

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**ENRIQUECENDO AMBIENTES REAIS COM VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO
E REALIDADE AUMENTADA ATRAVÉS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS**

MAURO ALEXANDRE FOLHA GOMES COSTA

UFPA / ICEN / PPGCC
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MAURO ALEXANDRE FOLHA GOMES COSTA

**ENRIQUECENDO AMBIENTES REAIS COM VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO
E REALIDADE AUMENTADA ATRAVÉS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS**

UFPA / ICEN / PPGCC
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MAURO ALEXANDRE FOLHA GOMES COSTA

ENRIQUECENDO AMBIENTES REAIS COM VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO E
REALIDADE AUMENTADA ATRAVÉS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Ciência da Computação.

UFPA / ICEN / PPGCC
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2013

Dedico este trabalho aos meus pais, Ubiran Messias de Andrade Costa e Maria Nazareth Folha Gomes Costa, pelo amor, carinho e incentivo durante todos esses anos. A minha amada esposa, Dayse Costa, pela compreensão nesta jornada, ao meu filho Kaléu Costa e meus irmãos: Rafael e Brenna.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que me presenteia com saúde, sabedoria e força para vencer os desafios, sendo a conclusão desse mestrado mais um vencido com a sua Luz. Agradeço pela proteção da minha Santa Maria, sempre ao meu lado.

Agradeço diretamente por todo incentivo, ensino e orientação do Professor Bianchi Serique. A grande colaboração do Nikolas Carneiro, da Marcia Fontes e da equipe do Laboratório de Pesquisa em Visualização da Informação e Realidade Aumentada (VIRALAB).

Agradeço a Coordenação e ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFPA e a todos os que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Sumário

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xii
Índice de Publicações	xiii
Resumo	xiv
<i>Abstract</i>	xv
1. Introdução.....	16
1.1. Objetivos.....	17
1.1.1. Objetivos Específicos.....	17
1.2. Organização	18
2. Visualização da Informação	19
2.1. Definição de Visualização da Informação	19
2.2. Processo de Visualização.....	20
2.3. Técnicas de Visualização da Informação.....	21
2.3.1. Tabela.....	21
2.3.2. Gráfico de Pizza	21
2.3.3. Gráfico de Barras	22
2.3.4. Gráfico de Radar	22
2.3.5. Gráfico de Área	23
2.3.6. Dispersão de Dados 2D.....	23
2.3.7. Coordenadas Paralelas.....	24
2.3.8. Treemap.....	24
2.3.9. Árvore Hiperbólica.....	25
2.3.10. Visualização baseada em Grafos ou Redes	25
2.4. Tipos de Dados Versus Tipos de Visualização.....	26
2.5. Histórico de Visualização da Informação	27
3. Realidade Aumentada.....	33
3.1. Introdução a Realidade Aumentada	33
3.2. Principais Características de um Sistema de Realidade Aumentada	34
3.2.1. Dispositivos de Apresentação (Display).	35
3.2.1.1. Hand-Held Displays.	36

3.2.2.	Dispositivos de Rastreamento (Tracking).....	37
3.2.2.1.	Tecnologia Óptica.....	38
3.2.2.2.	Tecnologias por Satélite.	38
3.2.3.	Sistemas Gráficos.....	38
3.2.3.1.	OpenGL (Open Graphics Library).	39
3.2.4.	Sistemas de Mistura de Mundos.....	40
3.2.4.1.	ARToolkit (Augmented Reality ToolKit).	40
3.3.	Histórico da RA Móvel.....	41
3.4.	Aplicações de RA Móvel.....	44
4.	Trabalhos e Tecnologias Relacionados	48
4.1.	Modelo de Referência e Arquiteturas para RA para dispositivos móveis	48
4.2.	Reconhecimento de Faces.....	50
4.3.	PRISMA.....	50
4.4.	Aplicação de VI para ambiente RA	51
4.5.	Aplicação de VI para ambiente RA móvel	52
4.6.	OpenCV	52
5.	PRISMA-MAR.....	54
5.1.	Arquitetura	54
5.1.1.	Cliente PRISMA-MAR.....	56
5.1.2.	Servidor PRISMA-MAR.....	57
5.1.3.	Fluxo de Dados da Aplicação.....	59
5.1.4.	Modelagem.....	60
5.2.	Aplicação	65
5.2.1.	Autenticação.....	65
5.2.2.	Detecção da Face.....	65
5.2.3.	Detalhes sob demanda.....	67
5.2.4.	Filtro	68
5.2.5.	Zoom	69
5.3.	Testes de Usabilidade	69
5.3.1.	Objetivo e Metodologia.....	70
5.3.2.	Plano de Teste	71
5.3.3.	Resultados	74
6.	Considerações Finais	79

6.1. Desafios Encontrados.....	81
6.2. Trabalhos Futuros	81
REFERÊNCIAS	82

Índice de Figuras

Figura 1: Etapas do processo de visualização. (Ward, Grinstein , & Keim, 2010)	20
Figura 2: Exemplo de tabela de dados.	21
Figura 3: Exemplo de gráfico de Pizza.	22
Figura 4: Exemplo de gráfico de Barra.	22
Figura 5: Exemplo de gráfico de Radar.	22
Figura 6: Exemplo de gráfico de Área.	23
Figura 7: Exemplo de gráfico de Dispersão 2D (Lourenco, et al., 2012).	23
Figura 8: Exemplo de utilização da técnica de Coordenadas Paralelas (Lourenco, et al., 2012).	24
Figura 9: Exemplo de utilização da técnica Treemap (Lourenco, et al., 2012).	24
Figura 10: Exemplo de árvore hiperbólica para representar sistema de arquivos (Hinkle, 2009).	25
Figura 11: Exemplo de visualização utilizando grafos (Dill, 2008).	26
Figura 12: Inclinação da órbita planetária (Tufte, 2006).	27
Figura 13: Visualização de Playfair sobre importação/exportação (Tufte, 2006).	28
Figura 14: Mapa de declinação magnética da terra (Friendly & Denis, 2013).	28
Figura 15: Mapa de Minard sobre campanha de Napoleão à Rússia (Spence, 2007).	29
Figura 16: Representação de epidemia de cólera em Londres em 1854 (Spence, 2007).	29
Figura 17: Mapa de notícias. (http://newsmap.jp)	30
Figura 18: Estrutura de website representada por um gráfico.	30
Figura 19: Visualização que representa hierarquia e relacionamentos (Rembold & Späth, 2013).	31
Figura 20: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à prostituição em São Francisco (EUA).	31
Figura 21: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à narcóticos em São Francisco (EUA).	31
Figura 22: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à vandalismos em São Francisco (EUA).	32
Figura 23: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à roubo de carros em São Francisco (EUA).	32
Figura 24: Contínuo Realidade-Virtualidade de Milgram (Milgram & Kishino, 1994).	33
Figura 25: Cenário típico de um ambiente de Realidade Aumentada (Bimber & Raskar, 2005) adaptado por (Carmo R. M., 2007).	34
Figura 26: Principais componentes de um sistema de RA. (Bimber & Raskar, 2005)	35
Figura 27: Geração de imagens em displays de RA. (Bimber & Raskar, 2005)	35
Figura 28: Taxionomia de Saída para sistemas de Realidade Aumentada (Gerard, 2011).	36
Figura 29: Aplicação de RA para turismo rodando em um Iphone; (a) parlamento alemão (sobreposição de imagem aumentada) (b) A Opera de Sidney (informações aumentadas). (Endigy, 2011)	37
Figura 30: Taxinomia de Entradas para sistemas de Realidade Aumentada. (Gerard, 2011). 37	

Figura 31: Pipeline do OpenGL ES 2.X (BadaDev, 2010).....	39
Figura 32: Etapas da Execução do ARToolkit (Meiguins, et al., 2006).	40
Figura 33: uma das primeiras soluções de RA móvel. (Feiner, MacIntyre, Hollerer, & Webster, 1997).....	41
Figura 34: Uma das primeiras aplicações de RA em dispositivos móveis.	42
Figura 35: Aplicação RA outdoor.....	42
Figura 36: projeto iLamps . (Raskar, van Baar, Beardsley, Willwacher, & Rao, 2003).	43
Figura 37: Jogo Mozzies de RA premiado em 2003 (Eden, 2003).....	43
Figura 38: Celular identificando marcadores e inserindo objeto virtual na cena real. (Möhring, Lessig, & Bimber, 2004).....	43
Figura 39:Exemplo de maquete aumentada com Junaio (Junaio, 2012).	44
Figura 40: Conteúdo do Wikitude para busca de hotéis (Wikitude, 2012).....	44
Figura 41: Guia online em museu (Vanhemert, 2010)	44
Figura 42: Suporte a procedimento cirúrgico (Bichlmeier, 2012).....	45
Figura 43: Ardefender – Jogo multiplayer via wi-fi. (Bulkypix, 2013).....	45
Figura 44: Aplicação localização de estações de metrô. (Acrossair, 2010).....	46
Figura 45: Aplicação com informações do local. (Blog, 2011).....	46
Figura 46: (Gervautz & Schmalstieg, 2012).....	46
Figura 47: dutos virtuais. (Gervautz & Schmalstieg, 2012)	47
Figura 48: Publicidade (Press, 2011)	47
Figura 49: Modelo de referência para sistemas de realidade aumentada (Reicher, 2004).	48
Figura 50: Arquitetura “Gateway” adotada pelo Layar, Junaio , e Wikitude (Butchart, 2011).	49
Figura 51: Arquitetura Web para RA móvel (Butchart, 2011)	49
Figura 52: Arquitetura <i>Standalone</i> para RA móvel (Butchart, 2011).....	49
Figura 53: Exemplo de aplicação de RA com reconhecimento de face para dispositivos móveis (Dantone, Bossard, Quack, & van Gool, 2011).....	50
Figura 54: Interface do cliente PRISMA versão web (Almeida, Meiguins, Gonçalves, & Lourenço, 2009).....	51
Figura 55: Arquitetura PRISMA web (Almeida, Meiguins, Gonçalves, & Lourenço, 2009). 51	
Figura 56: Aplicação de VI com múltiplas visões de dados em ambiente de RA (Carmo, et al., 2007)	52
Figura 57: mARGraphy	52
Figura 58: Visão Macro do Protótipo.	54
Figura 59: Arquitetura expandida	56
Figura 60: Diagrama de caso de uso da aplicação cliente PRIMA-MAR	61
Figura 61: Diagrama de classes da aplicação cliente PRISMA-MAR	62
Figura 62: Módulos da aplicação servidor PRISMA-MAR - adaptado de (Lourenço, 2012). 63	
Figura 63: Módulo "ModuloVis" da aplicação servidor PRISMA-MAR - adaptado de (Lourenço & Meiguins, 2012)	63
Figura 64: Diagrama de Sequência - PRIMA-MAR.....	64
Figura 65: Tela de Login da aplicação cliente PRISMA-MAR.....	65
Figura 66: Processo de detecção de Face.....	65
Figura 67: Detecção da Face habilitada	66

Figura 68: Visualização do Gráfico Radar.....	67
Figura 69: Visualização do gráfico de barras	67
Figura 70: Barra de Botões com as dimensões disponíveis.....	68
Figura 71: Detalhes sob demanda – Frequência	68
Figura 72: Detalhes sob demanda – Prova.....	68
Figura 73: Menu do filtro com as dimensões da disciplina	69
Figura 74: Visualização filtrada com 4 dimensões habilitadas.....	69
Figura 75: Questionário Nasa-TLX	72
Figura 76: Perfil dos usuários dos testes.....	74
Figura 77: Quantidade de acertos e erros na execução das tarefas	75
Figura 78: Taxa de erros por tipo experiência do usuário.	75
Figura 79: Tempo médio de execução das tarefas por tipo de usuário.	76
Figura 80: resultados médios obtidos no NASA-TLX.	78

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tarefas e suas características	73
--	----

Índice de Publicações

Costa, M., Meiguins, B., Carneiro, N., Meiguins A. S. (2013). PRISMA-MAR: An Architecture Model for Data Visualization in Augmented Reality Mobile Devices. *IADIS International Conference, Mobile Learning 2013*. 14 – 16 March, Lisbon, Portugal

Resumo

Este trabalho propõe a utilização de gráficos de visualização de informação em aplicações de Realidade Aumentada Móvel (MAR), com objetivo de proporcionar ao usuário maior quantidade de informações sensível ao contexto que esta inserido e de fácil entendimento para enriquecer ainda mais a experiência aumentada através do dispositivo móvel, agregando-se as mídias comumente utilizadas: imagem, texto e vídeo. Para este fim, foi projetada uma arquitetura cliente-servidor, incluindo os principais módulos e serviços necessários para oferecer uma experiência de utilização de gráficos de visualização de informações em aplicações de realidade aumentadas para dispositivos móveis.

O estudo de caso apresenta uma aplicação que utiliza detecção e reconhecimento facial para apoiar o professor a buscar informações sobre o desempenho acadêmico de um determinado aluno de uma disciplina em sala de aula. Para isso, o lado cliente foi projetado com foco na apresentação e interação, voltado para o sistema operacional iOS6 e compatível com dispositivos iPhone e iPad, inclui detecção de faces e apresenta graficamente informações acadêmicas oriundas do servidor. O lado do servidor inclui reconhecimento facial usando OpenCV, e um motor de visualização denominado PRISMA.

Palavras-chave: visualização de informação, realidade aumentada, dispositivo móvel, reconhecimento facial.

Abstract

This work proposes the use of graphic information visualization in Mobile Augmented Reality (MAR) applications, in order to provide to the user a greater amount of context-sensitive and understandable information to further enrich the augmented experience through the mobile device, such as another média commonly used: image, text and video. We designed a client-server architecture, including main modules and services required to able the user has an experience with information visualization graphics in mobile augmented reality applications.

The case study presents an application that uses face detection to support the teacher to get some information about student's academic performance of a particular discipline. For this, the client side was designed with a focus on presentation and interaction, developed for iOS6 operating system and compatible with iPhone and iPad devices, includes face detection and graphically displays academic information coming from server side. The server side includes facial recognition using OpenCV, and a visualization engine named PRISMA.

Keywords: information visualization, augmented reality, mobile device, face recognition.

1. Introdução

A recente evolução tecnológica para dispositivos móveis, principalmente *smartphones* e *tablets*, e meios de comunicação sem fio, permitiu aos usuários utilizarem, por exemplo, serviços da Internet que antes eram restritos aos desktops, tais como e-mail, conteúdo web, redes sociais, em praticamente qualquer lugar.

A necessidade de melhores informações e interações em *smartphones* e *tablets* no processo de mobilidade é o que tem motivado a utilização dos mesmos pelos usuários, e a evolução e a disponibilização de novos serviços e hardwares. Por exemplo, atualmente é possível utilizar serviços de identificação de posicionamento global, esse quando associado a outros serviços permitem quando em visita a um determinado restaurante, saber informações sobre última visita do usuário, qual último vinho pedido e prato, associado a informações nutricionais e calóricas.

Na busca por novas formas de interação e visualização com as informações e o próprio dispositivo móvel, a Realidade Aumentada (RA) tem se apresentado como uma opção interessante, e até lúdica, bem como fácil de obter informações de um determinado contexto, uma vez que basta apontar uma câmera para um objeto, pessoa ou lugar para se obter informações relacionadas aos mesmos. Objetivo principal da RA é enriquecer visões do mundo real, capturadas através de uma câmera, com informações virtuais. A RA móvel agregou à mobilidade conteúdos dinâmicos associados ao contexto atual e real do usuário, e a possibilidade de compartilhar suas experiências enriquecidas com conteúdos de RA através de redes sociais, por exemplo.

A RA para dispositivos móveis é apoiada por tecnologias de geolocalização ou de reconhecimento de imagem, permite novas formas de relação de informação e interação com o mundo real. Basicamente, a RA sobrepõe camadas de informação sobre as imagens reais, em tempo real ou não, através da câmera do dispositivo móvel. As aplicações de Realidade Aumentada Móvel (*Mobile Augmented Reality - MAR*) comumente utilizam texto, imagens e vídeo, sendo os dois primeiros, ou uma combinação deles, os mais utilizados.

Neste trabalho, são utilizadas técnicas de visualização de informações (IV) para representação das informações que serão apresentadas no ambiente aumentado móvel, para enriquecer a visão do mundo real. O uso de gráficos de dados pode ser utilizado isoladamente ou associado a outras mídias de comunicação, tais como texto, imagens e vídeos. O uso de

técnicas de visualização pode contribuir para minimizar as questões de usabilidade relacionadas ao tamanho de tela dos dispositivos para apresentação das informações, proporcionando gráficos mais reduzidos, que apresentam e representam mais dados.

O objetivo desta dissertação é propor uma solução tecnológica que possibilite a utilização de gráficos de visualização informações como um tipo de dado para enriquecer as visões do mundo real, somando-se aos tradicionais tipos de dados: texto, imagem, objetos gráficos e vídeos. Uma arquitetura foi projetada para englobar todos os componentes e serviços necessários para esta solução, seus principais módulos serão apresentados e comentados. Como estudo de caso, desenvolveu-se uma aplicação que oferecesse suporte na interação entre professor e aluno, no contexto do ambiente escolar, onde o professor, através de seu dispositivo móvel, realiza o reconhecimento facial de um aluno, e obtém entre outras informações um gráfico de dados que apresenta informações sobre as diversas dimensões de avaliações do aluno: provas, exercícios, apresentações, frequência, etc, bem como sua comparação com a média da turma do aluno nas mesmas dimensões. A plataforma tecnológica escolhida para o desenvolvimento da aplicação de RA foi o iOS 6, utilizando conteúdo armazenado na nuvem, incluindo um gerador de gráficos de visualização de informação, e um serviço de reconhecimento facial. Além disso, este projeto tem como uma de suas diretrizes o mantra de boas características de uma ferramenta de visualização informação: visão geral, zoom, filtro e detalhes sob demanda. Assim, é possível na aplicação interagir com o gráfico através de menus da aplicação para filtrar ou ver mais detalhes de uma informação específica.

1.1. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é propor uma solução tecnológica que possibilite a utilização de gráficos de visualização da informação em aplicações de realidade aumentada móvel.

1.1.1. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos destacam-se:

- Pesquisar e definir tecnologia de realidade aumentada para dispositivos móveis;
- Utilizar técnicas de reconhecimento de padrões para detectar e reconhecer faces;

- Projetar a arquitetura cliente-servidor para aplicações de RA e VI com múltiplos usuários;
- Integrar à solução serviço de geração de gráficos de dados para enriquecer o ambiente de realidade aumentada no dispositivo móvel;
- Realizar ensaios de usabilidade com usuários baseados em tarefas de usuários para avaliação da aplicação desenvolvida.

1.2. Organização

O texto da dissertação está organizado na forma que segue:

No Capítulo 2 são apresentados conceitos e definições sobre visualização de informação. Além disso, é apresentada uma visão geral das principais recomendações para uma boa ferramenta de visualização de informação.

No Capítulo 3 são apresentados conceitos sobre realidade aumentada, e sua utilização em plataforma de dispositivos móveis.

No Capítulo 4 são apresentados os trabalhos relacionados, incluindo as tecnologias utilizadas que compõe esta dissertação.

No Capítulo 5 é apresentado o protótipo desenvolvido, detalhando sua arquitetura e funcionalidades, e os ensaios de usabilidade aplicados para avaliação do protótipo desenvolvido.

No Capítulo 6, são realizadas as considerações finais e citados os trabalhos futuros.

2. Visualização da Informação

Este capítulo apresenta área da visualização de informação, seus principais conceitos e as principais características que uma boa ferramenta de visualização de informação deve possuir.

2.1. Definição de Visualização da Informação

Segundo Spence (Spence, 2007), a visualização é somente uma atividade cognitiva humana e não está relacionada diretamente a computadores. Visualizar refere-se à formação de um modelo mental ou imagem mental de alguma coisa. Contudo, é natural que o processo de tomada de decisão requeira do ser humano novas derivações, mudanças, ou acréscimo de informações no modelo ou imagem mental criada originalmente, o que pode ser feito manualmente (mental ou desenho), podendo estar sujeito a erros e grande quantidade de tempo. Nesse contexto, o computador pode auxiliar o ser humano a criar e modificar os modelos e imagens mentais mais rapidamente e com menos erros, basicamente transformando imagens estáticas em dinâmicas.

De acordo com Few (Few, 2009), de maneira geral, o termo Visualização é associado a três palavras principais, criando três termos com significados um pouco diferentes, são eles: Visualização de Dados, Visualização da Informação e Visualização Científica. O termo Visualização de Dados pode ser utilizado como um termo mais abrangente para cobrir todos os tipos de representações visuais que suportam a exploração, análise e comunicação de dados. Os termos Visualização da Informação e Visualização Científica são subconjuntos de Visualização de Dados. Eles se referem a tipos particulares de representações visuais com propósitos específicos.

Para Spence (Spence, 2007), a visualização de informação (VI) é a área do conhecimento que estuda técnicas, metodologias e algoritmos que procuram transformar dados abstratos (dados quantitativos, por exemplo) em uma representação visual (tamanho, forma, cor, etc) interativa, objetivando facilitar a análise de dados, e a relação entre eles. Pode ser usada para tarefas como identificação, correlação multivariada, procura, consulta, exploração e comunicação. Os dados são tipicamente quantitativos ou categorizados, mas também podem incluir: texto não estruturado, tipos de mídias diferentes e objetos estruturados. Friendly (Friendly M. , 2009) descreve a visualização científica como uma área que se preocupa em representar visualmente uma um fenômeno tridimensional (arquitetural, meteorológico,

médico, biológico, etc.), onde a ênfase esta na renderização realística de volumes, superfícies, fontes de iluminação, etc., podendo incluir um contexto temporal.

2.2. Processo de Visualização

Um processo de visualização da informação típico é apresentado na Figura 1, e é composto pelas seguintes etapas (Ward, Grinstein , & Keim, 2010):

- a) Definição de dados: importante ter estudo prévio de que dados são relevantes para visualização;
- b) Transformação dos dados: após a seleção dos dados relevantes, normalmente é necessária uma fase de pré-processamento, que inclui tarefas de limpeza dos dados, categorização, cálculo de dados derivados, etc.
- c) Definição da representação simbólica ou visual: é o estudo de qual é a melhor forma de representar determinado atributo e seus valores;
- d) Mapeamento e renderização dos dados: é fase que é definida a organização dos itens visuais e a geração da imagem para usuários;
- e) Transformação da visão: esta relacionada a interação do usuário com componentes de interface que alteram a visão de dados, por exemplo: configuração de cor, eixo, hierarquia, filtro;
- f) Visualização: pode-se considerar a própria ferramenta de visualização, com várias visões de dados relacionadas entre si.

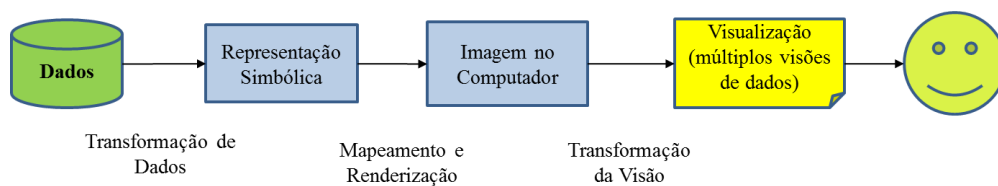


Figura 1: Etapas do processo de visualização. (Ward, Grinstein , & Keim, 2010)

Não há fórmula para uma visualização bem sucedida, e uma visualização útil é dependente do usuário que a está utilizando. Por esse aspecto, é interessante que uma ferramenta de visualização seja flexível o suficiente para permitir adaptar-se aos diversos perfis de usuários: experientes, iniciantes, com mais ou menos habilidades no domínio do problema, até os mesmos se sentirem confortáveis a atingir seus objetivos em relação a visualização proposta.

Frequentemente a visualização é parte um processo maior, que pode ser análise exploratória de dados, descoberta de conhecimento, ou análise visual. Neste processo de descoberta, a preparação dos dados é importante, para evitar ou minimizar a manipulação ou análise de dados errôneos ou com ruídos. A visualização no processo de exploração de dados é usada para transmitir informação, descobrir novos conhecimentos, e identificar padrões, anomalias, tendências e relacionamento no conjunto de dados de análise.

2.3. Técnicas de Visualização da Informação

Nesta seção serão apresentadas algumas das principais técnicas encontradas na literatura (Khan & Khan, 2011).

2.3.1. Tabela

A definição mais simples para tabelas é que utiliza um formato estruturado, organizado por linhas e colunas que apresentam um relacionamento para um determinado dado (Figura 2: Exemplo de tabela de dados.Figura 2).

Aluno	Frequencia	Exercícios	Trabalhos	Apresentações	Prova	Média	Situação
aluno 1	5	1	3	6	3	3,25	Rep. Frequencia
aluno 2	9	9	10	9	6	8,5	Bom
aluno 3	5	9	6	4	7	6,5	Rep. Frequencia
aluno 4	6	3	8	10	2	5,75	Rep. Frequencia
aluno 5	9	0	8	7	1	4	Insuficiente
aluno 6	8	10	3	5	4	5,5	Regular
aluno 7	6	7	8	2	4	5,25	Rep. Frequencia
aluno 8	6	5	3	7	10	6,25	Rep. Frequencia
aluno 9	5	5	5	4	4	4,5	Rep. Frequencia
aluno 10	5	4	1	0	8	3,25	Rep. Frequencia
aluno 11	9	2	10	10	7	7,25	Bom
aluno 12	8	2	0	10	10	5,5	Regular
aluno 13	7	8	8	8	4	7	Bom
aluno 14	10	8	0	4	1	3,25	Insuficiente
aluno 15	6	7	8	4	9	7	Rep. Frequencia
aluno 16	10	9	2	0	10	5,25	Regular
aluno 17	5	4	3	2	3	3	Rep. Frequencia
aluno 18	5	2	5	6	2	3,75	Rep. Frequencia
aluno 19	9	0	6	4	9	4,75	Insuficiente
aluno 20	8	8	4	1	0	3,25	Insuficiente

Figura 2: Exemplo de tabela de dados.

2.3.2. Gráfico de Pizza

Um gráfico de pizza é também chamado de gráfico circular. A representação deste gráfico se dar através de setores circulares. Cada setor circular descreve a proporção de uma quantidade do total, e é utilizado para comparação da quantidade de vários conjuntos de dados representados.

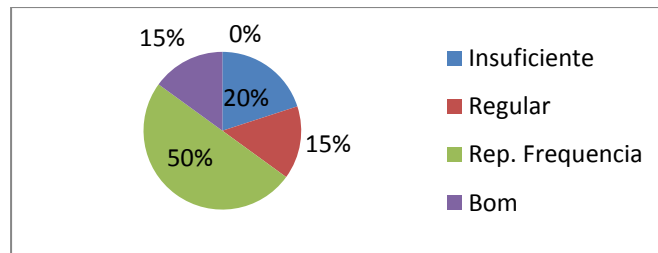


Figura 3: Exemplo de gráfico de Pizza.

2.3.3. Gráfico de Barras

Um dos métodos mais comumente utilizados em visualização de dados é gráfico de barras. É utilizado para representar quantidade de dados discretos de uma série (Figura 4).

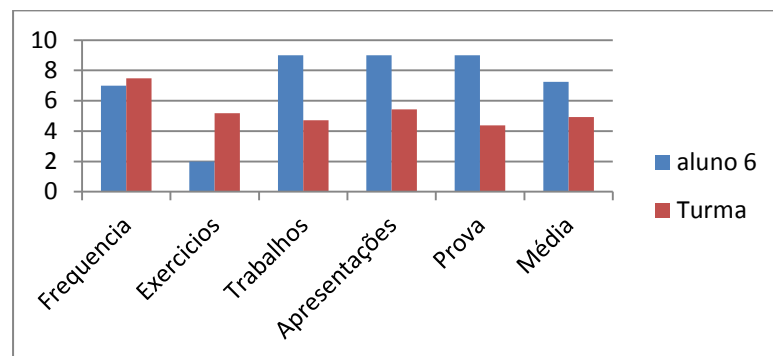


Figura 4: Exemplo de gráfico de Barra.

2.3.4. Gráfico de Radar

Um gráfico de radar, também conhecido como gráfico de aranha ou gráfico de estrela devido à sua aparência, plota os valores de cada categoria ao longo de um eixo separado que inicia no centro do gráfico e termina no anel externo. Este tipo de gráfico pode ser utilizado para atributos de dois objetos diferentes (Figura 5).

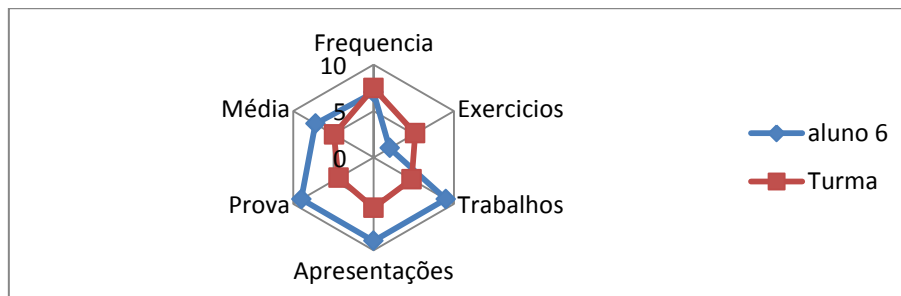


Figura 5: Exemplo de gráfico de Radar.

2.3.5. Gráfico de Área

Um gráfico de área enfatiza a magnitude da alteração ao longo do tempo. As séries são exibidas como um conjunto de pontos conectados por uma linha, com uma área preenchida abaixo da linha. Os valores são representados pela altura do ponto medida pelo eixo y. Os rótulos de categoria são exibidos no eixo x. Os gráficos de área geralmente são usados para comparar valores ao longo do tempo.

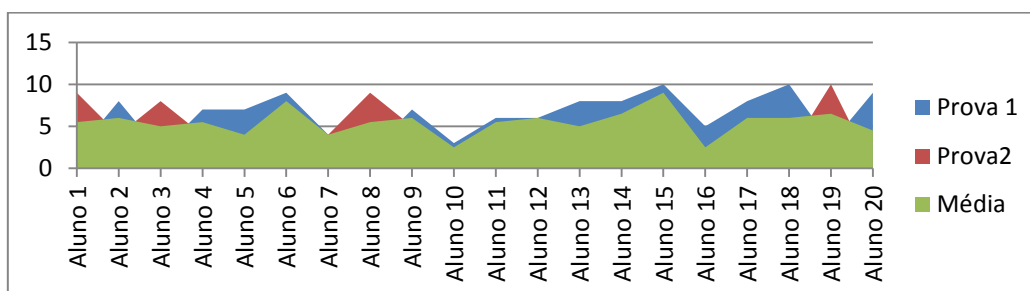


Figura 6: Exemplo de gráfico de Área.

2.3.6. Dispersão de Dados 2D

O gráfico de dispersão visualiza uma relação (correlação) entre duas variáveis X e Y (por exemplo, peso e altura). São representados pontos de dados individuais no espaço bidimensional onde os eixos representam as variáveis (X no eixo horizontal e Y no eixo vertical)(Figura 7).

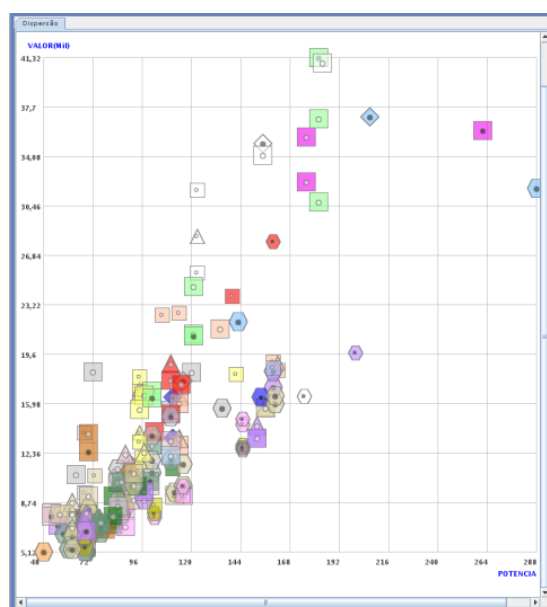


Figura 7: Exemplo de gráfico de Dispersão 2D (Lourenco, et al., 2012).

2.3.7. Coordenadas Paralelas

A técnica de coordenadas paralelas por proposta por Inselberg (Inselberg, 2009), sua ideia principal é realizar uma representação bidimensional de um espaço n-dimensional, por meio de um conjunto de segmentos de reta conectados através de n eixos paralelos (Figura 8).

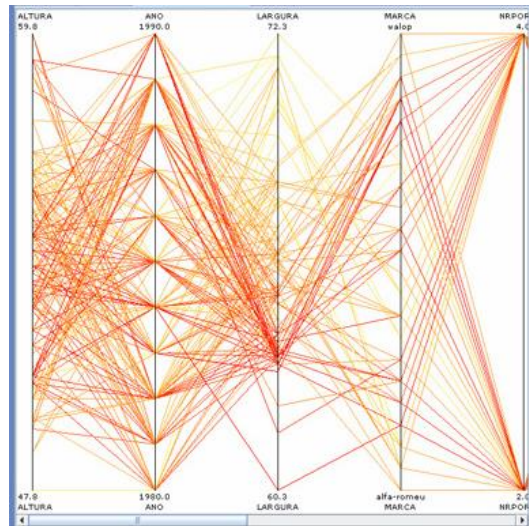


Figura 8: Exemplo de utilização da técnica de Coordenadas Paralelas (Lourenco, et al., 2012).

2.3.8. Treemap

Esta técnica representa os dados abstratos em forma de retângulos hierarquicamente organizados na tela, cada retângulo equivale a um registro ou a uma categoria de registros que ocupa o máximo de espaço de área em tela disponível para renderização da técnica (Shneiderman B. , 1992)(Figura 9).



Figura 9: Exemplo de utilização da técnica Treemap (Lourenco, et al., 2012).

2.3.9. Árvore Hiperbólica

É uma técnica que permite a representação de uma árvore de dados inteira em um espaço circular, que pode então ser mostrada na tela do computador. O foco está no nó central, e os nós no limite do espaço permanecem minimizados. Conforme o usuário navega em um determinado caminho da árvore, o foco muda para outro nó, e os nós no limite do espaço vão se expandindo (Figura 10).

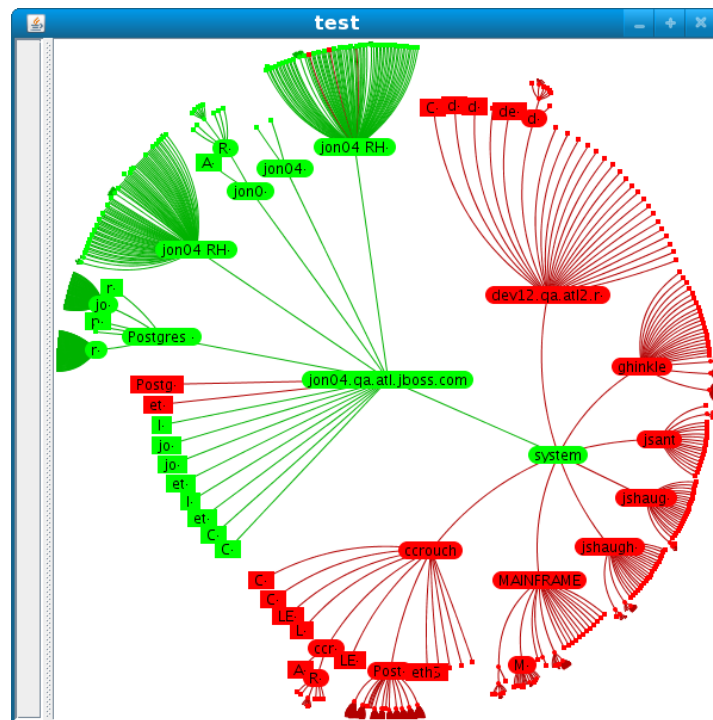


Figura 10: Exemplo de árvore hiperbólica para representar sistema de arquivos (Hinkle, 2009).

2.3.10. Visualização baseada em Grafos ou Redes

Visualização baseada em Grafos ou Rede de Nós é uma representação dos vértices e as arestas desse grafo. Basicamente nós ou vértices que apresentam algum relacionamento são conectados por arestas. O arranjo desses vértices e arestas dentro de um desenho afeta sua compreensibilidade, usabilidade, o custo de fabricação, e estética. O problema fica com maior complexidade, se o gráfico muda ao longo do tempo adicionando e excluindo arestas. O objetivo é preservar mapa mental do usuário. O exemplo da figura 11 apresenta um grafo com resumos dos artigos do periódico IEEE SMC A, B, and C de 1996 até 2006. Os resumos foram pré-processados para retirada de palavras relevantes como fonte de dados da referida visualização (Figura 11).

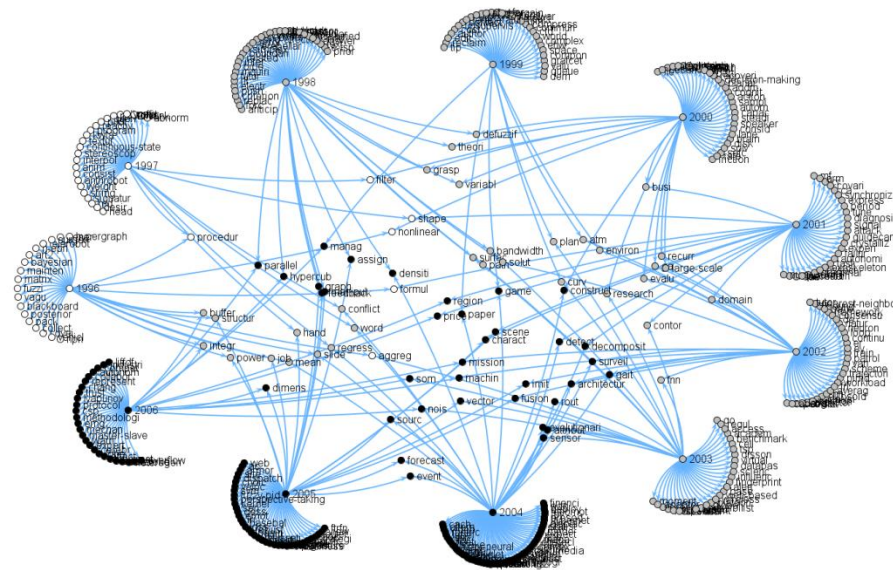


Figura 11: Exemplo de visualização utilizando grafos (Dill, 2008).

2.4. Tipos de Dados Versus Tipos de Visualização

Existem diferentes tipos de dados que podem ser expressos nas mais diversificadas formas, entender as características desses dados pode auxiliar na escolha correta da técnica visualização e representação visual a ser utilizada. Shneiderman (Shneiderman B. , 1996) aponta os diferentes tipos de dados existentes, relacionando-os com as visualizações mais adequadas segundo sua visão:

- a) **1-Dimensão:** este tipo de dado é representado por texto ou dados similares, como linhas de código. Pode haver outras informações associadas a ele, como data da criação, tamanho, data da última modificação, etc. Uma técnica bastante associada a esse tipo de dado é o uso de linhas com cores e larguras variadas, representando outros atributos.
- b) **2-Dimensões:** Este tipo de dado inclui dados geográficos, plantas de engenharia, etc. Pode-se associar uma grande quantidade de atributos com uso de cores, tamanhos e formas diferentes.
- c) **3-Dimensões:** aqui o volume de um objeto torna-se importante, uma dimensão a mais para representar mais um atributo. Se o contexto do mundo real puder ser incluído para melhorar a percepção do usuário é mais indicado ainda.
- d) **Temporal:** este tipo de dado reúne todas as características dos dados acima mais o atributo tempo. Para o atributo tempo o mais indicado é formar uma dimensão. Os

gráficos “tempo versus algum atributo” são bastante utilizados e conhecidos. A animação deve ser considerada quando há uma grande quantidade de dados.

- e) **Multidimensional:** base de dados relacional ou estatística pode ser considerada como pontos em um espaço multidimensional. Técnicas como consultas dinâmicas e diagramas de dispersão são bastante úteis.
- f) **Hierárquico:** muito útil para classificação de dados. Normalmente é representado por diagramas com nós, com ligações entre os mesmos.
- g) **Rede:** dados de rede são nós conectados por links previamente definidos. Esses links podem ser organizados em árvores ou em hierarquias, e a melhor maneira de manipulação é permitindo mudar o foco sobre os nós.

2.5. Histórico de Visualização da Informação

Alguns exemplos de visualização da era “pré-computador”:

- Inclinação da órbita planetária - século X:

É uma das visualizações mais antigas, apresenta a inclinação da órbita da terra ao longo do tempo (Tufte, 2006) (Figura 12).

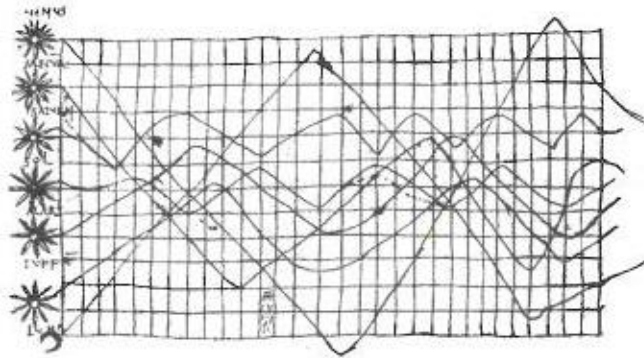


Figura 12: Inclinação da órbita planetária (Tufte, 2006).

- Importação / exportação (Playfair) - século XVIII

Uma das primeiras visualizações voltadas para negócios, importação/Exportação durante o período de 1770 a 1782 criado por William Playfair (Tufte, 2006).

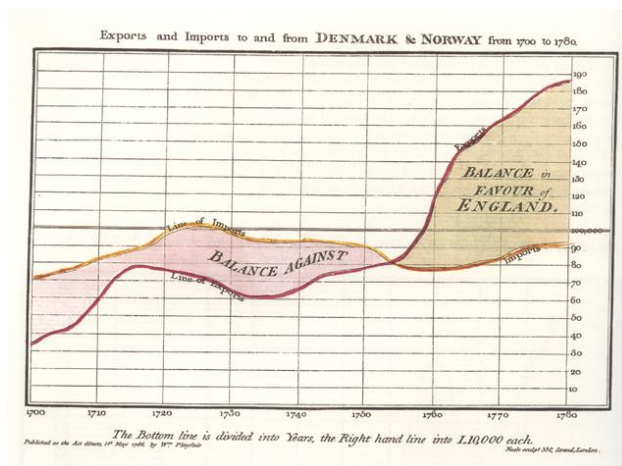


Figura 13: Visualização de Playfair sobre importação/exportação (Tufté, 2006).

- Declinação magnética (Halley) - século XVIII

Uma das primeiras visualização utilizando contornos, representando a declinação Magnética criado em 1701 por Edmund Halley (Friendly & Denis, 2013)

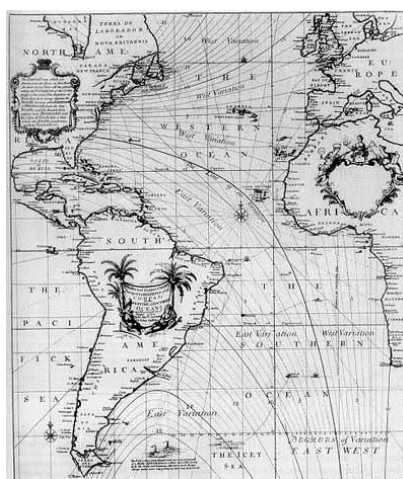


Figura 14: Mapa de declinação magnética da terra (Friendly & Denis, 2013).

- Campanha Russa de Napoleão (Minard)-XIX século

Exemplo de visualização multidimensional, representando a campanha Russa de Napoleão em 1861 criado por Charles Minard (Spence, 2007). A visualização apresenta seis (6) dimensões: latitude e longitude, número de homens do exército, direção da marcha do exército, data e temperatura.

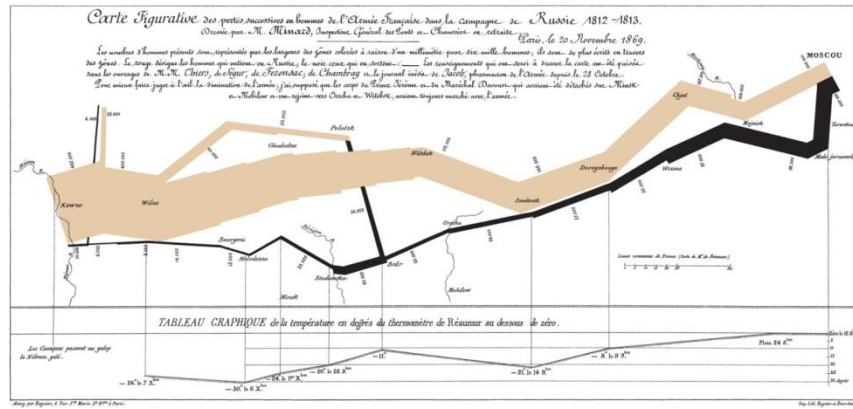


Figura 15: Mapa de Minnard sobre campanha de Napoleão à Rússia (Spence, 2007).

- A epidemia cólera em Londres (Dr. Snow) - século XIX

Um exemplo de visualização da informação apoiando descobertas científicas é o mapa criado por John Snow em 1854 para representar uma epidemia de cólera, e auxiliar no controle da mesma. Uma visão geral sob o mapa demonstra uma alta concentração de morte por cólera em torno da bomba de água da Broad Street. Com o fechamento da referida bomba de água a epidemia de cólera cessou. (Spence, 2007)



Figura 16: Representação de epidemia de cólera em Londres em 1854 (Spence, 2007).

Exemplo de visualizações mais modernas apoiadas por computador

- Visualização de Notícias

Newsmap (Ong, Chen, Sung, & Zhu, 2005) é uma aplicação que reflete as constantes mudanças de informações e seu número de acessos no Google News. O tamanho dos blocos é definido pela popularidade das notícias naquele momento.



Figura 17: Mapa de notícias. (<http://newsmap.jp>)

- Visualização de dados

O visualizador Web HTML DOM (Aharef, 2013) cria representações visuais baseadas em grafos para estrutura de websites. O layout do grafo é dependente da quantidade de links, tabelas, tags div, imagens, formulários e outras tags. Como exemplo foi utilizado o site da Companhia Docas do Pará (<http://www.cdp.com.br>). As cores representam: azul para links, vermelho para tags de tabelas, verde para tag DIV, violeta para imagens, amarelo para formulários, laranja para quebras de linha e citações, preto para tag HTML e nó raiz, e cinza para outras tags. (Figura 18)

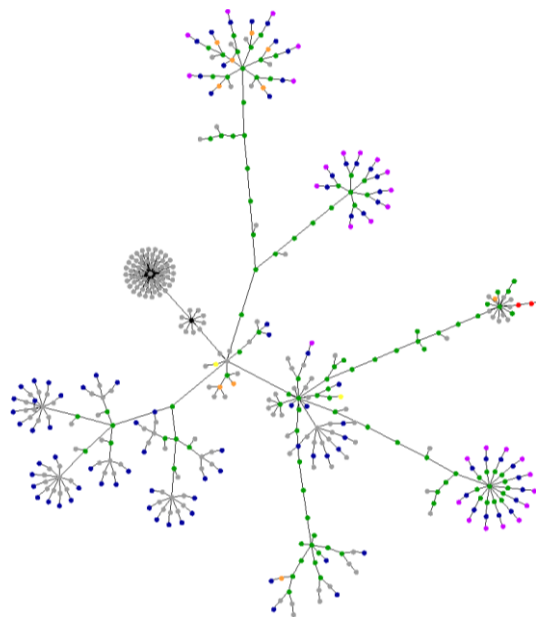


Figura 18: Estrutura de website representada por um gráfico.

- Visualizando de Conexões

O grupo de pesquisa de Munterbund desenvolveu uma visualização para representar relacionamentos entre textos similares de capítulos, e entre os capítulos, de um livro(Figura 19).

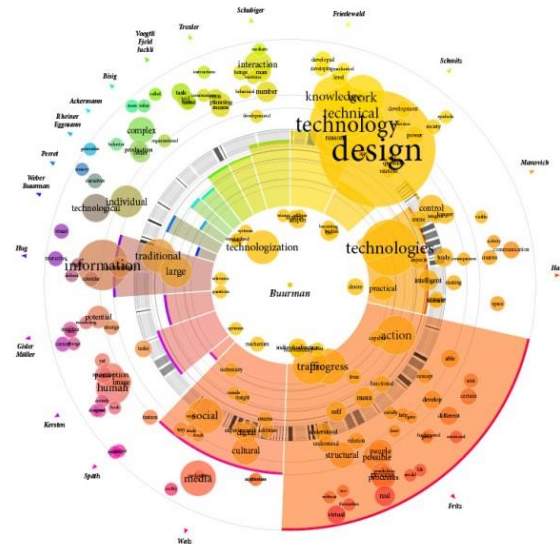


Figura 19: Visualização que representa hierarquia e relacionamentos (Rembold & Späth, 2013).

- Visualização de Estatísticas Criminais

Utilização de visualizações tridimensionais relacionadas a mapas geográficos para visualização e análise de dados. As Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 estão relacionadas à cidade de São Francisco – Califórnia – EUA, e representam as estatísticas sobre prostituição, narcóticos, vandalismo e roubo de carros respectivamente, considerando-se a informação geográfica da cidade.

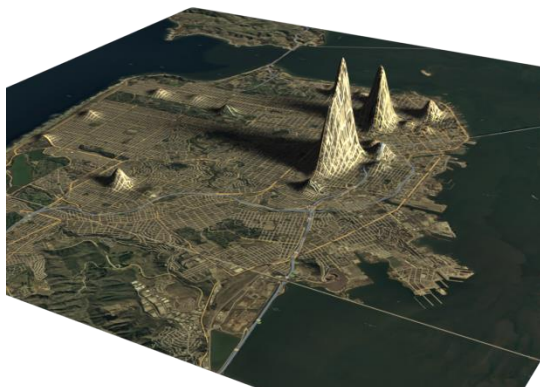


Figura 20: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à prostituição em São Francisco (EUA).

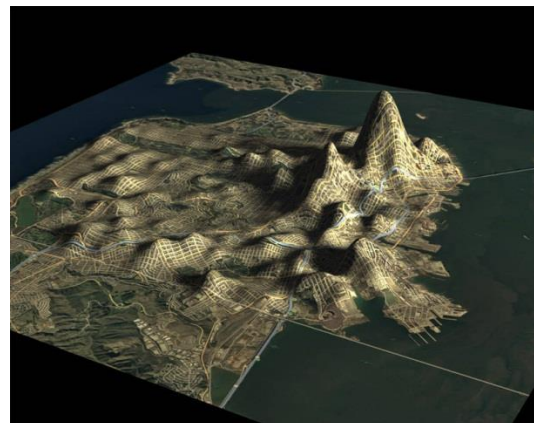


Figura 21: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à narcóticos em São Francisco (EUA).

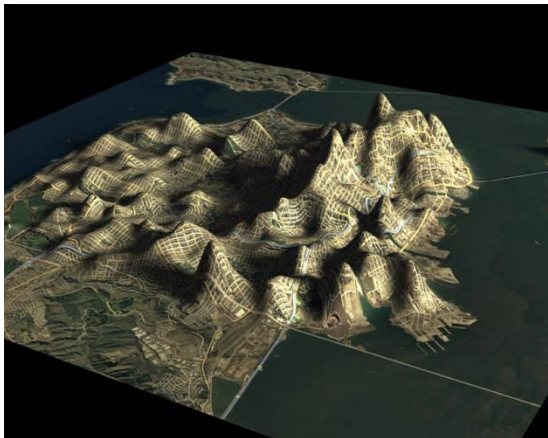


Figura 22: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à vandalismos em São Francisco (EUA).

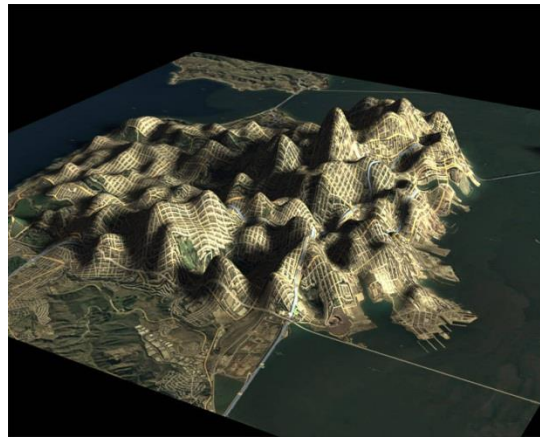


Figura 23: Mapa 3D das estatísticas de crimes relacionados à roubo de carros em São Francisco (EUA).

3. Realidade Aumentada

3.1. Introdução a Realidade Aumentada

Para muitos pesquisadores a Realidade Virtual (RV) é uma nova interface de interação avançada, sintética, que busca utilizar ao máximo os sentidos do usuário, objetivando uma experiência mais realística possível (Tori & Kirner, 2006). Já a Realidade Aumentada (RA) é uma nova forma de melhor compreender o contexto onde usuário está inserido, através da adição novas informações, em diversos formatos: texto, som, imagem 2D e 3D, vídeo, etc, sincronizados ao ambiente real (Kirner & Tori, 2006).

Existem muitas definições para Realidade Aumentada, uma definição mais comum de RA é apresenta-la como é um ambiente que envolve tanto realidade virtual (objetos virtuais) como elementos do mundo real, criando um ambiente misto, ou misturado, em tempo real. Outras definições apresentam a RA como um caso especial da RV, outras dizem que a RA é um conceito mais geral e que RV é vista como um caso especial de RA. O fato é que em contraste com a realidade virtual tradicional, a Realidade Aumentada não suprime completamente o ambiente real, ao invés disso faz com que ele possua um papel dominante no ambiente de RA (Bimber & Raskar, 2005). Há ainda aqueles que estudam a Realidade Aumentada como uma particularização de uma área mais abrangente, conhecida como Realidade Misturada (RM). Segundo (Milgram & Kishino, 1994) a RM é composta pela Realidade Aumentada e pela Virtualidade Aumentada (VA) (Figura 24). Na Virtualidade Aumentada o ambiente virtual é enriquecido com objetos reais, prevalecendo nesse contexto o virtual, enquanto que na RA o ambiente real é enriquecido com objetos virtuais, prevalecendo nesse contexto o real. A Realidade misturada é a junção dos conceitos de RA e VA, possibilitando um melhor equilíbrio e uma melhor complementação dos ambientes.

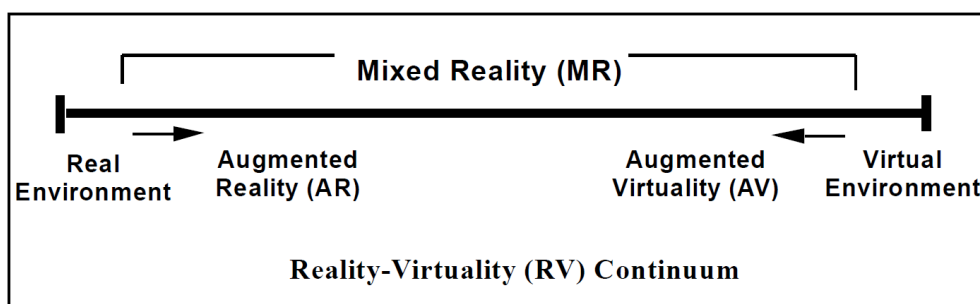


Figura 24: Continuum Realidade-Virtualidade de Milgram (Milgram & Kishino, 1994).

Azuma (Azuma, Baillot, Behringer, & Feiner, 2001) define a Realidade Aumentada como um sistema que:

- Combina elementos virtuais com o ambiente real;
- É interativa e em tempo real;
- Registra (alinha) objetos reais e virtuais.

Existem vários sistemas de manipulação da Realidade Aumentada para plataformas desktops e dispositivos móveis. As aplicações de RA são encontradas nas mais diversas áreas: educacionais, jogos, física, geologia, engenharia, medicina, entretenimento, turismo, etc, principalmente para plataforma *desktop*. As aplicações para plataforma de dispositivos móveis ainda são recentes, apoiada pelo surgimento de *tablets* e *smartphones*, que apresentam como características principais tamanhos de dispositivos pequenos com bom poder de processamento, facilitando a mobilidade, sem perder acesso a informação ou serviços, como e-mail, redes sociais, etc.

3.2. Principais Características de um Sistema de Realidade Aumentada

Um dos maiores desafios da Realidade Aumentada é a integração correta e consistente do objeto virtual ao mundo real, esse processo é denominado registro. Por exemplo, para conseguir um registro para um usuário em movimento é necessário um sistema que continuamente determine a posição do usuário dentro do ambiente. Este cálculo contínuo da nova posição do usuário é denominado rastreamento (Figura 25). (Bimber & Raskar, 2005).

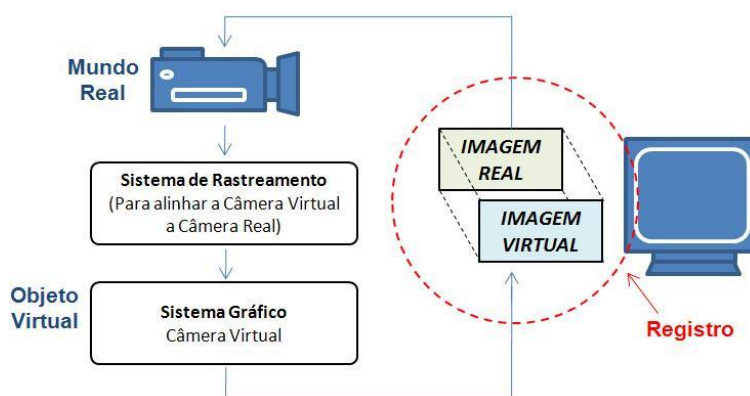


Figura 25: Cenário típico de um ambiente de Realidade Aumentada (Bimber & Raskar, 2005) adaptado por (Carmo R. M., 2007).

O registro, o rastreamento e a renderização em tempo real dos objetos reais e virtuais são os desafios fundamentais mais pesquisados em Realidade Aumentada, pois essas tecnologias

são essenciais para um sistema típico de Realidade Aumentada (Carmo R. M., 2007). Um sistema típico de RA é basicamente composto por (Bimber & Raskar, 2005) (Figura 26):

- Dispositivos de *Display* (Apresentação);
- Dispositivos de *Tracking* (Rastreamento);
- Um Sistema Gráfico para gerar Objetos Virtuais (renderização);
- Um Sistema que misture os mundos.

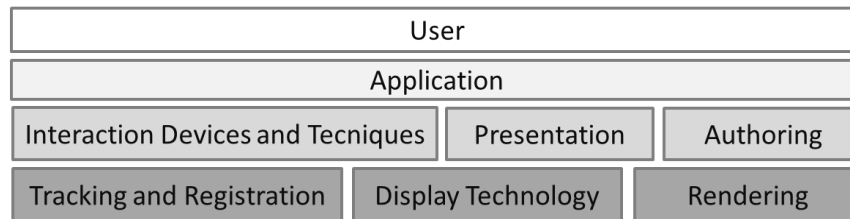


Figura 26: Principais componentes de um sistema de RA. (Bimber & Raskar, 2005)

A seguir serão comentadas as principais componentes de um sistema RA no contexto de utilização de dispositivos móveis.

3.2.1. Dispositivos de Apresentação (Display).

Dispositivos de visualização de Realidade Aumentada são sistemas para a formação de imagens, compostos por componentes óticos, eletrônicos e mecânicos que geram imagens em algum lugar entre o campo de visão do observador e o objeto aumentado. Dependendo da tecnologia ótica utilizada, a imagem pode ser formada em um plano ou esféricas (Figura 27).

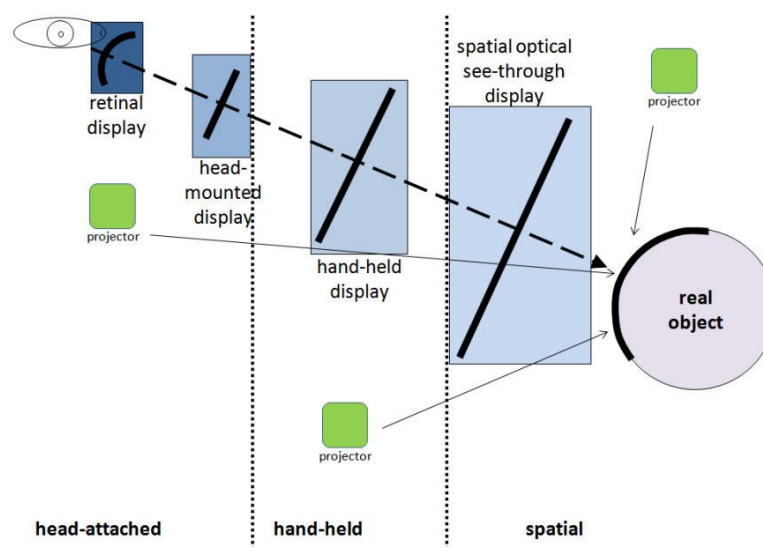


Figura 27: Geração de imagens em displays de RA. (Bimber & Raskar, 2005)

Os tipos de dispositivos de RA para visualização *Head-attached Displays*, *Retinal Displays*, *Head-Mounted Displays* e *Head-Mounted Projectors* podem ser classificados como *wearable devices*. *Retinal displays*, e alguns projetores baseados em aproximação, produzem imagens curvas, porém a maioria gera imagens planas.

A Figura 28 apresenta uma classificação em relação aos tipos de saídas para usuários, e as tecnologias que suportam esses tipos de saída.

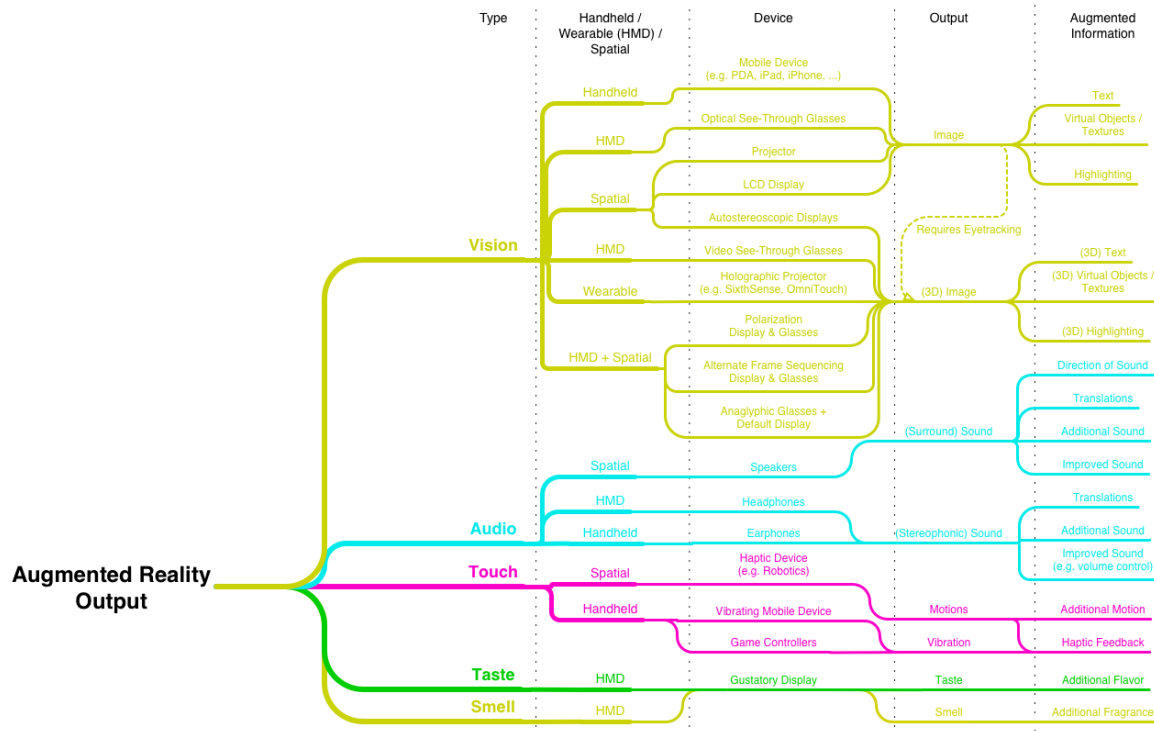


Figura 28: Taxionomia de Saída para sistemas de Realidade Aumentada (Gerard, 2011).

3.2.1.1. Hand-Held Displays.

Exemplos convencionais de *Hand-Held Displays*, como *smartphones* e *tablets*, geram imagens dentro do alcance do braço do usuário. As características de processamento, memória, display e tecnologia de interação em um único dispositivo, possuindo também a vantagem de serem dispositivos móveis e sem fio. O conceito de Vídeo *See-Through* é o mais utilizado para esses dispositivos. Eles possuem câmeras de vídeo integradas que capturam a imagem em tempo real do ambiente. A essas imagens são sobrepostos os objetos aumentados e depois são mostradas ao usuário (Figura 29) (Carmo R. M., 2007).



Figura 29: Aplicação de RA para turismo rodando em um Iphone; (a) parlamento alemão (sobreposição de imagem aumentada) (b) A Opera de Sidney (informações aumentadas). (Endigy, 2011)

3.2.2. Dispositivos de Rastreamento (Tracking).

Um sistema de rastreamento móvel é uma implementação em *hardware/software*, onde a posição e a orientação do usuário na cena são comunicadas ao computador, que ajusta as imagens mostradas de acordo com as mudanças de localização do usuário. A Figura 30 apresenta uma taxonomia para tecnologias de rastreamentos.

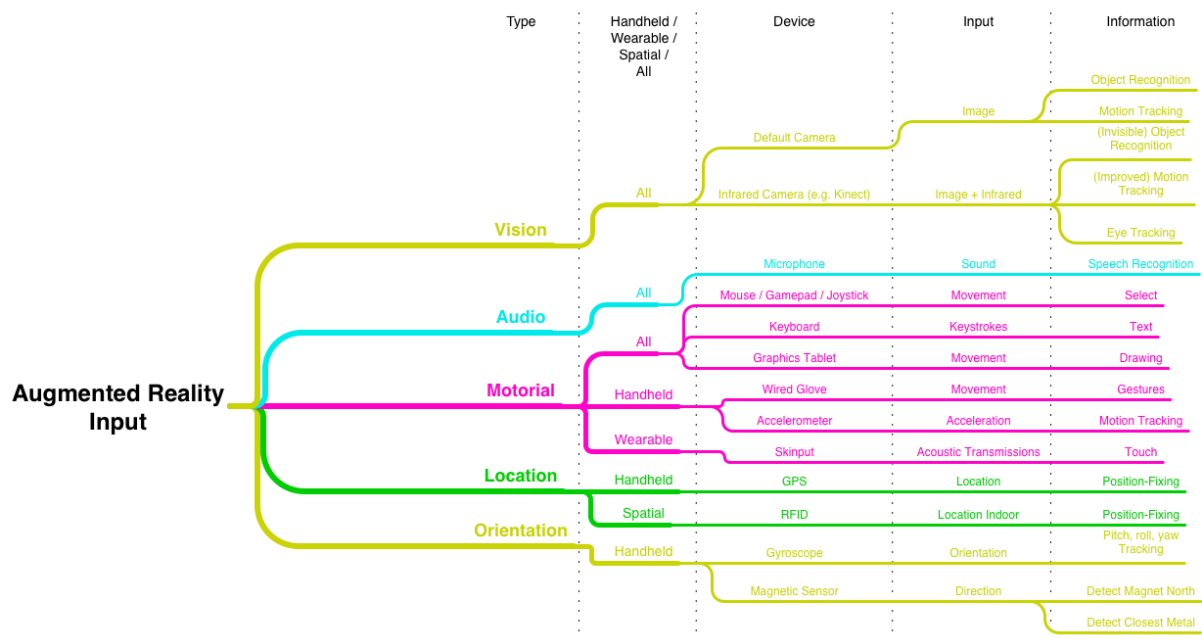


Figura 30: Taxinomia de Entradas para sistemas de Realidade Aumentada. (Gerard, 2011).

Algumas tecnologias de rastreamento são descritas por Azuma (Azuma, et al., 1998). Essas tecnologias serão apresentadas seguir:

3.2.2.1. Tecnologia Óptica

Uma das técnicas utilizadas para rastreamento em RA é a visão computacional, que extrai informações do ambiente real, em muitos casos, de símbolos inseridos no mesmo, denominados marcadores fiduciais. Uma vez que esses símbolos ou marcadores são identificados é possível calcular posição e orientação do dispositivo do usuário. As características dessa abordagem apresentam velocidade de resposta muito rápida, porém esses sistemas são limitados pelo ângulo de visão do observador, além de sofrerem interferência pela luminosidade do ambiente.

Dentre as diversas bibliotecas de visão computacional, a OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) (Bradsky, Pisarevsky, & Bouguet, 2006) tem se destacado em função de suas características de multiplataforma, ser totalmente livre para uso acadêmico e comercial, e possuir mais de 350 algoritmos para visão computacional incluindo filtros de imagem, calibração de câmera, reconhecimento de objetos, análise estrutural e outros. O OpenCV possui módulos de Processamento de Imagens e Vídeo I/O, Estrutura de dados, Álgebra Linear, GUI (Interface Gráfica do Usuário) básica com sistema de janelas independentes, controle de mouse e teclado, etc. A biblioteca OpenCV foi desenvolvida nas linguagens de programação C/C++, mas também há suporte a programadores que utilizem Java, Python e Visual Basic e desejam incorporar a biblioteca a seus aplicativos. Atualmente esta na versão 2.0.

3.2.2.2. Tecnologias por Satélite.

A utilização do GPS (*Global Positioning System*) como tecnologias de rastreamento em ambientes de RA possibilita calcular a posição tridimensional do dispositivo do usuário, e cobertura global. Contudo, não consegue detectar a orientação dos objetos, possui uma taxa de atualização muito baixa e necessita estar em campos abertos, pois seu sinal é comumente bloqueado em áreas urbanas, cânions, etc. (Carmo R. M., 2007)

3.2.3. Sistemas Gráficos

Os sistemas gráficos são essenciais para a Realidade Aumentada, pois são os responsáveis pela construção dos objetos virtuais. O sistema gráfico ideal é aquele que consegue gerar objetos complexos, verossímeis aos reais, com o menor custo computacional possível. A seguir será apresentado brevemente o sistema gráfico mais utilizado hoje em dia.

3.2.3.1. OpenGL (Open Graphics Library).

OpenGL é uma especificação aberta e multiplataforma de uma API gráfica para modelagem bidimensional (2D) e tridimensional (3D), extremamente portátil e rápida. É possível criar cenas 3D interativas e cenas 3D com um alto grau de realismo. Possui excelente performance, uma vez que incorpora vários algoritmos otimizados, incluindo o desenho de primitivas gráficas, o mapeamento de texturas e outros efeitos especiais (Cohen & Manssour, 2006).

A OpenGL *for Embedded Systems* (OpenGL ES) (Figura 31) é um subconjunto da API gráfica do OpenGL 3D, foi projetada para sistemas embarcados tais como dispositivos móveis, *smartphones* e *tablets*, e plataformas de videogames. Não há GLUT ou GLU encontradas juntamente com a API do OpenGL, a GLUT é uma biblioteca de funcionalidades para OpenGL cujo principal objetivo é a abstração do sistema operacional fazendo com que os aplicativos sejam multiplataforma, a GLU (OpenGL Utility Library) é uma biblioteca de computação gráfica utilizada em conjunto com OpenGL (Lipchak, 2012)

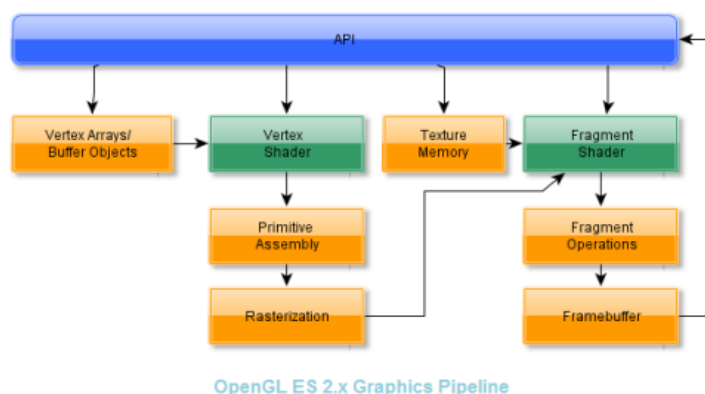


Figura 31: Pipeline do OpenGL ES 2.X (BadaDev, 2010).

Há várias versões de especificação do OpenGL ES. A OpenGL ES 1.0 foi definida tendo como base a especificação OpenGL 1.3, a OpenGL ES 1.1 teve como base a especificação OpenGL 1.5, e a OpenGL ES 2.0 teve como base a especificação OpenGL 2.0.

Exemplo de alguns implementadores da especificação da OpenGL ES 2.X: Apple, Inc., QUALCOMM, ARM, Intel, Marvell, NVIDIA, Creative Technology Ltd, MediaTek Inc, NOKIA OYJ, Digital Media Professionals, etc. (Khronos, 2012)

3.2.4. Sistemas de Mistura de Mundos.

É o software que realiza o registro entre o mundo real e os objetos virtuais, normalmente são organizados em forma de bibliotecas. A maioria dessas bibliotecas utiliza técnicas de visão computacional integradas, tornando-as “pacotes” de RA pronto para serem implementados. A mais conhecida dessas bibliotecas é o ARToolKit (Kato & Billinghurst, 1999).

3.2.4.1. ARToolkit (Augmented Reality ToolKit).

Será realizada uma breve descrição do funcionamento do ARToolkit, que é uma biblioteca em linguagem C para desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada para desktop, uma vez que as aplicações de RA em dispositivos móveis possuem funcionamento semelhante. Destaca-se ainda que há versões do ARToolkit para plataformas de dispositivos móveis, tais como ARToolkitPlus (Wagner & Schmalstieg, 2007) (Henrysson, Billinghurst, & Ollila, 2005), AndAR (Android ARToolkit) (Domhan, 2011), ARtag (Fiala, 2004).

O ARToolkit utiliza técnicas de visão computacional para calcular a posição no espaço real da câmera e sua orientação em relação aos cartões marcadores (símbolos ou marcadores fiduciais), permitindo ao programador sobrepor objetos virtuais aos cartões.

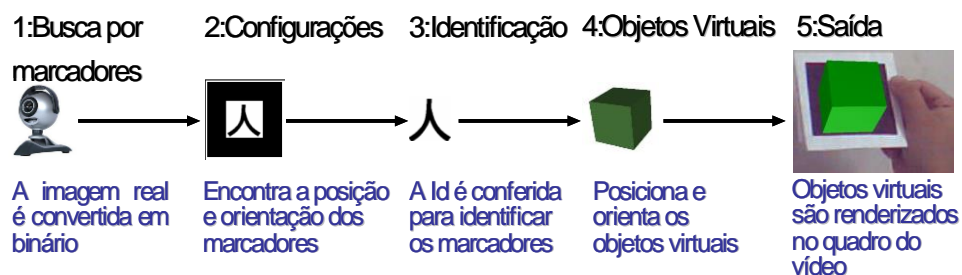


Figura 32: Etapas da Execução do ARToolkit (Meiguins, et al., 2006).

A Figura 32 ilustra um ciclo básico da execução do ARToolkit. Inicialmente é capturada uma imagem do mundo real, onde são aplicadas técnicas de processamento de imagem, e a mesma é transformada em uma imagem binária. O segundo passo é a identificação no marcador presente na imagem, para o cálculo da posição e orientação do dispositivo em relação ao marcador. São utilizados algoritmos baseados em redes neurais para um

reconhecimento do marcador, após essa o ARToolkit calcula o ponto exato onde o objeto virtual deve ocupar no mundo real e realiza a sobreposição das imagens retornando ao usuário a combinação visual do mundo real e objeto virtual.

3.3. Histórico da RA Móvel

A história da RA móvel não pode desconsiderar a evolução dos dispositivos móveis, tais como: menores dimensões dos dispositivos, maior poder de processamento, inclusão de câmera, funcionalidade de GPS, telas maiores e com melhor resolução, e possibilidade de acesso a diversos serviços nas nuvens. Contudo, as próximas subseções apresentarão marcos específicos da evolução da RA móvel, voltadas pra conceitos, softwares e soluções, que utilizaram as evoluções dos dispositivos móveis, são eles:

Em 1994 Milgram e Kishino (Milgram & Kishino, 1994) definiram o contínuo Realidade-Virtualidade. Em 1996, Remikoto (Rekimoto, 1996) desenvolveu um dos primeiros sistemas de marcadores fiduciais para rastrear orientação da câmera. E, Azuma (Azuma R. T., 1997) desenvolveu a definição e realidade aumentada mais utilizada na comunidade científica.

Em 1997, Feiner (Feiner, MacIntyre, Hollerer, & Webster, 1997) apresentou uma solução que envolvia notebook integrado com um GPS em uma mochila, óculos de RA do *tipo see-through* integrado um rastreador de orientação, um comunicador por rádio para acesso aos conteúdos de RA, e um *hand-held* para interação com os conteúdos aumentado Figura 33(a). A Figura 33(b) apresenta a visão do usuário no momento da interação.



(a)



(b)

Figura 33: uma das primeiras soluções de RA móvel. (Feiner, MacIntyre, Hollerer, & Webster, 1997)

Em 1999 Hirokazu Kato and Mark Billinghurst apresentaram o ARToolKit, uma biblioteca para rastreamento de posição com seis graus de liberdade, utilizando marcadores fiduciais e algoritmos de reconhecimento (Kato & Billinghurst, 1999).

Em 2001 surgiu uma das primeiras aplicações de RA para dispositivos móveis. Um dispositivo informa a posição das pessoas no prédio, e aplicação apresenta a distância delas para usuário através da tabela do *hand-held*, também há reconhecimento de objetos (Figura 34).

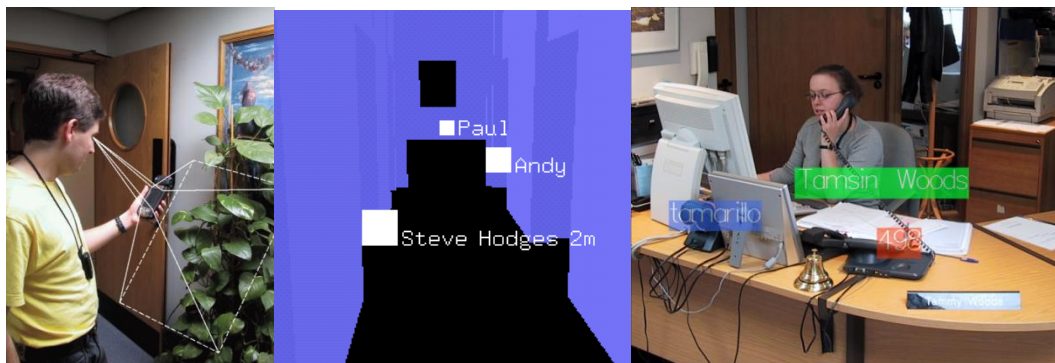


Figura 34: Uma das primeiras aplicações de RA em dispositivos móveis.

Em 2001, o projeto ARCHEOGUIDE já aplicou dispositivos móveis para visualizações aumentadas (Vlahakis, et al., 2001). E o projeto *Mobile AR Restaurant Guide*, apresentou conteúdo de RA em ambiente outdoor (Figura 35) (Bell, Feiner, & Höllerer, 2001).



Figura 35: Aplicação RA outdoor

Em 2003, foi apresentado o projeto iLamps (Raskar, van Baar, Beardsley, Willwacher, & Rao, 2003), que desenvolveu o primeiro protótipo para criação de objetos aumentados utilizando um sistema de projeção móvel.



Figura 36: projeto iLamps . (Raskar, van Baar, Beardsley, Willwacher, & Rao, 2003).

Também surgiram os primeiros jogos comerciais de RA para dispositivos móveis (Eden, 2003). E os sistemas de autoria para RA em dispositivos móveis (Guyen & Feiner, 2003).

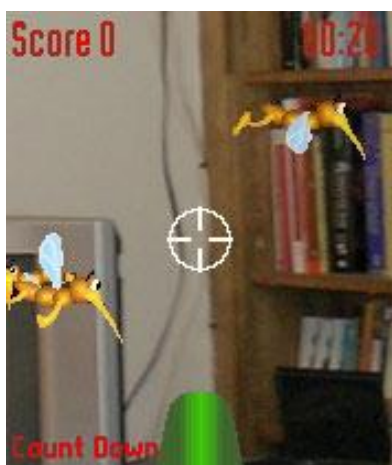


Figura 37: Jogo Mozzies de RA premiado em 2003 (Eden, 2003).



Figura 38: Celular identificando marcadores e inserindo objeto virtual na cena real. (Möhring, Lessig, & Bimber, 2004).

Em 2004 surgiram às primeiras aplicações de RA em celulares que interpretavam marcadores fiduciais para calcular a orientação da câmera do dispositivo (Figura 38) (Möhring, Lessig, & Bimber, 2004).

Em 2006, já surgiam as primeiras aplicação de RA *multisensor* para dispositivos móveis, com GPS giroscópio, etc. (Reitmayr & Drummond, 2006).

A partir de 2008, começaram a surgir os principais *browsers* para RA em dispositivos móveis, destacam-se: Metaio/Junaio (Metaio, 2012), Wikitude (Wikitude, 2012), Layar (Layar, 2012), etc. Bem como para plataforma iOS e Android.



Figura 39: Exemplo de maquete aumentada com Junaio (Junaio, 2012).

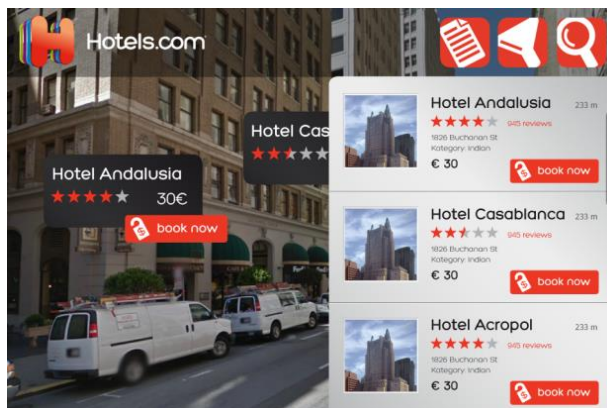


Figura 40: Conteúdo do Wikitude para busca de hotéis (Wikitude, 2012).

3.4. Aplicações de RA Móvel

Segue alguns exemplos das aplicações de RA Móvel, conforme sua finalidade:

- Guia online em museu:

Aplicações como a do Museu Americano de Historia Natural (Figura 41) onde é possível localizar e identificar determinadas peças, obras de arte ou no caso um replica de esqueleto que podem possibilitar uma maior interação entre o público e as obras, a acessibilidade através de recursos multimídias e recursos de buscas em enciclopédias digitais.



Figura 41: Guia online em museu (Vanhemert, 2010)

- Suporte a procedimento cirúrgico:

Em procedimentos pré-operatórios o estudo de imagens de exames são de extrema importância, pois as mesmas permitem que os cirurgiões tenham a visão da anatomia interna do paciente e que estes possam planejar a cirurgia da melhor forma possível. A maioria dos procedimentos cirúrgicos são guiados a partir da análise dessas imagens.

Aplicações de RA (Figura 42) podem ser utilizadas por profissionais de medicina para visualizar exames, como por exemplo, tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultra-som e raio-X da anatomia interna do corpo humano são essenciais para a avaliação do estado clínico de um paciente.

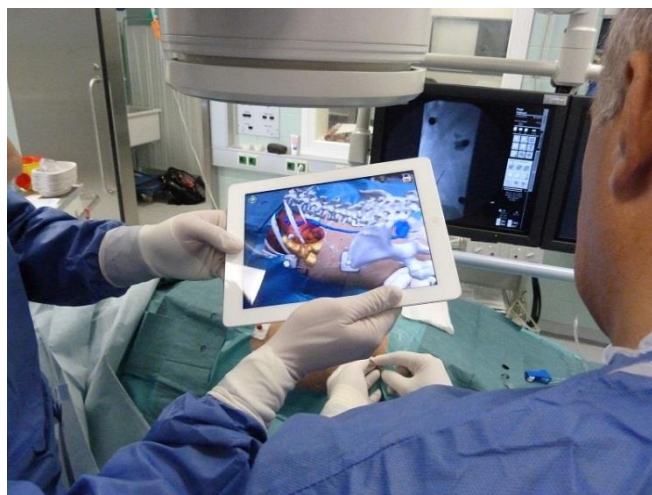


Figura 42: Suporte a procedimento cirúrgico (Bichlmeier, 2012)

- Jogos:

Aplicativo para vários jogadores simultâneos possibilitam interação via rede wi-fi (Figura 43).



Figura 43: Ardefender – Jogo multiplayer via wi-fi. (Bulkypix, 2013).

- Informação e localização:

A aplicação “New York Nearest Subway” permite ao usuário identificar a estação de metrô em New York mais próximo do usuário, identificando as placas de endereço das ruas (Figura 44) ou informações relevantes ao local identificado pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) e reconhecimento de padrão da imagem (Figura 45).

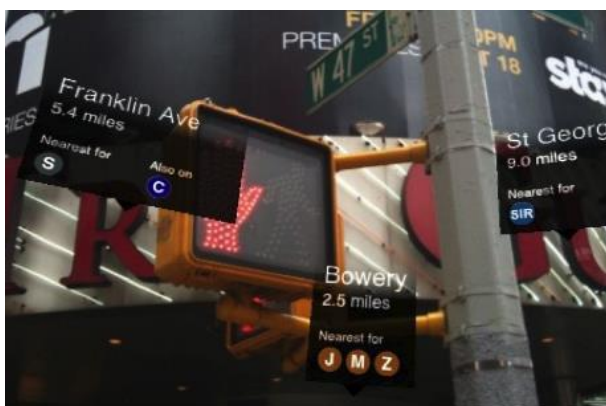


Figura 44: Aplicação localização de estações de metrô. (Acrossair, 2010)

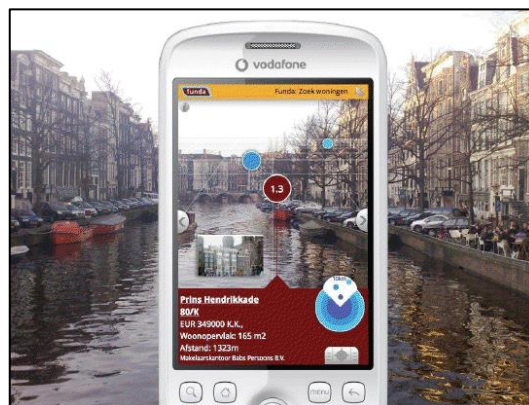


Figura 45: Aplicação com informações do local. (Blog, 2011).

- Educação:

Aplicação demonstrada no Centro de Ciência Reuben H. Fleet em San Diego, mostra uma visualização dos campos magnéticos de um ímã através de um dispositivo móvel. Movendo o dispositivo em torno do ímã, observa-se as linhas do campo magnético de vários ângulos (Figura 46).



Figura 46: (Gervautz & Schmalstieg, 2012)

- Engenharia:

Aplicação de RA móvel para manutenção da rede de água e gás, onde se pode verificar virtualmente o trajeto dos dutos e suas características. (Figura 47).

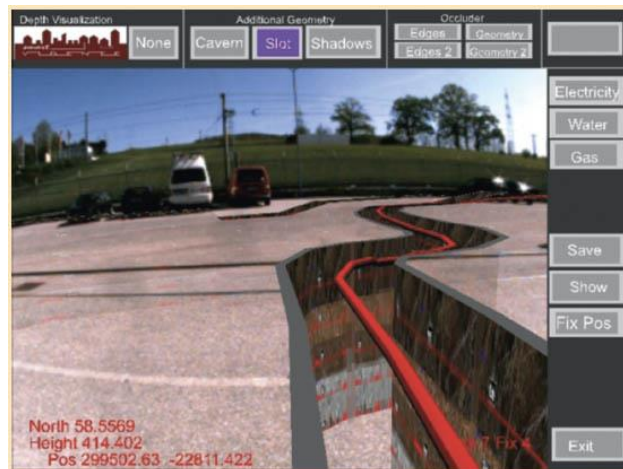


Figura 47: dutos virtuais. (Gervautz & Schmalstieg, 2012)

- Entretenimento, publicidade e divulgação interativa e imersiva:

A aplicação da loja departamentos Debenhams é um aplicativo para divulgar novas campanhas publicitárias dos seus produtos, onde é possível experimentar virtualmente as roupas em promoção. (Figura 48).



Figura 48: Publicidade (Press, 2011)

4. Trabalhos e Tecnologias Relacionados

4.1. Modelo de Referência e Arquiteturas para RA para dispositivos móveis

Reicher (Reicher, 2004) propôs um modelo de referência (Figura 49) para comparar diferentes frameworks de realidade aumentada, utilizando seis subsistemas: Aplicação, Apresentação, Contexto, Interação, Modelo do Mundo e Rastreamento.

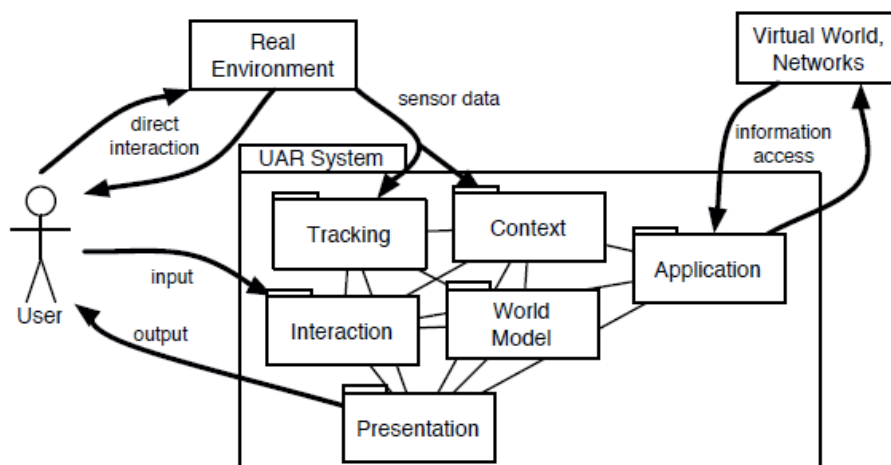


Figura 49: Modelo de referência para sistemas de realidade aumentada (Reicher, 2004).

Butchart (Butchart, 2011) apresenta breve comparação de estilos de arquiteturas para aplicações de realidade aumentada para dispositivos móveis, utilizando browser de RA e SDKs de desenvolvimento. Utiliza o modelo de referência de (Reicher, 2004) para classificar algumas tipo de arquiteturas, são elas: Gateway, Web e Standalone.

Arquitetura *GATEWAY* - A característica deste padrão de projeto é necessidade de servidor web Layar (módulo Plataforma) que média os pedidos do browser para Modelo do Mundo. Por este motivo, este tipo de arquitetura é chamada de *Gateway*. A maioria dos browsers de RA adotam alguma variação deste padrão, principalmente porque a plataforma pode gerar oportunidades de receita. Pequena variação do modelo de referência inclui o reconhecimento de imagem para registro e rastreamento (Figura 50).

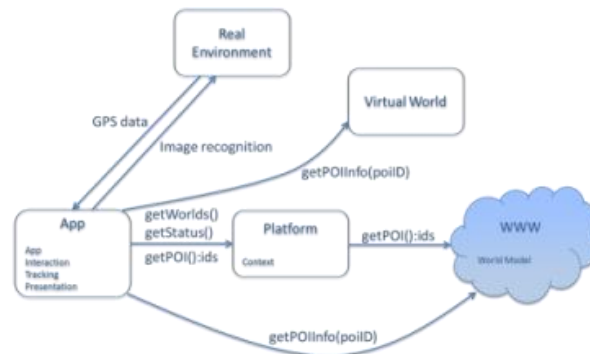


Figura 50: Arquitetura “Gateway” adotada pelo Layar, Junaio , e Wikitude (Butchart, 2011).

Arquitetura Web - É possível eliminar o componente Plataforma de modelo de referência. Neste caso, a aplicação torna-se um navegador RA, com acesso direto a WWW. Esta Arquitetura Web livra o desenvolvedor de qualquer dependência de um provedor de plataforma, mas passa a ser de sua responsabilidade a tarefa de torna os diversos conteúdos visíveis para os usuários e controlar o acesso ao Modelo do Mundo (Figura 51).

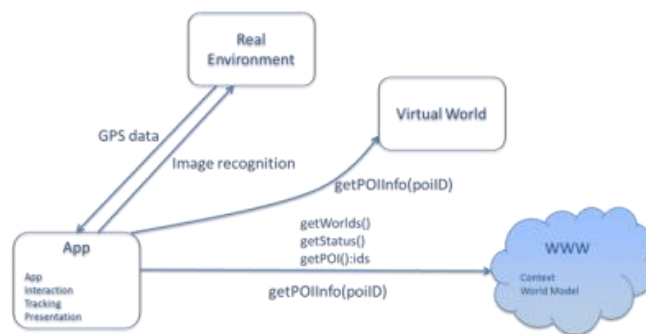


Figura 51: Arquitetura Web para RA móvel (Butchart, 2011)

Arquitetura *Standalone* - apresenta como vantagem a independência do aplicativo em relação a uma conexão como Internet, e o desenvolvedor é livre de quaisquer restrições de plataformas. A desvantagem é que a aplicação tem que ser reinstalada (ou atualizada) se novos dados estiverem disponíveis, e é mais difícil de integrar com outros fornecedores de POI (Figura 52).

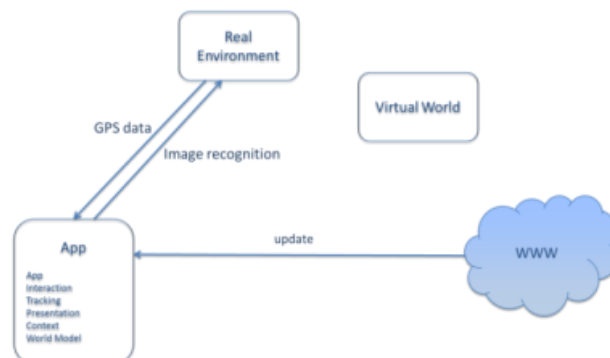


Figura 52: Arquitetura *Standalone* para RA móvel (Butchart, 2011).

4.2. Reconhecimento de Faces

O artigo *Augmented Faces* (Dantone, Bossard, Quack, & van Gool, 2011) apresenta um sistema automático que detecta, reconhece e gera novas informações de uma pessoa através de um dispositivo móvel (Figura 53). O usuário aponta seu dispositivo móvel para pessoa e o sistema inicia o processo de reconhecimento da face da pessoa. O algoritmo de rastreamento insere na tela informações de identificação da pessoa, desta forma criando o ambiente aumentado. O detector de faces é executado no lado cliente, ou seja, no dispositivo móvel, e o reconhecimento da face é executado do lado servidor. OpenCV é utilizado para detecção de faces.

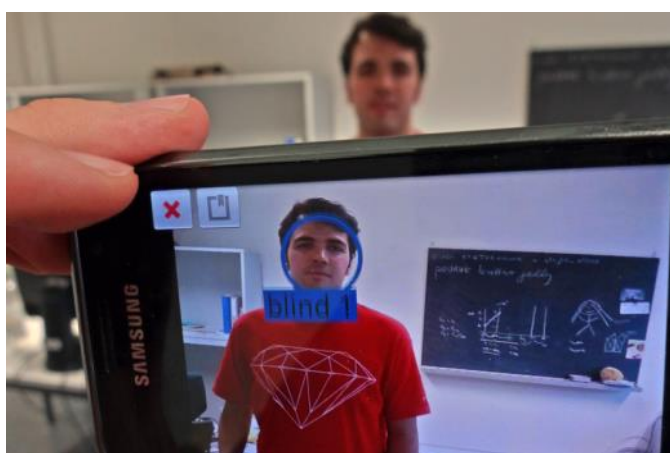


Figura 53: Exemplo de aplicação de RA com reconhecimento de face para dispositivos móveis (Dantone, Bossard, Quack, & van Gool, 2011).

4.3. PRISMA

PRISMA é uma ferramenta de visualização da informação que explora o uso de múltiplas visões coordenadas (Godinho, et al., 2007) (Figura 54), e foi desenvolvido na linguagem Java. A versão web do PRISMA utilizou padrões e tecnologias desenvolvimento padrões da web, como Ajax e Java (Almeida, Meiguins, Gonçalves, & Lourenço, 2009). As tecnologias utilizados do lado cliente incluíram HTML, CSS e Javascript para manipulação e geração automática da interface. Ajax (Asynchronous Javascript and XML) e JSON (Javascript Object Notation) foram utilizados para comunicação cliente-servidor. O servidor gera as visões de dados em resposta uma interação do usuário, converte as visões de dados em imagem e transfere a imagem para cliente.

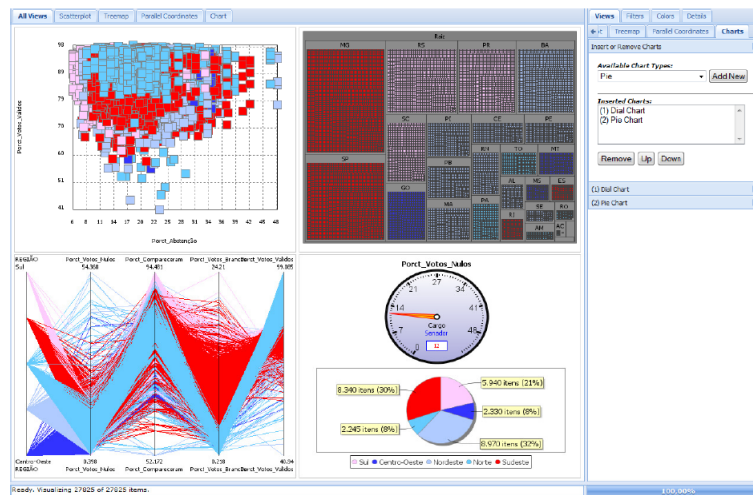


Figura 54: Interface do cliente PRISMA versão web (Almeida, Meiguins, Gonçalves, & Lourenço, 2009).

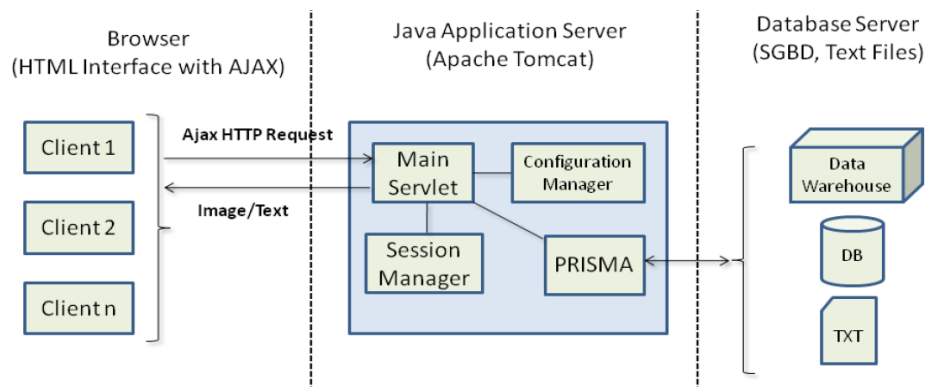


Figura 55: Arquitetura PRISMA web (Almeida, Meiguins, Gonçalves, & Lourenço, 2009).

4.4. Aplicação de VI para ambiente RA

Carmo (Carmo, et al., 2007) apresentou uma aplicação de VI em um ambiente de RA. A aplicação fazia uso do conceito de múltiplas visões de dados coordenadas. Uma versão modificada do ARToolkit foi utilizado para criar o ambiente de RA, e a técnicas de dispersão de dados 3D foi desenvolvida para representa as múltiplas visões de dados (Figura 56).

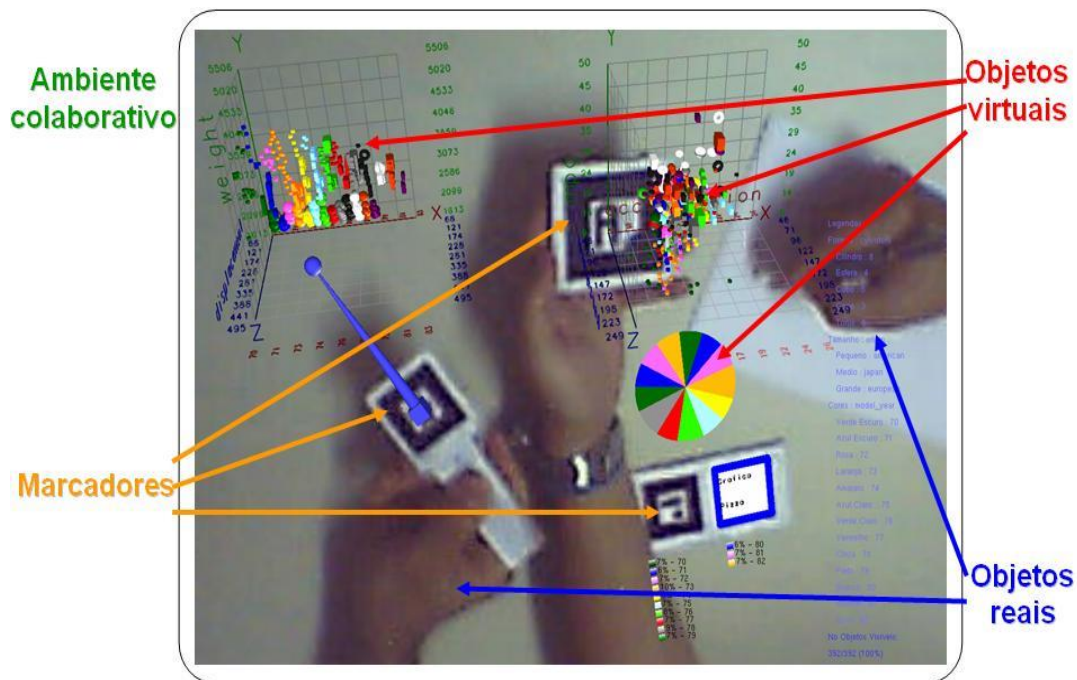


Figura 56: Aplicação de VI com múltiplas visões de dados em ambiente de RA (Carmo, et al., 2007)

4.5. Aplicação de VI para ambiente RA móvel

A ferramenta mARGraphy (Figura 57) utiliza o conceito de reconhecimento de regiões de um mapa tradicional, com reconhecimento de objetos e técnicas de rastreamento em uma plataforma móvel. Após o reconhecimento com sucesso informações dinâmicas são adicionadas sobre objeto caracterizando o ambiente de realidade aumentada.



Figura 57: mARGraphy

4.6. OpenCV

A biblioteca OpenCV foi idealizada com o objetivo de tornar a visão computacional acessível a usuários e programadores em áreas tais como: interação humano-computador em tempo real, robótica, etc. Possui mais de 500 funções que estão organizados em cinco grandes grupos: processamento de imagens, análise estrutural, análise de movimento e rastreamento

de objetos; reconhecimento de padrões e calibração de câmera, e reconstrução 3D. Foi desenvolvida nas linguagens de programação C/C++, com suporte a programadores Java, Python e Visual Basic através de biblioteca. Para a detecção e reconhecimento é necessária a utilização da versão 2.4 ou superior.

Reconhecimento de Faces no OpenCV possui as seguintes etapas:

- Detecção de face: é o processo de localizar uma face ou mais faces em uma imagem;
- Pré-processamento da face: é o processo de ajustar uma imagem para compara-las a outras imagens, geralmente as imagens são transformadas para uma escala de cinza.
- Coleta e aprendizado: é o processo de salvar várias faces pré-processadas (de cada pessoa a ser reconhecida) e aprender como reconhecê-la, através de características como distâncias entre os olhos, distância entre a boca e os olhos, etc;
- Reconhecimento da face: é o processo de armazenar várias faces pré-processadas de cada pessoa a ser reconhecida para busca de uma face específica.

Alguns fatores influenciam na qualidade do resultado de reconhecimento de faces, são elas:

- Iluminação;
- Direção de iluminação e sombras;
- Orientação do rosto;
- O conjunto de dados usado para o treinamento é muito importante.

O OpenCV disponibiliza reconhecimento facial através dos seguintes algoritmos:

- Eigenfaces: calcula um conjunto de imagens especiais (eigenfaces) e relações de mistura (eigenvalues), os quais, quando combinados de formas diferentes podem gerar cada uma das imagens no conjunto de treino.
- Fisherfaces: o princípio básico do Fisherface é que em vez de calcular um autovetor especial e autovalor para cada imagem no conjunto de treino, ele só calcula um autovetor e um autovalor para cada pessoa.
- LBPH (Local Binary Patterns Histogram): é um operador de textura simples, mas muito eficiente, que rotula os pixels de uma imagem por limiarização da vizinhança de cada pixel. É robusto quando às variações de iluminação nas imagens e é simples computacionalmente.

5. PRISMA-MAR

5.1. Arquitetura

A arquitetura da aplicação é baseada no modelo cliente-servidor composta por 3 componentes principais: o Servidor PRISMA-MAR, o Cliente PRISMA-MAR e a Fonte de Dados, seguindo o modelo de desenvolvimento Model-View-Controller (MVC) da Engenharia de Software (PRESSMAN, 2006) onde sua principal característica é isolar a lógica da aplicação da interface do usuário, permitindo desenvolver, editar e testar separadamente cada parte.

De maneira sucinta, o Cliente MAR capta informações iniciais inseridas pelo professor (login, senha e turma de alunos) e imagem do aluno para serem enviadas ao Servidor MAR. O Servidor MAR identifica na Fonte de Dados a turma especificada pelo professor para iniciar o processo de reconhecimento facial do aluno, que extrai as informações da imagem do aluno recebida, gerando dados para construção da interface e das visualizações com dados acadêmicos do aluno que serão enviadas de volta ao Cliente MAR para exibição e interação por parte do usuário-professor. Se uma interação requer alteração sobre os dados exibidos o ciclo recomeça, exceto a parte inicial de login. Se há necessidade de obter informações sobre um aluno de outra turma, então todo ciclo se inicia incluindo-se o login. A Figura 58: Visão Macro do Protótipomostra uma visão macro deste processo, já indicando os sub-módulos do Servidor MAR.

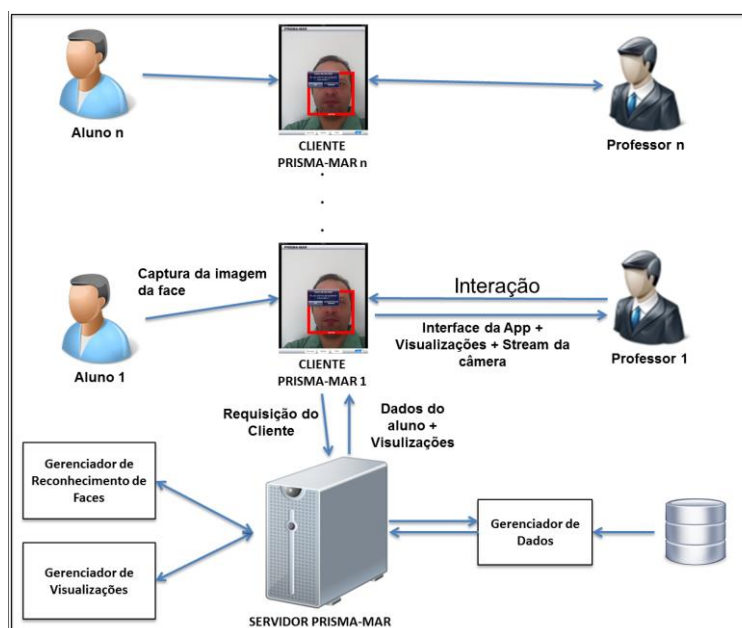


Figura 58: Visão Macro do Protótipo.

A Fonte de Dados pode ser uma fonte local ou acessada via web. O Servidor MAR é capaz de utilizar vários tipos de fontes de dados, de SGBDs (Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados) a arquivos pré-formatados (a exemplo do CSV), uma vez que estas estejam cadastradas no Servidor. Os SGBDs comerciais mais utilizados já possuem mecanismos de conexão implementados no Servidor MAR, bem como para arquivos CSV. A adição de uma fonte diferente de dados (a exemplo de dados gravados documento texto usando um protocolo JSON (*JavaScript Object Notation*) (Crockford, 2012) requer a implementação de uma interface para o Servidor MAR daquele tipo específico de carregamento, não gerando qualquer alteração ou re-implementação no processamento dos mesmos. A priori, a Fonte de Dados não realiza processamento adicional ao prover os dados.

Como uma aplicação cliente-servidor mais tradicional (objetivando deixar o cliente mais leve possível) o PRISMA-MAR delimita suas funcionalidades deixando o processamento de dados e visualizações do lado do servidor, delegando ao cliente as responsabilidades de exibição e interação com os dados. Uma visão detalhada dos módulos cliente e servidor, bem como dos sub-módulos destes, é apresentada nas subseções a seguir.

Em relação aos modelos arquiteturais vistos em (Butchart, 2011), foi utilizada uma abordagem mais próxima a arquitetura Gateway, principalmente em prol de poupar recursos (processamento e memória) do dispositivo móvel cliente e para retirar algumas demandas tecnológicas de implementação (como a lógica de tratamento e conexão com múltiplas bases de dados, lógica de desenho das visualizações, etc.) do cliente, dessa forma, não fazendo com que atualizações nesses tratamentos ou em dados da aplicação requeiram uma nova instalação da aplicação. A escolha desta abordagem arquitetural traz benefícios também ao lado servidor, uma vez que gerou o desenvolvimento de uma nova camada na ferramenta PRISMA para atender o Cliente-MAR, bem como o desenvolvimento de mecanismos de processamento de imagem e tratamento de bases de imagens na ferramenta. As demais abordagens arquiteturais mostradas em (Butchart, 2011) não apenas agregavam demasiada responsabilidade a aplicação rodando no dispositivo móvel, como também apresentavam características que poderiam se tornar impedimentos a escalabilidade da aplicação, principalmente no quesito que concerne volume de dados carregados (considerando o modelo Standalone).

5.1.1. Cliente PRISMA-MAR

O Cliente MAR é uma aplicação móvel que requer as seguintes características do dispositivo:

- Câmera.
- Tela touchscreen.
- Comunicação sem fio.

O Cliente MAR é composto por módulos, como visto na Figura 59: Arquitetura expandida

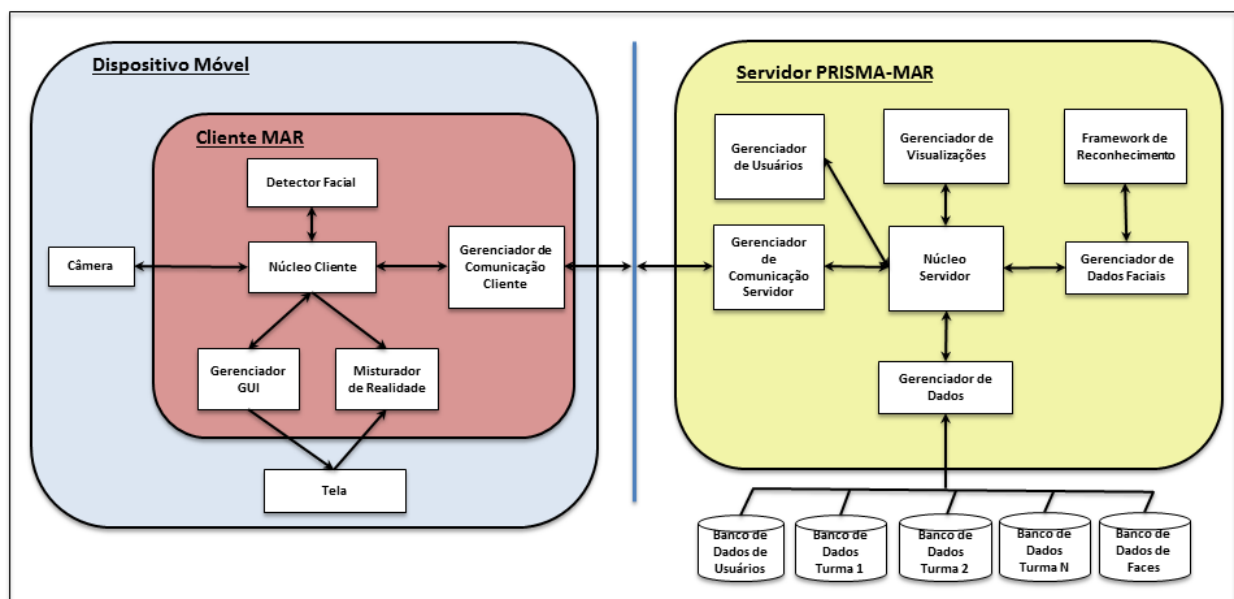


Figura 59: Arquitetura expandida

Os módulos do Cliente-MAR serão descritos brevemente a seguir:

- **Detector Facial:** é um componente embarcado no Cliente MAR, que utiliza o framework CoreImage (Apple, 2012) com o objeto CIDetector, nativo a partir do sistema iOS 5.0. Este framework usa processamento de imagem para encontrar características da face humana, como exemplo: a presença e posição dos olhos e boca. No objeto CIDetector, a classe CIFaceFeature contém as seguintes propriedades listadas abaixo e utilizadas para identificar se uma face está presente no fluxo de entrada da câmera do dispositivo e informar essa condição ao Núcleo Cliente.
 - **hasLeftEyePosition** – Informa se a posição do olho esquerdo esta disponível;
 - **hasRightEyePosition** – Informa se a posição do olho direito esta disponível;

- **hasMouthPosition** – Informa se a posição da boca esta disponível;
- **leftEyePosition** – Informa a posição do olho esquerdo;
- **rightEyePosition** – Informa a posição do olho direito;
- **mouthPosition** – Informa a posição da boca.
- **Gerenciador GUI:** é responsável por construir a interface de usuário com os metadados enviados pelo Núcleo Cliente. Uma vez construída a interface, o Gerenciador GUI passa a tratar as interações do usuário sobre os componentes de interface e informar estas ao Núcleo Cliente.
- **Misturador de Realidade:** é responsável por calcular e ordenar o posicionamento dos componentes para renderização na tela, relacionando os componentes de interface, as visualizações e a imagem oriunda da câmera.
- **Gerenciador de Comunicação Cliente:** é responsável por realizar toda a comunicação com o lado servidor. Ele recebe as requisições do Núcleo Cliente e as codifica no protocolo de comunicação especificado para serem enviadas ao servidor. Ele também recebe as respostas do servidor, as decodifica, e extrai as informações para repassa-las ao Núcleo Cliente.
- **Núcleo Cliente:** é responsável pela ligação entre os demais módulos do Cliente MAR. Ele gerencia o fluxo de informação dentro da aplicação e comanda os demais componentes na realização de suas funções. É o Núcleo Cliente que também controla a utilização da câmera do dispositivo móvel.

5.1.2. Servidor PRISMA-MAR

O Servidor PRISMA-MAR também é composto por diversos módulos, cada qual com suas atribuições para atender as requisições vindas do Cliente MAR. O PRISMA-MAR é uma extensão da ferramenta PRISMA, que é um motor de visualizações com suporte a múltiplas técnicas de visualização de informação, múltiplas fontes de dados e gestão de coordenação entre visões. Cada um dos módulos do Servidor MAR é descrito brevemente a seguir.

- **Gerenciador de Dados:** é responsável por gerenciar as conexões e consultas as diversas fontes de dados que podem ser utilizadas pelas requisições. Para o estudo de caso que será apresentado nas próximas seções, o PRISMA-MAR utiliza quatro fontes de dados, que podem ou não estar no mesmo provedor de dados, são elas: a fonte de autenticação, fonte de faces, fonte da turma de alunos e a fonte de dados individuais. A fonte de autenticação guarda os nomes de usuários, senhas e

permissões de acesso de cada usuário cadastrado no sistema. A fonte de faces contém as imagens das faces para treinamento e reconhecimento no sistema. A fonte da turma de alunos contém informações sobre a turma e os alunos matriculados na mesma. Por fim, a fonte de dados individuais contém os dados dos sujeitos a serem reconhecidos e analisados no sistema. Estas fontes não estão limitadas ao mesmo provedor (e.g. podem estar em diferentes SGBDs) nem ao acesso local das mesmas.

- **Gerenciador de Dados:** é responsável por realizar a interface dos outros módulos com os dados, abstraindo destes a complexidade de tratar as especificidades de cada fonte de dados.
- **Gerenciador de Usuários:** é utilizado pelo Núcleo Servidor para autenticar os usuários do sistema. Ele também assegura que um usuário logado tenha acesso somente aos dados de sua competência.
- **Framework de Reconhecimento:** é um componente externo embarcado no Servidor MAR. Ele é responsável pelo reconhecimento de uma dada face utilizando para isso uma base de dados faciais, em caso de sucesso no reconhecimento, retorna a identificação do usuário identificado.
- **Gerenciador de Dados Faciais:** é módulo responsável por abstrair o serviço de reconhecimento facial, possibilitando a troca futura desse componente externo. É composto por um conjunto de interfaces padrões para o resto do sistema e implementa um tratamento específico para cada mecanismo de reconhecimento que seja utilizado pelo Servidor MAR.
- **Gerenciador de Visualizações:** é uma extensão do PRISMA (Godinho, et al., 2007), pode-se até enxergá-lo como um serviço de geração de visualização de dados. Ele utiliza os dados da fonte de dados individuais para fazer a extração dos dados referentes ao indivíduo analisado, gera uma média do grupo de comparação referente ao indivíduo analisado e gera um novo dataset temporário com registro de apenas 2 item, o indivíduo e a média do grupo. A partir desse novo dataset são geradas as visualizações de visão geral e visões de detalhes. Além de gerar as visualizações, o Gerenciador de Visualizações também encoda essas visualizações em arquivos de imagens, permitindo que posteriormente estes sejam enviados ao Cliente MAR.

- **Gerenciador de Comunicação Servidor:** é análogo ao sua contraparte cliente. É responsável por tratar a comunicação, transformando as requisições cliente em chamadas no Núcleo Servidor e codificando no protocolo de comunicação utilizado o retorno dessas chamadas em resposta para o cliente. É nele também que são distinguidos os tipos de requisições e validades junto ao Gerenciador de Usuários, para isolar as requisições concomitantes de cada usuário.
- **Núcleo Servidor:** é responsável por coordenar a execução do Servidor MAR, servindo também como componente de ligação entre os demais módulos no servidor. As informações entre módulos são trafegadas pelo Núcleo Servidor e associadas a uma sessão de utilizador, garantindo a segurança no acesso as informações quando mais de um usuário inicia a utilização em paralelo.

5.1.3. Fluxo de Dados da Aplicação

Para exemplificar como funciona a troca de informações dentro da aplicação, esta seção apresenta um cenário de utilização considerando do momento em que o usuário inicia a aplicação até o recebimento das informações referentes a um sujeito.

Uma vez iniciada a aplicação, a tela de login é apresentada ao usuário (professor). O processo de autenticação não apenas restringe o acesso de pessoas não autorizadas às informações dos sujeitos (estudantes), mas também restringe a busca a informações acessíveis por usuário logado.

Ao entrar com a informação de usuário e senha, o Núcleo Cliente pede ao Gerenciador de Comunicação Cliente que encode e mande uma request de autenticação ao servidor. O Gerenciador de Comunicação Cliente recebe e extrai as informações dessa requisição, enviando-as ao Núcleo Servidor para que este use o Gerenciador de Usuário para autenticar e, caso a autenticação seja válida, criar uma sessão para aquele usuário. Uma vez autenticado, o Núcleo Cliente usa o Gerenciador de Dados para carregar uma lista dos datasets (turmas) disponíveis para aquele usuário e usa o Gerenciador de Comunicação Servidor para enviar esta para o Cliente MAR.

O Gerenciador de Comunicação Cliente extrai a lista da resposta do servidor e manda para o Núcleo Cliente, que usa o Gerenciador de Interface para exibi-la para o usuário e permitir que ele escolha qual das bases será utilizada para tentar reconhecer estudantes. Uma

vez escolhido o dataset (turma) o Núcleo Cliente retorna essa informação para o Servidor MAR.

O Gerenciador de Comunicação Servidor identifica o dataset escolhido e informa para o Núcleo Servidor associar aquela execução a uma base de dados faciais, usando o Gerenciador de Dados, que contém apenas as faces dos sujeitos daquele grupo (turma).

Do lado do Cliente é iniciada a exibição da interface de uso do protótipo e permitido que o usuário inicie a busca por uma face na imagem da câmera. Uma vez que a imagem de um da face de uma pessoa é detectada pelo Detector Facial, o Núcleo Cliente ativa a captação de frames para serem enviados ao Servidor MAR. Ao receber estes frames o Núcleo Servidor utiliza-os como parâmetro de entrada para o Gerenciador de Dados Faciais e passa a intercambiar a comunicação destes. O Gerenciador de Dados Facial analisa os frames recebidos fazendo uso do Framework de Reconhecimento para tentar encontrar uma equivalência na base de dados faciais referente ao grupo daquele sujeito. O Gerenciador de Dados utiliza a relação frame X foto com maior índice de similaridade para extrair da imagem na base de dados o id do sujeito analisado, mantendo essa informação na sessão do usuário.

Uma vez reconhecido o estudante, é iniciado o processo de geração do subconjunto do dataset. O Gerenciador de Dados pega o dataset com todos os sujeitos associados (alunos da turma) e gera uma sumarização de todos os registros existentes em um único. Estes novo registro único passa a integrar um dataset temporário (vinculado à seção do usuário), juntamente com o registro do sujeito. É esse novo dataset é utilizado pelo Gerenciador de Visualizações para gerar as visualizações, tanto de visão geral quanto as de detalhes. Além dos dataset reduzido para as visualizações, o Gerenciador de Dados também disponibiliza os dados para serem usados no preenchimento dos controles de interface do usuário no lado cliente.

5.1.4. Modelagem

A especificação da modelagem da aplicação foi desenvolvida conforme a notação *Unified Modeling Language* (UML) (OBJECT MANAGEMENT GROUP, Inc., 2012) para a elaboração dos artefatos: digrama de caso de uso (Figura 60), diagrama de classes da aplicação cliente (Figura 61), diagrama de classes da aplicação servidor (Figura 62),

diagrama de classes do módulo vis da aplicação servidor (Figura 63) e diagrama de sequência (Figura 64) das principais funcionalidades do cliente PRISMA-MAR detalhados a seguir.

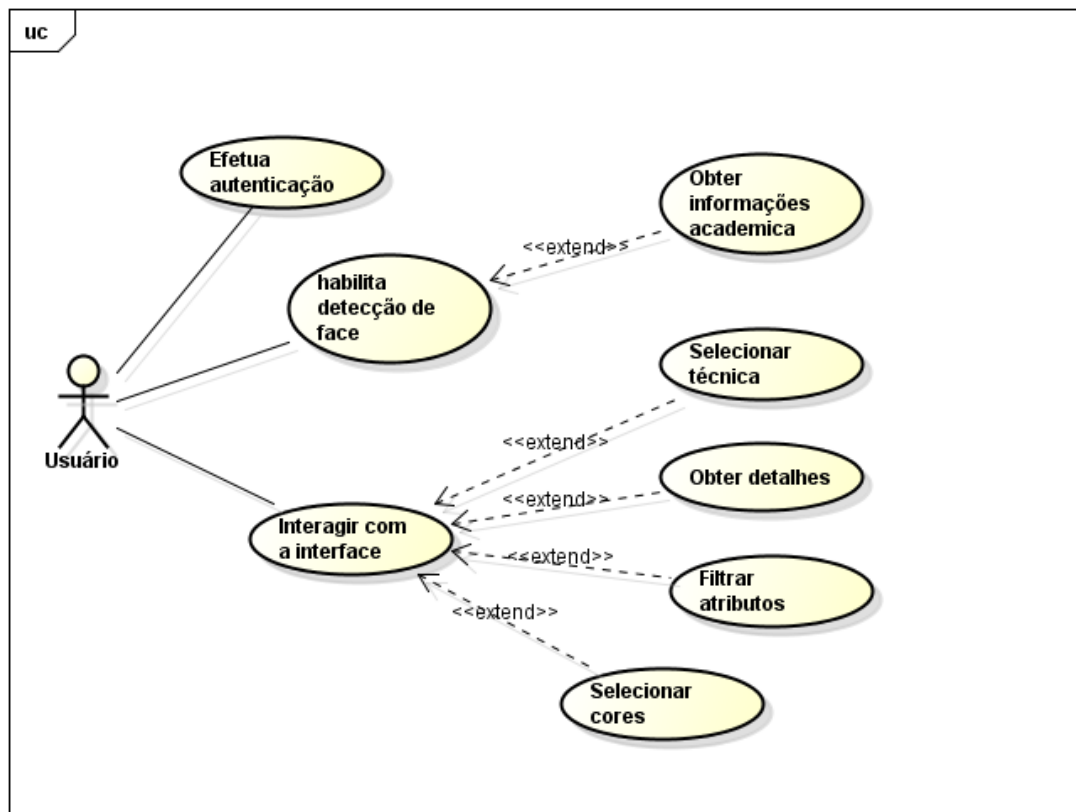


Figura 60: Diagrama de caso de uso da aplicação cliente PRISMA-MAR

- **Efetuar autenticação:** usuário é validado pelo servidor PRISMA-MAR.
- **Habilita detecção de face:** habilita a aplicação para buscar características e detecção de face humana.
 - **Obter informações acadêmicas:** Envia a imagem do *stream* detectado ao servidor PRISMA-MAR e recebe retorno das informações da face reconhecida.
- **Interagir com a interface:** Permite ao usuário interagir com as visualizações.
 - **Selecionar técnica:** Escolher entre as técnicas disponíveis;
 - **Obter detalhes:** Visualizar a composição de cada um dos atributos;
 - **Filtrar atributos:** Incluir ou remover atributos da visualização;
 - **Selecionar cores:** Modificar as cores utilizadas nas técnicas;

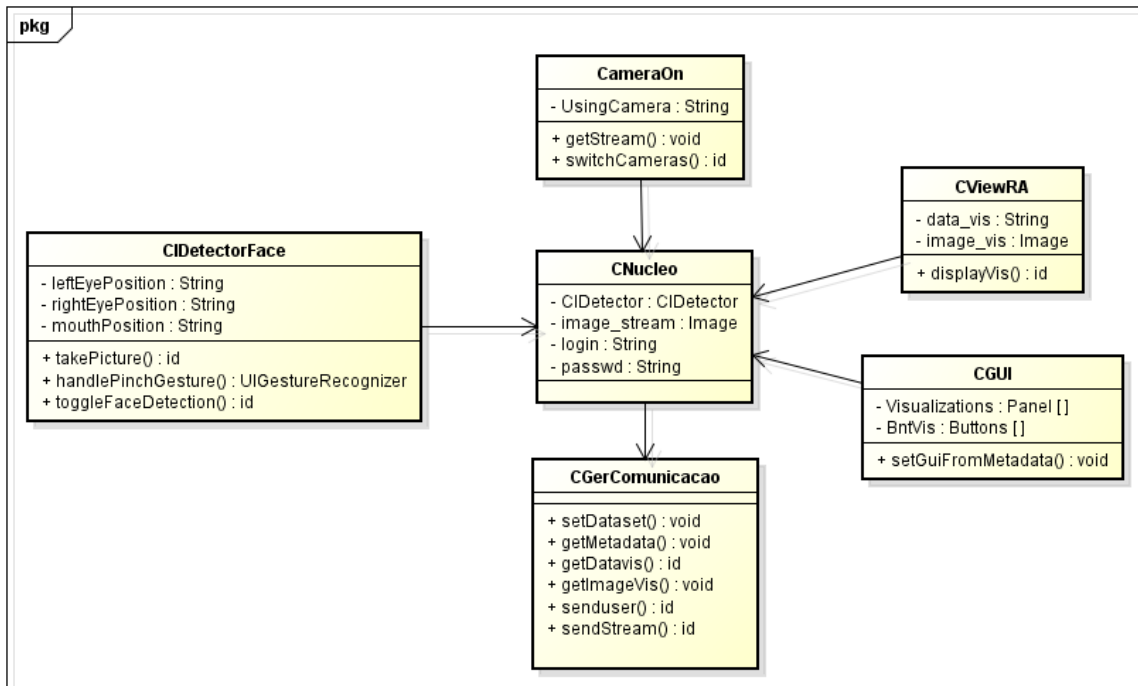


Figura 61: Diagrama de classes da aplicação cliente PRISMA-MAR

No digrama de classes (Figura 61) é apresentada a estrutura e a relação entre as classes da aplicação, descritas a seguir.

- **CNucleo:** Classe responsável pela troca de mensagem dentro da aplicação cliente e instanciação das demais classes.
- **CIDetectorFace:** Classe instanciada da CIFaceFeature do framework CoreImage (Apple, 2012). Responsável por detectar a face, habilitar recurso de detecção e controle de gestos (não implementado nesta aplicação).
- **CameraOn:** Controla/troca a câmera ativa do dispositivo. Responsável também por obter o *stream* do vídeo.
- **CViewRA:** Classe responsável por apresentar a visualização.
- **CGerComunicacao:** Classe responsável pelo controle de acesso do usuário, envio e recebimento de imagens e dados com o módulo servidor do PRISMA-MAR.
- **CGUI:** Classe responsável por gerar a interface de usuários a partir dos metadados da base.

"Núcleo" é o módulo central do servidor PRISMA-MAR (Figura 62) sendo composto pelo Controle de Comunicação "ControleComunicacao", um gerador de "ModuloVis"

responsável por gerar as visualizações e manter as informações de configuração, um "ControleCoordenacao" e o módulo de reconhecimento de face "ModuloRec" instanciando de forma encapsulada o framework de reconhecimento de face.

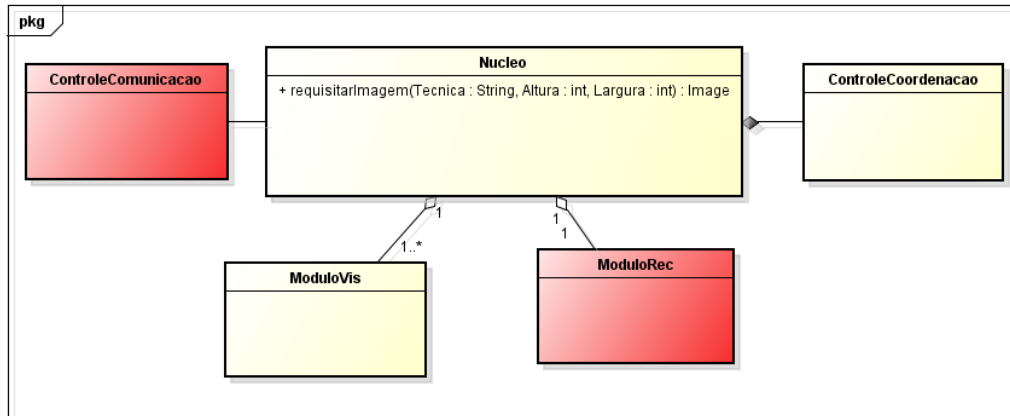


Figura 62: Módulos da aplicação servidor PRISMA-MAR - adaptado de (Lourenço, 2012)

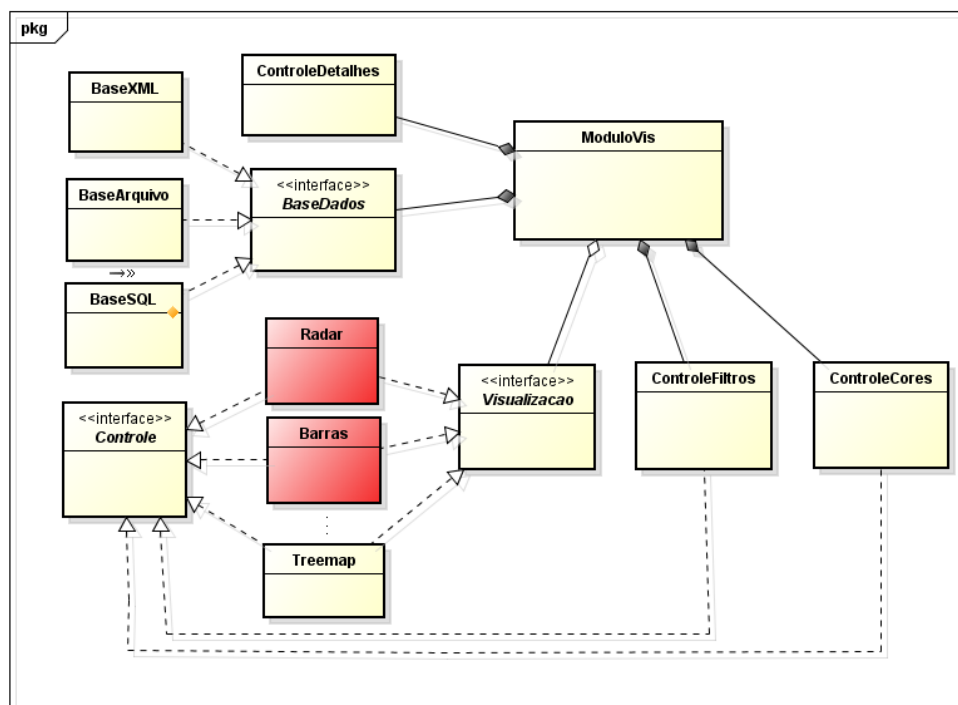


Figura 63: Módulo "ModuloVis" da aplicação servidor PRISMA-MAR - adaptado de (Lourenço & Meiguins, 2012)

O ModuloVis é composto por (Lourenço, 2012):

- Uma fonte de dados (XML, CSV ou Banco de Dados SQL) para carga, seleção e organização dos registros;
- Um gerenciador de filtros;
- Um gerenciador de cores;

- Um gerenciador de detalhes sob demanda.
- Uma ou mais técnicas de visualização para geração de visões gráficas;

O diagrama de sequência foi modelado para exemplificar o processo de autenticação do usuário até apresentação da visualização de visão geral, ressaltando a comunicação das entidades que compõem a aplicação.

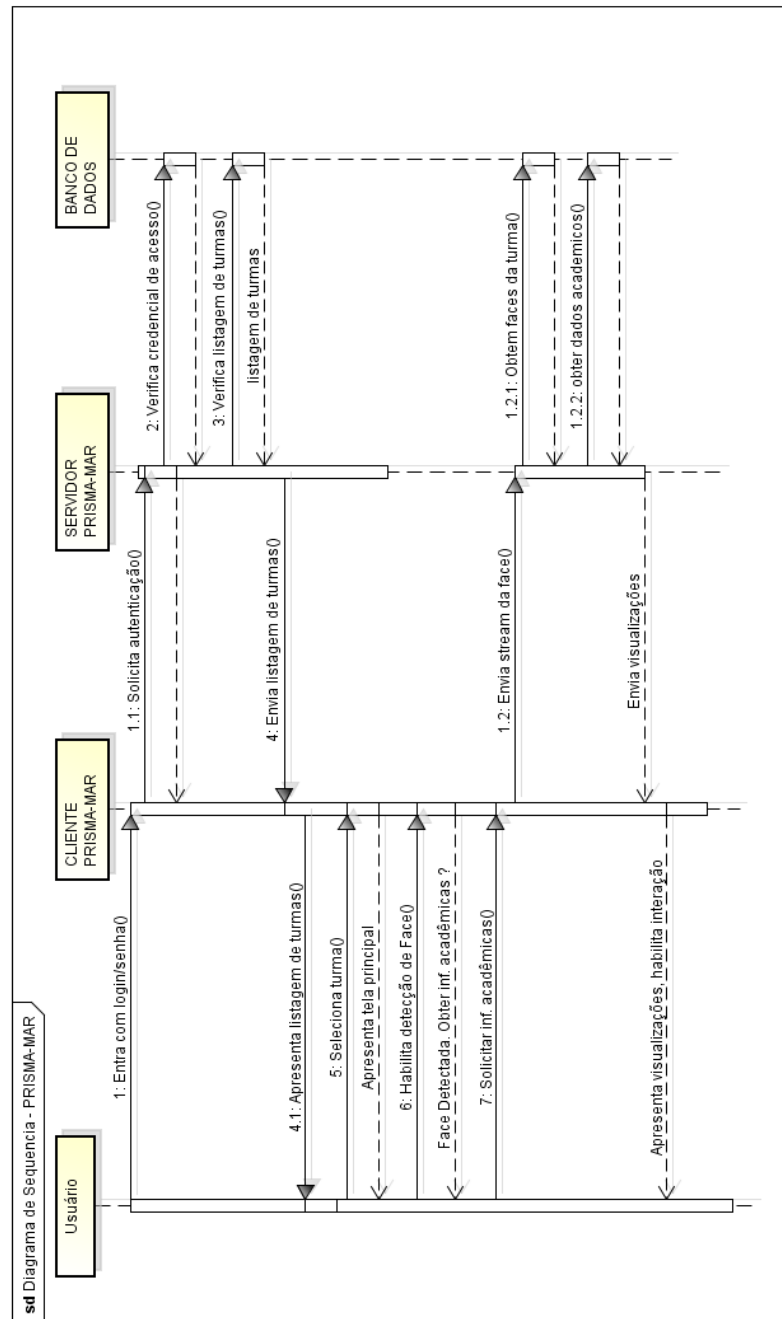


Figura 64: Diagrama de Sequência - PRIMA-MAR

5.2. Aplicação

Serão apresentadas as características e funcionalidades da aplicação cliente.

5.2.1. Autenticação

Ao iniciar a aplicação é apresentado ao usuário a tela de *login* (Figura 65), onde é necessário entrar com o nome do usuário, senha e selecionar a disciplina. Após a autenticação do usuário a aplicação apresenta a tela, conforme (Figura 66), com uma barra de comandos contendo três botões Visão Geral, Detalhes, Filtro e um componente de seleção para ativar/desativar o processo de reconhecimento de face (ON/OFF).



Figura 65: Tela de Login da aplicação cliente PRISMA-MAR

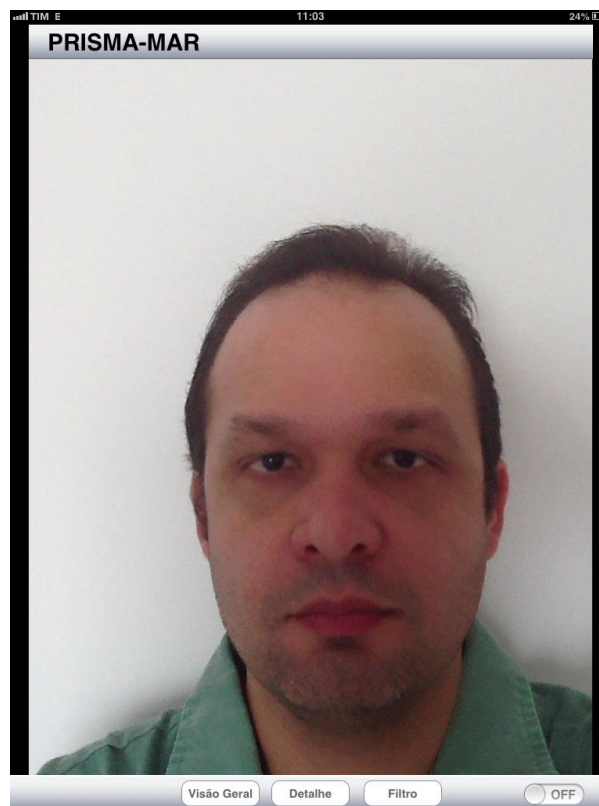


Figura 66: Processo de detecção de Face

5.2.2. Detecção da Face

Para iniciar o processo de detecção, o usuário deve selecionar/ativar (ON) no componente de seleção. Depois disso, a imagem da câmera do dispositivo é capturada através de chamadas assíncronas dos *streams* de vídeo. Quando uma face é detectada (Figura 67), a aplicação apresenta uma mensagem informando que a face foi detectada e pergunta se deve tentar reconhecê-la para obter informações da pessoa.

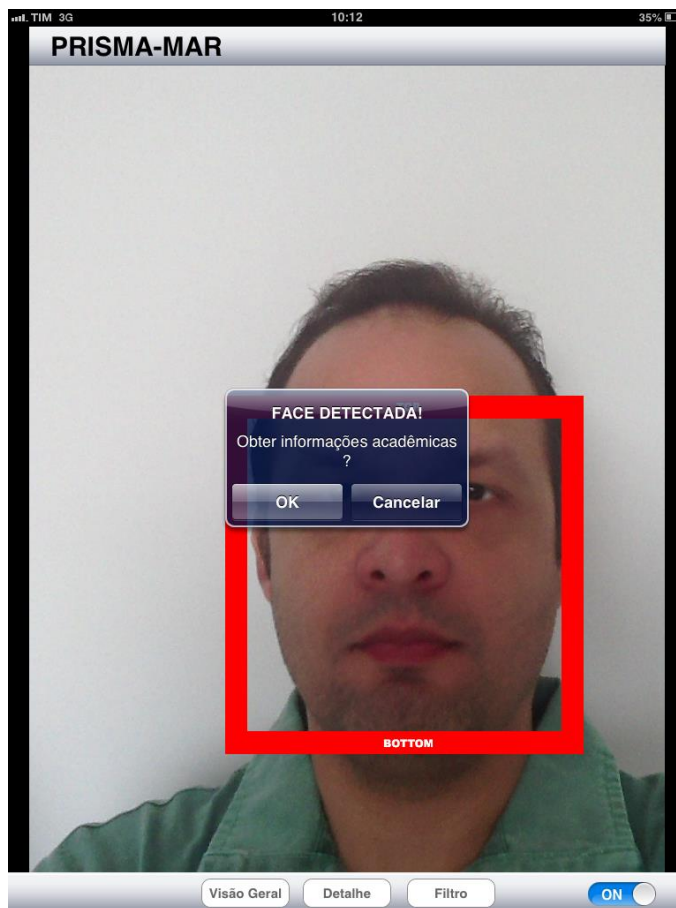


Figura 67: Detecção da Face habilitada

No contexto da aplicação, a face deve ser de um estudante previamente cadastrado e as informações são visualizações com dimensões relevantes a avaliação acadêmica.

A primeira visualização apresentada na aplicação é o gráfico Radar, contendo informações sobre a média, frequência, etc, que permite comparar o desempenho do aluno reconhecido (linha verde) com a média dos valores da turma (linha vermelha), como mostrado na Figura 68. A visualização inicial é uma visão geral do desempenho dos alunos, e o usuário (que no caso deve ser um professor) pode escolher entre analisar com o gráfico de radar ou gráfico de barras (Figura 69).

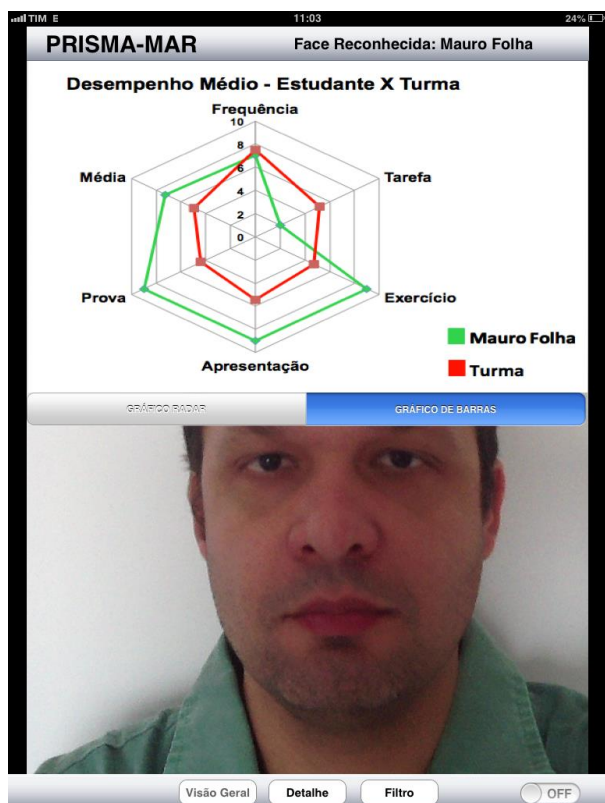


Figura 68: Visualização do Gráfico Radar

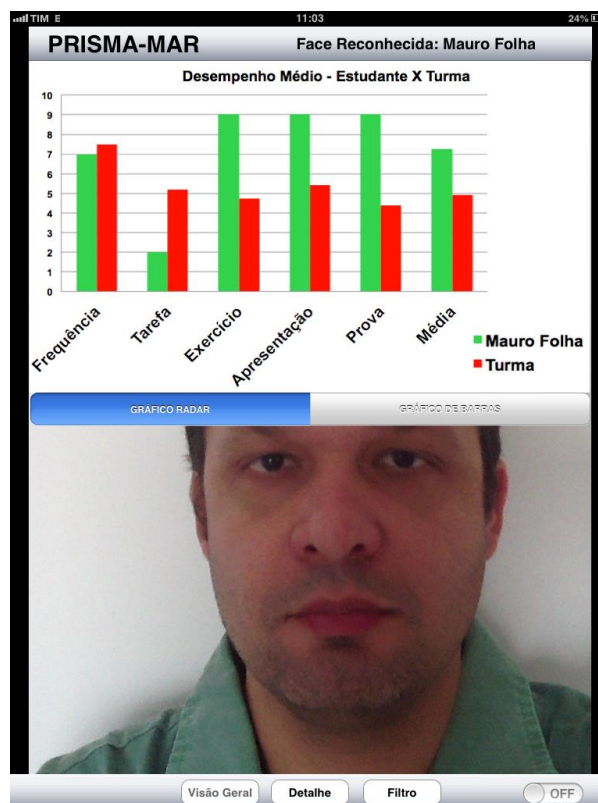


Figura 69: Visualização do gráfico de barras

Após o reconhecimento da face a aplicação habilita para utilização do usuário os botões de detalhe e filtro e desabilita (OFF) a caixa de seleção da detecção de face.

5.2.3. Detalhes sob demanda

Na aplicação cliente PRISMA-MAR, o detalhe sob demanda permite que o usuário analise a composição da média para uma dimensão escolhida. A Figura 69 apresenta um estudante que obteve uma média 9 nas suas provas. Mas esta visualização não responde questões como: “Quantas provas o estudante fez?” e “O desempenho do estudante melhorou no decorrer do semestre?”. Para responder algumas dessas questões, o detalhe sob demanda pode ser acessado pelo botão Detalhes na aba inferior do aplicativo.

Para acessar cada dimensão disponível com maior nível de detalhe, a aplicação disponibiliza um painel de botões (Figura 70) abaixo do gráfico, o usuário escolhe através de um toque simples no botão correspondente o nome da dimensão para apresentá-la graficamente de dados mais detalhados. O usuário pode escolher os atributos: "Frequência", "Tarefas", "Exercício", "Apresentação", "Prova" e "Média".



Figura 70: Barra de Botões com as dimensões disponíveis

A Figura 71 e Figura 72 mostram os gráficos com informações detalhadas do aluno e da turma para cada uma das dimensões disponíveis.

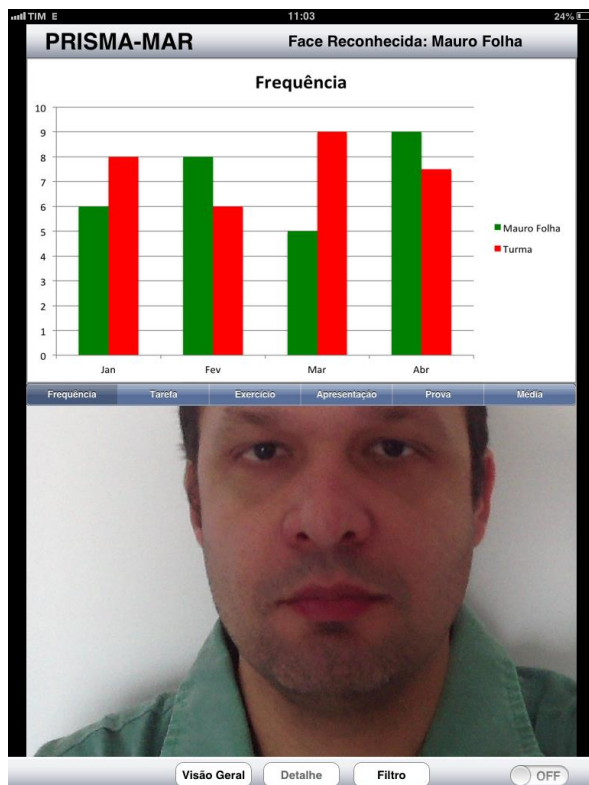


Figura 71: Detalhes sob demanda – Frequência

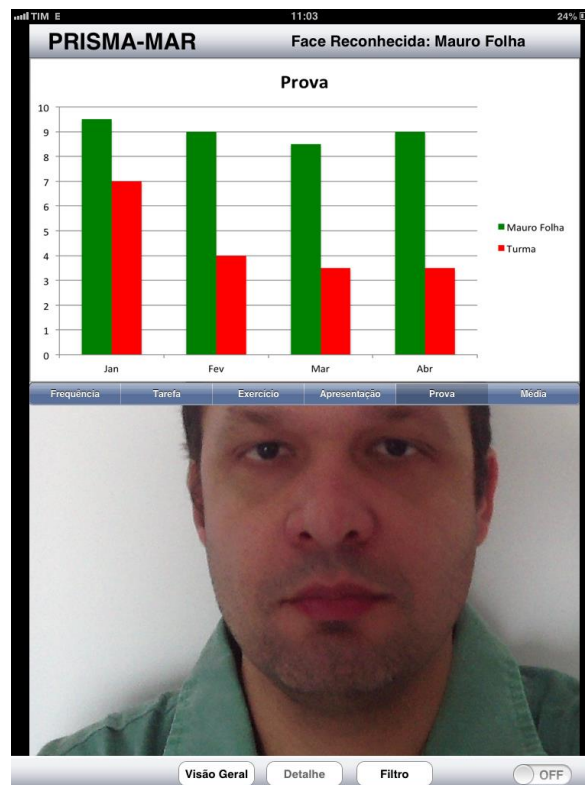


Figura 72: Detalhes sob demanda – Prova

5.2.4. Filtro

A função Filtro permite que o usuário habilite ou desabilite dimensões na visualização apresentada. Quando o filtro é selecionado, um menu com as dimensões de avaliação dos alunos é mostrado (Figura 73). Ao sair do filtro a visualização é atualizada com as dimensões habilitadas, como pode ser visualizado na Figura 74, em comparação com a Figura 69, duas dimensões estão desabilitadas.

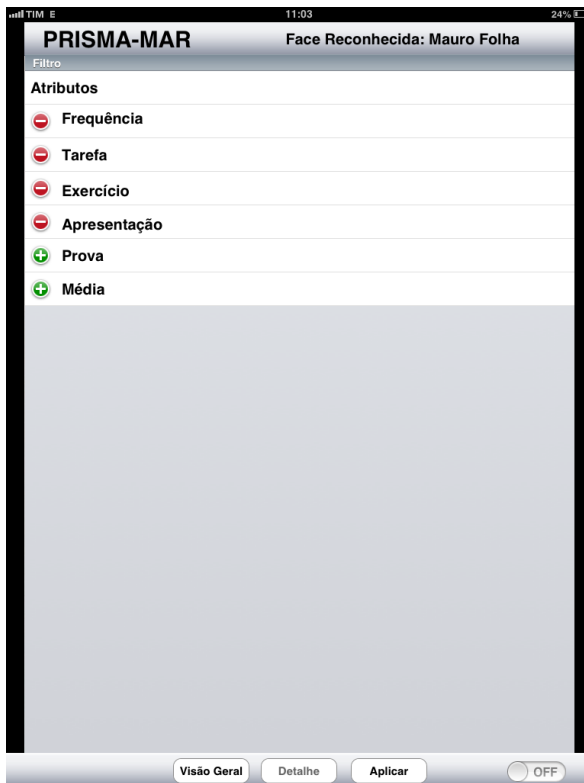


Figura 73: Menu do filtro com as dimensões da disciplina

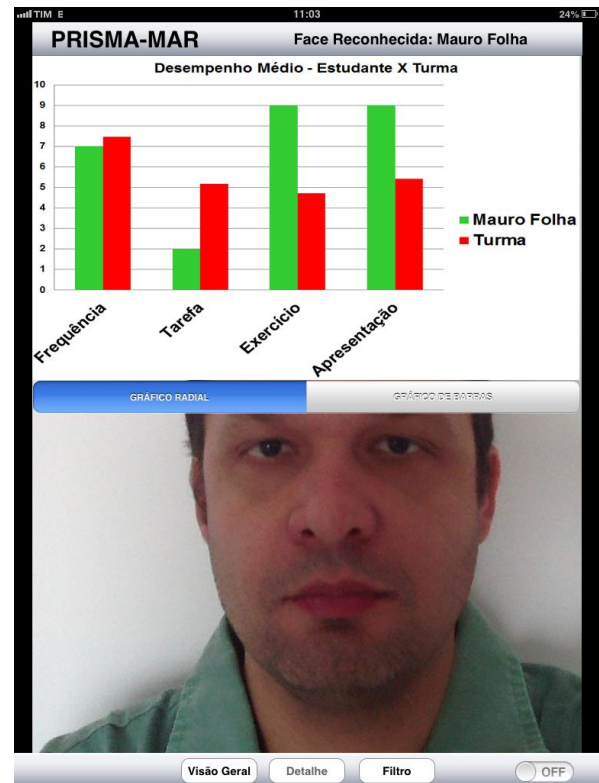


Figura 74: Visualização filtrada com 4 dimensões habilitadas

5.2.5. Zoom

A funcionalidade de Zoom está habilitada na aplicação somente na camada de visualização. É ativada com o toque de dois dedos para aproximar a visualização.

5.3. Testes de Usabilidade

Usabilidade engloba aspectos relacionados à interface e a interação do usuário com o computador, e objetiva descrever a qualidade da interação de usuários específicos com uma interface de software específica, e que pode ser mensurada, segundo a ISO 9241-11, pelos critérios de efetividade, eficiência e satisfação. De acordo com ISO 9241:

- **Efetividade:** deve mensurar o quanto os usuários alcançaram seus objetivos iniciais de interação, avaliando a conclusão da tarefa e a qualidade da mesma;
- **Eficiência:** deve mensurar a quantidade de esforço e recursos necessários para se chegar a um determinado objetivo;
- **Satisfação:** deve mensurar o nível de conforto que o usuário sente ao utilizar a interface com a meta de alcançar seus objetivos.

Nielsen (Nielsen, Usability Engineering, 1993) e Nielsen e Landauer (Nielsen & Landauer, 1993) apresentaram outras perspectivas de como mensurar e avaliar interface de softwares, e que também estão inclusas na ISO 9241-11: facilidade no aprendizado, facilidade de memorização, rapidez no desenvolvimento de tarefas, baixa taxa de erros, satisfação subjetiva do usuário.

Especificamente para softwares de visualização da informação a efetividade, eficiência e satisfação devem estar relacionadas aos seguintes grupos de interação que podem ser realizadas (Spence, 2007):

- **Wayfinding:** Interações motivadas pela busca de um único, específico e conhecido objetivo, onde há um tipo de ajuda que guia o usuário a solução;
- **Exploration:** O objetivo é aprender sobre o espaço de informação (aperfeiçoar o modelo mental do espaço).
- **Pursuit:** Quando o usuário realiza movimentos no espaço de informação com o único objetivo de alcançar, da maneira mais direta, um alvo específico, e com referência mínima a um modelo mental acumulado do espaço de informação.

5.3.1. Objetivo e Metodologia

A abordagem utilizada nesta dissertação foi a combinação de teste de usabilidade + experimentos controlados, baseado em tarefas de usuários, que focam nos tipos de interação classificadas por Spence (Spence, 2007), com objetivo de identificar o impacto do design e facilidade de execução das tarefas junto ao usuário. As abordagens de usabilidade e experimentos controlados são descritas a seguir (Park & Bohner, 2012):

- **Avaliação de Experimentos Controlados:** Trata-se de um experimento de curto prazo, que abrange certo número de experimentos controlados. Estes experimentos medem o tempo utilizado para realizar determinada tarefa, e a qualidade da solução utilizada. Pode ser útil também para comparação de ferramentas de software com as mesmas características, e é sensível a qualidade dos dados.
- **Avaliação de Usabilidade:** é abordagem considerada de curto prazo, e tipicamente foca em problemas de usabilidade relativos a interface da ferramenta. Este tipo de avaliação identifica problemas, proporciona feedback nos problemas identificados e ajuda a desenvolver uma nova solução.

Uma proposta de tarefas de usuário para uma ferramenta de visualização de informação é listada por Pillat, Valiati, & Freitas (2005):

- **Identificar:** Esta tarefa descreve qualquer atividade de achar, descobrir ou estimar visualmente: agrupamentos, correlações, propriedades, padrões, limiares, similaridades ou diferenças, dependência ou independência entre os dados, incerteza e/ou variações nos dados;
- **Determinar:** Esta tarefa refere-se às ações de calcular, definir ou indicar com exatidão valores envolvendo cálculos como: médias; soma; porcentagem; mediana; variância; entre outros cálculos estatísticos;
- **Visualizar:** Esta tarefa refere-se à capacidade do sistema de poder identificar, determinar, comparar ou localizar informações em “n” dimensões com “m” itens;
- **Comparar:** Esta tarefa tem por finalidade comparar ou confrontar duas ou mais: dimensões, itens, dados, valores calculados, agrupamentos, propriedades, proporções, posições, distâncias e/ou características presentes nos dados (primitivas gráficas como: cores, formatos, texturas, tamanhos, etc.);
- **Inferir:** Esta tarefa refere-se à ação do processo de analisar ou definir hipóteses, regras, tendências, probabilidade, causas e/ou efeitos sobre os dados analisados;
- **Configurar:** Esta tarefa refere-se à capacidade do sistema de configurar a forma de apresentação dos dados. A tarefa de configurar está relacionada aos recursos disponíveis ao usuário, para fazer entre outras coisas: classificações, filtragem, zoom, e ordenamento das dimensões;
- **Localizar:** refere-se às ações de procurar, buscar e encontrar determinadas informações de conhecimento do usuário, anteriormente identificadas ou visualizadas, tais como: itens, dados, valores, agrupamentos, distâncias, propriedades e características presentes nos dados, indicando ou descrevendo sua posição ou situação.

5.3.2. Plano de Teste

O plano de teste definido para este projeto apresenta os seguintes quesitos:

- Perfil do usuário alvo;
- Ambiente de teste: hardware, software e estado inicial da aplicação;
- Descrição de aplicação do teste;

- As tarefas definidas para os testes, que devem conter: a descrição da tarefa, tempo limite, objetivo, solução, complexidade e métricas de êxito e tempo de realização;
- Avaliação qualitativa da carga de trabalho sobre os testes realizados utilizando a metodologia NASA TLX - Task Load (Hart & Stavenland, 1988).

O perfil dos usuários escolhidos é basicamente de profissionais da área de tecnologia da informação que possuem familiaridade de interação com sistemas computacionais, algum ou nenhum conhecimento de visualização, e se já interagiram com algum tipo de tablet ou smartphone com tela sensível ao toque. Este perfil se aproxima do perfil dos usuários finais (professores), referente ao estudo de caso em questão para aplicações de visualização de informação de propósito geral.

O ambiente de teste foi realizado em um iPad 2 de 10” da Apple , com tela sensível ao toque. O login e senha para usuários eram únicos, e o reconhecimento facial foi realizado sempre para mesma pessoa. A aplicação em seu estado inicial apresentava a tela de login.

Os testes foram realizados individualmente. Foi realizada uma pequena introdução de cinco minutos sobre interação nos tablets, sobre visualização de informação e conceito, mais 3 minutos sobre o funcionamento e objetivos da aplicação, nada se apresentou da interface em específico.

Avaliação de Carga de Trabalho NASA-TLX:	
<p>Demanda Mental:</p> <p>Baixo Alto</p>	<p>Quanto de atividade mental e perceptiva foi necessário (raciocínio, decisão, cálculo, lembrança, busca, identificação)?</p>
<p>Demanda Física:</p> <p>Baixo Alto</p>	<p>Quanto de esforço físico foi necessário (pressionamento de botões, movimentos com o mouse...)?</p>
<p>Demanda Temporal:</p> <p>Baixo Alto</p>	<p>O quão pressionado pelo tempo você se sentiu?</p>
<p>Desempenho:</p> <p>Ruim Bom</p>	<p>O quão bem sucedido você acha que foi no alcance dos objetivos das tarefas?</p>
<p>Esforço:</p> <p>Baixo Alto</p>	<p>O quão arduamente você teve que trabalhar para atingir o seu nível de desempenho?</p>
<p>Frustração:</p> <p>Baixo Alto</p>	<p>O quão inseguro, desencorajado, irritado, estressado e chateado você se sentiu?</p>

Figura 75: Questionário Nasa-TLX

Quanto à coleta de informações, o avaliador acompanhou a interação do usuário junto à aplicação, sem a possibilidade de intervir, com exceção do tempo limite das tarefas. O avaliador realizou anotações informais a respeito de aspectos não-definidos, baseado em observações. Além disso, os usuários preencheram um pequeno questionário (Figura 75) com perguntas sobre a carga de trabalho ao utilizar o software desenvolvido (NASA TLX).

A complexidade foi definida considerando-se a quantidade de sub-tarefas, e a qualidade das respostas das tarefas, nessa ordem respostas com sim/não, respostas com um valor, e respostas com comparação. Não houve tarefas classificadas como complexidade alta, somente baixa e média.

A Tabela 1 descreve as tarefas para os testes. As tarefas foram classificadas em sua complexidade de em função do número de sub-tarefas, apresentadas por Pillat (Pillat, Valiati, & Freitas, 2005).

Tabela 1: Tarefas e suas características

Tarefa	Tempo Limite (min)	Resposta	Sub-tarefas	Complexidade
Acessar a aplicação fazendo login e selecionando a turma	30 s	Sim/Não	---	N/A
Habilitar o reconhecimento de face	30 s	Sim/Não	---	N/A
Verificar a média de valores da dimensão “tarefa” do aluno reconhecido	3	O participante deveria informar verbalmente que a média é igual a 2 (dois).	Identificar; Visualizar; Localizar.	Baixa
Observar as médias em outro tipo de visualização	1	Sim/Não	Identificar Visualizar Localizar.	Baixa
A partir da visão geral, quais as características que o aluno esta abaixo da média da turma	1	O participante deveria informar as características “frequência” e “tarefa”.	Identificar Visualizar Comparar Localizar	Média
Filtrar a visualização geral, retirando as características: “média” e “prova”	3	Sim/Não	Identificar Visualizar Comparar Configurar Localizar.	Media
Qual o mês que o aluno apresentou a maior nota na característica “prova”	3	O participante deveria informar verbalmente que o mês de abril.	Identificar Visualizar Configurar Localizar Comparar	Media

5.3.3. Resultados

Aos usuários participantes do teste foi perguntado se a utilização de dispositivos móveis com iOS era habitual, ou se utilizava outra plataforma para dispositivos móveis, ou não utilizava dispositivos móveis como *tablets* ou *smartphone*. Tal pergunta serviu para classificar os usuários em relação a familiaridade com o sistema de *tablets* e *smartphones*, e verificar se a experiência do usuário influenciou na utilização da aplicação. Dentre os participantes, 6 indicaram utilizar iOS diariamente, enquanto 6 indicaram utilizar dispositivos da plataforma Android, e 4 não possuíam experiência no uso de tais dispositivos. A Figura 76 apresenta a quantidade de usuários que foram bem sucedidos, e os que não foram, na realização de cada tarefa proposta.

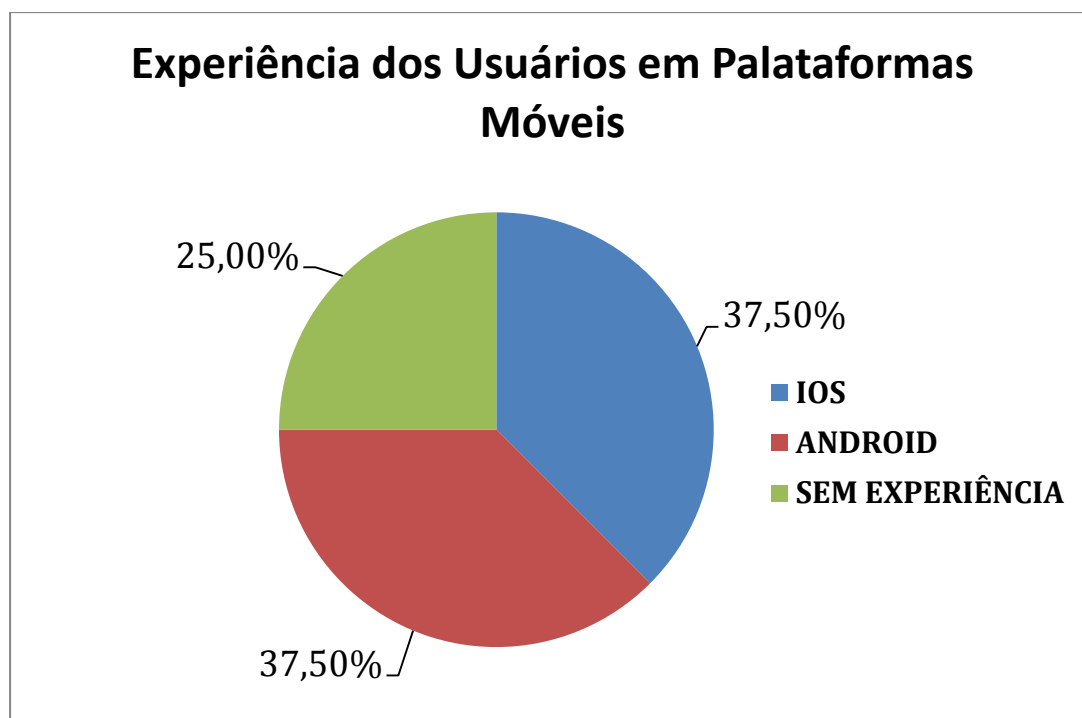


Figura 76: Perfil dos usuários dos testes.

A Figura 77 apresenta a quantidade de certos e erros por tarefas. A partir da Figura 77 pode-se perceber que a taxa de erros na execução das tarefas foi baixo (Figura 78). Assim, se pode inferir que de maneira geral, para usuários que tem boa experiência no uso de computadores tradicionais, o desempenho em termos de acerto na realização das tarefas é muito boa, independente da experiência do usuário em plataformas móveis, indicando uma interface intuitiva o suficiente, mesmo para utilizadores sem muito contato com o sistema operacional do dispositivo nem com ferramentas de visualização de informação.



Figura 77: Quantidade de acertos e erros na execução das tarefas

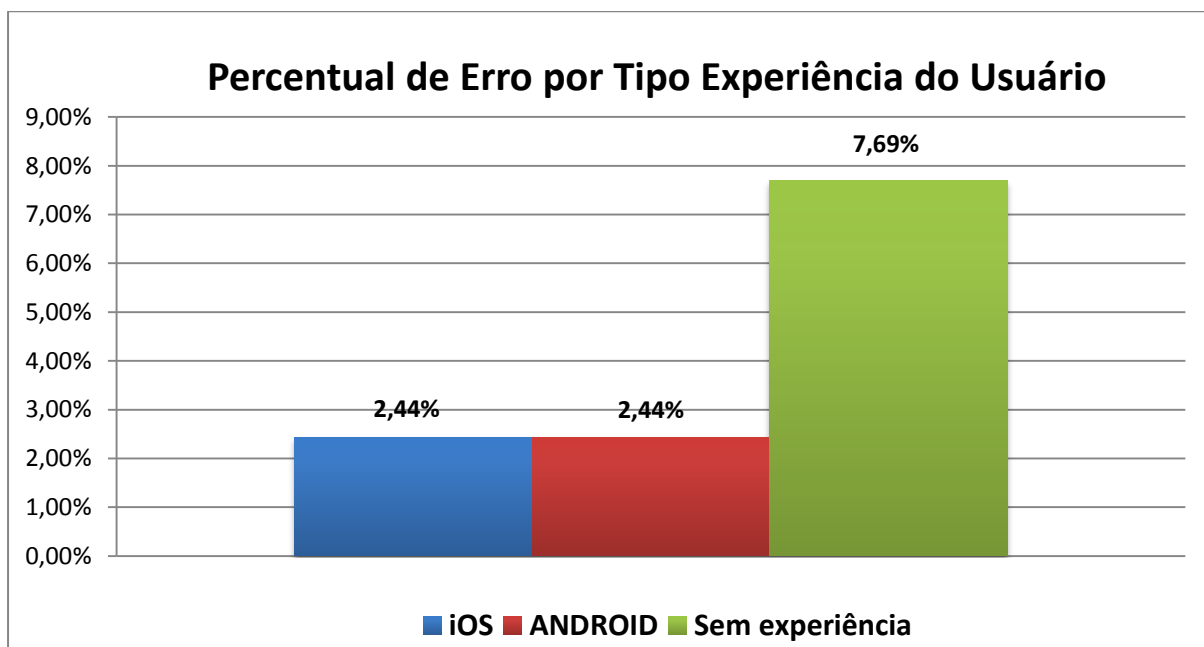


Figura 78: Taxa de erros por tipo experiência do usuário.

A Figura 79 apresenta o tempo médio de execução das tarefas por tipo de usuário. Os tempos marcados para as tarefa 1 e tarefa 2 são voltadas para componentes de interface, sem

análise de visualização da informação. A Tarefa 1 mais tradicional, relativo a Figura 65, e a Tarefa 2 apesar de se tratar de componente de interface, foi utilizado um componente comum para interface de aplicações IOS, por isso a diferença no resultado para iOS (11 s), Android (23 s) e Sem Experiência (35,8 s) em função da percepção do usuário e que ação realizar, mas todos os usuário conseguiram realizar a tarefa no tempo limite especificado.

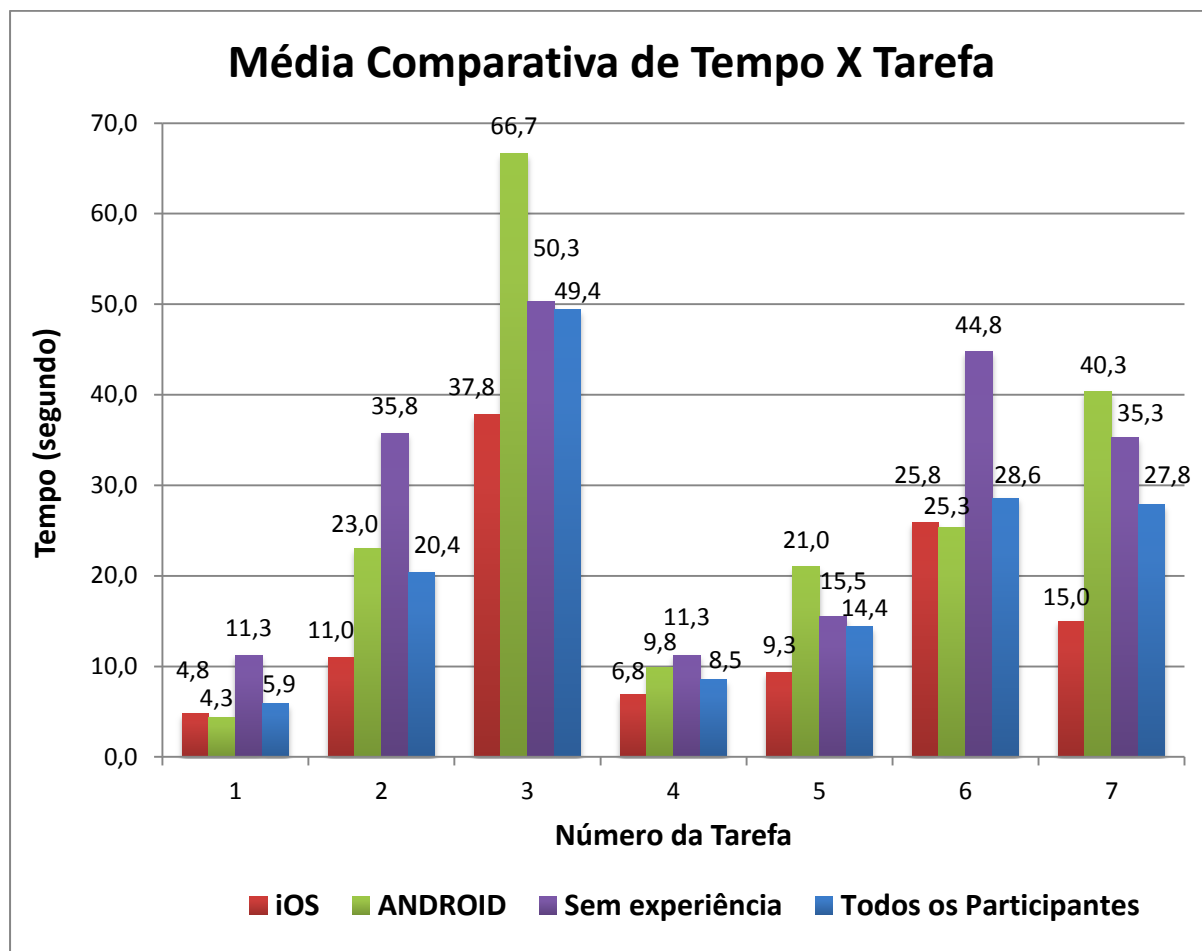


Figura 79: Tempo médio de execução das tarefas por tipo de usuário.

Ainda na Figura 79 é possível perceber que o tempo médio dos participantes que frequentemente utilizam iOS é menor, ou muito próximo do menor valor apresentado, para todas as tarefas, por vezes chegando a ser inferior a metade do tempo marcado por outros grupos. Isso indica que a familiaridade com o ambiente, tanto em relação ao sistema operacional quanto em relação ao manuseio do dispositivo físico é impactante na velocidade com que os usuários desempenham atividades sobre o dispositivo, mesmo quando estas incluem um fator não usual para ambos os grupos, as visualizações de dados.

Já analisando o tempo médio requerido na tarefa 3 percebe-se que o aumento de tempo é muito mais elevado que nas demais tarefas (chegando a ser superior que o dobro da segunda maior média de tempo). Esta disparidade se deve ao fato desta tarefa introduzir um aspecto novo, a análise sobre a visualização de dados. Considerando que os participantes não detêm um elevado conhecimento sobre visualização de informação ou o costume de realizar análises visuais sobre dados abstratos, atribui-se o elevado tempo demandado para a realização da tarefa ao tempo necessário para o usuário entender o gráfico que está vendo e buscar identificar a característica analisada na tarefa. Essa hipótese é reforçada quando nota-se que mesmo nas tarefas posteriores, que pedem uma análise sobre as visualizações, nenhum tempo tão elevado foi detectado, indicando que após um primeiro contato, as visualizações utilizadas passam a ser de fácil entendimento para os usuários, e dessa forma, que a curva de aprendizado necessária para uma utilização eficiente da aplicação é elevada principalmente em um primeiro contato, tendo uma queda sensível em interações posteriores.

A tarefa 4 apesar de fazer uso das visualizações, está mais focada em verificar se a interface é suficientemente clara para evidenciar a existência de demais visualizações, e permitir um acesso rápido as mesmas. Avaliando o tempo requerido para esta tarefa e o fato de todos os usuários a terem realizado corretamente, percebe-se que a interface comunica a contento a presença de outras visualizações, e devido à diminuição de tempo requerido, que após um contato inicial com as visualizações, os usuários passam a utilizá-las de maneira mais natural, a interface alcança seu objetivo para esse quesito.

A tarefa 5 introduz um dos principais conceitos empregado na aplicação, a comparação. Era esperado que esta tarefa consumisse mais tempo que sua predecessora, uma vez que todos os atributos devem ser comparados para identificar quais são os menores valores para o aluno em relação à turma, e a performance e taxa de acertos na execução das tarefas foi boa.

A execução tarefa 6 requer a configuração da aplicação e verificava se o usuário consegue perceber o que havia sido alterado devido a esta configuração. Todos os usuários foram capazes de realizar a configuração e notar que aspectos da visualização se modificarão. O aumento de tempo demandado pela realização da tarefa é considerado esperado, uma vez que esta exige a exploração da interface da aplicação para que a configuração seja feita e demanda a análise da visualização para reconhecer as mudanças na mesma. Considera-se que

a interface esteja suficientemente clara para indicar aos usuários as configurações de filtro, uma vez que nenhum dos participantes teve problemas no desempenho desta tarefa.

A tarefa 7 é semelhante a tarefa 6, uma vez que requer exploração da interface da ferramenta e análise sobre a visualização. No entanto, ela adiciona a complexidade de realizar uma análise sobre os dados detalhados para um dado atributo e a comparação entre os detalhes deste.

De maneira geral, os usuários conseguiram realizar as tarefas propostas corretamente e dentro do tempo determinado, sendo este último elemento bastante influenciado pela familiaridade do usuário com a plataforma. Ao final das tarefas foi pedido que os usuários participassem da avaliação subjetiva de carga de trabalho do NASA-TLX, o resultado médio dessa avaliação é visto na Figura 80.

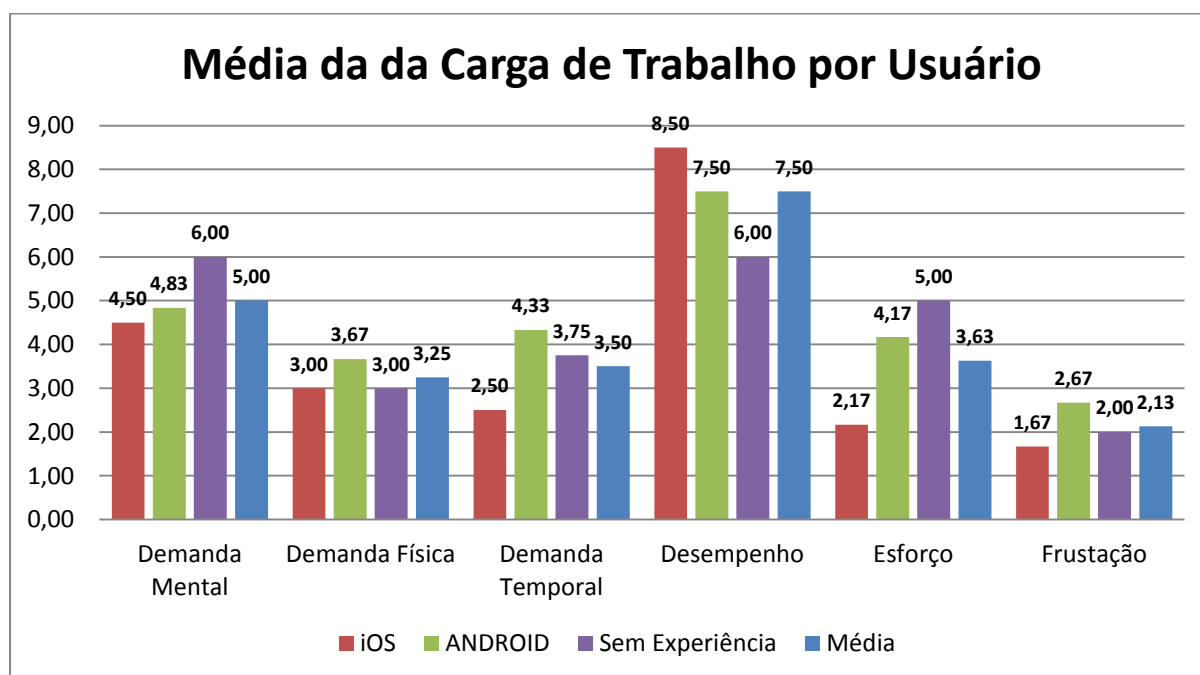


Figura 80: resultados médios obtidos no NASA-TLX.

Destaca-se no comparativo de médias os usuários de iOS que apresentaram melhor desempenho, e menor demanda mental, física, esforço e frustração. Em comparação aos grupos Android e Sem Experiência, o grupo Android apresentou demanda física, temporal e frustração maior que o grupo Sem Experiência, a hipótese é que o grupo Android já apresenta um modelo mental de interface para interação internalizado, apresentando uma resistência natural no uso da aplicação, mas apresentou demanda mental, desempenho e esforço melhor que o grupo Sem Experiência.

6. Considerações Finais

Durante a realização deste trabalho o objetivo norteador foi propor um ambiente que permitisse associar o uso de visualização de informação, e os benefícios que podem ser obtidos com este uso, com ambiente de realidade aumentada, visando potencializar a análise, capacidade de entendimento e tomada de decisões em tempo real, sobre informações referentes ao contexto real onde o usuário está inserido.

A partir deste objetivo mais geral foi possível definir objetivos mais específicos, o que torna mais fácil ordenar o processo de realização do objetivo geral e também a verificação da realização dos mesmos. Os objetivos específicos foram alcançados:

- Foram realizadas pesquisas em tecnologias, aplicações e arquiteturas de realidade aumentada móvel, de acordo com trabalhos relacionados apresentados, e outros que não foram apresentados, mas fizeram parte do processo, por exemplo, estudar as soluções do Layar, Wikitude, Metaio/Junio, etc.
- Uma vez definido o estudo de caso, foi pesquisada tecnologia para realização de reconhecimento de faces, onde foi definido o uso do OpenCV. E para construção dos gráficos de dados foi utilizada a ferramenta PRISMA.
- Definido os requisitos da aplicação e as possíveis tecnologias que comporiam a solução, a fase de integração se iniciou, incluindo a utilização do conceito de MVC, e as principais fases da engenharia de software, tais como análise de requisitos, modelagem, desenvolvimento e testes, dando origem a uma arquitetura para múltiplos usuários que permitia a utilização de aplicações de realidade aumentada com conteúdos de visualização de informação.
- Os testes de usabilidade seguidos ao desenvolvimento da aplicação utilizaram tarefas de usuários para obter dados de acertos/erros, tempo de execução das tarefas, descobrir dificuldades de interação na interface, etc. Foi avaliada também a carga de trabalho no uso da ferramenta utilizando a metodologia da NASA-TLX que coleta a informação do usuário sobre várias questões subjetivas, tais como: carga de trabalho mental, esforço, frustração, desempenho, etc.

Algumas das principais etapas apresentadas se destacam:

- Adaptação da ferramenta PRISMA para ser utilizado como serviço, criando um servidor PRISMA, sendo necessário desenvolver a parte de comunicação entre

aplicação cliente e aplicação servidora, incluir duas novas visualizações: radar e barras, incluir também o reconhecimento de faces como serviço. O gerenciamento de dados já estava disponível na ferramenta PRISMA, e foi desacoplado para ser também tratado como serviço.

- O serviço de reconhecimento de face foi utilizando OpenCV. Necessitou na fase de avaliação passar por várias etapas para realizar o reconhecimento facial pra uma pessoa, incluindo, por exemplo, as imagens de treinamento e de reconhecimento serem todas do mesmo tamanho e ter uma boa resolução (mínimo 400 x 400 pixel), boa iluminação, etc. O entendimento do funcionamento dos algoritmos também é importante, pequenas angulações nas faces causavam frequentemente não reconhecimento das mesmas. Montar uma base de dados de qualidade para todos os potenciais alunos envolvidos pode levar algum tempo considerável, tornando a fase de pré-processamento muito importante para qualidade dos resultados no futuro.
- A aplicação cliente apresentou além da interface no padrão Apple, a utilização das características de detecção de face presente no stream da câmera de vídeo quando ligada.
- Sobre os resultados da avaliação da aplicação junto ao usuário destacam-se usuários com experiência na plataforma da aplicação (iOS) Android e sem experiência. As tarefas eram de baixa e média complexidade, com taxa de erros em torno de 2,5% para usuários com experiência em smartphone e tablets, e 7,5% para os sem experiências. A experiência na plataforma da aplicação influenciou no desempenho dos usuários, uma vez que apresenta uma concepção própria de interface, inclusive com novos componentes de interface não utilizadas com frequência nas outras plataformas. Usuários da plataforma Android se sentiram mais frustrados nesse aspecto. O gráfico de visualização causou impacto nos usuários. Contudo, uma vez entendida a visualização, principalmente a de radar, quase a totalidades dos usuários não a conhecia, a conclusão das outras tarefas posteriores se apresentaram com melhor desempenho. Ressalta-se também a maior “receptividade” da interface pelos usuários se experiência, dos que possuíam experiências na plataforma Android.

Durante a pesquisa para definição da tecnologia a ser utilizada neste trabalho, as referencias buscadas concentraram-se principalmente nos sistemas iOS e Android, tendo a primeiro sido escolhida para o desenvolvimento inicial, em função da experiência em projeto anteriores de parte do grupo de pesquisa o qual este aluno de mestrado estava inserido.

6.1. Desafios Encontrados

Os principais desafios encontrados foram:

- Entendimento da ferramenta PRISMA;
- Evolução da Ferramenta PRISMA como serviço;
- Entendimento do funcionamento do OpenCV e algoritmos, exemplos da literatura não funcionais, problemas de importação para o dispositivo móvel motivaram este serviço do lado servidor;
- Desafios tecnológicos de integração das soluções.

6.2. Trabalhos Futuros

Como sugestão de trabalhos futuros destaca-se:

- Inclusão do processo de aprendizagem do reconhecimento da face no cliente PRISMA-MAR;
- Evolução da interface da aplicação cliente e nos testes de usabilidade;
- Estender o reconhecimento para múltiplas faces e obtenção de informação de forma simultânea;
- Inclusão de outras técnicas de visualização, como exemplo: gráfico de área, dispersão de dados, coordenadas paralelas e treemap;
- Estender o cliente PRISMA-MAR para outros dispositivos iOS (iPhone e mini-iPad) e outras plataformas, exemplo: android e symbian;

REFERÊNCIAS

Acrossair. New York Nearest Subway. iTunes Store. Disponível em: <<https://itunes.apple.com/us/app/new-york-nearest-subway/id323100520?mt=8>> Acesso em 17 jul. 2010.

Ahoref. Websites as Graphs. Disponível em: <http://www.ahoref.info/2006/05/websites_as_graphs.htm> Acesso em jan. 2013.

ALMEIDA, L. H., MEIGUINS, B. S., GONÇALVES, A. S., & LOURENÇO, R. A. **WebPrisma: An Interactive Web-based Tool for Exploratory Visualization Using Multiple Coordinated Views.** Proceeding of 13th INTERNATIONAL CONFERENCE INFORMATION VISUALIZATION. Barcelona: IEEE, 2009, p 645-650.

APPLE WEBSITE. Disponível em: <<http://www.apple.com>> Acesso em 12 ago. 2012

ARKIT. Disponível em: <<http://www.github.com/zac/iphonemarkit>> Acesso em 12 ago. 2012.

AZUMA, R. T. **A Survey of Augmented Reality. In Presence: teleoperators and Virtual Environments**, 1197, p. 355-385.

AZUMA, R. T., HOFF, B. R., RONALD, S., DAILY, M. J., NEELY III, H. E., GARY, B., . . . CANNON, J. **Making Augmented Reality Work Outdoors Requires Hybrid Tracking.** Proc. of First Int'l Workshop on Augmented Reality, San Francisco, 1998, p. 219-224.

AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., & FEINER, S. **Recent advances in augmented reality.** Computer Graphics and Applications, 2001, p. 34-47.

BADADEV. **OpenGL ES 2.0 on Bada: Shaders and Programs.** Disponível em <<http://www.badadev.com/opengl-es-2-0-on-bada-shaders-and-programs/>>. Acesso em 2010.

BELL, B., FEINER, S., & HÖLLERER, T. **View Management for Virtual and Augmented Reality.** In Proc. UIST '01, Orlando, FL. 2001, p. 101-110.

BICHLMEIER, C., **Medical Augmented Reality Blog.** Disponível em: <<http://medicaugmentedreality.com/2012/03/mobile-medical-augmented-reality-app-for-the-apple-ipad-interview-with-prof-hans-peter-meinzer/>> Acesso em mar. 2012.

BIMBER, O., & RASKAR, R. **Spatial Augmented Reality - Merging Real and Virtual Worlds.** Massachusetts: A. K. Peters Ltd, 2005

BLOG, I. S. **Toronto Public Library.** Disponível em <<http://torontopubliclibrary.typepad.com/information-services-team/2011/06/ist-spring-conference-augmented-reality.html>>. Acesso em 06 jun 2011.

BRADSKY, G. R., PISAREVSKY, V., & BOUGUET, J. **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library,** Springer, 2006.

BULKYPIX. **AR Defender 2**. Disponível em <<https://itunes.apple.com/app/ar-defender-2/id559729773>>. Acesso em jan. 2013.

BUTCHART, B. **Architectural Styles for Augmented Reality in Smartphones**. International AR Standards Meeting, 2011, p. 1-7.

CARMO, R. M. **MVC-RA: Múltiplas Visões Coordenadas em Ambientes**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 2007

CARMO, R., MEIGUINS, B. S., GONÇALVES, A. S., PINHEIRO, S. C., ALMEIDA, L. H., & GODINHO, P. I. **Coordinated and Multiple Views in Augmented Reality Environment**. Proceedings of the 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION VISUALIZATION, Zurich, 2007, p 156-162.

COHEN, M., & MANSSOUR, H. I. **OpenGL - Uma Abordagem Prática e Objetiva**. Novatec, 2006.

CROCKFORD, D. **Introducing JSON**. Disponível em <<http://www.json.org/>>. Acesso em jun. 2012.

DANTONE, M., BOSSARD, L., QUACK, T., & VAN GOOL, L. **Augmented Faces**. PROCEEDINGS OF IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE VISION, 2011, p. 24-31.

DILL, F. **Graph-based Visualization of Topic Shifts**. Disponível em <<http://informationandvisualization.de/blog/graphbased-visualization-topic-shifts>> Acesso em 2008.

DOMHAN, T. **Android Augmented Reality (AndAR)**. Disponível em <<http://code.google.com/p/andar/>>. Acesso em 2011.

DROIDAR. Disponível em <<http://www.code.google.com/p/droidar>>. Acesso em 13. ago. 2012.

EDEN, T. **Augmented Reality Games - How Far Have We Come In 7 Years?** Disponível em <<http://shkspr.mobi/blog/2010/11/augmented-reality-games-how-far-have-we-come-in-7-years/>>. Acesso em 10 jan. 2003.

ENDIGY. **AR in Tourism and Travel**. Disponível em <http://endigy.com/2.5_AR_tourism_travel.php>. Acesso em 2011.

FEINER, S., MACINTYRE, B., HOLLERER, T., & WEBSTER, A. **A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment**. PROCEEDINGS OF FIRST IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEARABLE COMPUTERS (ISWC '97), Cambridge, MA.: IEEE, 1997, p. 74–81.

FEW, S. **Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis**, 2009.

FIALA, M. **ARTag - An Improved Marker System Based on ARToolkit**. Canada: National Research Council, 2004.

FRIENDLY, M. **Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization.** Disponível em <<http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/milestone.pdf>>. Acesso em 24 ago. 2009.

FRIENDLY, M., & DENIS, D. **1700-1799:** New graphic forms. Disponível em <<http://www.datavis.ca/milestones/>>. Acesso em 20 jan. 2013.

GERARD, B. **Founding the Taxonomy.** Disponível em <<http://bartgerard.wordpress.com/2011/11/01/founding-the-taxonomy/>> Acesso em 2011.

GERVAUTZ, M., & SCHMALSTIEG, D. **Anywhere Interfaces Using Handheld Augmented Reality.** Computer, 2012, p. 26-31.

GODINHO, P., MEIGUINS, B., MEIGUINS, A. S., CARMO, R. C., GARCIA, M. B., ALMEIDA, L. H., & LOURENCO, R. **PRISMA – A Multidimensional Information Visualization Tool Using Multiple Coordinated Views.** PROCEEDINGS OF 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE INFORMATION VISUALIZATION (IV '07), Zürich, Switzerland: IEEE, 2007, p. 23-32.

GOOGLE. Disponível em <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/about>>. Acesso em 21 ago. 2012

GUVEN, S., & FEINER, S. **Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality.** PROC. ISWC 2003 - IEEE INT. SYMP. ON WEARABLE COMPUTERS, New York, 2003, p. 118-126.

HART, S. G., & STAVENLAND, L. E. **Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research.** In: P. Hancock, & N. Meshkati, Human mental workload. Amsterdam: North Holland: Elsevier, 1988, p 183-139.

HENRYSSON, A., BILLINGHURST, M., & OLLILA, M. **Face to face collaborative AR on mobile phones.** FOURTH IEEE AND ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, USA, 2005, p. 80-89.

HINKLE, G. **Viewing lots of monitoring data.** Disponível em <<http://jroller.com/ghinkle/?page=1>>. Acesso em 2009.

INSELBERG, A. **Parallel Coordinates: Visual Multidimensional Geometry and Its Applications.** Springer, 2009.

Junaio. Disponível em <<http://www.junaio.com>>. Acesso em 12 ago. 2012.

KATO, H., & BILLINGHURST, M. **Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system.** 2ND IEEE AND ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON AUGMENTED REALITY (IWAR 99), 1999, p. 85-94.

KENT, J. **The Augmented Reality Handbook – Everything you need to know about Augmented Reality.** Teboo, 2011.

KHAN, M., & KHAN, S. S. **Data and Information Visualization Methods, and Interactive Mechanisms: A Survey.** INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS, 2011, p. 1-14.

KHRONOS. **OpenGL ES 2_X** - The Standard for Embedded Accelerated 3D Graphics. Disponível em <http://www.khronos.org/opengles/2_X/>. Acesso em 2012.

Kirner, C., & Tori, R. (2006). Fundamentos de Realidade Aumentada. In: R. Tori, C. Kirner, & R. Siscoutto, Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada (pp. 22-38). Belém: SBC.

LAYAR. Disponível em <<http://www.layar.com/>>. Acesso em 21 ago. 2012.

Lipchak, B. (2012). OpenGL ES - Version 3.0. Disponível em <http://www.khronos.org/registry/gles/specs/3.0/es_spec_3.0.0.pdf>.

LOURENÇO, R. A., & MEIGUINS, B. S. **Explorando, Comparando e Coordenando Múltiplas Fontes de Dados em uma Ferramenta de Visualização de Informação**. Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

LOURENCO, R. D., GUIMARAES, R., CARNEIRO, N., DA-SILVA FRANCO, R., MEIGUINS, A., & MEIGUINS, B. **Exploring, Comparing and Coordinating Multiple Datasets in an Information Visualization Tool**. PROCEEDINGS OF 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION VISUALISATION. Londres: IEEE, 2012, p. 613-618

MARENGONI, M., & STRINGHINI, D.. **Tutorial: Introdução à Visão Computacional usando OpenCV**. RITA - Volume XVI - Número 1, 2009, p. 125-160.

MCCUNE'S, D. **3-D Maps of San Francisco Crime**. Disponível em <<http://sanfrancisco.about.com/od/governmentcityservices/ig/San-Francisco-Crime-3-D-Maps/Crimes-top-view.htm>>. Acesso em 2013.

MEIGUINS, B., CASSEB, R., ALMEIDA, L., GARCIA, M., GODINHO, P., PINHEIRO, S., & GONÇALVES, A. **Multidimensional information visualization using augmented reality**. ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY CONTINUUM AND ITS APPLICATIONS, 2006, p. 391-394.

METAIO. Disponível em <<http://www.metaio.com>>. Acesso em 12 ago. 2012.

MILGRAM, P., & KISHINO, F. **A Taxonomy of Mixed Reality Visual Display**. IEICE TRANSACTIONS ON INFORMATION AND SYSTEMS, 1994, p. 1321-1329.

MÖHRING, M., LESSIG, C., & BIMBER, O. **Video See-Through AR on Consumer Cell Phones**. PROCEEDINGS OF THE 3TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY (ISMAR 04), 2004, p. 252-253.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston: Academic Press, 1993.

NIELSEN, J., & LANDAUER, T. K. **A mathematical model of the finding of usability problems**. PROCEEDINGS OF THE INTERACT '93 AND CHI '93 CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1993, p. 206-213.

OBJECT MANAGEMENT GROUP, Inc. **Object Management Group**. Disponível em <<http://www.omg.org>>. Acesso em 2012.

ONG, T., CHEN, H., SUNG, W., & ZHU, B. **Newsmap: a knowledge map for online news.** Decision Support Systems - Special issue: Collaborative work and knowledge management, 2005, p. 583 - 597.

OUI, W. W., NG, E. G., & KHAN, R. U. **Augmented Reality's Framework for Mobile.** PROCEEDINGS OF 5TH INTERNACIONAL CONFERENCE ON IT & MULTIMEDIA. Malaysia., 2011, p. 1-4.

PARK, A., & BOHNER, S. **Intended Use Evaluation Approach for Information Visualization.** AV Akademikerverlag, 2012.

PILLAT, R. M., VALIATI, E. R., & FREITAS, C. M. **Experimental Study on Evaluation of Multidimensional Information Visualization Techniques.** CLIHC'05, Cuernavaca - Mexico, 2005, p. 20-30.

Popcode. Disponível em <<http://popcode.info>>. Acesso em 21 ago. 2012.

PRESS, Q. C. **Pop-up store turns UK historic sites into augmented reality shopping centers.** Disponível em <<http://www.qrcodepress.com/pop-up-store-turns-uk-historic-sites-into-augmented-reality-shopping-centers/854883/>>. Acesso em 05 nov. 2011.

PRESSMAN, R. **Engenharia de Software.** 6. ed. São Paulo: Mcgraw-hill, 2006.

Qualcomm. Disponível em <<http://www.developer.qualcomm.com>>. Acesso em 12 ago. 2012.

RASKAR, R., VAN BAAR, J., BEARDSLEY, P., WILLWACHER, T., & RAO, S. F. **iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors.** Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003 Conference , 2003, p. 1-10.

Reicher, T. A Framework for Dynamically Adaptable Augmented Reality Systems (PhD thesis), München: Technische Universität München, Universitätsbibliothek, 2004. Disponível em <<http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/in/2004/reicher.pdf>>. Acesso em 2012.

REITMAYR, G., & DRUMMOND, T. **Going Out: Robust Model-based Tracking for Outdoor Augmented Reality.** PROCEEDINGS OF 5TH IEEE AND ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY (ISMAR 2006), 2006, p. 109-118.

REKIMOTO, J. **Augmented Reality Using the 2D Matrix Code.** PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON INTERACTIVE SYSTEMS AND SOFTWARE (WISS'96). 1996, p. 1-10.

REMBOLD, M., & SPÄTH, J. **Graphical visualization of text similarities in essays in a book.** 2013. Disponível em <http://www.munsterbund.de/visualisierung_textaehnlichkeiten/essay.php#Introduction>. Acesso em 2013.

ROCHE, K. **Pro iOS 5 Augmented Reality.** Apress, 2011.

SHNEIDERMAN, B. **Tree visualization with tree-maps: a 2d space-filling approach,** Vol. 11, No 1. ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS, 1992, 92-99.

SHNEIDERMAN, B. **The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations**. PROCEEDINGS OF THE IEEE SYMPOSIUM ON VISUAL LANGUAGES, 1996, p. 336 -343.

SOOD, R. **Pro Android Augmented Reality**. Apress, 2012.

SPENCE, R. **Information Visualization: Design for Interaction**. 2nd Edition, 2007.

STRING. Disponível em <<http://www.poweredbystring.com>>. Acesso em 12 ago. 2012.

TORI, R., & KIRNER, C. **Fundamentos da Realidade Virtual**. In: R. Tori, C. Kirner, & R. Sicoutto, Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada, Belém: CESUPA, 2006, p. 2-21

TUFTE, E. R. **The Visual Display of Quantitative Information** - Second Edition. Cheshire - Connecticut: Graphics Press LLC, 2006.

UNIX. Disponível em <<http://www.unix.org/>>. Acesso em 20 ago. 2012.

VANHEMERT, K. **Gizmodo**. Disponível em <<http://gizmodo.com/5599789/american-museum-of-natural-history-explorer-app-makes-paper-museum-maps-ancient-history>>. Acesso em 29 jul. 2010.

VLAHAKIS, V., KARIGIANNIS, J., TSOTROS, M., GOUNARIS, M., ALMEIDA, L., STRICKER, D., . . . IOANNIDIS, N. **ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites**. PROCEEDINGS OF VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY, AND CULTURAL HERITAGE INTERNATIONAL SYMPOSIUM (VAST01), 2001, p. 131 – 140.

VR-NEWS. **String announces the fastest and most powerful AR tech for iOS exclusively at the ARSummit**. Disponível em <<http://www.vr-news.com/2011/06/08/string-announces-the-fastest-and-most-powerful-ar-tech-for-ios-exclusively-at-the-ar-summit>>. Acesso em 13 ago. 2012.

WAGNER, D., & SCHMALSTIEG, D. **ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices**. COMPUTER VISION WINTER WORKSHOP, 2007. Austria.

WARD, M. O., GRINSTEIN, G., & KEIM, D. **Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications**, 2010

WIKITUDE. Disponível em <<http://www.wikitude.com>>. Acesso em 13 ago. 2012.