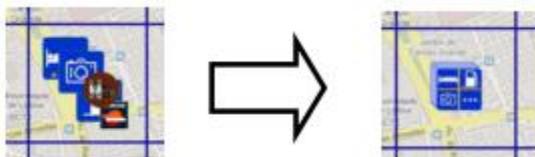


Figura 2.14 - Exemplo da utilização de um operador de tipificação [57].

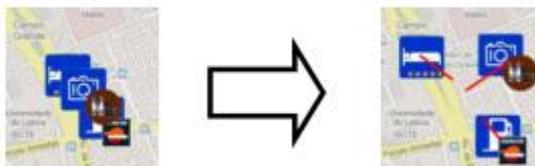


Figura 2.15 - Exemplo da utilização de um operador de deslocação [57].

## 2.8 Simbologia em Realidade Aumentada

O trabalho desenvolvido no âmbito da tese de mestrado de Raul Simplício [11] centra-se na adaptação da simbologia em Realidade Aumentada tendo em atenção a sua legibilidade através da sua relação com a imagem do ambiente real à qual se encontra sobreposta.

Neste trabalho, são usadas marcas fiduciais para marcar os locais em que deverão ser gerados os símbolos virtuais. O autor apresenta assim dois algoritmos distintos para efectuar o varrimento da área envolvente da marca fiducial: um algoritmo para o caso em que a marca fiducial se encontra alinhada com os eixos principais e um algoritmo para o caso em que a marca fiducial não se encontra alinhada com os eixos principais.

É feita uma análise de imagem para se obter a cor dominante dos *pixels* em redor às marcas fiduciais. Para esta tarefa considera-se o valor RGB de cada *pixel* devolvido pelo algoritmo de varrimento e divide-se o intervalo de variação das cores em subintervalos (sendo este parâmetro ajustável). Sendo o modelo de cores RGB composto por três cores (vermelho, verde e azul), e se considerarmos existir  $n$  subdivisões para uma cor, logo irá existir  $n^3$  subdivisões para o cubo RGB. O autor chama a estas subdivisões do cubo RGB de “microcubos”. Assim, o algoritmo de detecção da cor dominante resume-se a que para cada *pixel* tratado pelo algoritmo de varrimento se identifiquem as componentes RGB da sua cor e se incremente em uma unidade o número de *pixels* com associados ao respectivo microcubo. São também somadas as componentes RGB do *pixel* aos valores guardados no microcubo para posteriormente se obter a média das componentes pertencentes ao “microcubo” com maior frequência.

As adaptações de símbolos gráficos propostas são a adição de um rebordo de espessura ajustável ao símbolo, a alteração da cor do rebordo (sendo ou preto ou branco), a alteração do tamanho do símbolo, a alteração da luminosidade da cor do símbolo e alteração de cor das letras do símbolo. Após testes com utilizadores o autor chegou à conclusão que a melhor adaptação a efectuar aos símbolos é a adição de um rebordo preto no caso de o fundo ser claro ou branco no caso de o fundo ser escuro. O autor conclui também que o aumentando apenas o tamanho do símbolo não melhora a sua percepção. A adaptação preferida em segundo lugar foi a adaptação por cor, que apesar de ter um resultado próximo do da alteração da cor da letra, e ao contrário desta última, foi escolhida por alguns participantes quando em competição com outras

adaptações. Com fundos escuros, houve uma preferência para ajustes maiores da luminosidade da cor do símbolo, situação que não se verificou com fundos claros.

## **2.9 A Plataforma de Realidade Aumentada RUBI**

A plataforma de Realidade Aumentada que visa auxiliar a elaboração de uma aplicação de que suporte adaptação de simbologia em tempo-real e sem perda de semântica neste projecto foi criada no âmbito da tese de mestrado de Pedro Silva [12]. Esta plataforma designada por RUBI é uma plataforma *open source* e como tal possibilita que lhe sejam feitas extensões e melhorias por qualquer programador familiarizado com o ambiente *Android*. Esta plataforma foi desenvolvida com o objectivo de possibilitar a criação de aplicações de Realidade Aumentada para ambientes interiores e exteriores.

A plataforma RUBI encontra-se dividida por três componentes: “Aquisição de Dados”, a “Aquisição de Contexto” e a “Visualização”. Para este projecto a componente de maior relevo é a de “Visualização” uma vez que este projecto se centrou na adaptação da representação de pontos de interesse de modo a melhorar a sua legibilidade em relação ao objecto real em que se encontra sobreposto.

Neste projecto esta plataforma serviu para criar uma aplicação de Realidade Aumentada para ambientes exteriores que suporta algumas técnicas de adaptação de simbologia estudadas, sendo usada a versão 1.0 desta plataforma. Esta aplicação foi desenvolvida na versão mínima do *Android* para a plataforma RUBI, ou seja, a versão 2.2 (*Froyo*).

## **2.10 Conclusão**

Após esta recolha do estado da arte no âmbito da adaptação de simbologia em Realidade Aumentada, foi possível identificar algumas lacunas nas soluções já existentes e recolher informação para auxiliar a implementação de novas soluções.

Pode-se observar, através da informação recolhida neste capítulo, que a adaptação de elementos virtuais em contextos de Realidade Aumentada é uma área já com alguns estudos efectuados. Existe mesmo, estudos que levam a semântica dos objectos em consideração durante as adaptações. No entanto, pode-se observar que o estudo da adaptação de simbologia usada para mostrar pontos de interesse num contexto de

Realidade Aumentada exterior em dispositivos móveis e garantindo a preservação da sua semântica é um tema em aberto.

No âmbito desta equipa de investigação já foi desenvolvido por Raul Simplício em [11] um trabalho interessante no âmbito da adaptação de simbologia em Realidade Aumentada. No entanto, este trabalho foi realizado em ambientes interiores (com condições de luminosidade com pouca variação e muito favoráveis à identificação de simbologia), recorrendo a um computador posicionado sobre uma mesa para realizar com os utilizadores os testes de visualização de simbologia. De modo a estender o trabalho anterior, o objectivo do presente projecto é analisar os dois tipos de adaptações considerados mais eficazes mas num contexto de Realidade Aumentada exterior, com a sua visualização em dispositivos móveis e estudar a preservação da semântica da simbologia quando adaptada.

Em [11] concluiu-se que o segundo melhor tipo de adaptação é a alteração por cor. No entanto, neste trabalho, o autor utiliza o modelo de cor RGB para efectuar esta adaptação. Contudo, e depois de uma análise dos modelos de cor, foi possível concluir que o modelo cor HSV seria o mais adequado para utilizar nesta adaptação uma vez que permite separar a cor em Tonalidade, Saturação e Luminosidade. A possibilidade de se alterar apenas a componente de Luminosidade permite manter inalterada a informação cromática, e deste modo, garantir a preservação da semântica neste tipo de adaptação. Assim, com o objectivo de averiguar qual a variação mínima de luminosidade numa cor para que esta se distinga de outra cor (a de fundo) com a mesma Tonalidade e Saturação numa visualização em dispositivos móveis e em ambientes exteriores, foi conduzido o estudo presente no Capítulo 3.

Uma vez que em [11] se concluiu que os melhores tipos de adaptação seriam a adição de um rebordo e a alteração por cor, mas não foi verificada a preservação da semântica destas adaptações, surge assim o estudo presente no Capítulo 4. Neste estudo para se realizar as adaptações por cor, faz-se variar a luminosidade da cor em função dos resultados obtidos com o estudo apresentado no Capítulo 3. A preservação da semântica é não só estudada a nível do tipo e adaptação efectuada mas também em termos do grupo de símbolos mostrado. Isto é, quando se adaptam todos os símbolos do grupo ou apenas aqueles que não se conseguem distinguir do fundo. Para além da preservação da semântica também é estudado qual o tipo de adaptação com melhor desempenho, eficácia e preferido pelos utilizadores.

Após a análise dos estudos dos Capítulos 3 e 4, no Capítulo 5 é apresentada a aplicação desenvolvida para dispositivos móveis que concretiza as adaptações de simbologia em tempo-real e livre de *flickering*, em sistemas de Realidade Aumentada e em ambientes exteriores. Esta aplicação foi desenvolvida a partir da extensão da plataforma RUBI [13] desenvolvida por Pedro Silva.

## **Capítulo 3 Estudo para Ajuste de Luminosidade**

No trabalho de Raul Simplício [11], o autor usa o modelo de cor RGB para efectuar adaptações nas cores da simbologia, alterando as componentes RGB em 50 ou 100 unidades. No entanto, isto poderá conduzir a uma perda de semântica da simbologia uma vez que deste modo poderá haver uma alteração da tonalidade da cor. Assim, com o objectivo de preservar a tonalidade da cor dominante da simbologia durante uma adaptação de cor, usou-se o modelo de cor HSV ao invés do RGB. Esta escolha foi feita uma vez que o modelo de cor HSV permite que se efectue alterações na cor preservando a sua informação cromática, ou seja, a sua tonalidade e saturação. Deste modo, para se adaptar a simbologia, faz-se variar a luminosidade das cores da simbologia em função da luminosidade da sua cor dominante, numa tentativa que deste modo se torne mais difícil perder a semântica.

Realizou-se um estudo com utilizadores para se averiguar qual a diferença de luminosidade necessária para que um utilizador (sem deficiências visuais ao nível da visualização de cores) consiga distinguir duas cores com a mesma tonalidade e saturação. Uma vez que se pretende aplicar os resultados obtidos neste estudo para a adaptação de cor da simbologia em Realidade Aumentada exterior. Os testes foram realizados no exterior, em zonas expostas directamente ao Sol ou em zonas de sombra muito próximas de zonas de Sol.

### **3.1 Variações na luminosidade**

De forma a validar qual a variação mínima (ajuste) de luminosidade necessária para distinguir elementos gráficos sobre um fundo liso, realizaram-se alguns testes preliminares com elementos da equipa. Dividiu-se o intervalo de variação da luminosidade em 10 intervalos de igual amplitude. Tendo em conta que a luminosidade no modelo HSV varia no intervalo  $[0,1]$ , foram consideradas variações de luminosidade de 0.10. Verificou-se que, na maior parte dos casos, variações inferiores a 0.20 eram

suficientes para distinguir os elementos. Deste modo, optou-se por testar 4 variações de luminosidade: 0.10, 0.15, 0.20 e 0.25.

## 3.2 Aplicação para testes

Desenvolveu-se uma aplicação para realizar os testes com utilizadores usando a linguagem Java com o SDK para *Android*. A aplicação usa a API 8 do *Android*, sendo que deste modo corre em sistemas operativos *Android* de versão mínima 2.2. O dispositivo móvel usado como suporte para a realização dos testes foi o dispositivo indicado no Anexo B.

A aplicação mostra imagens com um fundo de uma única cor ao qual se sobrepõem 4 quadrados (com 30 *pixels* de lado). Cada um destes quadrados mantém a informação cromática da cor presente no fundo, mas com uma variação na luminosidade. A luminosidade destes quadrados aumenta ou diminui em 0.1, 0.15, 0.2 ou 0.25 em relação à luminosidade da cor de fundo (como se pode observar na Figura 3.1). Caso a cor de fundo tenha a sua luminosidade com um valor acima de 0.5, reduz-se a luminosidade de cada um dos quadrados com um dos valores referido anteriormente. Caso contrário, os valores acima são somados à luminosidade de cada um dos quadrados.

De notar que, em cada teste, a posição dos quadrados é gerada aleatoriamente tendo em atenção o facto de os quadrados nunca ficarem demasiado juntos. Isto poderia levar o utilizador a identificar um quadrado por um com maior contraste estar demasiado perto.



Figura 3.1 - Exemplo de imagens da aplicação.

Como é mostrado na Figura 3.1, a interface inclui 3 botões que permitem ao utilizador interagir com a aplicação:

- O botão “Fim!” permite ao utilizador encerrar a aplicação;
- O botão “Reset do Teste Actual” permite ao utilizador limpar os registos correspondentes ao teste que está a realizar actualmente e começa-lo de novo;
- O botão “Teste Seguinte” permite ao utilizador começar o primeiro teste e a partir daí, ir passando ao próximo teste, com nova cor de fundo.

### **3.3 Estudo com utilizadores**

#### **3.3.1 Participantes**

Neste estudo participaram 18 pessoas, 7 do género feminino e 11 do masculino, que se voluntariaram sem receber qualquer tipo de compensação monetária. A média de idades foi de aproximadamente 28 anos. Houve 12 utilizadores com idades compreendidas entre os 17 e os 24 anos, 3 entre os 25 e os 39 anos e os restantes 3 utilizadores entre os 40 e os 53 anos. A nível de habilitações literárias, 6 participantes não eram graduados, 9 eram licenciados e os restantes 3 doutorados. Nenhum dos participantes era daltónico.

#### **3.3.2 Apparatus**

Cada utilizador realizou os seus testes no exterior, em dias com o céu limpo (e logo com uma grande intensidade solar presente) e às horas de maior intensidade luminosa entre o dia 18 de Março de 2012 e o dia 12 de Junho de 2012 nas zonas de Lisboa e Santarém. Os testes foram também realizados com o dispositivo móvel directamente exposto à luz solar ou numa zona de sombra imediatamente adjacente. Isto é, em condições de luminosidade adversas para a visualização de imagens.

#### **3.3.3 Tarefas**

Cada utilizador teve como tarefa seleccionar, em cada imagem, através de um toque sobre cada símbolo (quadrado com luminosidade diferente do fundo), apenas os símbolos que consegue distinguir bem do fundo. O utilizador teve, portanto, de ignorar os símbolos que para si apresentam um contraste muito fraco em relação ao fundo levando a que este seja imperceptível ou quase imperceptível. O utilizador teve também seleccionar os símbolos por ordem do menos perceptível para o mais perceptível.

### **3.3.4 Design**

Neste estudo foram manipuladas duas variáveis independentes: a cor do fundo e a variação da luminosidade dessa mesma cor. A variável dependente foi a luminosidade mais baixa que o utilizador consegue diferenciar.

Consideraram-se seis cores diferentes para o fundo e, para cada uma delas, quatro variantes diferentes de luminosidade: 0.25, 0.50, 0.75 e 1.00. Deste modo, cada utilizador foi exposto a um total de 24 fundos diferentes. A selecção das cores baseou-se, por um lado, em serem cores comuns em espaços exteriores e, por outro lado, em serem cores mais ou menos fáceis de distinguir de acordo com o tipo de células (cones) que o olho humano possui para perceber a cor [58].

As seis cores seleccionadas para o fundo são as seguintes:

- O azul puro – esta cor apresenta normalmente mais dificuldades de percepção para o olho humano (Cor 1);
- O amarelo – esta cor é, normalmente uma das mais fáceis de distinguir para o olho humano (Cor 2);
- O verde puro – as variantes mais escuras desta cor são muito frequentes na Natureza (Cor 3);
- O roxo – esta cor requer a utilização de todos os tipos de cones (Cor 4);
- O azul claro – esta cor é muito frequente na Natureza (Cor 5);
- O branco – é uma cor muito comum nos ambientes exteriores (Cor 6).

Como já foi referido anteriormente, caso o fundo apresente uma luminosidade de 1.0 ou 0.75 os símbolos sobrepostos apresentarão uma intensidade igual à do fundo menos 0.10, 0.15, 0.20 e 0.25. Caso o fundo apresente uma luminosidade de 0.5 ou 0.25, os símbolos sobrepostos apresentarão uma intensidade igual à do fundo mais 0.10, 0.15, 0.20 e 0.25. Cada um destes símbolos é então distribuído aleatoriamente por cada um dos quadrantes do fundo (nunca ficando demasiado próximos) para que o utilizador não ganhe efeitos de habituação.

### **3.3.5 Procedimento**

A cada participante apresentaram-se os objectivos do estudo, indicou-se o tempo estimado de duração dos testes (entre os 10 e os 15 minutos) e fez-se um breve questionário sobre os seus dados pessoais o qual pode ser encontrado no Anexo C.

De seguida, explicou-se como o participante deveria seleccionar os quadrados em cada imagem. As 24 imagens foram apresentadas pela mesma ordem a todos os participantes.

### 3.3.6 Resultados e Discussão

Para os testes de cada utilizador foi criado um ficheiro de *log* durante a sua realização. Neste ficheiro ficou registado os símbolos seleccionados e a ordem pela qual o foram.

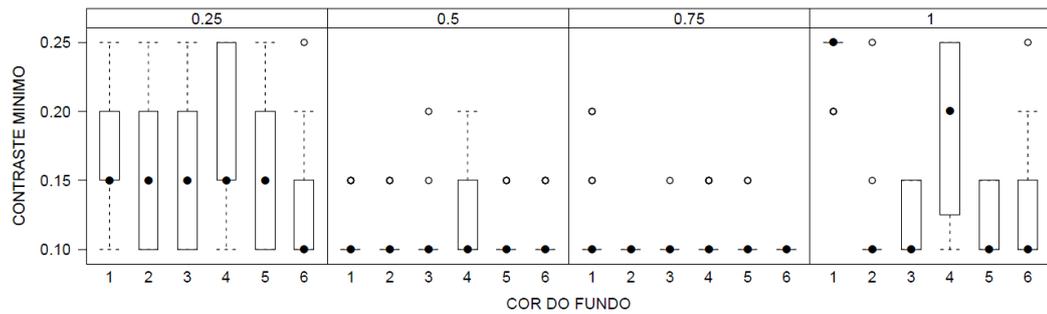


Figura 3.2 - Contraste mínimo necessário para cada cor em função da luminosidade do fundo.

A Figura 3.2 apresenta 4 blocos de diagramas de extremos e quartis, cada um deles correspondente a uma variação de luminosidade do fundo.

Verifica-se que quando o fundo apresenta uma luminosidade que não é extrema (ou seja, 0.5 ou 0.75), os diagramas mostram que os quartis e os extremos coincidem (sempre no 0.75 e quase sempre no 0.5) com a variação mais pequena de luminosidade (0.10). Ou seja, basta considerar uma variação de luminosidade 0.10 para que o símbolo apresente um contraste suficiente para ser visível, qualquer que seja a cor de fundo analisada. Caso o fundo apresente uma intensidade luminosa alta, o comportamento das cores de fundo estudadas foi mais irregular. Enquanto para o azul puro o diagrama apresenta o mínimo e o máximo no valor 0.25, para o amarelo estes extremos situam-se no valor 0.10. Para as outras cores, os resultados mostram uma maior dispersão.

## 3.4 Sumário e Conclusões

Deste estudo pode-se concluir que para se estabelecer um valor mínimo da variação de luminosidade para garantir que o utilizador distingue os símbolos do fundo, deverá ser considerado o valor 0.25. Contudo, poderá pensar-se em soluções mais flexíveis que tenham em linha de conta que podem ser utilizadas variações inferiores para luminosidades intermédias.



## **Capítulo 4 Estudo Sobre a Preservação da Semântica e o Tipo de Adaptação**

No trabalho do Raul Simplício sobre adaptação de simbologia [11] concluiu-se que a adição de um rebordo branco num símbolo escuro e de um rebordo preto num símbolo claro, bem como a variação de luminosidade, melhoravam a identificação dos símbolos. No entanto, este estudo não identifica se estas adaptações preservam a semântica dos símbolos adaptados. O presente estudo tem o objectivo de perceber qual a evolução da semântica da simbologia em adaptações por adição de rebordo (adaptação por rebordo) e por variação da luminosidade da cor (adaptação por cor), sendo aplicada a variação obtida no estudo anterior. A evolução da semântica da simbologia será também estudada em função do grupo de símbolos mostrado. Isto é, será estudada a evolução da semântica da simbologia nas situações em que apenas os símbolos que se confundem com o fundo são adaptados (adaptação parcial) e quando são adaptados todos os símbolos pertencentes a um grupo de símbolos do mesmo tipo (adaptação total).

Este estudo encontra-se dividido em dois blocos de testes que visam estudar diferentes aspectos inerentes à adaptação de simbologia. O primeiro bloco de testes incide sobre uma das características fundamentais que se pretende estudar: a evolução da semântica da simbologia numa adaptação. Este bloco apresenta diferentes “formas” de adaptação da simbologia: adaptações parciais e adaptações totais. Este bloco apresenta também diferentes “tipos” de adaptação de simbologia: adaptação por rebordo e adaptação por cor. Com o segundo bloco de testes pretende-se perceber qual o tipo de adaptação mais eficiente e com melhor desempenho. Ou seja, o tipo de adaptação que permite uma maior e mais rápida detecção da simbologia em visualizações no exterior. Pretende-se também perceber qual a melhor adaptação em termos de preferência do utilizador.

Para este estudo foram usadas imagens de ambientes exteriores com símbolos sobrepostos em vez de um ambiente de Realidade Aumentada. Isto foi feito porque só deste modo é possível garantir sempre as mesmas condições de teste que se pretendem avaliar para todos os utilizadores. É extremamente complicado de manter um símbolo estabilizado num local e que o mesmo se confunda propositadamente o fundo ao se usar uma aplicação para testes que sobreponha os símbolos sobre a captura de vídeo realizada em tempo-real.

Para realizar este estudo foi ainda criada uma aplicação de testes para dispositivos móveis, permitindo deste modo que os testes sejam realizados no exterior.

#### **4.1 A aplicação desenvolvida para os testes**

Tal como a aplicação desenvolvida no âmbito do estudo anterior, esta aplicação foi também desenvolvida usando a linguagem Java com o SDK para *Android*. A aplicação usa a API 8 do *Android*, e portanto corre em sistemas operativos *Android* de versão mínima 2.2. O dispositivo móvel usado como suporte para a realização dos testes foi o dispositivo indicado no Anexo B.

A aplicação é composta por um teste de treino e por outros dois blocos de testes. No teste de treino e no primeiro bloco de testes, apresenta-se ao utilizador um grupo de símbolos do mesmo tipo. Estes são compostos por um garfo e uma faca, simbolizando um restaurante. Estes símbolos encontram-se sobrepostos a uma imagem referente a um local no exterior. Neste bloco de testes existem sempre alguns símbolos sobrepostos em zonas da imagem com uma cor dominante semelhante à sua. Já no segundo bloco de testes, apresenta-se ao utilizador um conjunto de símbolos lisos em que a sua cor é igual à cor dominante do fundo em que estão sobrepostos.

No teste de treino o número de símbolos é sempre três. No primeiro bloco de testes o número de símbolos varia entre dois e três. E no segundo bloco de testes o número de símbolos varia entre três e quatro (nas situações que são apresentados adaptados são sempre três). Todos os testes que são efectuados nos dois blocos de testes são efectuados em imagens de fundo claro e em imagens de fundo escuro. Considera-se como imagem de fundo clara uma imagem em que os símbolos a si sobrepostos quando adaptados adquirem um rebordo preto ou a sua cor perde luminosidade. A imagem de fundo é considerada escura caso na adaptação o rebordo seja branco ou a cor ganhe luminosidade. Todas as adaptações efectuadas levam em consideração a existência de

*flickering*, e portanto, estas adaptações são efectuadas de um modo gradual, com as alterações a decorrerem a uma velocidade de 25 *frames* por segundo.

No teste de treino apresenta-se ao utilizador o mesmo grupo de simbologia sobreposto à mesma imagem de fundo por duas vezes, em que de cada vez, a simbologia encontra-se colocada em posições diferentes. A configuração dos dois blocos de testes encontra-se descrita na subsecção 4.2.4 .

Ao pressionar o botão de menu do dispositivo móvel mostra-se ao utilizador as opções de navegação pelos testes. O utilizador pode avançar para a próxima adaptação pressionando o botão: “Próximo Teste”. Pode também regressar à última adaptação pressionando o botão: “Teste Anterior”. Caso o utilizador não seleccione nenhum símbolo e tente avançar o teste, é-lhe apresentada uma mensagem que o avisa que não seleccionou nenhum símbolo e lhe pergunta se pretende efectivamente avançar. Isto serve para impedir que o utilizador avance testes por engano.

Antes do utilizador começar a usar a aplicação para realizar os testes, o avaliador selecciona a versão (ver secção 4.2.5 ) que o utilizador irá realizar. Esta selecção é feita através do uso dos botões de volume do dispositivo móvel assim que se inicia a aplicação.

## **4.2 Estudo com utilizadores**

### **4.2.1 Participantes**

Neste estudo participaram 22 pessoas, 8 das quais do género feminino e 14 do género masculino. Estes participantes apresentaram-se como voluntários para este estudo sem receber qualquer tipo de compensação monetária. A média de idades foi de aproximadamente 28 anos. Houve 14 utilizadores com idades compreendidas entre os 15 e os 24 anos, 4 utilizadores com idades compreendidas entre os 25 e os 39 anos e os restantes 4 utilizadores com idades compreendidas entre os 40 e os 53 anos. A nível das habilitações literárias, 9 dos participantes eram licenciados, 5 não eram graduados, 4 eram mestres, 3 eram doutorados e o restante era bacharel. Apenas um dos participantes era daltónico.

### **4.2.2 Aparattus**

Cada utilizador realizou os seus testes no exterior, em dias de sol e numa zona de sombra muito próxima do sol. As intensidades luminosas a que cada utilizador realizou os testes tinham como objectivo inicial serem superiores a 2000 lux e inferiores a 20000 lux, uma vez que foram estas as intensidades limites para Gabbard [30]. Deste modo, a intensidade luminosa mínima registada a que um utilizador realizou os testes foi de 2500 lux e a máxima de 13000 lux, sendo a média de 6070 lux por utilizador. Por este meio conseguiu-se estudar a visualização da simbologia em condições exteriores normais e muito semelhantes para todos os utilizadores. Para medir a intensidade luminosa foi utilizado um fotómetro Yu Fung modelo YF – 1065.

Os testes foram realizados nas zonas de Lisboa e Santarém entre o dia 19 de Junho e o dia 5 de Julho de 2012 e entre as 12 horas e 10 minutos e as 20 horas e 15 minutos.

### **4.2.3 Tarefas**

Cada utilizador teve como tarefa seleccionar, através de um toque, cada símbolo que conseguisse visualizar em cada novo teste (imagem de fundo sobreposta por símbolos com um novo tipo e forma de adaptação). Em certos testes, no fim de seleccionar todos os símbolos que conseguia visualizar, o utilizador teve também de responder a uma ou mais questões. Essas questões foram relacionadas com o teste em causa ou então com um conjunto de testes efectuados anteriormente. A partir destas questões foi possível descobrir as preferências do utilizador e questões ligadas à evolução da semântica.

No primeiro bloco de testes uma das questões mais importantes que foi colocada foi se a semântica da simbologia se mantinha após o utilizador observar um certo tipo e forma de adaptação. Outra questão importante foi, se no fim de observar um tipo de adaptação em conjunto com as duas formas de adaptação, se o utilizador preferia uma adaptação total ou parcial. No segundo bloco de testes foi apenas colocada a questão de qual o tipo de adaptação que o utilizador preferia dentro das duas apresentadas (por rebordo ou por cor). Esta questão era colocada quando o utilizador visualizava ambas em simultâneo. Todas as questões colocadas ao utilizador podem ser encontradas no questionário do estudo que se encontra no Anexo E.

#### 4.2.4 Design

Independentemente de outras características de cada símbolo, todos os símbolos presentes neste estudo têm um tamanho de  $40 \times 40$  pixels. Este valor vai ao encontro do tamanho ideal para simbologia sugerido em [57]. As adaptações por rebordo acrescentam aos símbolos um rebordo com uma espessura de 3 pixels. O valor atribuído à espessura do rebordo vai ao encontro dos resultados do estudo efectuado em [38]. As adaptações por cor são efectuadas através da variação da luminosidade da cor. A luminosidade da cor aumenta 0.25 (num intervalo de 0 a 1) caso a luminosidade da cor dominante do fundo do símbolo seja inferior ou igual a 0.5, e é reduzida em 0.25 caso contrário. Caso a luminosidade original do símbolo seja menor que 0.1, este é adaptado na gama dos cinzentos, ou seja, com a saturação a 0 pois, no exterior, com essa iluminação o símbolo é percebido como preto [44]. Neste caso a adaptação é efectuada somando 0.25 a 0.1 com a saturação a 0.

Uma configuração completa e ordenada de todos os testes bem como as respostas devolvidas pela aplicação podem ser encontrados no Anexo F.

- Primeiro Bloco de Testes

Neste bloco de testes são manipuladas três variáveis independentes: a imagem utilizada como fundo, a cor dos símbolos sobrepostos ao fundo e o tipo e a forma de adaptação aplicada a esses símbolos. A única variável dependente é a preferência do utilizador.

Este bloco de testes é composto por 6 imagens de fundo diferentes. Três imagens claras e três imagens escuras. Cada imagem de fundo é mostrada ao utilizador 3 vezes seguidas com um determinado grupo de símbolos do mesmo tipo sobrepostos. Estes símbolos têm um garfo e uma faca no seu centro para lhes dar alguma semântica. No entanto, este desenho no centro do símbolo não faz demasiado contraste com a cor de fundo do símbolo. Isto serve para criar situações em que o símbolo não é facilmente perceptível e se estudar o efeito real destas adaptações. Neste bloco de testes, cada imagem de fundo é apresentada três vezes seguidas ao utilizador. Na primeira vez é apresentada com a simbologia sem adaptações, ou seja, na sua forma base. Na segunda e na terceira vez, a simbologia é apresentada alternadamente com adaptação de forma total e de forma parcial.

Das 6 imagens de fundo existentes, 2 delas, ou seja, uma clara (representada na Figura 4.1) e uma escura são utilizadas para mostrar adaptações por rebordo. As

restantes 4, ou seja, duas claras e duas escuras (uma representada na Figura 4.2), são utilizadas para mostrar adaptações por cor. As últimas duas imagens com adaptação por cor servem para estudar o efeito que existe quando se adaptam todos os símbolos do mesmo tipo em função de apenas um dos símbolos (adaptação total), levando isto a que os outros símbolos possam perder a sua legibilidade com esta adaptação.



Figura 4.1 - Possível sequência de adaptações por rebordo de diferentes formas numa imagem de fundo claro no primeiro bloco de testes.



Figura 4.2 - Possível sequência de adaptações por cor de diferentes formas numa imagem de fundo escuro no primeiro bloco de testes.

- Segundo Bloco de Testes

Neste bloco de testes são manipuladas três variáveis independentes: a imagem utilizada como fundo, o tipo de adaptação aplicada a esses símbolos e a posição dos símbolos. As três variáveis dependentes existentes neste bloco de testes são as preferências do utilizador, o tempo de selecção da simbologia e o número de símbolos seleccionados.

Este bloco de testes é formado por 6 imagens de fundo diferentes (três claras e três escuras). As 2 primeiras imagens mostradas são usadas para visualizar os dois tipos de adaptação em separado. Ou seja, a mesma imagem clara e a mesma imagem escura são usadas para mostrar ao utilizador a adaptação por rebordo e a adaptação por cor. Isto acontece deste modo para garantir exactamente as mesmas condições na comparação do desempenho em ambos os tipos de adaptações.

Todas as imagens de fundo são mostradas duas vezes seguidas ao utilizador, no estudo de determinada adaptação, com um determinado grupo de símbolos sobrepostos. A primeira vez com os símbolos desadaptados e na segunda já com um tipo de

adaptação aplicado. Estes símbolos são lisos (não têm nenhuma imagem no seu centro) e são da mesma cor que a cor dominante do fundo em que se encontram sobrepostos, sendo visíveis devido ao ruído da imagem (exemplo na Figura 4.3 e na Figura 4.4). Isto acontece para que o utilizador consiga claramente perceber as melhorias no desempenho em identificar os símbolos quando adaptados. Apenas nas últimas duas imagens (uma clara e uma escura) os símbolos tem a letra “H” no centro para lhes dar alguma semântica e verificar se a resposta dos utilizadores se altera por este facto (exemplo na Figura 4.5).

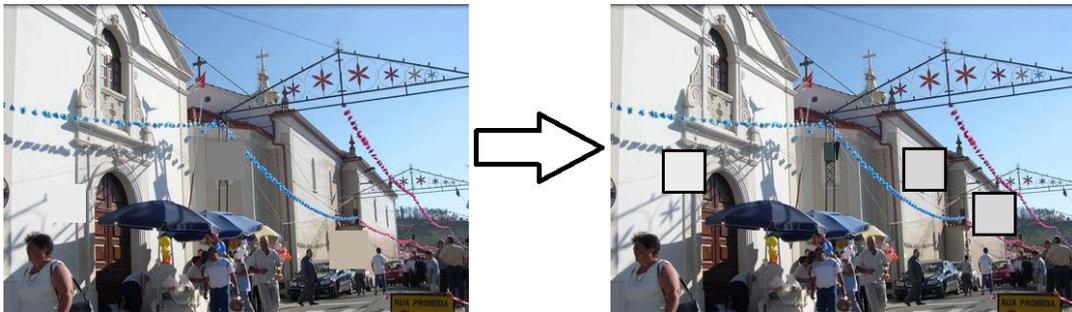


Figura 4.3 – Sequência de adaptação por rebordo numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.

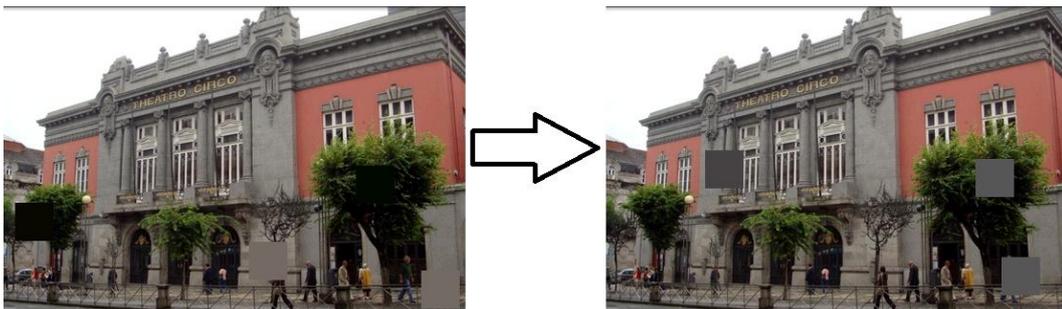


Figura 4.4 - Sequência de adaptação por cor numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.

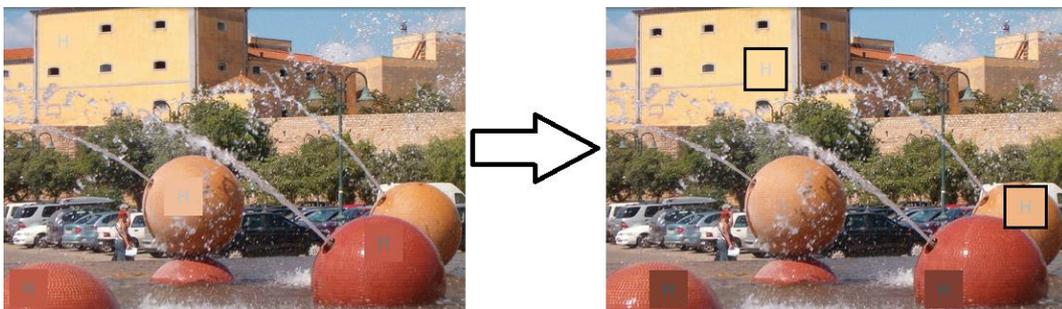


Figura 4.5 - Sequência de adaptação dupla (cor e rebordo em simultâneo) com a letra “H” numa imagem de fundo claro no segundo bloco de testes.

Após o utilizador visualizar a adaptação de simbologia por adição de rebordo em imagens escuras e claras, e a adaptação de simbologia por alteração da luminosidade da

cor em imagens escuras e claras, este observa então por quatro vezes seguidas as duas adaptações em simultâneo. Isto é, o utilizador observa imagens em que 2 símbolos são adaptados por cor e os outros 2 por rebordo, e com isto diz qual é a sua preferência (exemplo na Figura 4.6).

Ao contrário do bloco de testes anterior, neste a forma de adaptação da simbologia é sempre total e os símbolos quando adaptados mudam de posição, mas sempre sobrepostos a uma cor de fundo semelhante. A medição do tempo que o utilizador demora a identificar cada símbolo será analisada para símbolos que demoraram menos de 30 segundos a serem seleccionados. Observou-se que nos casos em que os símbolos demoravam mais de 30 segundos a serem seleccionados era devido aos utilizadores realizarem a procura pressionando aleatoriamente o ecrã do dispositivo móvel.

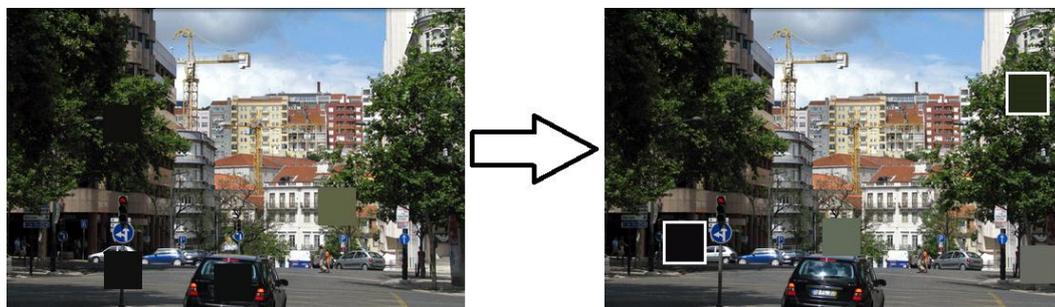


Figura 4.6 - Sequência de adaptação dupla (cor e rebordo em simultâneo) numa imagem de fundo escuro no segundo bloco de testes.

#### 4.2.5 Procedimento

A cada participante apresentaram-se os objectivos do estudo, indicou-se o tempo estimado de duração dos testes (entre 20 e 30 minutos), fez-se um breve questionário sobre os dados pessoais e pediu-se que o utilizador assinasse um documento de autorização para efectuar a experiência (ambos podem ser encontrados no Anexo D).

De seguida explicou-se ao utilizador como deveria seleccionar os símbolos em cada imagem, a interface da aplicação e o retorno dado pela mesma (mensagens devolvidas). Para o utilizador se ambientar à aplicação foi-lhe permitido utilizar um modo teste, em que o utilizador era livre para realizar as acções que quisesse de forma a explorar a aplicação sem que as suas acções fossem registadas.

Foram criadas 8 versões para a ordem de realização dos testes. No primeiro bloco de testes em metade das versões o utilizador começava pelos testes em que havia adaptação por rebordo, e na outra metade pelos que havia adaptação por cor. Metade dos testes por adaptação de cor começavam pelo caso em que era prejudicial adaptar os símbolos em função de apenas um e a outra metade pelo caso em que era benéfico. Nos

testes pertencentes aos grupos de três testes na mesma imagem de fundo, em metade deles a segunda imagem continha uma adaptação total do conjunto dos símbolos e a outra metade continha uma adaptação parcial, sendo a terceira o inverso e a primeira sem adaptação.

#### **4.2.6 Hipóteses**

Nesta subsecção são apresentadas as hipóteses que se pretendem validar com este estudo. De notar que a preferência de um utilizador por uma adaptação pode não significar que esta preserve melhor a semântica da simbologia. Estes aspectos podem depender de questões pessoais e culturais, e portanto, são estudados em separado. Um utilizador pode, por exemplo, considerar que não há alteração da semântica tanto numa adaptação total como numa parcial do grupo, no entanto preferir mais uma destas. As hipóteses são as seguintes:

Hipótese 1: A adaptação por rebordo será mais eficiente que a adaptação por cor uma vez que permitirá que os utilizadores encontrem mais símbolos. Esta hipótese será validada através do segundo bloco de testes em que é registado o número de símbolos que o utilizador encontra quando lhe são apresentadas adaptações por rebordo e adaptações por cor. Assim, será comparada a quantidade de símbolos encontrados em cada tipo de adaptação.

Hipótese 2: A adaptação por rebordo conduzirá a um melhor desempenho que a adaptação por cor uma vez que permitirá que os utilizadores encontrem a simbologia num espaço temporal mais reduzido. Esta hipótese será validada através do segundo bloco de testes em que é medido o tempo que o utilizador demora a encontrar a simbologia quando esta é adaptada por rebordo e por cor. Serão comparados os tempos médios para encontrar um símbolo em cada tipo de adaptação e o tempo que os utilizadores demoram para encontrar o primeiro, o segundo e o terceiro símbolo em separado.

Hipótese 3: O tipo e forma de adaptação que melhor preservará a semântica da simbologia será uma adaptação em que o tipo é por rebordo e a forma é total. Esta hipótese será validada através do primeiro bloco de testes, quando o utilizador visualiza adaptações por rebordo e por cor combinadas com adaptações totais e parciais do grupo de símbolos, e é questionado sobre a preservação da semântica.

Hipótese 4: Para o caso da adaptação dos símbolos por cor, a semântica será melhor preservada no caso de uma adaptação parcial. Isto é, quando apenas se adaptam

os símbolos que se confundem com o fundo. Esta hipótese será validada através do mesmo método que a Hipótese 3.

Hipótese 5: Para o caso da adaptação dos símbolos por rebordo, a semântica será melhor preservado no caso de uma adaptação total. Isto é, quando se adaptam todos os símbolos do mesmo tipo em função de apenas alguns símbolos do grupo que se confundem com o fundo. Esta hipótese é validada através do mesmo método que as Hipóteses 3 e 4.

Hipótese 6: O tipo de adaptação por rebordo também será o preferido dos utilizadores. Esta hipótese será validada através do segundo bloco de testes em que o utilizador pode visualizar em simultâneo dois símbolos adaptados por rebordo e dois símbolos adaptados por cor, e é questionado sobre qual o tipo de adaptação que prefere.

#### **4.2.7 Testes estatísticos efectuados**

No âmbito deste estudo foram realizados três tipos de testes estatísticos para a análise dos dados obtidos (subsecção 4.2.8 ). Os testes efectuados foram: o Shapiro-Wilk, o Wilcoxon e o teste de igualdade de proporções.

Pode-se descrever o teste de Shapiro-Wilk como teste de hipóteses estatísticas paramétrico que verifica se uma amostra provém de uma população normal. Para que isto aconteça é necessário estar em condições de aceitar a hipótese nula (o que acontece quando o valor de p-value é maior que 90%), caso contrário aceita-se a hipótese alternativa. Uma vez que os resultados obtidos em todos os testes de Shapiro-Wilk efectuados foram que as amostras estudadas nunca seguem distribuições normais, foi então necessário aplicar testes de Wilcoxon para fazer a comparação dos dados. Caso contrário seriam aplicados testes de T-Student.

Foram realizados testes de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Este tipo de teste é um teste de hipóteses estatísticas não-paramétrico usado para comparar amostras emparelhadas. Foi aplicado o teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas uma vez que cada participante realizou vários testes neste estudo. Com este teste é possível saber se os dados de ambas as amostras são diferentes e verificar a magnitude dessa diferença. Os dados provêm da mesma população (são semelhantes) caso se aceite a hipótese nula (valor de p-value superior a 5%), caso contrário (são diferentes) aceita-se a hipótese alternativa.

Os testes de igualdade de proporções utilizados servem para comparar proporções dizendo se estas são iguais (valor de p-value superior a 5%), o que implica aceitar a

hipótese de igualdade de proporções, ou diferentes, o que implicar rejeitar esta hipótese. Este tipo de teste é também um teste de hipóteses estatísticas não-paramétrico.

Os testes não-paramétricos são vantajosos na medida em que não fazem suposições sobre a natureza da distribuição dos dados no fenómeno de interesse.

#### **4.2.8 Apresentação dos resultados**

Para cada utilizador foram registados num ficheiro a quantidade de símbolos seleccionados e o tempo de selecção de cada símbolo em cada teste. Foi também registado em suporte papel as preferências dos utilizadores em determinados testes. Nesta secção faz-se a análise destes dados obtidos, de modo a verificar a validade das hipóteses apresentadas. Para efectuar esta análise e a apresentação gráfica dos resultados foi utilizado o *software* de domínio público para análise estatística R.

Uma vez mais, convém esclarecer alguma da terminologia usada durante a apresentação dos resultados. A “adaptação por rebordo” (RE) diz respeito à situação em que determinado símbolo foi adaptado através da adição de um rebordo branco (em imagens escuras) ou de rebordo preto (imagens claras). A “adaptação por cor” (CO) diz respeito à situação em que determinado símbolo foi adaptado através da alteração da luminosidade da sua cor para mais luminoso (imagens escuras) ou para menos luminoso (imagens claras). A “adaptação total” diz respeito à situação em que num grupo de símbolos do mesmo tipo se adaptam todos os símbolos apesar de só parte deles realmente necessitar. A “adaptação parcial” diz respeito à situação em que num grupo de símbolos do mesmo tipo se adaptam apenas os símbolos que realmente necessitam da adaptação para se distinguirem do fundo. As adaptações por rebordo e por cor constituem o tipo da adaptação, enquanto as adaptações totais e parciais constituem a forma da adaptação.

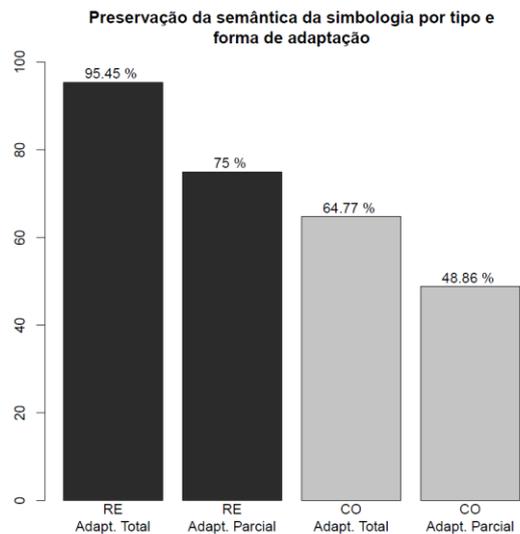


Figura 4.7 – Comparação da percentagem de respostas dos utilizadores em que há preservação da semântica por tipo e forma de adaptação.

Apresentam-se os dados recolhidos, começando pelos que respondem a uma das questões fundamentais deste estudo, ou seja, qual a preservação da semântica da simbologia dependendo do tipo e forma de adaptação, Figura 4.7. Esta figura apresenta quatro barras, em que cada uma corresponde à percentagem de respostas afirmativas dadas pelos utilizadores se em determinado tipo e forma de adaptação a semântica seria preservada.

Aplicando um teste de igualdade de proporções, para todos os conjuntos de tipo e forma de adaptação, são obtidos os valores:  $X^2 = 30.2901$ ,  $df = 3$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções. Aplicando o mesmo teste apenas nas adaptações por rebordo de forma parcial e total, uma vez que são as que apresentam maior percentagem de respostas afirmativas, obtêm-se os valores:  $X^2 = 7.3108$ ,  $df = 1$  e  $p\text{-value} \approx 0.007$ , pelo que se pode também rejeitar a hipótese de igualdade de proporções. Aplicando novamente o mesmo teste, mas agora nas adaptações por cor parcial e total, sendo a total a com maior percentagem de respostas afirmativas, obtêm-se os valores:  $X^2 = 4.5389$ ,  $df = 1$  e  $p\text{-value} \approx 0.0331$ , pelo que mais uma vez se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

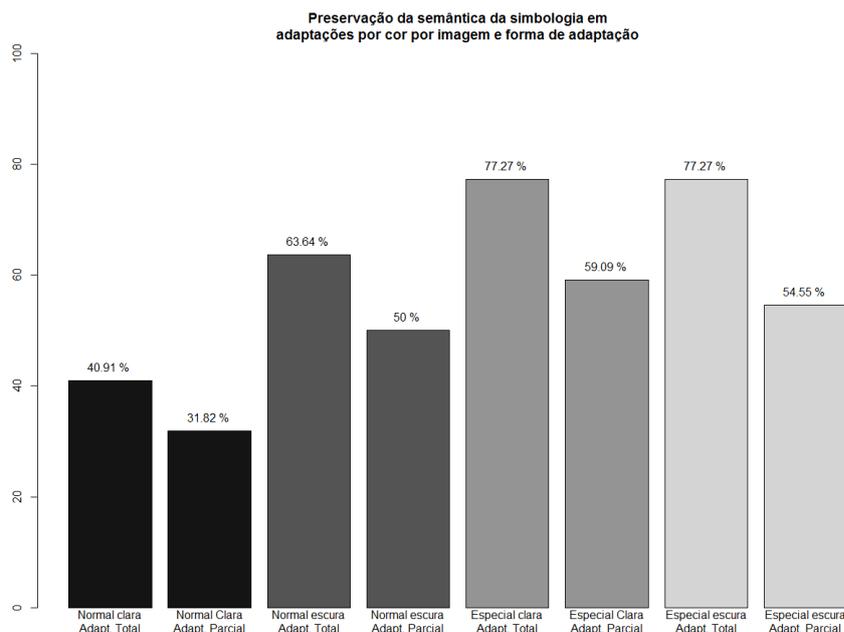


Figura 4.8 - Preservação da semântica da simbologia em cada uma das imagens com adaptações por cor e com formas de adaptação diferentes.

Na Figura 4.8, as imagens com adaptação “Especial”, tratam-se das imagens que contêm uma forma de adaptação total, e onde os símbolos que são adaptados em função de outros símbolos passam eles próprios a distinguirem-se pior após a adaptação.

Aplicando um teste de igualdade de proporções para todos os casos na Figura 4.8 obtêm-se os valores:  $X^2 = 16.3032$ ,  $df = 7$  e  $p\text{-value} \approx 0.0225$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções. Aplicando o mesmo teste à imagem “Normal Clara” (com adaptação total e parcial) e às restantes obtêm-se os valores:  $X^2 = 10.0042$ ,  $df = 1$  e  $p\text{-value} \approx 0.0016$ , pelo que se pode igualmente rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

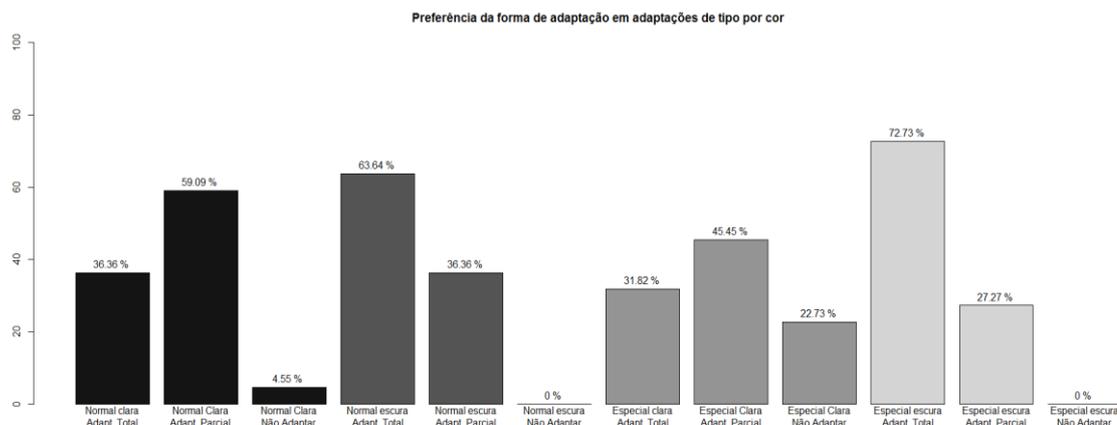


Figura 4.9 - Preferência da forma de adaptação em todas as imagens com adaptações por cor.

Aplicando um teste de igualdade de proporções a todos os dados representados na Figura 4.9 obtêm-se como valores:  $X^2 = 64.3636$ ,  $df = 11$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

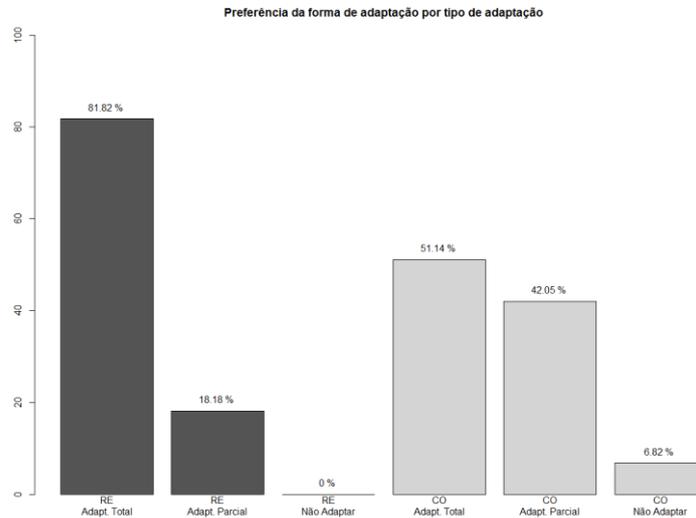


Figura 4.10 - Preferência da forma de adaptação (adaptação total do grupo de símbolos ou apenas parcial) por tipo de adaptação (rebordo ou cor).

Aplicando um teste de igualdade de proporções nos dados representados na Figura 4.10 obtêm-se como valores:  $X^2 = 116.4886$ ,  $df = 5$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções. Aplicando também um teste de igualdade de proporções aos dados correspondentes à preferência pela adaptação por tipo de cor de forma total e parcial, obtêm-se os valores:  $X^2 = 1.4613$ ,  $df = 1$  e  $p\text{-value} = 0.2267$ , pelo que se está em condições de se aceitar a hipótese alternativa.

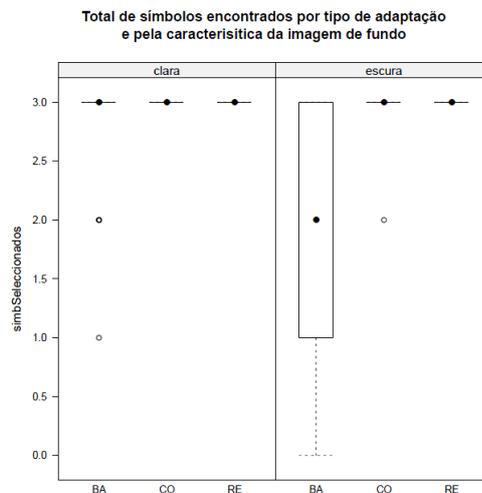


Figura 4.11 - Total de símbolos encontrados por tipo de adaptação (cor, rebordo ou base) e pela característica da imagem (clara ou escura).

Na Figura 4.11, aplicando o teste de Shapiro-Wilk aos dados correspondentes ao total de símbolos encontrados quando não adaptados independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 0.7426$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ . Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes ao total de símbolos encontrados quando se encontram adaptados por cor independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 0.1374$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ . Não foi necessário aplicar o mesmo teste aos dados correspondentes ao total de símbolos encontrados quando adaptados por rebordo independentemente da característica da imagem uma vez que todos os seus valores são idênticos (isto é, foram sempre seleccionados 3 símbolos). Assim, pode-se concluir a partir dos testes de Shapiro-Wilk efectuados que se pode aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal.

Aplicando o teste de Wilcoxon aos dados correspondentes à selecção de símbolos não adaptados e adaptados por cor independentemente da característica da imagem, obtém-se:  $W = 1113.5$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se está em condições de aceitar a hipótese alternativa. Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes à selecção de símbolos não adaptados e adaptados por rebordo independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 1078$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se está em condições de aceitar a hipótese alternativa. Aplicando ainda o mesmo teste aos dados correspondentes à selecção de símbolos adaptados por cor e adaptados por rebordo independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 946$ ,  $p\text{-value} = 0.3173$ , pelo que se está em condições de aceitar a hipótese nula.

Aplicando o teste de Shapiro-Wilk aos dados correspondentes ao total de símbolos encontrados quando não adaptados em imagens claras e escuras, obtém-se respectivamente:  $W = 0.5473$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$  e  $W = 0.8521$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que em ambos os casos se pode aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes ao total de símbolos encontrados quando se encontram adaptados por cor em imagens escuras obtém-se:  $W = 0.2215$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que também se pode aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Não foi necessário aplicar o mesmo teste aos restantes dados uma vez que todos os seus valores são idênticos (isto é, foram sempre seleccionados 3 símbolos).

Aplicando o teste de Wilcoxon aos dados correspondentes aos símbolos seleccionados quando não adaptados em imagens claras e aos dados correspondentes aos símbolos adaptados por cor e rebordo em imagens claras obtém-se respectivamente:  $W = 374$ ,  $p\text{-value} = 0.01612$  e  $W = 374$ ,  $p\text{-value} = 0.01612$  (os resultados são os mesmos uma vez que os valores da amostra são os mesmos para a adaptação por cor e rebordo em imagens claras, isto é, foram sempre encontrados 3 símbolos), pelo que se pode aceitar a hipótese alternativa. Aplicando o teste de Wilcoxon aos dados correspondentes aos símbolos seleccionados quando não adaptados em imagens escuras e aos dados correspondentes aos símbolos adaptados por cor e rebordo em imagens escuras obtém-se respectivamente:  $W = 179$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$  e  $W = 165$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se está em condições de se aceitar a hipótese alternativa.

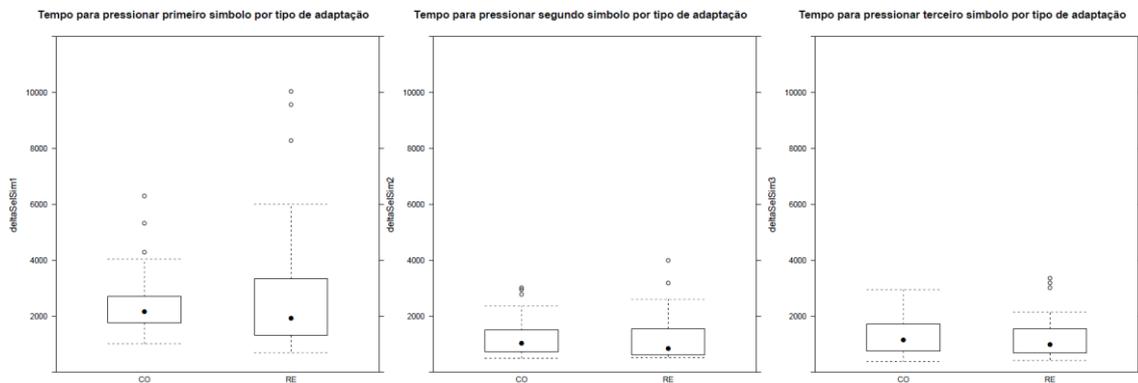


Figura 4.12 - Tempo que os utilizadores demoram a pressionar um símbolo (o primeiro, o segundo e o terceiro respectivamente) com determinado tipo de adaptação (rebordo ou cor).

Na Figura 4.12, aplicando o teste de Shapiro-Wilk aos dados correspondentes ao tempo que demora a encontrar o primeiro, o segundo e o terceiro símbolo adaptado por cor, independentemente da característica da imagem de fundo, obtém-se respectivamente:  $W = 0.9193$  e  $p\text{-value} \approx 0.005$ ,  $W = 0.9317$  e  $p\text{-value} \approx 0.012$ ,  $W = 0.9364$  e  $p\text{-value} \approx 0.019$ , tudo valores em que  $p\text{-value} \ll 0.9$ , logo pode-se aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes ao tempo que demora a encontrar o primeiro, o segundo e o terceiro símbolo adaptado por rebordo, independentemente da característica da imagem, obtém-se respectivamente:  $W = 0.9084$  e  $p\text{-value} \approx 0.002$ ,  $W = 0.878$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ ,  $W = 0.7834$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , tudo valores em que  $p\text{-value} \ll 0.9$ , logo pode-se aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal.

Dados os resultados anteriores, aplicando o teste não paramétrico de Wilcoxon aos pares de dados relativos ao tempo que demora a encontrar o primeiro, o segundo e o

terceiro símbolos adaptados com cor respectivamente com o primeiro, o segundo e o terceiro símbolos adaptados com rebordo, independentemente das características da imagem de fundo, obtém-se respectivamente:  $W = 985$  e  $p\text{-value} = 0.891$ ,  $W = 947$  e  $p\text{-value} = 0.8648$ ,  $W = 1065$  e  $p\text{-value} = 0.3161$ , pelo que se está em condições de aceitar a hipótese nula.

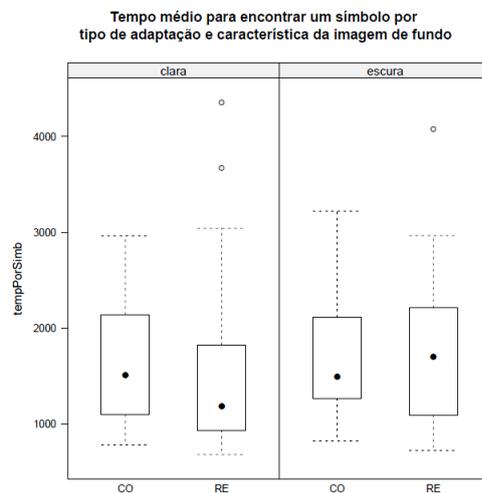


Figura 4.13 - Tempo médio para encontrar um símbolo por tipo de adaptação (cor ou rebordo) e característica da imagem de fundo (clara ou escura).

Na Figura 4.13, aplicando o teste de Shapiro-Wilk aos dados correspondentes ao tempo médio que demora um símbolo adaptado por cor independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 0.934$  e  $p\text{-value} \approx 0.0145$ , logo pode-se aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes ao tempo médio que demora a encontrar um símbolo adaptado por rebordo independentemente da característica da imagem obtém-se:  $W = 0.8739$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , e novamente se pode aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando o teste de Wilcoxon em ambos os dados anteriores obtém-se:  $W = 1035$  e  $p\text{-value} = 0.5807$ , pelo que se está em condições de se aceitar a hipótese nula.

Aplicando o teste de Shapiro-Wilk aos dados correspondentes ao tempo médio que demora a encontrar um símbolo adaptado por cor, mas em imagens claras e escuras, obtém-se respectivamente:  $W = 0.9252$ ,  $p\text{-value} \approx 0.0974$  e  $W = 0.9238$ ,  $p\text{-value} \approx 0.0912$ , logo pode-se aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando o mesmo teste aos dados correspondentes ao tempo médio que demora a encontrar um símbolo adaptado por rebordo em imagens claras e escuras obtém-se

respectivamente:  $W = 0.8142$ ,  $p\text{-value} \ll 0.001$  e  $W = 0.9184$ ,  $p\text{-value} \approx 0.0705$ , logo pode-se aceitar que os dados não pertencem a uma distribuição normal. Aplicando agora o teste de Wilcoxon nos dados em que os símbolos foram adaptados por cor obtém-se:  $W = 238$ ,  $p\text{-value} = 0.9352$ , pelo que se está em condições de se aceitar a hipótese nula. Aplicando o teste de Wilcoxon nos dados em que os símbolos foram adaptados por rebordo obtém-se:  $W = 190$ ,  $p\text{-value} = 0.2292$ , pelo que se está em condições de se aceitar a hipótese nula.

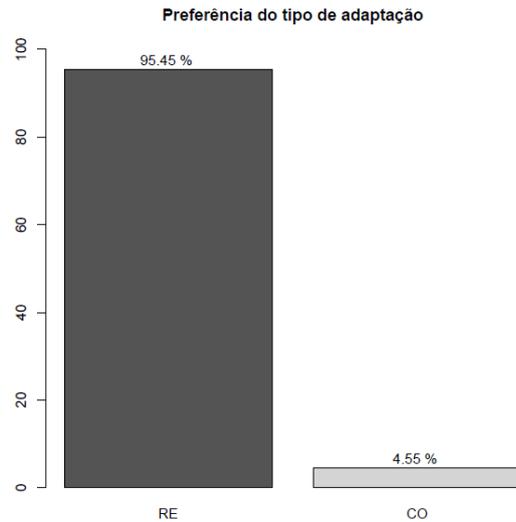


Figura 4.14 - Preferência dos utilizadores quanto ao tipo de adaptação (rebordo ou cor) quando as duas são apresentadas em simultâneo na mesma imagem.

Na Figura 4.14 encontra-se exposta a informação sobre qual a preferência do tipo de adaptação dos utilizadores. Estes dados foram recolhidos após os utilizadores terem observado cada uma das quatro imagens (duas claras e duas escuras) que apresentava dois símbolos adaptados por rebordo e outros dois símbolos adaptados por cor.

Aplicando um teste de igualdade de proporções, nos dados presentes na Figura 4.14, obtém-se os valores:  $X^2 = 72.7273$ ,  $df = 1$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

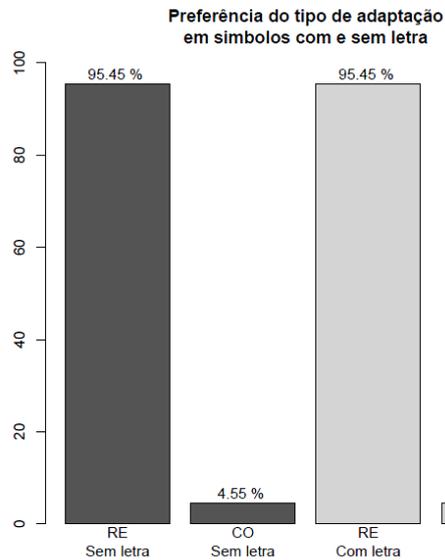


Figura 4.15 - Preferência dos utilizadores pelo tipo de adaptação (rebordo ou cor) e dependendo se os símbolos apresentam uma letra no meio ou não.

Os dados da Figura 4.15 reflectem as preferências dos utilizadores quando apresentados com as duas adaptações em simultâneo, tal como é explicado da Figura 4.14. No entanto, agora entra em consideração o facto de que em duas das imagens (uma clara e uma escura) a simbologia é lisa e nas outras duas (também uma clara e uma escura) a simbologia apresenta uma letra (um “H”).

Aplicando um teste de igualdade de proporções, nos valores apresentados na Figura 4.15, obtêm-se os valores:  $X^2 = 146.4545$ ,  $df = 3$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

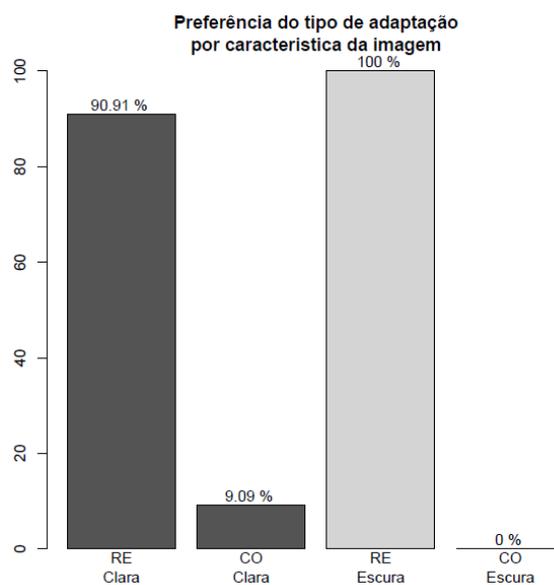


Figura 4.16 - Preferência dos utilizadores pelo tipo de adaptação (rebordo ou cor) e pela característica da imagem de fundo (clara ou escura).

Aplicando um teste de igualdade de proporções, nos valores apresentados pela Figura 4.16, obtêm-se os valores:  $X^2 = 146.9091$ ,  $df = 3$  e  $p\text{-value} \ll 0.001$ , pelo que se pode rejeitar a hipótese de igualdade de proporções.

#### **4.2.9 Análise dos resultados**

Nesta secção encontra-se a análise detalhada dos resultados apresentados na secção anterior, sendo estes resultados também comparados com as hipóteses inicialmente propostas.

##### **Preservação da semântica**

Através da análise dos resultados na Figura 4.7, verifica-se que a situação que reúne maior unanimidade (mais de 95% das respostas) é quando a adaptação é feita por rebordo e de forma total. Com estes resultados é possível confirmar a Hipótese 3 e 5. Pode-se também verificar que qualquer forma de adaptação, desde que o seu tipo seja por rebordo, preserva melhor a semântica que qualquer forma de adaptação em que o seu tipo é por cor. Outro aspecto interessante, mas que vai contra a Hipótese 4 é que quando o tipo de adaptação é por cor, a forma que melhor conserva a semântica da simbologia é a adaptação total. Pode-se inclusivamente observar, que no caso de uma adaptação de cor de forma parcial, menos de metade das respostas (cerca de 49%) foi de que a semântica se preservaria.

##### **Aspectos da adaptação por cor**

A análise dos resultados na Figura 4.8 não permite que se tirem directamente conclusões relacionadas com as hipóteses propostas, mas permite identificar outros aspectos interessantes.

Verifica-se que a imagem que apresentou uma pior preservação da semântica foi uma imagem com tons de castanho, tanto nas adaptações totais ou como nas parciais. Isto porque, quando os símbolos são adaptados nesta imagem, devido ao fundo em que estão sobrepostos ser claro, perdem intensidade luminosa na sua cor. Isto faz com que se tornem num castanho mais escuro o que, com a interferência da luminosidade do ambiente exterior, torna essa cor demasiado semelhante com o preto. Deste modo, o utilizador associa esta perda da informação cromática da cor a uma alteração do seu significado, algo que foi inclusivamente comentado por alguns utilizadores durante a

realização deste teste. Deste facto pode-se concluir que o limite mínimo de 10% na intensidade luminosa da cor para este tipo de adaptação é insuficiente. Isto uma vez que a luminosidade da cor do símbolo passa de 61% para 36% e, no entanto, perde a sua informação cromática com a adaptação. Assim este limite deverá ser aumentado de modo a ser possível preservar a informação cromática da cor da simbologia e, portanto, a sua semântica. A adaptação deste símbolo pode-se observar na Figura 4.17.



Figura 4.17 – Adaptação do símbolo com má visualização na imagem de fundo “Normal Clara”

Nas restantes imagens, apesar de não haver uma perda da informação cromática da cor tão acentuada, houve críticas por diversos utilizadores que com este tipo de adaptação passariam a atribuir outro significado à simbologia. Isto acontece especialmente nos casos das adaptações de forma parcial. Nestes casos, apesar de ligeira a diferença da luminosidade da cor entre símbolos do mesmo tipo, é suficiente para causar alguma confusão aos utilizadores.

Assim, através da análise da Figura 4.8 pode-se concluir que o algoritmo de adaptação por cor necessita ainda de alguns ajustes para que não torne apenas os símbolos visíveis mas também que consiga preservar ainda melhor a sua semântica.

Analisando também os resultados na Figura 4.9 percebe-se que tanto na imagem que contém uma “Adaptação Normal Clara” como na imagem que contém uma “Adaptação Especial Clara” (o conceito de “Adaptação Especial” encontra-se explicado na secção anterior junto da Figura 4.9) existem utilizadores que preferem que não tivesse existido nenhuma forma de adaptação (apesar de constituírem uma minoria). Na imagem que contém uma “Adaptação Normal Clara” isto deve-se ao mesmo motivo explicado na análise aos resultados na Figura 4.8. Na imagem que contém uma “Adaptação Especial Clara” isto deve-se ao facto de que o símbolo que supostamente devia melhorar a visualização com a adaptação, pois adapta-se para fazer contraste com a cor dominante do fundo, mantêm ou piora mesmo as condições de visualização com a adaptação. Isto acontece porque ao se adaptar, o símbolo adquire uma cor semelhante à segunda cor dominante do fundo, a qual o algoritmo de adaptação por cor não entra em linha de conta. Com isto pode-se concluir novamente que o algoritmo de adaptação por cor ainda apresenta algumas imperfeições. Este tipo de problemas não acontece com as

imagens escuras, pelo que se pode também concluir que o algoritmo por adaptação por cor falha especialmente nas adaptações em imagens claras. Ou seja, quando é necessário reduzir a luminosidade da cor de um símbolo para o adaptar.

Pode-se ainda observar que em ambas as imagens claras os utilizadores preferem adaptações de forma parcial. No caso da imagem “Normal Clara” isto pode-se explicar devido a esta sofrer um pouco do efeito que se pretendia apenas nas imagens “Especiais”. Ou seja, quando há adaptações de forma total existe também uma deterioração das condições de visualização dos símbolos adaptados em função de outros. Já, pelo contrário, a imagem “Especial Escura” que deveria sofrer deste efeito, não o apresenta. Logo, este efeito ocorre facilmente em imagens claras mas não em escuras.

### **Forma de adaptação preferencial**

No fim de cada utilizador visualizar uma imagem com símbolos não adaptados sobrepostos, e depois com estes adaptados de forma total e de forma parcial (independentemente do tipo de adaptação), foi-lhe colocada a questão de qual seria a sua forma preferencial de adaptação. Pode-se ver através da análise dos resultados na Figura 4.10 que a esta questão, a resposta que reuniu mais unanimidade foi no caso em que o tipo de adaptação era por rebordo e a sua forma era total. Neste tipo de adaptação mais de 80% dos utilizadores preferiam que a adaptação fosse feita de forma total. Assim, este tipo e forma de adaptação para além de ser o que melhor preserva a semântica da simbologia é também o preferido dos utilizadores.

No caso em que o tipo de adaptação era a cor, os utilizadores ficaram mais divididos, sendo mesmo que alguns deles em certos casos preferiam até que não houvesse nenhuma adaptação. Este equilíbrio de preferências pode-se explicar devido ao facto de existirem duas imagens em que quando a forma de adaptação dos símbolos é total, conduz a que os símbolos que são adaptados em função de terceiros passem a ter piores condições de visualização. Logo, neste tipo de adaptação não foi possível concluir se os utilizadores preferem as adaptações de forma total ou parcial.

### **Eficiência por tipo de adaptação**

Através dos resultados representados na Figura 4.11, pode-se verificar que quando a simbologia se encontra adaptada com rebordo, os utilizadores conseguem identificar todos os símbolos em qualquer caso. Com a adaptação por cor a situação foi idêntica,

havendo apenas um *outlier* nas imagens de característica escura. No entanto, com os símbolos na sua forma base (sem adaptação), existiram diversos casos em que os utilizadores não conseguiram identificar todos os símbolos, especialmente em imagens escuras. Disto pode-se concluir que tanto a adaptação por rebordo como a adaptação por cor são eficientes em auxiliar os utilizadores na procura visual por simbologia. Logo pode-se rejeitar a Hipótese 1.

### **Desempenho por tipo de adaptação**

Na Figura 4.12 encontra-se representado o tempo que os utilizadores demoraram a encontrar o primeiro, o segundo e o terceiro símbolo em cada tipo de adaptação. É importante salientar que o tempo para encontrar o segundo símbolo trata-se do tempo que os utilizadores o demoraram a encontrar após terem encontrado o primeiro. O tempo para encontrar o terceiro símbolo é o tempo que os utilizadores o demoraram a encontrar após terem encontrado o segundo.

Pode-se observar que o tempo que os utilizadores demoraram a encontrar cada símbolo em todos os casos é semelhante. Significa isto que os dois tipos de adaptação têm um desempenho semelhante na pesquisa por símbolos. Logo, pode-se rejeitar a Hipótese 2.

Ainda para explorar um pouco mais este aspecto, na Figura 4.13 encontra-se a representação do tempo que demora a encontrar o último símbolo a dividir pelo número total de símbolos encontrados. Através da análise dos resultados na Figura 4.13 pode-se observar que o tempo para encontrar um símbolo é semelhante em qualquer caso estudado. Ou seja, o tempo para encontrar um símbolo numa imagem, seja esta clara ou escura, e usando qualquer tipo de adaptação, seja por cor ou rebordo, é sempre muito parecido. Os resultados são idênticos aos representados na Figura 4.12 uma vez que foram quase sempre encontrados todos os símbolos em qualquer tipo de adaptação (o que se pode observar através dos resultados na Figura 4.11). Assim através destes resultados também se pode rejeitar a Hipótese 2.

### **Preferência por tipo de adaptação**

Como já foi referido antes, nas últimas quatro imagens do segundo bloco de testes os utilizadores visualizaram, em simultâneo, a adaptação de dois símbolos por cor e outros dois por rebordo. As adaptações foram iguais para símbolos com o mesmo tipo de adaptação, ou seja, ambos os símbolos ganharam ou perderam luminosidade na cor e

ambos os outros ficaram com rebordos da mesma cor. Através da análise dos resultados representados na Figura 4.14 pode-se observar uma clara preferência dos utilizadores por adaptações através de rebordo. As vezes em que os utilizadores preferiram adaptações por cor acabaram por ser residuais. Através destes resultados pode-se confirmar a Hipótese 6.

Através da análise dos resultados na Figura 4.15 pode-se explorar um pouco para além da Hipótese 6. Com esta Figura verifica-se que o facto de os símbolos serem lisos ou terem uma letra não afecta a preferência dos utilizadores, ou seja, a adaptação por rebordo. Assim, é possível afirmar que a preferência dos utilizadores não depende desta característica da simbologia.

Através da análise dos resultados na Figura 4.16 pode-se novamente explorar mais um pouco para além da Hipótese 6. Através desta Figura pode-se afirmar que o tipo de adaptação por cor apenas foi preferido nas imagens claras, sendo que mesmo neste caso o rebordo é o tipo de adaptação maioritariamente preferido. Nas imagens escuras, não há dúvida que o tipo de adaptação preferido pelos utilizadores é o rebordo, uma vez que 100% dos utilizadores optaram por este tipo de adaptação, não deixando assim margem para dúvidas.

### **4.3 Conclusões**

Após a análise cuidada de todos os dados obtidos neste estudo são várias as conclusões que se podem tirar em relação à visualização de simbologia em dispositivos móveis no exterior. Essas conclusões são:

- Para garantir que a semântica da simbologia é preservada após adaptação da mesma, é necessário que a adaptação seja do tipo por rebordo e de forma total. A combinação deste tipo e forma de adaptação é também a preferida pelos utilizadores. Nas adaptações por cor a semântica preserva-se melhor no caso em que a adaptação é efectuada de forma total.
- Para garantir que a semântica da simbologia é preservada após uma adaptação da mesma por alteração da cor é necessário alterar o algoritmo actual de modo a que a cor nunca fique demasiado escura. Isto pode ser feito aumentando o nível actual de luminosidade a partir do qual se adapta a cor por subtracção de luminosidade (50%).
- O algoritmo para a adaptação por cor deverá também ser alterado de modo a avaliar a segunda cor dominante da imagem à qual o símbolo se encontra sobreposto. Isto

porque em alguns casos os utilizadores preferiam que não houvesse adaptação de nenhum símbolo, ao invés de adaptar apenas o símbolo que se distinguiu mal, pois esse símbolo mesmo sendo adaptado continuava a apresentar pouca legibilidade.

- Outra alteração que o algoritmo para adaptação por cor deverá sofrer será a de não permitir adaptações em que a luminosidade da cor seja de apenas 10%. Este limite deverá ser aumentado para que a cor ao ser adaptada não fique demasiado semelhante ao preto e assim perca a sua semântica.
- O desempenho e a eficiência na procura visual por símbolos aumentaram através da adaptação dos mesmos. No entanto, não se verificou diferença nem no desempenho nem na eficiência na localização dos símbolos pelo utilizador quando a adaptação era por rebordo ou cor.
- Quando foram apresentados os dois tipos de adaptação em simultâneo aos utilizadores, estes continuaram a preferir sempre a adaptação por rebordo. Isto reforça novamente a preferência dos utilizadores no tipo de adaptações por rebordo.



## Capítulo 5 Aplicação Desenvolvida

Em conformidade com toda a investigação de trabalho relacionado e com os dois estudos efectuados no âmbito deste projecto, foram efectuadas algumas extensões à plataforma de Realidade Aumentada para dispositivos móveis RUBI v1.0. Com estas extensões a plataforma passou a suportar a adaptação de simbologia em tempo-real. Para realizar estas adaptações foram desenvolvidos alguns algoritmos específicos que serão também abordados nesta secção. O dispositivo em que foi testada a aplicação desenvolvida foi novamente o dispositivo indicado no Anexo B.

A aplicação tem como função mostrar ao utilizador símbolos (que representam pontos de interesse) sobrepostos a imagens do ambiente real. Esta aplicação tenta também garantir que toda a simbologia apresentada ao utilizador é sempre visível e que nunca perde a semântica a si associada. A adaptação é efectuada em tempo-real e livre de *flickering*.

A documentação associada a esta aplicação, ou seja, os requisitos estruturais e funcionais e os diagramas de classes e de casos de uso, encontra-se no Anexo G.

### 5.1 Características dos símbolos utilizados

Os símbolos utilizados nesta aplicação foram construídos de modo a que um utilizador os consiga entender e interpretar facilmente. A estes símbolos não foi incluído um rebordo, como é sugerido em [48], para que se possa verificar o efeito da adaptação por rebordo. No entanto as características da simbologia criada, foram baseadas nas características essenciais identificadas neste estudo. Estes ícones têm um tamanho de 40×40 *pixels* uma vez que este é o valor sugerido para dispositivos móveis com ecrãs de reduzidas dimensões no estudo [57]. Esta simbologia criada pode ser visualizada na Figura 5.1.



Figura 5.1- Símbolos criados para usar na Plataforma RUBI

Os símbolos da Figura 5.1 representam, da esquerda para a direita e de cima para baixo, pontos de interesse relativos a: “Educação”, “Entretenimento”, “Combustíveis”, “Saúde”, “Bibliotecas”, “Desporto”, “Restaurante/Bar”, “Parques” e “Outros”. Os tipos de pontos de interesse escolhidos foram feitos com base em alguns dos pontos de interesse mais relevantes perto do *campus* universitário ao qual a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa pertence.

## 5.2 Condições para avaliar a necessidade de adaptação

Para verificar se existe a necessidade de realizar a adaptação dos símbolos que o utilizador observa sobrepostos ao mundo real, existem três situações em que o sistema captura um *frame* e o analisa em conjunto com esses símbolos. Assim sendo, as situações são as seguintes:

- Pedido explícito do utilizador:

O utilizador pode pedir explicitamente à aplicação para verificar a necessidade de adaptação da simbologia, sendo que para isso basta-lhe pressionar na tecla de “menu” e seleccionar a opção “Adaptar Ícones”.

- Ciclo temporal:

De 10 em 10 segundos o sistema verifica a necessidade de adaptação da simbologia.

- Rotação acentuada do dispositivo móvel:

Caso o utilizador provoque uma rotação do dispositivo móvel superior a 45°, o sistema irá verificar a necessidade de adaptação da simbologia.

### 5.3 Algoritmo para adaptação de um grupo de símbolos do mesmo tipo

Como foi estudado no Capítulo 5, para que a simbologia não perca a sua semântica quando é adaptada, é necessário que todos os símbolos do mesmo tipo sejam adaptados, mesmo que nem todos necessitem. Deste modo, foi necessário desenvolver um algoritmo para realizar as adaptações num grupo de símbolos do mesmo tipo sempre em toda a sua extensão.

Para que seja possível adaptar diversos símbolos em simultâneo, foi necessário criar uma classe que estende a classe abstracta *AsyncTask*. A classe *AsyncTask* permite que se realizem operações em segundo plano e que se publiquem os resultados na *UI Thread* sem que seja necessário manipular *threads* e/ou *handlers* [59]. Com auxílio a esta classe, é possível realizar operações de adaptação de simbologia (que duram poucos segundos) em simultâneo directamente na *UI Thread*.

Pode-se dividir um grupo de símbolos do mesmo tipo em duas categorias: a dos símbolos correspondentes a pontos de interesse visíveis para o utilizador e a dos símbolos que correspondem a pontos de interesse que não são visíveis para o utilizador.

Para que se possa adaptar todos os símbolos do mesmo tipo, basta que haja um símbolo que necessite de se adaptar, pertencendo este símbolo à categoria dos visíveis para o utilizador (Figura 5.2). Para desadaptar ou não adaptar um grupo de símbolos do mesmo tipo, é necessário que todos os símbolos desse tipo pertencentes à categoria dos visíveis para o utilizador não necessitem de ser adaptados (Figura 5.3). Os símbolos pertencentes à categoria dos não visíveis, são adaptados e desadaptados consoante os resultados devolvidos pelas votações correspondentes à necessidade de adaptação dos símbolos visíveis. Cada nova votação é efectuada sempre que é preenchida uma condição para a captura de um *frame* para análise.

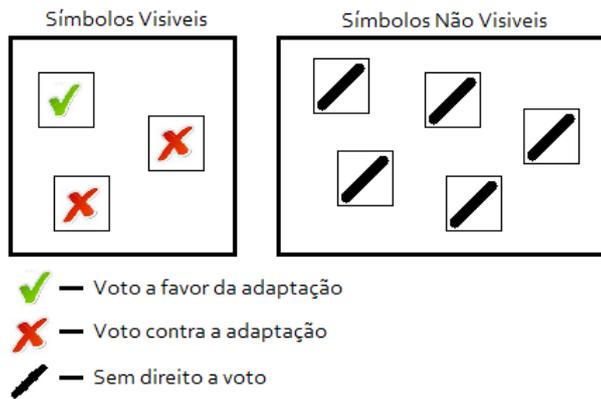


Figura 5.2 – Condição mínima para que exista uma adaptação em grupo.

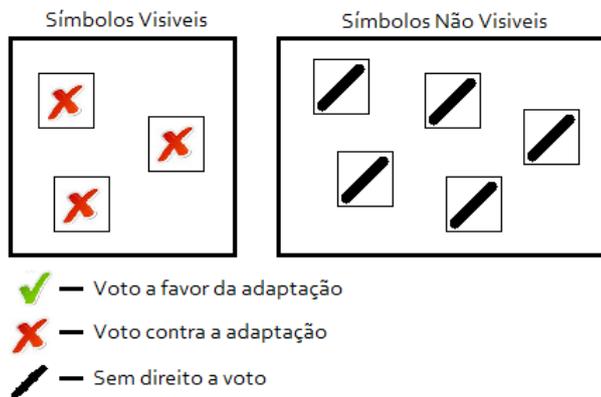


Figura 5.3 – Condição necessária para que exista desadaptação ou não adaptação do grupo.

Em termos de programação, todos os objectos que definem um símbolo são geridos por um objecto que gere os grupos de símbolos pertencentes a cada tipo. Este objecto, em caso de adaptação, atribui como referência de representação gráfica a representação gráfica do primeiro símbolo que votou favoravelmente à adaptação a todos os restantes símbolos (isto antes da adaptação em si acontecer). Deste modo, quando a adaptação se desenvolve, é efectuada num só símbolo mas reflecte-se em todos os símbolos do mesmo tipo em simultâneo, uma vez que todos partilham a mesma representação gráfica. No caso de uma desadaptação o procedimento é semelhante. Isto garante que todos os símbolos de um tipo, em cada momento, têm exactamente a mesma representação gráfica.

## 5.4 Algoritmo para avaliar cores semelhantes

O algoritmo para este tipo de adaptação antes de mais precisa conhecer a cor dominante do fundo em que determinado símbolo se encontra sobreposto. O fundo é definido como a área de *pixels* que envolve um símbolo, a qual é calculada em função de um limiar

previamente estabelecido (Figura 5.4). Depois, precisa também de conhecer a cor dominante do próprio símbolo. Para o cálculo da cor dominante é usado o algoritmo desenvolvido em [11], sendo que a cor dominante para cada tipo de símbolo só é calculada uma vez durante a execução da aplicação uma vez que depois o resultado fica guardado na sua Base de Dados local SQLite.

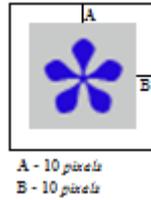


Figura 5.4 – Símbolo e área envolvente para análise de cor dominante com os valores por defeito.

Após a obtenção da cor dominante do símbolo e do fundo em volta do local em que este se encontra sobreposto, as duas cores são comparadas dentro do modelo CIELab, usando a equação CIEDE2000 [45]. Esta equação é a que se encontra actualmente mais aperfeiçoada para calcular a diferença entre duas cores dentro do modelo CIELab. No entanto, a informação de qual é a cor dominante é recebida em RGB. Logo é necessário converter esta mesma informação para o modelo CIELab. Isto é algo que não é trivial, assim, como auxílio para a implementação dessa conversão, foi utilizado o algoritmo disponível em [60]. Caso o valor da distância entre as cores no modelo CIELab devolvido pela equação CIEDE2000 seja menor que um dado limiar (12 por defeito), as cores são consideradas semelhantes.

Uma vez que um *frame* capturado se pode apresentar desfocado, as cores analisadas como dominantes em volta dos símbolos podem ser incorrectas. Outra situação que pode ocorrer é o utilizador deslocar a câmara símbolos ficarem por breves instantes sobrepostos a zonas de igual cor dominante, sendo desencadeada a sua adaptação desnecessariamente. O mesmo poderá acontecer no caso de algo se se atravessar momentaneamente à frente do dispositivo móvel, como por exemplo um carro. Para colmatar estas situações foi criada uma equação que leva em linha de conta não só a cor dominante no *frame* actual mas até a um máximo dos últimos 4 *frames*. Esta equação baseia-se numa média aritmética ponderada da cor dominante de até um máximo dos últimos 4 *frames* analisados para cada símbolo (este máximo é usado assim que há pelo menos 4 medições), e escreve-se da seguinte forma:

$$(R, G, B)_{final} = \frac{1 \times (R, G, B)_1 + 2 \times (R, G, B)_2 + \dots + n \times (R, G, B)_n}{1 + 2 + \dots + n}, n \leq 4 \wedge n \in \mathbb{N}^*$$

## 5.5 Algoritmo de adaptação por rebordo

Este tipo de adaptação é usado caso o algoritmo para avaliar cores semelhantes confirme que a cor dominante do símbolo e a cor dominante do fundo em que está inserido sejam semelhantes. É também necessário, que o tipo de adaptação estabelecido através da configuração dos parâmetros da aplicação seja este.

O rebordo usado terá uma espessura de 3 *pixels*, uma vez que esta foi a espessura com melhores resultados numa tarefa de desempenho de pesquisa de símbolos no estudo feito em [38]. Este estudo não contemplou rebordos de maior espessura, no entanto, nesta aplicação os símbolos são visualizados em dispositivos móveis que possuem ecrãs de dimensões reduzidas. Um aumento da espessura do rebordo conduziria a um aumento de forma drástica do *cluttering* visual.

O rebordo apenas poderá ser preto ou branco, uma vez que estas são as cores neutras que mais contraste poderão fazer com o fundo. As outras cores são normalmente usadas para dar informações específicas (como por exemplo: o vermelho para representar perigo ou calor, o amarelo para situações em que é preciso maior atenção ou o azul para situações de tranquilidade ou frio) e logo mais facilmente alteram a semântica da simbologia quando aplicadas como rebordo. Para escolher a cor do rebordo é usada mais uma vez a equação CIEDE2000 que compara a cor dominante do símbolo com o preto e o branco dentro do modelo CIELab. O rebordo será branco caso a distância dada pela equação CIEDE2000 entre a cor dominante do símbolo e a cor branco seja maior que a distância entre cor dominante do símbolo e a cor preto. Caso contrário, a cor será o preto.

De modo a evitar que haja *flickering* durante a fase de adaptação é necessário dar ao utilizador a sensação que o rebordo “vai aparecendo” gradualmente. Para isto, o rebordo vai perdendo transparência (10% de cada vez) a uma velocidade de aproximadamente 25 *frames* por segundo. Para retirar o rebordo é usado o processo inverso, ou seja, o rebordo vai ganhando transparência (10% de cada vez) à mesma velocidade de aproximadamente 25 *frames* por segundo, até ao ponto em que deixa de ser visível. O pseudo-código relativo a este algoritmo pode ser encontrado no Anexo H.

## 5.6 Algoritmo de adaptação por cor

Este tipo de adaptação é efectuada também no caso em que o algoritmo para avaliar cores semelhantes confirme que a cor dominante do símbolo e a cor dominante do fundo em que está inserido são semelhantes. É também necessário, que o tipo de adaptação previamente estabelecido através da configuração dos parâmetros da aplicação seja o de adaptação por cor.

Um símbolo pode ser constituído por diversas cores, no entanto a cor que será importante para a sua adaptação será a sua cor dominante. Isto uma vez que todas as restantes cores serão adaptadas em função desta. O cálculo desta cor dominante também é efectuado recorrendo ao algoritmo de Raul Simplício [11]. A adaptação é efectuada alterando apenas a luminosidade da cor dominante do símbolo, uma vez que esta componente não é responsável pela informação cromática da cor. Já a tonalidade e saturação da cor são responsáveis pela informação cromática. Logo as adaptações são feitas recorrendo ao modelo HSV que decompõe a cor nas componentes: tonalidade, saturação e luminosidade (consultar subsecção 2.3.2 ).

Caso a cor dominante do símbolo e a cor dominante de fundo sejam consideradas semelhantes, é calculada a diferença de luminosidade necessária aplicar à cor dominante. Para isso, o código RGB da cor dominante é convertido para o modelo HSV usando para isso o método RGBToHSV da classe Color do *Android*. Caso a cor dominante tenha uma luminosidade menor que 0.5 (valor que necessitará eventualmente de ser ajustado segundo as conclusões do estudo do Capítulo 4) a cor é considerada escura e leva um acréscimo de 0.25 na sua luminosidade (valor obtido através do estudo no Capítulo 3). Caso contrário, sofre um decréscimo na mesma quantidade. Caso a cor tenha uma luminosidade abaixo dos 0.1, é considerada preta e é adaptada com a sua saturação a 0, ou seja, na linha dos cinzentos, para preservar a sua semântica. Caso, ao se somar 0.25 se ultrapasse o valor 1 na luminosidade, este valor é então subtraído ao valor da luminosidade actual da cor dominante. Caso, ao se subtrair 0.25 se obtenha um valor inferior a 0.1 na luminosidade, este valor é então somado ao valor da luminosidade actual da cor dominante.

Após se saber em que medida a cor dominante deverá ser adaptada dentro do modelo HSV, este valor é convertido para o modelo RGB. Para isto é usado o método HSVToRGB da classe Color do *Android*. Assim, é calculada a diferença entre o RGB inicial e o RGB final para cada componente, sendo esta diferença aplicada à cor de

todos os *pixels* do símbolo. Esta diferença é aplicada a 10% de cada vez para fazer uma adaptação livre de *flickering*. O pseudo-código relativo a este algoritmo pode ser encontrado também no Anexo H.

## 5.7 Filtros de pontos de interesse implementados

Para a realização desta aplicação foram implementados diversos tipos de filtros de pontos de interesse com o objectivo de reduzir o *cluttering* de informação. Situações de *cluttering* ocorrem quando o utilizador tem nas suas imediações um grande número de pontos de interesse e estes acabam por se ocultar uns aos outros. Assim, para além do mini-mapa já implementado no RUBI (o qual ajuda o utilizador na sua navegação e pesquisa por pontos de interesse) foram implementados dois tipos de filtros:

- Filtro de categorias:

Neste tipo de filtro o utilizador pode escolher quais os pontos de interesse que quer visualizar pela sua categoria, seleccionando numa lista quais as categorias pretende ver. A Figura 5.5 apresenta o filtro deste tipo.



Figura 5.5 – Imagem do filtro por categorias implementado na plataforma RUBI.

- Filtro de distância:

Neste tipo de filtro o utilizador pode escolher quais os pontos de interesse que quer visualizar através da distância a que se encontra destes. O filtro aceita uma distância mínima e máxima. A implementação deste filtro foi feita com recurso a [61]. A Figura 5.6 mostra o filtro deste tipo.

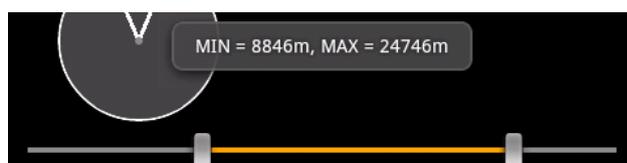


Figura 5.6 – Imagem do filtro de distância implementado na plataforma RUBI.

## 5.8 Utilização

Pode-se visualizar através da Figura 5.7, da Figura 5.8 e da Figura 5.9 um exemplo da utilização da aplicação desenvolvida. A cor do símbolo que indica a existência de “parques” foi ligeiramente alterada para ficar mais semelhante à do fundo, e assim existir a necessidade de adaptação. Pode-se observar que todos os símbolos do grupo representado (uma vez que são todos do mesmo tipo) são adaptados. A Figura 5.7 representa uma visualização sem adaptações, a Figura 5.8 representa uma visualização em que os símbolos foram adaptados por adição de um rebordo e a Figura 5.9 em que os símbolos foram adaptados por alteração da luminosidade da cor.

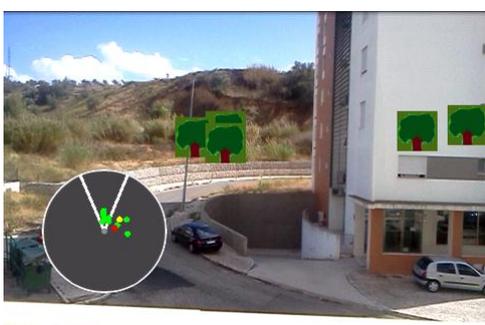


Figura 5.7 – Visualização de pontos de interesse sem adaptação.

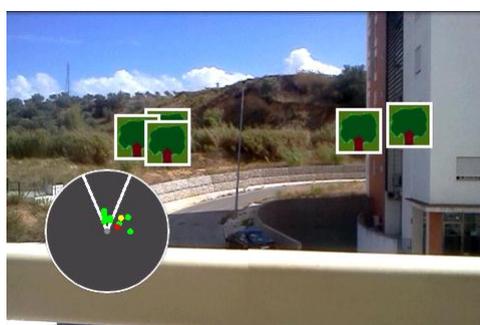


Figura 5.8 – Visualização de pontos de interesse adaptados por rebordo.

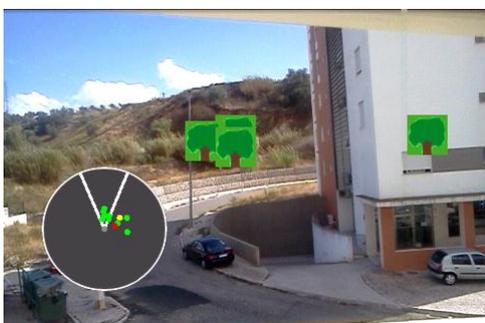


Figura 5.9 – Visualização de pontos de interesse adaptados por alteração da luminosidade da cor.

## 5.9 Conclusão

Neste capítulo descreveu-se a aplicação que concretiza com sucesso a adaptação em tempo-real de simbologia, tanto por adição de rebordo como por alteração da luminosidade da cor. Estas adaptações foram implementadas recorrendo a técnicas de *anti-flickering* uma vez que o *flickering* poderia causar uma alteração da semântica dos símbolos adaptados. Todas as adaptações e desadaptações foram também

implementadas de modo a poderem ocorrer simultaneamente em diversos símbolos de diversos tipos.

Esta aplicação ainda concretiza uma gestão das adaptações em grupos de símbolos do mesmo tipo, de modo a que nas situações em que apenas um símbolo de um tipo esteja imperceptível e que necessite de ser adaptado, todos os símbolos desse tipo também sejam adaptados em simultâneo. Para filtrar a informação, de modo a que o utilizador apenas visualize a do seu interesse e de modo a reduzir o *cluttering*, foram implementados filtros de pontos de interesse, por tipo de ponto de interesse e por distância ao utilizador.

## Capítulo 6 Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho realizado, os respectivos resultados e sugestões para trabalho futuro.

### 6.1 Conclusões

Em aplicações de Realidade Aumentada, quando a cor dos elementos gráficos, que são desenhados sobre uma imagem real, é semelhante à cor do fundo circundante, torna-se difícil identificar esses elementos. O ajuste dinâmico do aspecto dos símbolos (objectos virtuais), em função da cor do fundo, deverá permitir melhorar a legibilidade da informação a transmitir ao utilizador. Apesar de já existirem alguns estudos que abordam alguns aspectos do problema da adaptação de elementos virtuais, estes não se preocupam em preservar a semântica dos objectos adaptados. Neste contexto, o objectivo deste trabalho foi analisar formas de obter visualizações adaptativas que ajustem dinamicamente as características dos símbolos virtuais em função do ambiente real exterior captado mas sem alterar a sua semântica.

De modo a concretizar este objectivo foram efectuados dois estudos com utilizadores e uma aplicação. O primeiro estudo teve como objectivo perceber qual a variação mínima de luminosidade de cor necessária a aplicar a um símbolo para que este se distinga da cor de fundo numa visualização no exterior. Este estudo permitiu concluir que caso se pretenda estabelecer um valor mínimo da variação de luminosidade de uma cor para garantir que o utilizador distingue os símbolos do fundo, deverá ser considerado cerca de 0.25 unidades (numa escala de 0 a 1) no modelo HSV. O segundo estudo teve como objectivo comparar duas formas de adaptação: a adição de um rebordo e a alteração da luminosidade da cor de um símbolo. Adicionalmente, este estudo permitiu analisar qual a solução mais adequada para preservar a semântica entre adaptar todos os símbolos ou apenas aqueles que não se distinguem do fundo. Neste estudo os utilizadores consideraram que a adaptação por rebordo e a adaptação de todos

os símbolos seriam as adaptações que em conjunto melhor preservam a semântica. Outra conclusão a destacar é a de a adaptação por rebordo e a adaptação por alteração da luminosidade da cor conduzirem a uma melhoria do desempenho e da eficiência de pesquisa da simbologia semelhante.

Neste segundo estudo, foi possível averiguar que o algoritmo proposto para a adaptação de cor necessita de melhorias futuras, na medida em que em determinadas situações observou-se que não era tão eficiente como expectável, conduzindo por vezes a interpretações de alteração da semântica da simbologia.

Finalmente, foi desenvolvida uma aplicação de Realidade Aumentada que concretiza as adaptações de simbologia estudadas realizando a adaptação automática dos símbolos em tempo-real e sem *flickering* e ainda algumas soluções para resolver o problema da sobreposição de simbologia (*cluttering*).

## 6.2 Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido proporcionou um estudo aprofundado sobre adaptação de simbologia em ambientes de Realidade Aumentada. Os resultados obtidos permitem identificar um conjunto de aspectos ainda em aberto possíveis para trabalho futuro.

Este trabalho focou-se essencialmente na adaptação de símbolos em Realidade Aumentada utilizando apenas símbolos quadrados. A primeira possibilidade de trabalho futuro é realizar estudos que analisem a adaptação de símbolos com outras formas, de modo a averiguar se os resultados obtidos neste trabalho continuariam válidos. Seria particularmente interessante realizar estudos semelhantes que analisassem outros tipos de elementos gráficos usados em sistemas de Realidade Aumentada que não fossem exclusivamente símbolos.

Outro trabalho interessante a realizar seria aplicar e testar as adaptações analisadas noutros domínios aplicativos, nomeadamente quando é necessário tomar decisões importantes sobre a informação visualizada, como por exemplo, em sistemas militares. Outro caminho a prosseguir é analisar a aplicação dos resultados obtidos à sobreposição de informação em vídeo, em particular, na colocação de legendas. Por outro lado, é crucial aprofundar os estudos da adaptação da cor da informação gráfica em sistemas de Realidade Aumentada sem alteração da semântica. Uma possível abordagem é explorar outros modelos de cor não analisados no âmbito deste trabalho tendo em consideração limitações visuais, como por exemplo, o daltonismo.

Finalmente, é importante efectuar estudos com utilizadores para analisar o efeito do movimento dos símbolos correspondentes aos pontos de interesse durante uma visualização. Segundo [35], o movimento ajuda a procura visual, no entanto isto deverá ser confirmado e comparado consoante os dois tipos de adaptação estudados no âmbito deste trabalho.



## Bibliografia

- [1] G. Takacs, V. Chandrasekhar, N. Gelfand, Y. Xiong, W. C. Chen, T. Bismpiagiannis, R. Grzeszczuk, K. Pulli, and B. Girod, “Outdoors augmented reality on mobile phone using loxel-based visual feature organization,” in *Proceeding of the 1st ACM international conference on Multimedia information retrieval*, 2008, no. November, pp. 427–434.
- [2] G. Brunnett, S. Coquillart, and G. Welch, *Virtual Realities: Dagstuhl Seminar 2008*. Springer-Verlag New York Inc, 2009.
- [3] T. Capin, K. Pulli, and T. Akenine-Möller, “The State of the Art in Mobile Graphics Research,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 28, no. 4, pp. 74–84, Jul. 2008.
- [4] D. Wagner and D. Schmalstieg, “History and future of tracking for mobile phone augmented reality,” in *Ubiquitous Virtual Reality, 2009. ISUVR '09. International Symposium on*, 2009, pp. 7–10.
- [5] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic, “Augmented reality technologies, systems and applications,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377, Dec. 2010.
- [6] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and A. Webster, “A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 1, no. 4, pp. 208–217, Dec. 1997.
- [7] J. L. Gabbard, J. E. Swan, D. Hix, R. S. Schulman, J. Lucas, D. Gupta, and others, “An empirical user-based study of text drawing styles and outdoor background textures for augmented reality,” in *Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE*, 2005, vol. 2005, pp. 11–18.
- [8] J. L. Gabbard, J. E. Swan, D. Hix, S. J. Kim, and G. Fitch, “Active Text Drawing Styles for Outdoor Augmented Reality: A User-Based Study and Design Implications,” in *Virtual Reality Conference, 2007. VR'07. IEEE*, 2007, pp. 35–42.
- [9] a. Leykin and M. Tuceryan, “Automatic Determination of Text Readability over Textured Backgrounds for Augmented Reality Systems,” *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, no. Ismar, pp. 224–230, 2004.

- [10] D. Kalkofen, S. Zollman, G. Schall, G. Reitmayr, D. Schmalstieg, and T. Graz, “Adaptive Visualization in Outdoor AR Displays,” in *IEEE Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality 2009*, 2009, pp. 19–23.
- [11] R. Simplicio, “Simbologia em Realidade Aumentada,” Tese de Mestrado, FCUL, 2011.
- [12] P. Silva, “Transição Entre Ambientes Externos e Internos e Visualização Adaptativa,” Tese de Mestrado, FCUL, 2011.
- [13] P. Silva, “Rubi: An Open Source Android Platform for Mobile Augmented Reality Applications,” *Information Systems*, pp. 1–4, 2011.
- [14] M. B. Carmo, A. P. Cláudio, A. Ferreira, A. P. Afonso, E. Montez, and R. Simplicio, “Adaptação de Simbologia em Realidade Aumentada.”
- [15] M. Zelkowitz and D. Wallace, “Experimental models for validating technology,” *Computer*, pp. 1–19, 1998.
- [16] V. R. Basili, “The role of experimentation in software engineering: past, current, and future,” *Proceedings of IEEE 18th International Conference on Software Engineering*, pp. 442–449.
- [17] L. Rising and N. S. Janoff, “The Scrum software development process for small teams,” *Software, IEEE*, pp. 26–32, 2000.
- [18] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, “Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum,” *SPIE Volume 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies*, vol. 2351, pp. 282–292, 1994.
- [19] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre, “Recent advances in augmented reality,” *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 21, no. 6, pp. 34–47, Nov. 2001.
- [20] T. Höllerer and S. Feiner, “Mobile augmented reality,” *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services. Taylor and Francis Books Ltd., London, UK*, pp. 1–39, 2004.
- [21] J. B. Gotow, K. Zienkiewicz, J. White, and D. C. Schmidt, “Addressing Challenges with Augmented Reality Applications on Smartphones,” *Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications*, pp. 129–143, 2010.
- [22] O. Bimber and R. Raskar, “Modern approaches to augmented reality,” in *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*, 2006, p. 1.
- [23] D. Van Krevelen and R. Poelman, “A survey of augmented reality technologies, applications and limitations,” *Int. J. Virtual Reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [24] R. T. Azuma and others, “A survey of augmented reality,” *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.

- [25] A. B. Raposo, F. Szenberg, M. Gattass, and W. Celes, “Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração,” *XXIII JAI–Jornada de Automatização em Informática, Cap \itulo*, vol. 8, 2004.
- [26] G. T. Vasselai, P. Cesar, and R. Gomes, “A Case Study of Augmented Reality for Mobile Platforms Um Estudo Sobre Realidade Aumentada para Plataformas Móveis,” *XIII Symposium on Virtual Reality*, 2011.
- [27] S. K. Ong, M. L. Yuan, and a. Y. C. Nee, “Augmented reality applications in manufacturing: a survey,” *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 10, pp. 2707–2742, May 2008.
- [28] M. Fiala, “Artag, a fiducial marker system using digital techniques,” in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, 2005, vol. 2, pp. 590–596.
- [29] D. Marimon, C. Sarasua, P. Carrasco, R. Álvarez, J. Montesa, T. Adamek, I. Romero, M. Ortega, and P. Gascó, “MobiAR: Tourist Experiences through Mobile Augmented Reality,” *Telefonica Research and Development, Barcelona, Spain*, 2010.
- [30] J. Gabbard and J. Swan, “The effects of text drawing styles, background textures, and natural lighting on text legibility in outdoor augmented reality,” *Presence: Teleoperators & Virtual*, vol. 15, pp. 1–17, 2006.
- [31] J. L. Gabbard and J. E. Swan, “Usability engineering for augmented reality: employing user-based studies to inform design,” *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 14, no. 3, pp. 513–525, 2008.
- [32] “Aplicação em RA de visualização de pontos de interesse Wikitude.” [Online]. Available: <http://www.wikitude.com/en/>. [Accessed: 25-Oct-2011].
- [33] “Aplicação em RA de visualização de pontos de interesse Layar.” [Online]. Available: <http://www.layar.com>. [Accessed: 25-Oct-2011].
- [34] M. Chun, “Contextual cueing of visual attention.,” *Trends in cognitive sciences*, vol. 4, no. 5, pp. 170–178, May 2000.
- [35] J. M. Wolfe and T. S. Horowitz, “What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?,” *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 5, no. 6, pp. 495–501, 2004.
- [36] H. Katti, K. Bin, T. Chua, and M. Kankanhalli, “Pre-attentive discrimination of interestingness in images,” *Multimedia and Expo*, pp. 1433–1436, Jun. 2008.
- [37] L. Itti and C. Koch, “Computational modelling of visual attention.,” *Nature reviews. Neuroscience*, vol. 2, no. 3, pp. 194–203, Mar. 2001.
- [38] K. C. Huang and T. L. Chiu, “Visual Search Performance On An LCD Monitor: Effects Of Color Combination Of Figure And Icon Background, Shape Of Icon,

- And Line Width Of Icon Border,” *Perceptual and motor skills*, vol. 104, no. 2, pp. 562–574, 2007.
- [39] R. Kosara, S. Miksch, and H. Hauser, “Focus+context taken literally,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 1, pp. 22–29, 2002.
- [40] P. Ganesan, V. Rajini, and R. Immanuel Rajkumar, “Segmentation and edge detection of color images using CIELAB color space and edge detectors,” *Emerging Trends in*, pp. 393–397, Dec. 2010.
- [41] M. H. Asmare, V. S. Asirvadam, and L. Iznita, “Color Space Selection for Color Image Enhancement Applications,” *2009 International Conference on Signal Acquisition and Processing*, pp. 208–212, Apr. 2009.
- [42] A. Ford and A. Roberts, “Colour space conversions,” *Westminster University, London*, pp. 1–31, 1998.
- [43] M. E. Latoschik, “Color Models.” [Online]. Available: <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/lehre/digiSA/WS0607/3DVRCG/Vorlesung/8a.RT3DCGVR-color.pdf>. [Accessed: 20-Jun-2012].
- [44] S. Romani, P. Sobrevilla, and E. Montseny, “Variability estimation of hue and saturation components in the HSV space,” *Color Research & Application*, vol. 00, no. 0, p. n/a–n/a, Sep. 2011.
- [45] M. Luo and G. Cui, “The Development of the CIE 2000 Colour Difference Formula: CIEDE2000,” *Color Research & Application*, vol. 26, pp. 340–350, 2001.
- [46] J. Strecker, G. Rodríguez, I. Njanji, J. Thomas, A. Jack, J. Hall, N. Dujmovic, S. Gray, and E. V. D. Knaap, “Tomato Analyzer Color Test User Manual Version 3,” 2010.
- [47] A.-M. Nivala and T. L. Sarjakoski, “User Aspects of Adaptive Visualization for Mobile Maps,” *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 34, no. 4, pp. 275–284, Oct. 2007.
- [48] S. Huang, K. Shieh, and C.-F. Chi, “Factors affecting the design of computer icons,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 29, pp. 211–218, 2002.
- [49] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. De Bondi, M. Morris, and W. Piekarski, “ARQuake: An outdoor/indoor augmented reality first person application,” *Proc. 4th Int’l Symp. Wearable Computers*, pp. 139–146, 2000.
- [50] “Video Jogo Quake.” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Quake\\_\(video\\_game\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Quake_(video_game)). [Accessed: 15-Nov-2011].
- [51] L. Gruber, D. Kalkofen, and D. Schmalstieg, “Color Harmonization for Augmented Reality,” pp. 2–3, 2010.

- [52] P. Baudisch and C. Gutwin, “Multiblending: displaying overlapping windows simultaneously without the drawbacks of alpha blending,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 2004, vol. 6, no. 1, pp. 367–374.
- [53] G. Ellis and A. Dix, “A Taxonomy of Clutter Reduction for Information Visualisation,” *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 6, pp. 1216–1223, 2007.
- [54] L. Chittaro, “Visualizing information on mobile devices,” *Computer*, vol. 39, no. 3, pp. 40–45, 2006.
- [55] J. M. Kim, C. Son, C. Lee, and Y. H. Ha, “Illuminant adaptive color reproduction based on lightness adaptation and flare for mobile phone,” in *Image Processing, 2006 IEEE International Conference on*, 2006, pp. 1513–1516.
- [56] M. St John, B. Feher, and J. Morrison, “Evaluating alternative symbologies for decluttering geographical displays,” San Diego, CA, 2002.
- [57] P. M. Pombinho, M. B. Carmo, and A. P. Afonso, “Evaluation of Overcluttering Prevention Techniques for Mobile Devices,” *2009 13th International Conference Information Visualisation*, pp. 127–134, Jul. 2009.
- [58] Vicki Bruce, P. R. Green, and M. A. Georgeson, *Visual Perception: Physiology, Psychology, & Ecology*, 4th ed. Psychology Press, 2003.
- [59] “Android AsyncTask.” [Online]. Available: <http://developer.android.com/reference/android/os/AsyncTask.html>. [Accessed: 10-Jul-2012].
- [60] W. Burger and M. Burge, *Digital image processing: an algorithmic introduction using Java*. Springer-Verlag New York Inc, 2008.
- [61] S. Tittel and P. Sinnott, “range-see-bar code.” [Online]. Available: [http://code.google.com/p/range-see-bar/issues/attachmentText?id=3&aid=30000000&name=RangeSeekBar.java&token=juLWJ74LOFY92fMd2UM6\\_0dY74I:1341266205423](http://code.google.com/p/range-see-bar/issues/attachmentText?id=3&aid=30000000&name=RangeSeekBar.java&token=juLWJ74LOFY92fMd2UM6_0dY74I:1341266205423). [Accessed: 06-Aug-2012].
- [62] “Especificações do smartphone LG P500.” [Online]. Available: [http://www.gsmarena.com/lg\\_optimus\\_one\\_p500-3516.php](http://www.gsmarena.com/lg_optimus_one_p500-3516.php). [Accessed: 11-Nov-2011].



# Anexo A

## Duração das tarefas realizadas

Neste anexo encontra-se o tempo real que cada tarefa demorou a executar. Este mapa que mostra a duração das tarefas realizadas tem uma granularidade mais fina que o planeamento apresentado no início deste trabalho (secção 1.3). Após o mapa com a duração das tarefas realizadas, encontra-se também uma pequena discussão acerca do mesmo. Para a construção deste mapa recorreu-se à ferramenta *Microsoft Project*.

	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish
1		Primeira pesquisa de tral	23 days	Thu 15-09-11	Sat 15-10-11
2		Segunda pesquisa de trabalho relacionado	23 days	Sun 16-10-11	Tue 15-11-11
3		Familiarização com plataforma RUBI	13 days	Sun 16-10-11	Tue 01-11-11
4		Terceira pesquisa de trabalho relacionado	34 days	Wed 16-11-11	Sun 01-01-12
5		Escrita do relatório preliminar	21 days	Wed 02-11-11	Wed 30-11-11
6		Escrita de trabalho relacionado	23 days	Thu 01-12-11	Sun 01-01-12
7		Implementação de BD no RUBI	6 days	Mon 09-01-12	Mon 16-01-12
8		Implementação de Interfaces no RUBI	43 days	Sun 15-01-12	Tue 13-03-12
9		Implementação dos algoritmos de adaptação no RUBI	47 days	Wed 08-02-12	Thu 12-04-12
10		Análise de requisitos	6 days	Mon 02-01-12	Sun 08-01-12
11		Construção de diagrama de classes	6 days	Mon 09-01-12	Sat 14-01-12
12		Implementação dos Filtros	16 days	Tue 17-01-12	Tue 07-02-12
13		Estudo aprofundado sobre modelos de cor	16 days	Wed 08-02-12	Wed 29-02-12

14		Implementação da aplicação de suporte para o Estudo 1	13 days	Thu 01-03-12	<u>Sat 17-03-12</u>
15		Testes com utilizadores para o Estudo 1	63 days	Sun 18-03-12	<u>Tue 12-06-12</u>
16		Formulação de hipóteses para o Estudo 2	6 days	Wed 11-04-12	Wed 18-04-12
17		Elaboração de novos ícones para RUBI	5 days	Wed 20-06-12	Tue 26-06-12
18		Pesquisa de imagens para Estudo 2	14 days	Thu 26-04-12	Tue 15-05-12
19		Realização de questionário para Estudo 2	6 days	Wed 16-05-12	Wed 23-05-12
20		Implementação da aplicação de suporte para o Estudo 2	18 days	Thu 24-05-12	Mon 18-06-12
21		Análise dos resultados do Estudo 1	5 days	Tue 12-06-12	Mon 18-06-12
22		Testes com utilizadores para o Estudo 2	13 days	Tue 19-06-12	Thu 05-07-12
23		Familiarização com linguagem R	10 days	Fri 06-07-12	Thu 19-07-12
24		Análise estatística dos resultados obtidos no Estudo 2	15 days	Tue 10-07-12	<u>Sat 28-07-12</u>
25		Escrita da Tese	47 days	Fri 20-07-12	Sat 22-09-12
26		Implementação de adaptações em grupo no RUBI	11 days	Sun 29-07-12	<u>Fri 10-08-12</u>
27		Captura e edição de vídeo da aplicação	9 days	Thu 23-08-12	Tue 04-09-12

A duração das tarefas foi superior à que tinha sido inicialmente planeada no relatório preliminar uma vez que à medida que o projecto foi sendo realizado, houve a necessidade de realizar 2 estudos que envolveram testes com utilizadores. Ambos os estudos necessitavam de condições de luminosidade exterior especiais, que nem sempre eram possíveis de obter. Estes estudos e a necessidade de uma maior investigação em determinados temas relativos a diversas fases do projecto conduziram a um atraso relativamente ao inicialmente planeado.

A participação na elaboração de um artigo de conferência (inicialmente não planeado) também contribuiu para o atraso adicional. Foi ainda elaborado um esboço para um artigo numa conferência internacional que também não constava do planeamento inicial.

## Anexo B

Neste anexo encontram-se descritas as características do dispositivo móvel no qual foram testadas e instaladas todas as aplicações criadas no âmbito deste projecto.

### Características do dispositivo móvel

O dispositivo móvel encontrava-se equipado com GPS, bússola e câmara de vídeo. Equipamento o qual é fundamental para construir aplicações de Realidade Aumentada exterior. As especificações do *smartphone* usado neste projecto encontram-se descritas a seguir.

#### · Características relevantes do *smartphone* utilizado [62]:

Marca: LG

Modelo: P500

Tipo de *display*: TFT capacitive touchscreen, 256k cores

Tamanho do display: 320 x 480 pixéis, 3.2 polegadas

Memória RAM disponível: 512 MB

Capacidade de armazenamento: 170 MB (interno) + 2GB (cartão SD)

Placa de rede Wi-Fi: Wi-Fi 802.11 b/g

Ligação 3G: HSDPA 7.2 Mbps

Câmara de vídeo: 3.15 MP, 2048x1536 pixéis, autofócus, VGA@18fps

Sistema Operativo: Android OS v2.2 (*Froyo*)

CPU: 600 MHz ARM 11 processor, Adreno 200 GPU, Qualcomm MSM7227 chipset

GPS: Têm, com suporte A-GPS

Java: Sim, através do emulador Java MIDP



# Anexo C

## Documento para preenchimento com perfil do utilizador no estudo 1

Folha que foi utilizada para recolher as informações relacionadas com o perfil do utilizador antes deste realizar os testes no âmbito do estudo 1. Esta folha foi preenchida pelo avaliador após questionar o utilizador. O documento foi o seguinte:

### Perfil do utilizador

Nome: \_\_\_\_\_

Sexo: M    F

Idade: \_\_\_\_

Habilitações Literárias: \_\_\_\_\_

Área de formação (se superior): \_\_\_\_\_

Ocupação: \_\_\_\_\_

Sofre de Daltonismo: Sim    Não

### Dispositivos Móveis

Frequência de utilização: Diária    Semanal    Raramente    Nunca

Tipo de uso mais frequente: \_\_\_\_\_

Frequência utilização de Aplicações de Realidade Aumentada: Diária    Semanal  
Raramente    Nunca

## Introdução

### Realidade Aumentada

Um sistema para ser considerado de Realidade Aumentada tem de aspirar três regras: combinar objectos reais e virtuais num ambiente real; correr interactivamente, e em tempo-real; e os objectos reais e virtuais têm de estar alinhados entre si.



## **Anexo D**

Neste Anexo é apresentado o inquérito que foi utilizado para recolher as informações relacionadas com o perfil do utilizador antes deste realizar os testes no âmbito do estudo 2. Este inquérito foi preenchido pelo avaliador após questionar o utilizador e após medição da intensidade luminosa presente no local.

Foi ainda elaborado um documento de autorização a ser assinado pelo utilizador para confirmar a sua autorização na participação neste estudo.

Estes documentos encontram-se nas duas páginas seguintes:

## Documento para preenchimento do perfil de utilizador para o estudo 2

Código de utilizador: \_\_\_\_\_

Configuração do teste: \_\_\_\_\_

### Condições de teste

Dia: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Intensidade de Luz: \_\_\_\_\_

### Perfil do utilizador

Nome: \_\_\_\_\_

Sexo: M F

Idade: \_\_\_\_\_

Habilitações Literárias:

1ºciclo ensino básico

2ºciclo ensino básico

3ºciclo ensino básico

Ensino Secundário

Curso Tecnológico/Profissional Nível III

Bacharelato

Licenciatura

Pós-Graduação

Mestrado

Doutoramento

Área de formação (se superior): \_\_\_\_\_

Ocupação: \_\_\_\_\_

Sofre de Daltonismo: Sim Não

### Experiência com dispositivos móveis

Frequência de utilização:

Diária

Semanal

Raramente

Nunca

Frequência utilização de Aplicações de Realidade Aumentada:

Diária

Semanal

Raramente

Nunca

### Introdução

#### Realidade Aumentada

Um sistema para ser considerado de Realidade Aumentada baseia-se em sobrepor gráficos sobre imagens do ambiente real, de modo a fornecer informação complementar sobre o ambiente real.

O nosso estudo centra-se nos símbolos colocados sobre as imagens de ambientes reais.

## **Documento de autorização para participação no estudo 2**

Departamento de Informática – FCUL  
Contacto: Edgar Montez, [fc35956@alunos.fc.ul.pt](mailto:fc35956@alunos.fc.ul.pt)  
Junho de 2012

### **Documento de Autorização**

Para experiência de visualização de simbologia

Eu, abaixo-assinado:

1. Autorizo o uso e tratamento dos dados por mim gerados nesta experiência pelas pessoas responsáveis pela mesma;
2. Comprometo-me a ter uma postura respeitadora relativamente às pessoas envolvidas e à experiência em si.

Declaro ter conhecimento dos meus direitos:

- a. À privacidade;
- b. De poder desistir livremente da experiência.

---

(o voluntário)



## **Anexo E**

### **Questionário relativo aos testes efectuados no âmbito do estudo 2**

Neste anexo encontra-se exposta uma das versões do questionário utilizado durante a realização dos testes relativos ao estudo 2. Este questionário, para além das questões apresenta também o código atribuído a cada uma das imagens em que são colocadas as questões e uma breve descrição dessa imagem. Este documento permite auxiliar o avaliador na colocação das questões.

Este questionário pode ser encontrado nas três páginas seguintes.

**Questionário 1**

Nº da Imagem	Cód. Da Imagem	Descrição da Imagem	Pergunta(s)	Resposta(s)
1	1-1-2	Santarém. Imagem clara.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
2	1-1-1	Santarém. Imagem clara. Adaptação total do grupo (rebordo).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Adição/Remoção de Rebordo <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
3	1-1-0	Santarém. Imagem clara. Adaptação parcial do grupo (rebordo).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Adição/Remoção de Rebordo <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
-	Qfinais	Santarém. Imagem clara.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham rebordo ou só os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos
4	1-0-2	Lisboa (azul). Imagem escura.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
5	1-0-0	Lisboa (azul). Imagem escura. Adaptação parcial do grupo (rebordo).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Adição/Remoção de Rebordo <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6	1-0-1	Lisboa (azul). Imagem escura. Adaptação total do grupo (rebordo).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Adição/Remoção de Rebordo <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
-	Qfinais	Lisboa (azul). Imagem escura.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham rebordo ou só os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos
7	0-0-2	Castelo Lagoa. Imagem escura.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
8	0-0-0	Castelo Lagoa. Imagem escura. Adaptação parcial do grupo (cor).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
9	0-0-1	Castelo Lagoa. Imagem escura. Adaptação total do grupo (cor).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

-	Qfinais	Castelo Lagoa. Imagem escura.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham a sua cor adaptada ou apenas os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos <input type="checkbox"/> Outros
10	0-1-2	Porto (castanha). Imagem clara.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
11	0-1-1	Porto (castanha). Imagem clara. Adaptação total do grupo (cor).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
12	0-1-0	Porto (castanha). Imagem clara. Adaptação parcial do grupo (cor).	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
-	Qfinais	Porto (castanha). Imagem clara.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham a sua cor adaptada ou apenas os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos <input type="checkbox"/> Outros
13	2-1-2-b	Serra da Estrela. Imagem clara.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
14	2-1-0-b	Serra da Estrela. Imagem clara. Adaptação parcial do grupo (cor). Deterioração da visualização.	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
15	2-1-1-b	Serra da Estrela. Imagem clara. Adaptação total do grupo (cor). Deterioração da visualização.	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor em todos/alguns os símbolos <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
-	Qfinais	Serra da Estrela. Imagem Clara.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham a sua cor adaptada ou apenas os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos <input type="checkbox"/> Outros
16	2-0-2-b	Café roxo. Imagem escura.		
-	Qiniciais		1. Consegue visualizar melhor os símbolos?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Alguns
17	2-0-1-b	Café roxo. Imagem escura. Adaptação total do grupo (cor). Deterioração da visualização.	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
18	2-0-0-b	Café roxo. Imagem escura. Adaptação parcial do grupo (cor). Deterioração da visualização.	1. Notou alguma diferença relativamente aos símbolos da imagem anterior? 2. Se sim. Em que consistiu? 3. Pensa que o significado dos símbolos foi preservado?	1. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. <input type="checkbox"/> Alteração da cor <input type="checkbox"/> Outros 3. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

-	Qfinais	Café roxo. Imagem escura.	1. Na sua opinião prefere que todos os símbolos tenham a sua cor adaptada ou apenas os que se distinguem mal do fundo?	1. <input type="checkbox"/> Adaptação de todos os símbolos <input type="checkbox"/> Adaptação só de alguns símbolos <input type="checkbox"/> Outros
19	0-0-2	Teatro Braga. Imagem escura.		
20	0-0-1	Teatro Braga. Imagem escura. Cor.		
21	0-1-2	Ourém. Imagem clara.		
22	0-1-1	Ourém. Imagem clara. Cor.		
23	1-1-2	Ourém. Imagem clara.		
24	1-1-1	Ourém. Imagem clara. Rebordo.		
25	1-0-2	Teatro Braga. Imagem escura.		
26	1-0-1	Teatro Braga. Imagem escura. Rebordo.		
27	2-0-2	Lisboa. Imagem escura.		
28	2-0-1	Lisboa. Imagem escura. Dupla adaptação.	1. Qual a adaptação que permite uma melhor detecção da simbologia na sua opinião?	1. <input type="checkbox"/> Rebordo <input type="checkbox"/> Cor
29	2-1-2	Várias casas. Imagem clara.		
30	2-1-1	Várias casas. Imagem clara. Dupla adaptação.	1. Qual a adaptação que permite uma melhor detecção da simbologia na sua opinião?	1. <input type="checkbox"/> Rebordo <input type="checkbox"/> Cor
31	3-1-2	Bolas coloridas. Imagem clara.		
32	3-1-1	Bolas coloridas. Imagem clara. Dupla adaptação com letra.	1. Qual a adaptação que permite uma melhor detecção da simbologia na sua opinião?	1. <input type="checkbox"/> Rebordo <input type="checkbox"/> Cor
33	3-0-2	Capela. Imagem escura.		
34	3-0-1	Capela. Imagem escura. Dupla adaptação com letra.	1. Qual a adaptação que permite uma melhor detecção da simbologia na sua opinião?	1. <input type="checkbox"/> Rebordo <input type="checkbox"/> Cor

# Anexo F

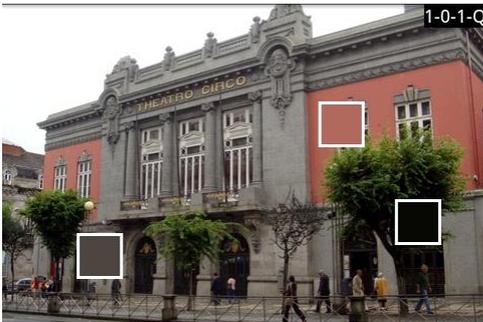
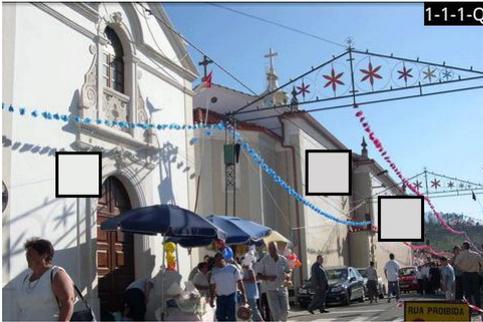
## Imagens de uma configuração dos testes do estudo 2

Neste anexo encontram-se todas as imagens com a respectiva simbologia sobreposta, que foram utilizadas em cada teste pertencente ao estudo 2. Encontram-se também os diferentes menus e *feedbacks* mostrados aos utilizadores. A configuração utilizada é a mesma que a do questionário presente no Anexo E, ou seja, a configuração 1. Em cada imagem está também presente o seu código para que seja mais fácil associar à respectiva pergunta no questionário. No entanto este código não era visível para o utilizador durante a realização dos testes. As imagens dos testes são as seguintes:



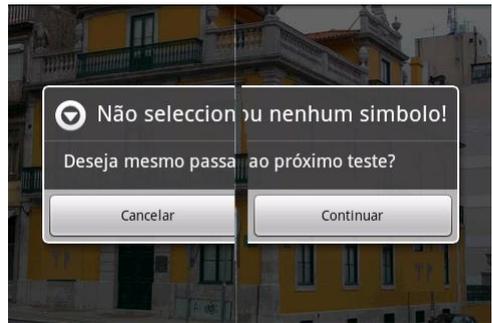








Os menus e *feedbacks* mostrados aos utilizadores são (estas imagens apresentam alguns pequenos problemas técnicos relacionados com a sua captura):





## Anexo G

Encontra-se presente neste Anexo todo o trabalho relativo ao planeamento efectuado para a aplicação desenvolvida descrita no Capítulo 5. Encontram-se presentes os requisitos estruturais e funcionais, o diagrama de classes e o diagrama de casos de uso relativo à implementação desta aplicação. O diagrama de classes foi criado usando o *plugin ObjectAid* para o IDE Eclipse. O diagrama de casos de uso foi criado usando a ferramenta *Microsoft Visio 2007*. Estes digramas foram criados com o objectivo se efectuar uma especificação correcta do que se pretendia desenvolver.

Neste anexo começa-se por se apresentar os requisitos estruturais e de seguida os funcionais. Por fim apresenta-se o diagrama de classes e depois o de casos de uso.

## Requisitos estruturais

Os requisitos estruturais aqui apresentados correspondem aos requisitos dos parâmetros existentes na aplicação descrita no Capítulo 5.

RE-1: Relacionados com o cálculo e comparação da cor dominante

RE-1.1: “*Pixels* Para Pesquisa”

RE-1.1.1: Parâmetro que define a largura e altura a área de pesquisa

RE-1.1.2: É um número inteiro positivo maior que zero

RE-1.1.3: Tem sempre de existir

RE-1.2: “Subdivisões para Microcubos”

RE-1.2.1: Parâmetro que define o número de microcubos em cada dimensão do cubo

RE-1.2.2: É um número inteiro positivo maior que zero

RE-1.2.3: Tem sempre de existir

RE-1.3: “Valor de Semelhança Entre Cores”

RE-1.3.1: Parâmetro que define o valor a partir do qual se podem considerar duas cores como semelhantes dentro do modelo CIELab

RE-1.3.2: É um número inteiro positivo

RE-1.3.3: Tem sempre de existir

RE-2: Relacionados com a adaptação por rebordo

RE-2.1: “Espessura do Rebordo”

RE-2.1.1: Parâmetro que define o tamanho do rebordo

RE-2.1.2: É um número inteiro positivo maior que zero e menor que quatro

RE-2.1.3: Tem sempre de existir

RE-3: Relacionados com a adaptação por cor

RE-3.1: “Valor do *Value* a Adaptar”

RE-3.1.1: Parâmetro que define o valor que se deve utilizar para incrementar ou decrementar a luminosidade da cor de um símbolo numa adaptação

RE-3.1.2: É um número inteiro positivo maior ou igual a zero e menor ou igual a cem

RE-3.1.3: Tem sempre de existir

RE-4: Relacionados com ambas as adaptações

RE-4.1: “Escolher Tipo de Adaptação”

RE-4.1.1: Parâmetro que permite escolher o tipo de adaptação a aplicar na simbologia (rebordo ou cor)

RE-4.1.2: Conjunto de dois elementos de onde se pode seleccionar apenas um

RE-4.1.3: Tem sempre de existir um elemento seleccionado

RE-5: Relacionados com os filtros

RE-5.1: “Configurar Filtros por Tema”

RE-5.1.1: Lista de parâmetros que permite escolher quais os temas que se pretende visualizar

RE-5.1.2: Conjunto de nove elementos de onde se pode seleccionar qualquer número

RE-5.2: “Configurar Filtros por Distância”

RE-5.2.1: Parâmetros com a distância mínima e máxima em metros para visualizar simbologia correspondente a pontos de interesse

RE-5.2.2: Distância mínima e máxima são inteiros maiores ou iguais a zero e menores ou iguais a trinta mil

RE-5.2.3: Distância mínima é menor ou igual a distância máxima

RE-5.2.4: Tem sempre de existir uma distância mínima e uma distância máxima

RE-6: Relacionados com o mini-mapa

RE-6.1: “Activar/Desactivar Mini-mapa”

RE-6.1.1: Parâmetro que indica o estado da presença do mini-mapa

RE-6.1.2: Presença do mini-mapa é dada através de um estado *true/false*

RE-6.1.3: Tem sempre de existir um estado da presença do mini-mapa

## Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais definidos em seguida revelam as entradas, comportamento e saídas das funções oferecidas pelo sistema.

RF-1: Filtrar Pontos de Interesse por Tema

RF-1.1: O utilizador aplica filtro escolhendo temas de uma lista

RF-1.1.1: Parâmetro: Lista de Temas

RF-1.1.2: Para o parâmetro RF-1.1.1 aplica-se o RE-5.1

RF-1.1.3: O utilizador selecciona elementos da lista que pretende

RF-1.2: O sistema mostra pontos de interesse com novo filtro de temas

RF-1.2.1: Parâmetro: Lista de temas seleccionados

RF-1.2.2: Para o parâmetro em RF-1.2.1 aplica-se o RE-5.1

RF-1.2.3: O sistema regista e actualiza quais os temas seleccionados

RF-2: Filtrar Pontos de Interesse por Distância

RF-2.1: O utilizador aplica filtro definindo distância mínima e máxima

RF-2.1.1: Parâmetros: Distância mínima e Distância máxima

RF-2.1.2: Para os parâmetros em RF-2.1.1 aplica-se o RE-5.2

RF-2.1.3: O utilizador atribui valores para ambos os parâmetros

RF-2.2: O sistema mostra pontos de interesse com novo filtro de distância

RF-2.2.1: Parâmetros: os mesmo que em RF-2.1.1

RF-2.2.2: Para os parâmetros em RF-2.2.1 aplica-se o RE-5.2

RF-2.2.3: O sistema regista e actualiza quais as distâncias mínima e máxima definidas

RF-3: Activar/desactivar mini-mapa

RF-3.1: O utilizador altera o estado da presença do o mini-mapa

RF-3.1.1: Parâmetro: Estado da presença do mini-mapa

RF-3.1.2: Para o parâmetro em RF-3.1.1 aplica-se o RE-6.1

RF-3.1.3: O utilizador altera o estado da presença do mini-mapa para o estado contrário

RF-3.2: O sistema mostra/esconde o mini-mapa

RF-3.2.1: Parâmetro: o mesmo que em RF-3.1.1

RF-3.2.2: Para o parâmetro em RF-3.2.1 aplica-se o RE-6.1

RF-3.2.3: O sistema regista e actualiza o novo estado da presença do mini-mapa

RF-4: Configurar análise e comparação da cor dominante

RF-4.1: O utilizador define as condições para a análise e comparação da cor dominante

RF-4.1.1: Parâmetros: número de *pixels*, número de microcubos por dimensão do cubo e valor mínimo para considerar duas cores diferentes no modelo CIELab

RF-4.1.2: Para os parâmetros em RF-4.1.1 aplica-se respectivamente o RE-1.1, o RE-1.2 e o RE-1.3

RF-4.1.3: O utilizador atribui valores aos parâmetros em RF-4.1.1

RF-4.2: O sistema calcula e compara a cor dominante

RF-4.2.1: Parâmetros: os mesmos que em RF-4.1.1 e simbologia

RF-4.2.2: Para os parâmetros em RF-4.2.1 aplica-se respectivamente o RE-1.1, o RE-1.2 e o RE-1.3

RF-4.2.3: O sistema regista e actualiza os valores dos parâmetros

RF-4.2.3: O sistema usa o primeiro parâmetro em RF-4.2.1 para saber quais os *pixels* para análise

RF-4.2.4: O sistema envia os *pixels* obtidos em RF-4.2.3 para análise

RF-4.2.5: O sistema usa o segundo parâmetro em RF-4.2.1 para a análise da cor dominante após receber os *pixels* do RF-4.2.4

RF-4.2.6: O sistema usa o terceiro parâmetro em RF-4.2.1 para a comparação das cores dominantes da simbologia e da obtida em RF-4.2.5

RF-4.2.7: O sistema devolve a necessidade de adaptação da simbologia dependendo do RF-4.2.6 através de *true/false*

#### RF-5: Configurar adaptações

RF-5.1: O utilizador define qual o tipo de adaptação a utilizar

RF-5.1.1: Parâmetros: Tipo de adaptação

RF-5.1.2: Para o parâmetro em RF-5.1.1 aplica-se o RE-4.1

RF-5.1.3: O utilizador escolhe qual o tipo de adaptação das duas possíveis (rebordo ou cor)

RF-5.2: O utilizador define condições para a adaptação

RF-5.2.1: Parâmetros: Espessura do rebordo e valor do *value* a adaptar

RF-5.2.2: Para os parâmetros em RF-5.2.1 aplica-se respectivamente o RE-2.1 e o RE-3.1

RF-5.2.3: O utilizador atribui valores aos parâmetros em RF-5.2.1

RF-5.3: O sistema aplica a adaptação

RF-5.3.1: Parâmetros: os mesmos que em RF-5.1.1, RF-5.2.1, RF-4.2.7 e simbologia

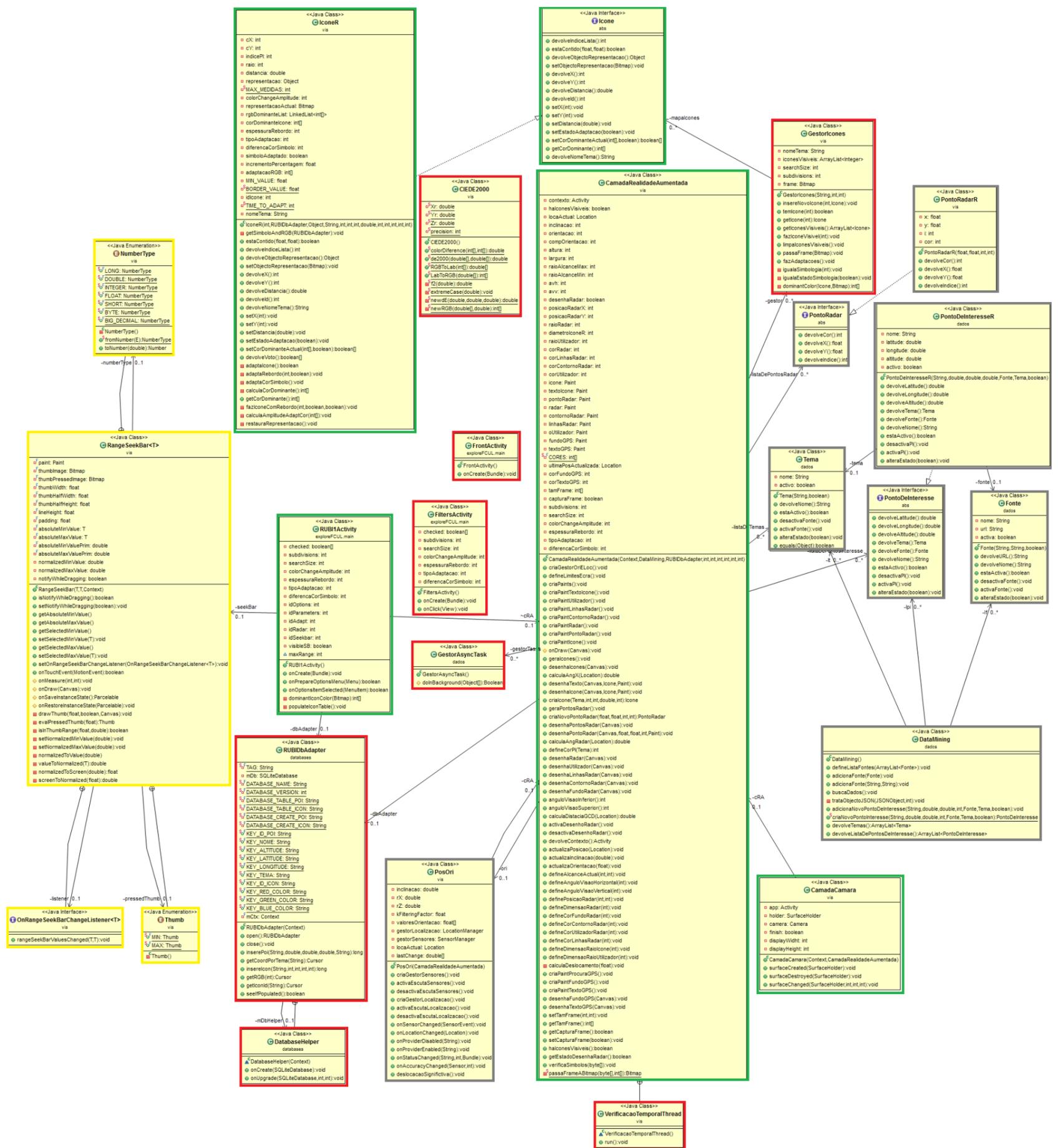
RF-5.3.2: Para os parâmetros em RF-5.2.1 aplica-se respectivamente o RE-4.1, o RE-2.1 e o RE-3.1 (os restantes não apresentam requisitos estruturais)

RF-5.3.3: Caso o terceiro parâmetro em RF-5.3.1 seja *false* o sistema devolve a simbologia tal como a recebeu em RF.5.3.1

RF-5.3.4: Caso o terceiro parâmetro em RF-5.3.1 seja *true* o sistema aplica a adaptação definida no primeiro parâmetro em RF-5.3.1

RF-5.3.5: Caso o primeiro parâmetro em RF-5.3.1 seja a adaptação por rebordo o sistema devolve a simbologia adaptada por rebordo recorrendo ao primeiro parâmetro dado pelo RF-5.2.1. Caso em RF-5.3.1 seja a adaptação por cor o sistema devolve a simbologia adaptada por cor recorrendo ao segundo parâmetro dado pelo RF-5.2.1

# Diagrama de classes



Legenda:

Vermelho – Classes implementadas na plataforma RUBI durante a realização deste projecto

Verde – Classes estendidas na plataforma RUBI durante a realização deste projecto

Cinzeno – Classes inalteradas na plataforma RUBI durante a realização deste projecto

Amarelo – Classes implementadas por terceiros adicionadas na plataforma RUBI durante a realização deste projecto

## Diagrama de casos de uso





## Anexo H

Neste anexo é apresentado o pseudo-código relativo aos algoritmos de adaptação por rebordo e por cor, descritos no Capítulo 5.

### Algoritmo de adaptação por rebordo

De seguida, é apresentado o pseudo-código relativo ao algoritmo de adaptação por rebordo:

Identificadores de variáveis e funções:

- *corDominanteSimb* e *corDominanteFrame*: vectores de inteiros compostos por cada componente RGB da cor dominante de um símbolo e da área em seu redor respectivamente;
- *colorChangeAmplitude*: inteiro que define um limiar em que duas cores podem ser consideradas semelhantes ou diferentes;
- *blackColor* e *whiteColor*: vectores de inteiros com o código RGB para a cor preto e branco respectivamente;
- *CIEDE2000*: função que recebe dois vectores de inteiros com as componentes RGB de duas cores e devolve um *float* que representa a distância (semelhança) essas cores no modelo CIELab. A implementação desta função em Java pode ser encontrada em Anexo;
- *color*, *lastColor*: inteiro que indica a cor a aplicar ao rebordo, e a antiga cor do rebordo (caso este já tenha um rebordo) respectivamente;
- *simboloAdaptado*: booleano que indica se o símbolo se encontra num estado já adaptado;
- *adaptaRebordo*: função que calcula a adaptação do rebordo em cada *frame*, recebe como parâmetros a cor do rebordo e um booleano que indica se se vai adaptar ou desadaptar o símbolo;

- *incPorcentagem*: *float* que define o incremento em termos de porcentagem que o rebordo deverá ganhar ou perder em termos de opacidade durante uma adaptação;
- *Color.rgb*: função que recebe a componente de transparência e as componentes de RGB de uma cor e devolve o inteiro associado a esta cor;
- *fazSimbRebordo*: função que transforma o Bitmap associado ao símbolo com a adaptação pretendida. Recebe a cor do rebordo pretendido e a informação se se está a colocar ou retirar o rebordo e se a adaptação ainda está em curso ou já acabou.

Condição para avaliar se duas cores são semelhantes:

```
if (CIEDE2000(corDominanteSimb, corDominanteFrame) < colorChangeAmplitude) {
```

Código para decidir a cor a atribuir ao rebordo ou para retirar o rebordo:

```
    if (CIEDE2000(corDominanteSimb, blackColor) > CIEDE2000
        (corDominanteFrame, whiteColor)) {
        Color = Color.rgb(0,0,0,0); //preto mas transparente
    }
    else {
        color = Color.rgb(0,255,255,255); //branco mas transparente
    }
    if (color != lastColor || !simboloAdaptado) {
        tornaOpaco = true;
        adaptaRebordo (color, tornaOpaco);
    }
}
else {
    if (simboloAdaptado) {
        tornaOpaco = false;
        adaptaRebordo (color, tornaOpaco);
    }
}
```

Código para decidir o estado do rebordo em cada *frame* da adaptação (função *adaptaRebordo*):

```
transparencia = Color.alpha(color); //transparência da cor
adaptacaoEmCurso = true;

while (adaptacaoEmCurso) {

    Thread.sleep (1000/25); //frames por segundo

    if (tornaOpaco) { //para rebordo aparecer
        transparencia += (255*(incPorcentagem));
        if (transparencia >= 255) { //ultimo frame
            transparencia = 255; //transparência nula
            adaptacaoEmCurso = false;
            simboloAdaptado = true;
        }
    }
    else {
        transparencia -= (255*(incPorcentagem)); //para rebordo
desaparecer
        if (transparencia <= 0) {
            transparencia = 0; //transparência maxima
            adaptacaoEmCurso = false;
            simboloAdaptado = false;
        }
    }
    corAux = Color.argb(transparencia, Color.red(color),
Color.green(color), Color.blue(color));
    fazSimbRebordo (corAux, tornaOpaco, adaptacaoEmCurso);
}
```

## Algoritmo de adaptação por cor

De seguida, é apresentado o pseudo-código relativo ao algoritmo de adaptação por cor:

Identificadores de variáveis e funções:

- *diferencaCorSimbolo*: inteiros com valor de 0 a 100 (sendo por defeito 25) que representa a percentagem de iluminação a alterar numa adaptação por cor.
- *hsvCorFinal*: vector de *floats* que contém inicialmente o valor actual da informação HSV da cor dominante, no entanto estes valores serão alterados para os valores HSV que se pretende obter com a adaptação;
- *MIN\_VALUE*: *float* com valor mínimo de luminosidade que se considera que todas as cores ainda não percebidas como pretas (0.1 por defeito);

- *BORDER\_VALUE*: *float* que representa o valor fronteira de luminosidade em que uma cor deixa de ser clara para passar a ser escura (0.5 por defeito);
- *Math.abs*: função que recebe um valor do tipo *float* e devolve o seu módulo;
- *Color.HSVToColor*: função que recebe um vector de *floats* que representa as componente do modelo HSV e devolve o inteiro da cor correspondente;
- *Color.red*, *Color.green* e *Color.blue*: funções que recebem um valor inteiro correspondente a uma cor e devolvem a sua componente vermelha, verde e azul (respectivamente) associada ao modelo RGB;
- *adaptacaoRGB*: vector de inteiros que representa o total a adaptar em cada componente RGB da cor de cada *pixel* do símbolo;
- *auxAdaptRGB*: cópia do vector *adaptacaoRGB* no qual vai sendo actualizado o estado da adaptação em cada *frame*;
- *incrementoRGB*: vector de inteiros que guarda o valor que se deve adaptar cada componente RGB de cada *pixel* do símbolo em cada *frame*;
- *alteraCor*: função que permite alterar a cor de todos os pixeis de um simbolo nas quantidades dadas por *incrementoRGB*. Para isto faz recurso dos objectos *ColorMatrix*, *Canvas*, *Matrix* e *Paint* disponibilizados pela API do *Android*;
- *representacaoActual*: estado actual do símbolo dado por um objecto do tipo *Bitmap*;
- *representacao*: estado original do símbolo dado por um objecto do tipo *Bitmap*.

Código para calcular a iluminação da cor dominante que após adaptação deverá apresentar:

```
Color.RGBToHSV ( corDominanteSimb[0], corDominanteSimb[1],
corDominanteSimb[2], hsvCorFinal); //cor dominante no modelo HSV

totalAlteracao = diferencaCorSimbolo / 100; //valor de adaptação em cada
frame

if ( hsvCorFinal[2] < MIN_VALUE ) { //terá de adaptar nos cinzentos
    hsvCorFinal[1] = 0;
    totalAlteracao += ( MIN_VALUE - hsvCorFinal[2] );
}

limiteAlteracao = 0;
if ( hsvCorFinal[2] < BORDER_VALUE ) { //cor dominante pouco luminosa
    limiteAlteracao = hsvCorFinal[2] + totalAlteracao;

    if ( limiteAlteracao > 1 ) {
        limiteAlteracao = hsvCorFinal[2] - totalAlteracao;
        if ( limiteAlteracao < MIN_VALUE ) {
            if ( Math.abs ( MIN_VALUE - limiteAlteracao ) > Math.abs (
( hsvCorFinal[2] + totalAlteracao ) - 1 ) )
                limiteAlteracao = 1;
            else
                limiteAlteracao = MIN_VALUE;
        }
    }
}
else {
    limiteAlteracao = hsvCorFinal[2] - totalAlteracao;

    if ( limiteAlteracao < MIN_VALUE ) {
        limiteAlteracao = hsvCorFinal[2] + totalAlteracao;

        if ( limiteAlteracao > 1 ) {
            if ( Math.abs ( limiteAlteracao - 1 ) < Math.abs (
MIN_VALUE - ( hsvCorFinal[2] - totalAlteracao ) ) )
                limiteAlteracao = 1;
            else
                limiteAlteracao = MIN_VALUE;
        }
    }
}
```

Código para calcular a alteração em cada componente RGB a aplicar na cor de todos os *pixels* do símbolo:

```
hsvCorFinal[2] = limiteAlteracao;
corFinal = Color.HSVToColor ( hsvCorFinal );

rgbFinal = { Color.red ( corFinal ), Color.green ( corFinal ), Color.blue (
corFinal ) };

for ( i = 0; i < adaptacaoRGB.length; i++ ) {
    adaptacaoRGB [i] = ( rgbFinal [i] - corDominanteSimb [i] );
}
```

A condição para avaliar se duas cores são semelhantes é igual à do algoritmo anterior:

```
if ( CIEDE2000(corDominanteSimb, corDominanteFrame) < colorChangeAmplitude) {
```

Código para saber quanto será necessário alterar cada componente RGB em cada *frame* da adaptação:

```
    auxAdaptRGB = adaptacaoRGB.clone();
    if ( simboloAdaptado ) { //retirar adaptação
        for ( i = 0; i < auxAdaptRGB.length; i++ ) {
            auxAdaptRGB[i] *= -1;
        }
    }

    for ( i = 0; i < incrementoRGB.length; i++ ) {
        incrementoRGB[i] = auxAdaptRGB * incPorcentagem;
        if ( incrementoRGB[i] == 0 && incPorcentagem > 0.0 )
            incrementoRGB[i] = 1; //haverá sempre alteração
    }
}
```

Código para efectuar ou retirar adaptação por cor em cada *frame*:

```
    rgbAtualizado = false;
    while ( !rgbAtualizado ) {
        sai = 0;
        for ( j = 0; j < auxAdaptRGB.length; j++ ) {
            auxAdaptRGB[j] -= incrementoRGB[j];

            if ( ( incrementoRGB[j] < 0 && auxAdaptRGB[j] > 0 ) || (
incrementoRGB[j] > 0 && auxAdaptRGB[j] < 0 ) ) {
                incrementoRGB[j] += auxAdaptRGB[j];
                auxAdaptRGB[j] = 0;
            }

            if ( auxAdaptRGB[j] == 0 )
                sai++;
        }
        if ( sai == 3 ) {
            rgbAtualizado = true;
            simboloAdaptado = !simboloAdaptado; //muda estado de
adaptação
        }
        if ( !rgbAtualizado ) {
            alteraCor ( incrementoRGB );
            Thread.sleep ( TIME_TO_ADAPT );
        }
        if ( rgbAtualizado && !simboloAdaptado ) //simbolo volta ao
normal
            representacaoActual = representacao.copy (
Config.ARGB_8888, true ); //cria uma copia mutavel da representação original
        }
    }
```