



Pós-Graduação em Ciência da Computação

TÉCNICA 3D DE VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO: DESIGN E AVALIAÇÃO DA USABILIDADE

Por

AMADEU SÁ DE CAMPOS FILHO

Tese de Doutorado



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, FEVEREIRO/2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

AMADEU SÁ DE CAMPOS FILHO

TÉCNICA 3D DE VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO: DESIGN E AVALIAÇÃO DA USABILIDADE

*ESTA TESE FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO REQUISITO
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO.*

ORIENTADOR: DR. ALEX SANDRO GOMES

CO-ORIENTADORA: DRA. MAGDALA ARAÚJO NOVAES

RECIFE, FEVEREIRO/2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Joana D'Arc L. Salvador, CRB 4-572

Campos Filho, Amadeu Sá de.

Técnica 3D de visualização da informação: design e avaliação da usabilidade / Amadeu Sá de Campos Filho. – Recife: O Autor, 2014.

180 f.: fig., graf. quadro.

Orientador: Alex Sandro Gomes.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CIN. Ciência da Computação, 2014.

Inclui referências, apêndice e anexos.

1. Interface gráfica com o usuário (Sistemas de computação). 2. Imagem tridimensional. 3. Visualização.

I. Gomes, Alex Sandro (orientador). II. Título.

006.6

(22. ed.)

MEI 2014-73

Tese de Doutorado apresentada por **Amadeu Sá de Campos Filho** à Pós Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título “**Técnica 3D de Visualização da Informação: Design e Avaliação da Usabilidade**” orientada pelo **Prof. Alex Sandro Gomes** e aprovada pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Profa. Bernadette Farias Lóscio
Centro de Informática / UFPE

Profa. Veronica Teichrieb
Centro de Informática / UFPE

Prof. Walter Franklin Marques Correia,
Departamento de Design / UFPE

Prof. Ricardo José Rocha Amorim
Faculdade de Ciências Aplicadas e Sociais de Petrolina

Profa. Flávia Mendes de Andrade e Peres
Departamento de Educação / UFRPE

Visto e permitida a impressão.
Recife, 26 de fevereiro de 2014.

Profa. Edna Natividade da Silva Barros
Coordenadora da Pós-Graduação em Ciência da Computação do
Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

**DEDICO ESTE TRABALHO À MINHA MÃE, AMIGA E COMPANHEIRA,
MARIA EMÍLIA FERREIRA CAMPOS.**

COM MUITO AMOR E CARINHO.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve a participação e colaboração de várias pessoas e entidades. Todas elas contribuíram de alguma forma para delineamento e orientação desta Tese. A todos, eu agradeço pela ajuda e por poder contar nas horas mais difíceis, e em especial:

Ao Prof. Dr. Alex Sandro Gomes, meu orientador e amigo, pela orientação e oportunidade que me deu em poder pesquisar numa área inovadora; pela paciência e dedicação que demonstrou em todas as etapas do Doutorado.

À Profa. Dra. Magdala de Araújo Novaes, minha coorientadora e amiga, pelo apoio, suporte e oportunidade em poder trabalhar e pesquisar com a área de Telessaúde.

Aos Professores Dr. Walter Franklin Marques Correia, Dra. Bernadette Farias Lóscio e Dra. Verônica Teichrieb, pelas contribuições atribuídas à Tese durante o exame de qualificação e por aceitar participar da banca da defesa do meu Doutorado.

Aos Professores Dr. Ricardo José Rocha Amorim, Dra. Flávia Peres, Dr. Frederico Luiz Gonçalves de Freitas e Dra. Laura Bezerra Martins, por aceitarem participar da banca da defesa do meu Doutorado.

A todos os Professores que compõem o corpo docente do Centro de Informática.

Aos professores, alunos e amigos do grupo Ciências Cognitivas e Tecnologias Educacionais (CCTE), em especial a Rodrigo Lins que me ajudou na análise estatística dos dados, à Rosângela Carvalho, Ivanildo Melo, Nicolau Calado, Paulo Perris e João Marcelo que participaram do experimento.

Aos professores, alunos e amigos do Núcleo de Telessaúde da Universidade de Pernambuco, em especial à Profa. Dra. Paula Diniz, Mariana Batista, Claudinalle Souza, Daniele Alves, Fred Rabelo, Marília Oliveira, Genival Filho, Danilo Silva e Tatiana Bertulino que sempre me apoiaram nas horas de angústia.

À toda equipe de funcionários do Centro de Informática da UFPE, em especial à Lília, Nanci e Socorro da secretaria, por me ajudarem em todos os momentos que necessitei.

Ao Instituto Nacional de Psiquiatria do Desenvolvimento e ao CNPq que possibilitaram a realização deste trabalho e o último por ter fornecido uma bolsa de estudos.

A todos os que participaram da aplicação do estudo de caso em especial a José Carvalho Neto e a Marcos Machado que me ajudou no desenvolvimento do protótipo.

À Dra. Nilza por me dar um apoio psicológico nas horas mais difíceis do Doutorado e por ter me ajudado a enxergar a vida com outros olhos.

A todos meus amigos (Susane, Daniel, Maju, Judith, Fátima, Vanessa e Marcos Aurélio) que nunca duvidaram de minha capacidade de vencer e acreditaram em mim, em especial a Jairson Vitorino, e que sempre estão ao meu lado mesmo nas horas mais difíceis.

À toda minha família: Guto, Eva, Marcelo, Marízia, e meus sobrinhos (Isabela, Guilherme, Julia e Letícia), minha querida madrinha Dulce que é uma segunda mãe para mim, minha avó que é um exemplo de vida e em especial à minha querida mãe, exemplo de uma grande mulher, por ter acreditado e investido em mim todo seu amor, confiança, segurança e credibilidade nas horas que eu mais precisava.

E por último, a André Bernardo e seus filhos André Junior e Vinicius, por terem me proporcionado uma nova vida e terem acreditado no meu potencial, me ajudado a vencer e, principalmente, terem me feito entender que sempre somos capazes de chegar até o fim.

*“A força não provém da capacidade física.
Provém de uma vontade indomável.”*

Mahatma Gandhi

Resumo

Desde o surgimento da Internet, o volume de dados vem aumentando exponencialmente. Com isso um dos grandes desafios é transformar essa quantidade de dados não estruturados em informações legíveis de forma clara através de técnicas de visualização. Tradicionalmente a visualização desses dados é feita com técnicas 2D, mas muitas vezes é difícil visualizar, interpretar e tomar uma decisão adequada quando se tem dados multivariados. Com esse fato, as técnicas 3D de visualização vem surgindo para contornar esse problema. Esta pesquisa tem como objetivo testar a hipótese de que o uso de técnicas 3D de visualização da informação é mais eficiente e eficaz no auxílio aos usuários na busca de uma informação específica diminuindo o tempo de procura e a carga mental que as técnicas de visualização 2D. A validação da hipótese foi feita através de uma avaliação de usabilidade ergonômica e da carga mental requerida na execução de uma tarefa com o protótipo desenvolvido. Contamos com a participação de uma amostra probabilística de profissionais de Telessaúde e Educação a distância. A comprovação da hipótese foi realizada e os dados foram coletados por meio de técnica de observação e com a ajuda de questionários de usabilidade e de carga mental de trabalho. A análise dos dados foi feita com base em abordagens quantitativa e qualitativa. Os resultados do estudo mostraram que o protótipo continha 18 problemas de usabilidade e 13 sugestões de melhorias e a maioria dos participantes relatou uma forte motivação e interesse na utilização no protótipo desenvolvido com a técnica 3D. Em relação a análise da carga mental de trabalho, apesar do tempo de execução da tarefa e da efetividade do protótipo com a técnica 3D fosse menor que a técnica 2D, a técnica 3D demandou menos esforço mental que a técnica 2D.

Palavras-chave: Visualização da informação, Design de Interação, Usabilidade, 3D, Indicadores.

Abstract

Since the rise of the Internet, the volume of data has been increasing exponentially. One of the challenges is to transform this amount of unstructured data into legible information through visualization techniques. Traditionally, data visualization is developed with 2D techniques, but it is often difficult to visualize, interpret or making the right decisions with a 2D technique when you have multivariate data. For this reason, the 3D visualization techniques are emerging to addresses this issue. This research aims at testing the hypothesis that the use of 3D techniques for information visualization is more effective as support to users in visualizing information than some 2D visualization techniques. The validation of the hypothesis was performed through a usability and mental load evaluation required in the execution of a task with the prototype. We used a random sample of professionals from Telehealth and Distance Education. Data were collected through observation technique and with the help of usability and mental workload questionnaires; Protocol NASA TLX. Data analysis was based on quantitative and qualitative approaches. The study showed that, although the prototype obtain 18 usability problems and 13 suggestions for improvements, most participants demonstrated strong motivation and interest in using the prototype. Furthermore regarding mental workload, despite the time of task execution and effectiveness of prototype with 3D technique was less than with the 2D technique, the 3D technique required less mental effort than the 2D technique.

Keywords: Information visualization, Interaction Design, Usability, 3D, Indicators.

Lista de Figuras

Figura 1 – Conceitos relacionados com visualização.....	23
Figura 2 - Conectividade e entendimento dos dados.....	25
Figura 3 - Visualização de dados.....	26
Figura 4 - Visualização da informação.....	27
Figura 5 - Modelo de visualização.	28
Figura 6 - Modelo de visualização de Card, Mackinlay e Shneiderman.	28
Figura 7 - Modelo de interação homem máquina.....	30
Figura 8 – Visualização dos eventos considerados marcos da visualização de dados.	37
Figura 9 – Técnica clássica de Visualização de grafos em árvore.	40
Figura 10 – Técnica de árvore radial.....	41
Figura 11 - Sistemas de participação social mediada por tecnologia.	43
Figura 12 - Social networks adapting pedagogical practice (SNAPP).	44
Figura 13 – CourseVis.....	45
Figura 14 – Técnica 3D das caixas de informação alinhadas.....	48
Figura 15 – Técnica de visualização 3D cone tree.	48
Figura 16 – Webbook.	50
Figura 17 – Fases da pesquisa.	61
Figura 18 – Método de pesquisa.....	62
Figura 19 – Processo de design centrado no usuário.....	67
Figura 20 – Critérios ergonômicos de Bastien e Scapin.....	70
Figura 21 – Site de visualização da informação ManyEyes.....	75
Figura 22 – Indicadores de Telessaúde.	76
Figura 23 – Indicadores do Redu.....	77
Figura 24 – Procedimento da avaliação.....	78
Figura 25 – Cenário do protótipo 3D.	84
Figura 26 – Arquitetura do protótipo.....	85
Figura 27 – Interface 1: Universo 3D.....	87
Figura 28 – Interface 2: Nível 3D.....	88
Figura 29 – Painel para escolher o arquivo XML.	89
Figura 30 - Painel para configurar as variáveis.	90
Figura 31 – Ambiente com a técnica 3D.	90
Figura 32 – Problemas relatados pelos participantes no ambiente 3D – parte 1.....	95
Figura 33 – Problemas relatados pelos participantes no ambiente 3D – parte 2.....	96
Figura 34 - Movimento planetário.....	139
Figura 35 - Gráfico da distância de Toledo a Roma.....	140
Figura 36 - Gráfico que compara a populações e impostos por vários países.....	141
Figura 37 - Mapa do analfabetismo na França.....	142
Figura 38 - Gráfico 3D da população da Suécia.....	143
Figura 39 - Mapa do metro de Londres.	144
Figura 40 - Técnica fisheyes do mapa de Washington D.C.	145

Lista de Quadros

Quadro 1– Quadro metodológico.	57
Quadro 2 - Objetivos específicos da pesquisa.	58
Quadro 3 – Relação dos variáveis de avaliação x técnica.	62
Quadro 4 – Dicas de Profundidade.	65
Quadro 5 – Análise dos Concorrentes.	66
Quadro 6 - Relação entre as questões de Usabilidade com os Critérios Ergonômicos.	71
Quadro 7 – Quadro da Taxa Global Ponderada.....	74

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Área de Conhecimento dos Participantes em Telessaúde.	92
Gráfico 2 – Resultado da Análise de Usabilidade.	93
Gráfico 3 – Média da Taxa Global Ponderada para a amostra de Telessaúde.	99
Gráfico 4 – Média de cada subfator para amostra de Telessaúde.	100
Gráfico 5 – Taxa de Sucesso para Amostra de Telessaúde.	101
Gráfico 6 – Tempo de Realização da Tarefa para Amostra de Telessaúde.	102
Gráfico 7 – Eficiência da Tarefa para Amostra de Telessaúde.	103
Gráfico 8 – Área de Conhecimento dos Participantes de Educação.....	104
Gráfico 9 – Média da Taxa Global Ponderada para Amostra de Educação a Distância.	105
Gráfico 10 – Média de valores de cada Subfator para Educação a Distância.	106
Gráfico 11 – Quantidades de Acertos para Amostra de Educação à Distância.	107
Gráfico 12 – Tempo de Realização da Tarefa para Amostra de Educação a Distância.	108
Gráfico 13 – Taxa de Eficiência para Amostra de Educação a Distância.	109

Lista de Abreviaturas e Siglas

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
ACM	Association for Computing Machinery
API	Application Programming Interface
CAAE	Certificado da Apresentação para Apreciação de Ética
CAVE	Computer Assisted Virtual Environment
CIN	Centro de Informática
CTA	Cognitive Task Analysis
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
GUI	Graphical User Interface
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHC	Interfaces Homem Computador
MDS	Multidimensional Scaling
MGA	Medical Graphical Avatar
RedeNUTES	Rede de Núcleos de Telessaúde de Pernambuco
SNAPP	Social Networks Adapting Pedagogical Practice
SGI	Sistema de Gerenciamento de Informação
SDM	Selective Dynamic Manipulation
SWAT	Subjective Workload Assessment Technic
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento
TGP	Taxa Global Ponderada
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
W3C	World Wide Web Consortium
WIMP	Windows, Icons, Menus and Pointers
WIVF	Web based Information Visualization <i>Framework</i>
WWW	World Wide Web

Sumário

Capítulo 1	16
1 Introdução	16
1.1 Contextualização	17
1.2 Problemática e Justificativa	18
1.3 Motivação	19
1.4 Questão de Pesquisa e Hipóteses da Tese.....	20
1.5 Objetivos	20
1.6 Método.....	21
1.7 Organização do documento da tese	22
Capítulo 2	23
2 Visualização	23
2.1 Conceitos: Visualização de Dados, Visualização de Informações e Visualização Científica.....	24
2.2 Modelos de Visualizações	27
2.3 Fenômenos Cognitivos relacionado com a visualização de dados.....	30
2.3.1 Percepção Visual	30
2.3.2 Interpretação de dados	32
2.3.3 Resolução de Problemas	33
2.3.4 Aprendizagem.....	34
2.4 Abordagens Conceituais para Cognição	36
2.5 Origem e Evolução da Visualização de Dados	37
2.6 Estudos Relacionados com Técnicas de Visualização 2D e 3D	38
2.6.1 Visualização com Técnicas 2D.....	39
2.6.2 Visualização com técnicas 3D	47
2.6.3 Estudos comparativos entre as técnicas 2D e 3D.....	53
2.7 Conclusão	55
Capítulo 3	57
3 Método	57
3.1 Estrutura do Método	57
3.2 Premissas	58
3.3 Objetivos	58
3.4 Hipóteses	58
3.5 Participantes	59
3.6 Fases da Pesquisa	60
3.6.1 Primeira Fase: Referencial Teórico	62
3.6.2 Segunda Fase: Processo de Design centrado no usuário.....	67

3.6.3	Terceira Fase: Avaliação de Usabilidade.....	68
3.6.4	Quarta fase: Análise de Dados.....	79
3.7	Aspectos Éticos e Legais	82
Capítulo 4		83
4	Resultados	83
4.1	<i>Framework</i> para visualização da informação 3D	83
4.1.1	Arquitetura.....	84
4.1.2	Interface 1: Universo 3D	86
4.1.3	Interface 2: Níveis 3D.....	88
4.1.4	Interface 3: 3DataView.....	89
4.2	Estudo de Caso: Telessaúde	91
4.2.1	Avaliação da usabilidade da interface “3DataView”	91
4.2.2	Características do usuário	92
4.2.3	Avaliação Ergonômica de Usabilidade.....	92
4.2.4	Avaliação da severidade dos problemas de Usabilidade	94
4.2.5	Avaliação Qualitativa	97
4.2.6	Avaliação da Carga Mental: NASA Task Load Index.....	98
4.2.7	Avaliação da Efetividade (taxa de acertos).....	101
4.2.8	Avaliação do Tempo da Tarefa.....	101
4.2.9	Avaliação de Eficiência (taxa de acerto / tempo)	102
4.3	Caso de Estudo: Educação a Distância	103
4.3.1	Características do usuário	104
4.3.2	Avaliação da Carga Mental: NASA Task Load Index.....	104
4.3.3	Avaliação da efetividade (taxa de acertos)	107
4.3.4	Avaliação do Tempo da Tarefa.....	108
4.3.5	Avaliação da Eficiência (taxa de acerto / tempo)	109
4.4	Discussão	109
4.4.1	Processo de Concepção do Framework	110
4.4.2	Motivação dos usuários na utilização do protótipo.....	112
4.4.3	Usabilidade do modelo de visualização 3D	112
4.4.4	Metáforas utilizadas na concepção do protótipos	113
4.4.5	Dificuldades de orientação com a técnica 3D.....	114
4.4.6	Efetividade na execução de tarefas	115
4.4.7	Tempos de execução de tarefas	116
4.4.8	Eficiência na execução de tarefas	117
Capítulo 5		118
5	Conclusão e Trabalhos Futuros.....	118
5.1	Trabalhos Futuros	120
Referências		122
APÊNDICES		138
APÊNDICE A – História da Visualização		139
APÊNDICE B – Questionário de Usabilidade Ergonômica		146
APÊNDICE C – Questionário de Problemas Encontrados no Ambiente 3D		147
APÊNDICE D - Introdução a Avaliação		148

APÊNDICE E – Termo Consentimento Livre e Esclarecido.....	149
APÊNDICE F - Questionário demográfico e de experiências anteriores	151
APÊNDICE G – Tarefas	153
APÊNDICE H – Valores da TGP para Amostra de Telessaúde com a Técnica 2D	156
APÊNDICE I – Valores da TGP para Amostra de Telessaúde com a Técnica 3D	160
APÊNDICE J – Valores dos Tempos da Amostra de Telessaúde com a técnica 2D	164
APÊNDICE K – Valores dos Tempos da Amostra de Telessaúde com a Técnica 3D	165
APÊNDICE L – Valores da TGP para Amostra de Educação à Distância com a Técnica 2D	166
APÊNDICE M – Valores da TGP para Amostra de Educação à Distância com a Técnica 3D	169
APÊNDICE N – Valores dos Tempos da Amostra de Educação à Distância com a técnica 2D	172
APÊNDICE O – Valores dos Tempos da Amostra de Educação à Distância com a técnica 3D	173
ANEXOS	174
ANEXO A – Questionário de Carga Mental de Trabalho - NASA TLX.....	175
ANEXO B – Certificado da Apresentação para Apreciação de Ética	178

Capítulo 1

1 Introdução

Desde o advento da Internet, em meados dos anos noventa, o volume de tráfego de dados através da rede vem crescendo rapidamente, proporcionando ao usuário mais acesso à informação e ao conhecimento do que antes e com uma quantidade maior de dados. Em muitos casos, estes dados não são estruturados, o que torna cada vez mais difícil para o usuário resumir, entender e dar sentido a esses dados na tomada de melhores decisões e encontrar o que está à procura (KEIM, 2002; CHAKRABORTY, 2014). Enquanto isso, o resultado dessa busca nem sempre tem algum significado e a chance de um dado ter sentido numa nuvem de informações é cada vez mais difícil tanto para novatos quanto para experientes usuários da Internet.

O advento das redes sociais passou a contribuir para o aumento da quantidade de dados e informações na rede, e muitos indicadores passaram a ser produzidos sobre o comportamento dos usuários nas redes sociais. Estes indicadores são importantes para identificar o comportamento dos usuários ou serviços sob determinados aspectos de uma determinada rede social. Devido a este fenômeno Schwartzman e Borning (2007) observaram uma crescente demanda por métodos e ferramentas para apoiar a construção do conhecimento e para a avaliação de variáveis (indicadores) que apresentam ou fornecem informações para um gestor sobre o estado da qualidade do serviço em várias áreas, tais como saúde, educação, economia, matemática, engenharia e indústria.

A fim de auxiliar os usuários na busca, recuperação e no fazer sentido sobre informações, organizações como a *World Wide Web Consortium* (W3C) e a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) estão dedicando esforços e iniciativas para desenvolvimento da "Web Semântica" (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Esta iniciativa une o significado das palavras e tem como objetivo atribuir um sentido (lógica) para o conteúdo publicado na Internet. A expectativa dessas iniciativas é promover um resultado mais eficaz e acessível, de forma pragmática, que seja mais fácil para o ser humano consumir menos recursos computacionais.

Além disso, a interpretação dessa quantidade de dados tornou-se progressivamente

mais difícil. Atualmente, existem várias ferramentas que ajudam na análise e exploração visual de conjuntos de dados. Essas ferramentas aplicam técnicas que tem como objetivo representar visualmente dados e permitir que os usuários interajam com essas representações. Por outro lado, o resultado da pesquisa na literatura descrita no capítulo de trabalhos relacionados relatou que há poucas ferramentas com técnica 3D para fornecer uma representação visual que suporta a capacidade de visualizar e analisar mais de duas variáveis (multivariáveis) em uma única visualização. Para superar este problema, propusemos nesse trabalho o desenvolvimento de um sistema de visualização com técnicas 3D para a análise dos indicadores.

1.1 Contextualização

De acordo com Card, Mackinlay e Shneiderman (1999), Visualização de Informação corresponde a um conjunto de técnicas que permitem ao usuário criar formas gráficas de processamento de dados que utilizam o computador em processos interativos para gerar representações visuais e expandir o conhecimento desta informação. Estas técnicas são utilizadas nas *Graphical User Interfaces* (GUI) desde a década de 1990 para facilitar a percepção visual, a compreensão de dados e tarefas de interpretação de dados (fenômenos cognitivos relacionados com a interpretação dos dados). As técnicas de visualização da informação também são usadas como uma forma de interação com o usuário na manipulação dos dados.

A essência da visualização de informação consiste em representar visualmente um objeto na forma de uma imagem dentro do modelo mental humano, que é um mecanismo do pensamento pelos quais o homem tenta explicar como são os objetos no mundo real. É uma espécie de projeção do objeto para o sistema cognitivo onde é feita uma transformação do objeto num símbolo interno ou numa representação da realidade externa (CARROLL, 1985). Na maioria dos casos, as imagens projetadas são destinadas a criar uma espécie de correlação visual com o modelo mental do usuário assim como representações textuais. A visualização da informação também tem vantagens no grau de percepção humana (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999; WARE, 2012; CHEN, 2006).

Assim, novas técnicas de visualização de informação estão se tornando a cada dia essenciais para estimular o reconhecimento de padrões em dados e ajudar os usuários a entender os seguintes diferentes tipos de processos cognitivos (BUTLER *et al.*, 1993):

- a) **exploração:** o usuário não sabe o que está procurando (Descoberta);
- b) **análise:** o usuário sabe o que está procurando nos dados. A visualização ajuda a determinar se a informação que o usuário procura está nos dados (Decisão);
- c) **descrição:** o fenômeno ocorre quando os dados são conhecidos, mas o usuário deve examinar visualmente os dados para poder descrevê-los (Explicação).

1.2 Problemática e Justificativa

Gestores ou administradores de serviços tem um desafio na interpretação de vários indicadores com mais de duas variáveis de forma a encontrar tendências, anomalias e soluções num conjunto de dados através dos processos cognitivos descritos acima. Esses processos cognitivos podem ser sobrecarregados quando o volume de informação coletadas sobre indicadores gerados for grande ou quando o número de variáveis a serem analisadas seja maior que duas variáveis. Neste caso, os processos cognitivos irão exigir uma maior percepção e carga mental para compreender o significado dos dados.

No entanto, ao longo do tempo, muitas centenas de indicadores são avaliados, na tentativa de se obter um senso intuitivo dos dados, mas nem sempre isso é possível, pois é difícil exibir os conjuntos de dados de quatro ou mais dimensões em uma tela de duas dimensões (2D) ou em um pedaço de papel, sem a perda de visão (CVEK, 2011). Esse fato ocorre em função das técnicas 2D de visualização tradicionais não mostrarem claramente todos os detalhes dos dados e também não serem projetadas de forma correta para tornar perceptíveis as tendências que não são visíveis de outra forma (MALCZEWSKI, 2006).

Por outro lado, atualmente os dados são visualizados em softwares que fornecem uma representação gráfica com diversos tipos de técnicas 2D, como por exemplo: linhas poligonais, gráficos de barras, gráficos de pizza, gráficos de rosca, entre outros. Contudo, os gráficos com técnicas 2D têm várias restrições, como por exemplo a não possibilidade de rotacionar os gráficos por eles serem planos, usando apenas o eixo X e Y (horizontal e vertical) e consequentemente a imagem ficar em duas dimensões. A técnica 3D acrescenta a dimensão 'Z' que permite rotacionar a estrutura dos dados gerando uma nova visualização e inserir mais informação na profundidade do gráfico (HELIANG; KATO; TSUCHIDA, 2013; SANFTMANN, 2012).

Muitas vezes novas formas de representações dessas variáveis podem fazer com que os dados sejam interpretados de forma mais rápida e eficaz, e pode também ajudar os

tomadores de decisão priorizar as ações e regulamentos necessários para melhores resultados. Além disso, o acesso e gestão desta quantidade de informação tornam-se difíceis e limitados numa interface 2D, pois é difícil ver todo conjunto de dados de uma forma simples e também entender facilmente a relação entre eles (TAKAHASHI; FUJISHIRO; OKADA, 2009; POCO, 2011). Assim, técnicas de visualização 3D estão surgindo (LTIFI *et al.*, 2012; WALLER *et. al*, 2013; CASERTA; ZENDRA; BODENES, 2011) e oferecendo possíveis soluções para esses problemas que exigem grande carga mental, especialmente quando todos os detalhes dos dados vão ser visualizados e explorados (HULLMAN; ADAR; SHAH, 2011).

1.3 Motivação

Atualmente nós vivemos num mundo cheio de dados em todos os lugares e muitas vezes não conseguimos extrair e visualizar as informações que estamos procurando. Em alguns casos se faz necessário a utilização de um “tradutor” para que esses dados se tornem as informações corretas. Esse “tradutor” se chama visualização. Existem algumas técnicas com interfaces 2D de visualização utilizadas para representar visualmente os dados, mas nem sempre essas técnicas são eficientes quando representam dados multivariados.

Alguns autores (WARE, 2012; TUFTE, 2001; SHARAFI, 2011) afirmam que a utilização de duas dimensões (2D) é suficiente para mostrar apenas a informação e o uso desta nova dimensão (3D) deve ser aplicada para visualizar as relações entre os dados num conjunto de dados semanticamente estruturados ou quando são analisados mais de duas variáveis de um mesmo conjunto de dados. Outros, no entanto, pensam que visualizações com técnicas 3D facilitam o entendimento por meio do sistema visual humano (IRANI; WARE, 2003), pois eles acreditam que a inclusão de elementos esteticamente atraentes, como gráficos 3D e animações, podem melhorar os recursos de interpretação, a intuição e a capacidade de memorização (KOMLODI *et. al.*, 2012; HULLMAN; ADAR; SHAH, 2011).

Além disso, a semelhança dos gráficos 3D com o mundo real permite que a representação da informação se pareça mais natural quando construída através do uso de metáforas (AVERBUKH *et al.*, 2007). Os autores descreveram que as metáforas são o uso de conceitos e conhecimentos de um domínio (origem) da experiência humana para entender melhor e estruturar os fenômenos e conceitos de outro domínio (destino) que, como regra, é mais abstrato. As metáforas também são representação dos objetos de acordo com seu verdadeiro conceito associado. Ao usar metáforas em uma visualização, a interação pode ser mais eficaz; variando de uma imersão na navegação às diferentes técnicas de manipulação.

Além disso, as animações podem ser percebidas de forma mais realista (TEYSEYRE; CAMPO, 2009). A procura de novas soluções para a visualização de informações usando uma dimensão extra é um desafio e uma necessidade para o suporte na procura de uma informação específica e de navegação através de grandes quantidades de dados.

1.4 Questão de Pesquisa e Hipóteses da Tese

A questão de pesquisa que norteia esta tese de doutorado é: como conceber uma solução de visualização de informação com técnicas 3D para análise e monitoramento de mais de duas variáveis de forma a melhorar a efetividade e eficiência na busca de informações específicas, reduzindo o tempo de busca e a carga mental?

A partir dessa questão de pesquisa, surgiu a hipótese principal deste trabalho: o uso de técnicas 3D de visualização de informações pode melhorar a identificação de padrões, percepção visual e compreensão na busca de informações específicas, reduzindo o tempo de busca e a carga cognitiva em relação ao uso de técnicas 2D. Essa hipótese principal está condicionada à validação de quatro hipóteses secundárias definidas abaixo:

Hipótese 1: a carga mental na realização de uma tarefa com a técnica 3D é igual a carga mental com a técnica 2D. Para isto definimos a hipótese nula com sendo H_{1-0} : $\Delta CM_{3D} = \Delta CM_{2D}$ e a hipótese alternativa como sendo H_{1-1} : $\Delta CM_{3D} \neq \Delta CM_{2D}$

Hipótese 2: a efetividade na realização da tarefa com a técnica 3D é igual a efetividade com a técnica 2D. Para isto definimos a hipótese nula com sendo H_{2-0} : $\Delta Efe_{3D} = \Delta Efe_{2D}$ e a hipótese alternativa como sendo H_{2-1} : $\Delta Efe_{3D} \neq \Delta Efe_{2D}$.

Hipótese 3: o tempo gasto na realização da tarefa com a técnica 3D é igual ao tempo gasto com a técnica 2D. Para isto definimos a hipótese nula como sendo H_{3-0} : $\Delta t_{3D} = \Delta t_{2D}$ e a hipótese alternativa como sendo H_{3-1} : $\Delta t_{3D} \neq \Delta t_{2D}$.

Hipótese 4: a eficiência na realização da tarefa com a técnica 3D é igual a eficiência com a técnica 2D. Para isto definimos a hipótese nula com sendo H_{4-0} : $\Delta Efi_{3D} = \Delta Efi_{2D}$ e a hipótese alternativa como sendo H_{4-1} : $\Delta Efi_{3D} \neq \Delta Efi_{2D}$.

1.5 Objetivos

O objetivo desta tese é conceber uma nova técnica 3D de visualização de informação por meio do design e avaliação da usabilidade. Para atingir este objetivo foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) construir um *framework* que sirva como base para o desenvolvimento de sistemas com técnicas 3D de visualização da informação;
- b) desenvolver um protótipo com técnicas de visualização em 3D com base nos requisitos identificados;
- c) avaliar a usabilidade, efetividade e eficiência do protótipo desenvolvido com a técnica 3D baseado nos critérios ergonômicos em relação a técnica 2D;
- d) avaliar a carga mental usada na realização de uma tarefa de interpretação, percepção visual, resolução de problemas e aprendizagem com a técnica 3D em relação à técnica 2D.

1.6 Método

Foi realizada uma pesquisa experimental com uma avaliação de usabilidade, efetividade, eficiência e carga mental utilizando abordagens quali-quantitativa. A população do experimento foi constituída de profissionais que trabalham com indicadores de monitoramento de qualidade de serviços em uma rede social. Esta população foi composta por dois estratos relacionados à Telessaúde e educação a distância.

No estrato de telessaúde, o protótipo buscou dados na rede social de Telessaúde, HealthNet, desenvolvida pelo Núcleo de Telessaúde (NUTES) no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco. No estrato de educação, o protótipo buscou dados na Rede Social Redu (Rede Social para Educação) desenvolvido pelo Centro de Informática (CIn) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

De acordo com o método, a pesquisa foi realizada em quatro fases:

- a) **revisão de literatura:** foi realizado um estudo detalhado sobre os conceitos, características, trabalhos realizados, requisitos dos usuários, problemas encontrados e possíveis soluções encontradas em sistemas de visualização da informação que utilizam técnicas 2D e 3D;
- b) **processo de design:** foi planejado e desenvolvido um protótipo com requisitos centrados no usuário;
- c) **avaliação de usabilidade:** foi realizado o teste de usabilidade juntamente com a avaliação da carga mental de trabalho na realização de uma tarefa;
- d) **análise de dados:** os dados coletados foram analisados quantitativamente (análise estatística) e qualitativamente (análise fenomenológica).

Todas as técnicas e instrumentos utilizados em cada fase descrita acima foram detalhados no capítulo 3 “método da pesquisa”.

1.7 Organização do documento da tese

Em relação à estrutura, este trabalho está dividido em quatro capítulos: no capítulo 2 é descrita uma revisão da literatura sobre a área de visualização da informação através de conceitos de visualização de informação, definição de modelos de visualização, definição dos fenômenos cognitivos relacionados com a visualização de dados e trabalhos relacionados com o uso de técnicas 2D e 3D. O capítulo 3 relata o método utilizado na pesquisa, apresentando um quadro metodológico, as fases da pesquisa juntamente com as técnicas e instrumentos utilizados, e todos os procedimentos para a aplicação do método de pesquisa. O capítulo 4 apresenta os resultados da avaliação da usabilidade juntamente com a análise dos dados e as discussões. Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões finais, trazendo uma análise das limitações e validade do trabalho como um todo, lições aprendidas e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

2 Visualização

A pesquisa na área de Visualização implica na discussão de uma grande variedade de conceitos, modelos, processos e exemplos de técnicas de visualização. Este capítulo está dividido em quatro partes onde serão apresentados e discutidos alguns conceitos que podem ser vistos na Figura 1. A primeira parte apresenta uma introdução aos conceitos de visualização da informação, visualização de dados e visualização científica. Na segunda parte são apresentados os principais modelos de visualização da informação, os fenômenos cognitivos relacionados ao processo de visualização e também as abordagens conceituais de design da interação para a cognição. Após isso será descrita a origem e evolução da visualização de dados através dos marcos da história da visualização de dados. Na quarta parte serão apresentados alguns trabalhos e estudos realizados sobre o tema e sobre os problemas encontrados de usabilidade ocorridos com as técnicas de visualização 2D e 3D e, finalmente, vamos discutir os problemas encontrados e propor novas soluções de visualização com técnicas 3D para resolver estes problemas.

Figura 1 – Conceitos relacionados com visualização.



Fonte: Autor (2014).

2.1 Conceitos: Visualização de Dados, Visualização de Informações e Visualização Científica

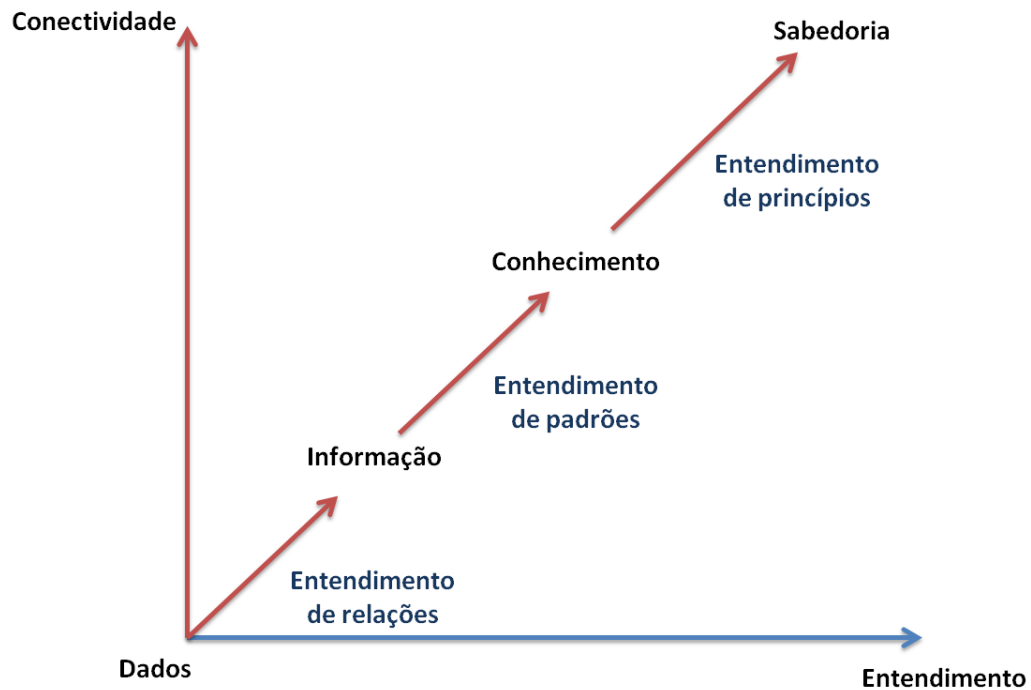
Existem muitas definições sobre o conceito de visualização. Hutchins (1995) afirma que a visualização ocorre quando as pessoas processam os símbolos dentro da mente criando uma distinção entre as atividades cognitivas e perceptivas. Por outro lado Card, Mackinlay e Shneiderman (1999) definiram visualização como um processo que recupera os dados brutos para ser transformados em formas visuais utilizando principalmente os recursos visuais dos seres humanos. Por outro lado, Kantardzic (2011) descreve que a visualização preocupa-se com a exibição do comportamento e, particularmente, com a exibição dos estados complexos de comportamento compreensível para o olho humano.

Assim, o processo de visualização é uma interface eficaz entre dois sistemas de processamento de informação: a mente humana e o sistema. De acordo com Russell Ackoff a mente humana pode classificar o conhecimento em cinco categorias (ACKOFF, 1989; CHEN *et al.*, 2009):

- a) **Dados:** valores brutos;
- b) **Informação:** ocorre quando se entendem as relações entre os dados e eles são processados para terem significado. As informações fornecem respostas para questões "quem", "o quê", "onde" e "quando";
- c) **Conhecimento:** ocorre quando são compreendidos os padrões entre as informações. O conhecimento fornece respostas às questões "como";
- d) **Entendimento:** proporciona a valorização do "por quê";
- e) **Sabedoria:** ocorre quando se entende os princípios do conhecimento. A sabedoria avalia a compreensão.

Segundo Bellinger, Castro e Mills (2004) estas cinco categorias estão relacionadas à conexão e compreensão dos dados (Figura 2).

Figura 2 - Conectividade e entendimento dos dados.

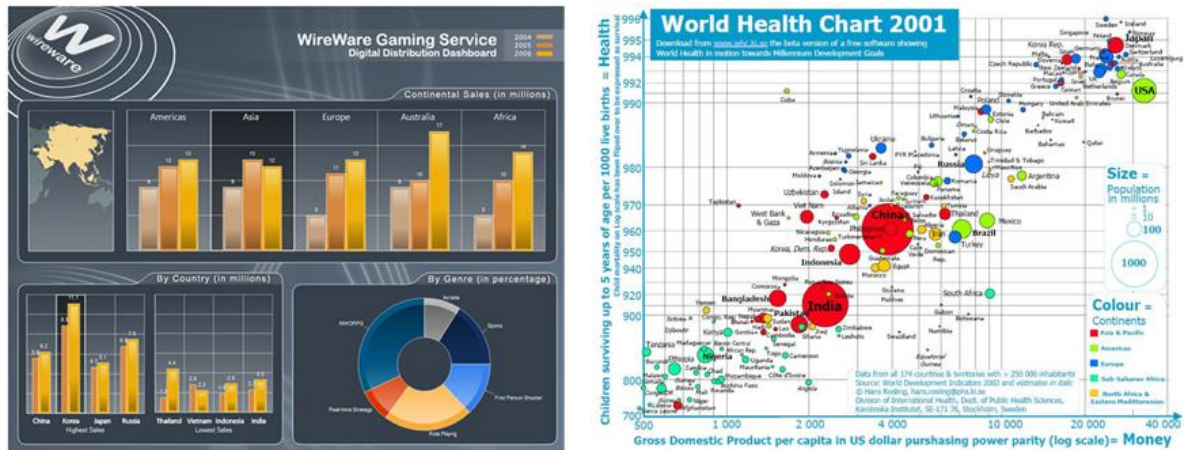


Fonte: Bellinger, Castro e Mills (2004).

De acordo com a Figura 2, no primeiro nível de relação os dados brutos não têm nenhuma relação entre si. Essa condição faz com que a visualização dos dados possa ser feita de uma forma simples através de uma representação gráfica num eixo cartesiano. Quando existe o entendimento das relações entre os dados, eles se transformam em informações. O conhecimento surge a partir da identificação dos padrões das informações que podem virar sabedoria quando os seus princípios são claros.

A visualização de dados representa uma apresentação geral do conjunto de dados complexos ou de grande porte, fornecendo um resumo dos dados, e apoiando os seres humanos na identificação de possíveis padrões e das estruturas dos dados (BRTKA *et. al.*, 2012; PINEO; WARE, 2012; FIGUEIRAS, 2013). A representação gráfica dos dados brutos pode ser visualizada por várias técnicas, tais como: gráfico de barras, gráfico de pizza, *scatterplot*, entre outros (Figura 3).

Figura 3 - Visualização de dados.

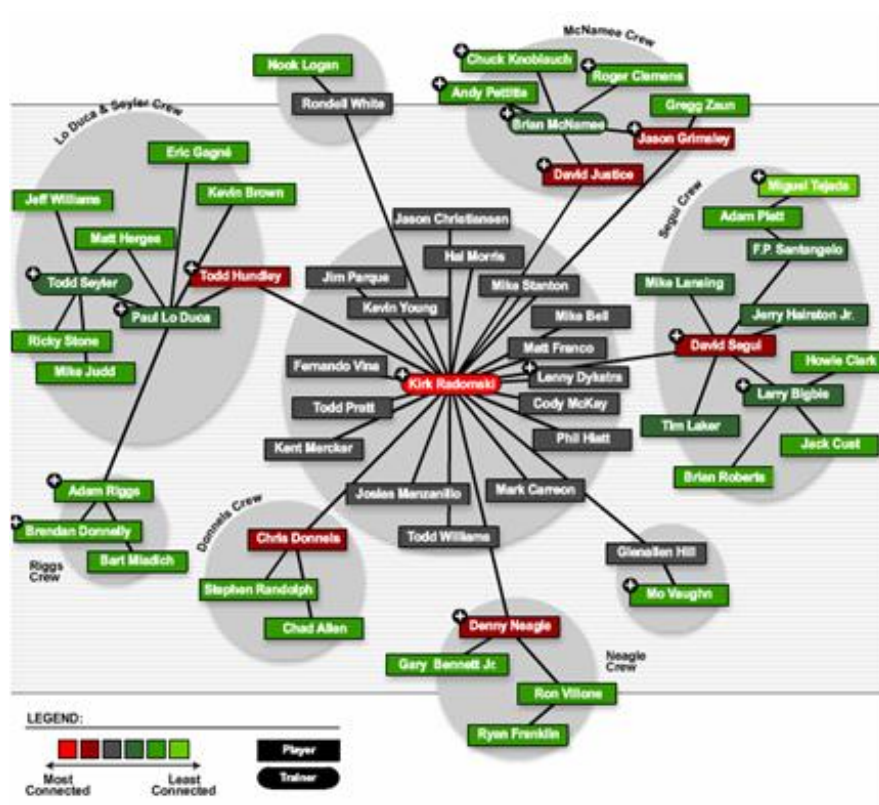


Fonte: Wireware gaming service.

Em outros casos, alguns destes dados são originados a partir da comunidade científica que gera grandes conjuntos de dados por instrumentos científicos ou por enormes simulações de supercomputadores. A visualização desses dados requer um grande esforço pela comunidade científica. Neste caso, a visualização de dados é definida como "Visualização Científica" (KEHRER; HAUSER, 2013).

No entanto, o conceito de visualização da informação pode ser compreendido como sendo os dados representados visualmente de acordo com a percepção intuitiva de sua modelagem visual e também das suas relações. Em 1999, Card, Mackinlay e Shneiderman definiram Visualização de Informação como o uso de representações visuais de dados abstratos apoiados por computador para expandir o conhecimento interativo (CHEN *et. al.*, 2009; LAM *et. al*, 2012). Algumas técnicas, como grafo ou árvore, podem apoiar a representação gráfica das relações entre os dados. (Figura 4).

Figura 4 - Visualização da informação.



Fonte: The steroids social network (2013).

Ambas as visualizações Científica e de Informação estão focadas no processo de interpretação, percepção e tomada de decisão, ao invés de uma simples observação das figuras. Seus objetivos são expandir nossas atividades cognitivas, melhorando a compreensão e exploração do que é visualizado e causando a aquisição e consolidação dos conhecimentos.

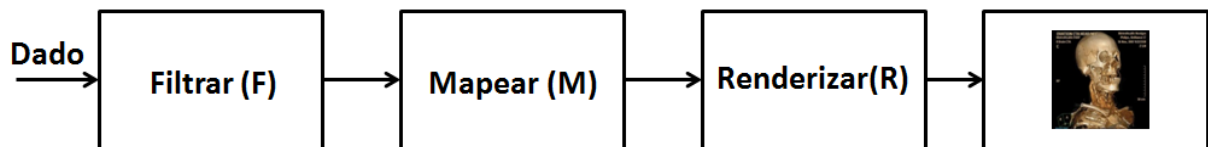
Apesar da semelhança, na Visualização Científica os dados a serem visualizados geralmente correspondem à medidas de objetos físicos, fenômenos naturais ou posições em um domínio espacial, tendo assim uma representação geométrica. Como um exemplo deste tipo de visualização, existe a visualização dos órgãos do corpo humano, sequência dos genes, fluidos em movimento e até funções matemáticas. Por outro lado, em uma visualização de informação, os dados são abstratos, não necessariamente precisam ter uma representação geométrica inerente a eles. Neste caso, a imagem deve ser gerada na base dos relacionamentos ou das informações que podem ser inferidas sobre os dados.

2.2 Modelos de Visualizações

Haber e MacNabb (1990) afirmaram que o processo de visualização de informações na identificação das características de um conjunto de dados específicos pode seguir alguns

passos. Assim, os autores propuseram um modelo de referência simples, baseado em quatro etapas (Figura 5). A primeira etapa é a aplicação de um filtro aos dados brutos (*Raw Data*) para que depois possa ser feito um mapeamento nos atributos dos dados filtrados em uma tabela de dados (*Data Tables*) e, finalmente, essas tabelas são processadas e renderizadas em estruturas visuais, isto é, representações gráficas definidas por uma estrutura espacial, símbolos e propriedades gráficas.

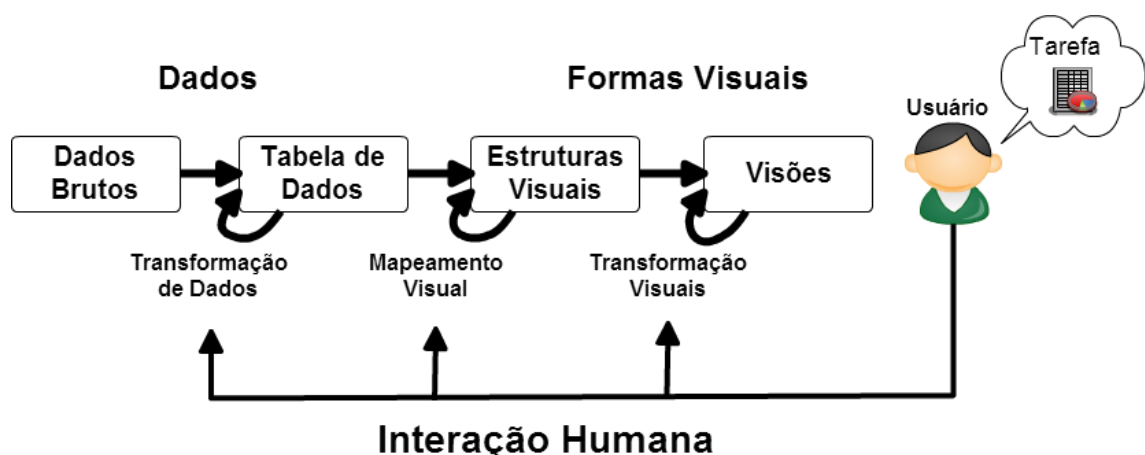
Figura 5 - Modelo de visualização.



Fonte: Haber e Macnabb (1990).

Outros Autores (CHI; RIEDL, 1998; CAMPO; OROSCO; TEYSEYRE, 1997) estenderam este modelo e propuseram uma nova forma de taxonomizar técnicas de visualização de informação usando o modelo de Estado de Dados. Muitas das técnicas compartilham as etapas operacionais semelhantes do modelo de Haber e Macnabb que podem ser facilmente reutilizados. Em 1999, Card, Mackinlay e Shneiderman apresentaram a sua própria interpretação deste modelo, apelidando-o modelo de referência de visualização de informação (CARD, MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999). Este modelo de referência (Figura 6) é uma sequência de atividades, onde em qualquer momento de cada fase seja possível receber a influência mútua do usuário durante a interação com a informação.

Figura 6 - Modelo de visualização de Card, Mackinlay e Shneiderman.



Fonte: Card, Mackinlay e Shneiderman (1999).

Este modelo é um refinamento do modelo de visualização representado na Figura 5, que proporciona a divisão do processo de geração de uma imagem a partir de um dado num conjunto de três etapas descritas a seguir:

a) **Dados Brutos e tabelas:** Os dados brutos são valores que podem ser encontrados em formas diversas e fontes, tais como formulários ou textos de livros. Quando os dados brutos são estruturados são transformados em tabelas de dados onde os dados começam a ter conexão e relações.

b) **Estruturas Visuais:** As estruturas visuais são resultados dos mapeamentos que ocorrem nas tabelas de dados. Nas estruturas visuais são criadas as marcas visuais que são símbolos gráficos usados para representar visualmente os itens de dados. As marcas visuais podem variar de acordo com os dados de origem e seus atributos (cor, forma, tamanho, etc.) São preenchidos de uma forma diferente para que os dados sejam interpretados de forma mais rápida, com clareza, precisão e eficiência (TUFTE, 2001).

c) **Transformação Visual - Visões:** O processo de transformação visual tem como objetivo criar novas visões da estrutura visual através da modificação e do aumento da interatividade com o usuário. Esta transformação visual faz com que as estruturas visuais sejam transformadas em exibições dinâmicas através dos parâmetros gráficos. A etapa de transformação visual será composta por várias técnicas de visualização.

De acordo com Chen e Janicke (2010) existem muitas variações do modelo de Card, Mackinlay e Shneiderman, tais como desenvolvido por Groth e Streefkerk (2006), Jankun-Kelly, Ma e Gertz (2007) e Vitiello e Kalawsky (2012). Por outro lado, Liu e Stasko (2010) identificaram e ilustraram as relações de alto nível entre os modelos de visualização e modelos mentais que inclui percepção, cognição e o conhecimento como parte do modelo de visualização.

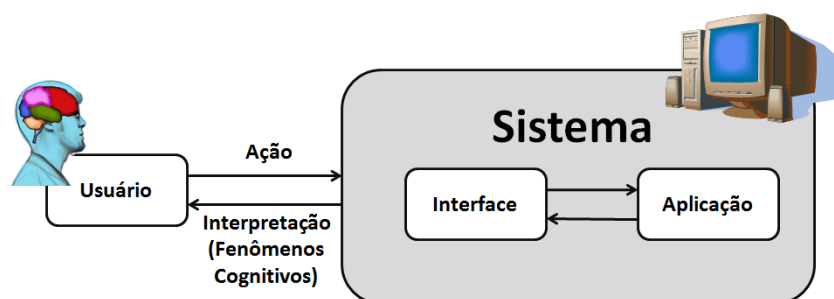
O estudo e compreensão das etapas de modelos de visualização de informações descritas acima é importante para a concepção do *framework* que será utilizado no desenvolvimento do protótipo de visualização de informação com técnica 3D e também para compreender, analisar e avaliar os fenômenos cognitivos relacionados com a visualização de informação.

2.3 Fenômenos Cognitivos relacionado com a visualização de dados

A visualização de dados fornece suporte relevante para a análise de dados e tomada de decisão. Entretanto, a maneira como as pessoas percebem e interagem com uma ferramenta de visualização pode influenciar fortemente a sua compreensão dos dados. Os fenômenos cognitivos humanos contribuem significativamente para o processo de visualização e têm um papel importante na concepção e avaliação de ferramentas de visualização.

Para entender os fenômenos cognitivos humanos relacionados com a visualização de dados é necessário em primeiro lugar compreender o papel dos usuários no processo de visualização, especialmente quando a ferramenta de visualização é interativa (Figura 7).

Figura 7 - Modelo de interação homem máquina.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com a Figura 7, o usuário tem o papel principal de agente no modelo de Interação Homem Máquina (IHC), onde ele executa uma ação na interface e o sistema responde, visualizando os dados necessários para que o usuário possa executar qualquer um dos seguintes fenômenos cognitivos descritos a seguir:

- a) Percepção Visual;
- b) Interpretação de dados;
- c) Resolução de Problemas;
- d) Aprendizagem.

2.3.1 Percepção Visual

A percepção visual é parte do processo cognitivo humano no que se refere ao estudo do processamento humano da informação, isto é, o estudo de como os seres humanos percebem, processam, codificam, armazenam, recuperam e utilizam a informação (SWELLER, 2003). Além disso, a percepção visual ocorre dentro do sistema visual humano através de um processamento paralelo que busca as informações diferentes e as relaciona com

as características de uma imagem, tais como: movimento, som, forma, espessura e cor (PINKER, 2000; HULLMAN; ADAR; SHAH, 2011). O processamento paralelo se comunica efetivamente com os centros cognitivos humanos (WARE, 2012), reduz as cargas cognitivas e transfere parte do processamento para ele (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999). O termo carga cognitiva é usado na psicologia cognitiva para ilustrar a carga relacionada ao controle executivo da memória de trabalho.

Um exemplo deste processo é quando visualizamos uma forma gráfica para representar um conjunto de dados relacionados, nós estamos transferindo uma parte da carga cognitiva do centro cognitivo humano para o sistema visual humano, que nos faz entender mais facilmente a forma gráfica. Isso não ocorre ao visualizar uma tabela com dados ou um conjunto de palavras dentro de um texto.

Pylyshyn (2009) relatou que, quando nós percebemos o mundo, nosso cérebro calcula e transforma as sensações visuais nas retinas em descrições simbólicas do mundo. Outros cientistas (NOE, 2005; GIBSON, 1986) argumentaram que a percepção não deve ser entendida como o cálculo deste tipo de representação interna, mas como a interação ativa entre os organismos e o ambiente.

Uma das primeiras contribuições para a ciência da percepção foi feito pela Escola de Psicologia de *Gestalt*. O propósito original dessas contribuições, quando começaram, em 1912, foi o de descobrir como o ser humano percebe a forma padrão e a organização dos objetos que vemos. Os fundadores da escola observaram que o ser humano organiza os objetos que vê de forma particular com um esforço para dar sentido à ela. O resultado desse esforço foi uma série de princípios da *Gestalt* da percepção que são descrições precisas de comportamento visual (BRUCE; GREEN; GEORGESON, 2003; MARRIOTT, 2012). Aqui estão alguns dos princípios que podem demonstrar os esforços de visualização de dados:

- e) **Proximidade:** objetos que estão perto são percebidos como grupo;
- f) **Similaridade:** objetos que compartilham atributos semelhantes (exemplo: cor ou forma) são percebidos como um grupo;
- g) **Vizinhança:** objetos que estão muito perto e eles têm um limite em torno deles (por exemplo, formado por uma linha ou zona de cor comum) são classificados como grupo;
- h) **Fechamento:** ocorre quando um objeto for incompleto ou um espaço não é completamente fechado. Se muitas formas são indicadas, as pessoas percebem o todo, preenchendo as

informações que faltam;

i) **Continuidade:** os objetos que estão alinhados em conjunto, ou parecem ser uma continuação um do outro são percebidos como um grupo;

j) **Conexão:** os objetos que estão vinculados (por exemplo, por uma linha) são interligados em grupo.

Estes princípios descritos acima ajudaram na construção das tarefas que irão medir o grau de percepção visual na avaliação de usabilidade do protótipo de visualização de informação com técnica 3D.

2.3.2 Interpretação de dados

A interpretação dos dados é um fenômeno cognitivo que envolve, transforma e modela os dados brutos coletados em informações úteis, sugerindo conclusões, e apoiando a tomada de decisão. De acordo com Eden *et al.* (2010), a interpretação dos dados é uma decodificação visual de informações quantitativas e qualitativas inseridas nos gráficos e as regras de interpretação são desenvolvidos para atribuir significados pré-determinados para certas combinações das propriedades da imagem como cor, forma, tamanho, textura ou contexto.

Bowen e Roth (2000) investigaram com os especialistas da área como eles interpretam gráficos e desenvolveram um modelo semiótico de ler gráficos. De acordo com este modelo, o ato de interpretar um gráfico começa com a identificação dos aspectos fundamentais do gráfico, que são sinais, e que se relacionam com um fenômeno, um conhecimento, que é chamado de referente. Assim, o gráfico mostra:

- a) O referente é conhecido e é capaz de interpretá-lo;
- b) O referente não está familiarizado com o gráfico e procura no mundo real alguma peculiaridade que se encaixe no gráfico;
- c) O referente não é de todo familiarizado com o conteúdo do gráfico e a interpretação de gráfico é inibida.

Neste mesmo estudo, Bowen e Roth (2000) concluíram que na interpretação de dados os usuários especialistas e os menos experientes apresentaram dificuldades semelhantes, se não houver algum fenômeno relacionado com qualquer particularidade do gráfico. Eles gravaram e analisaram situações em que os participantes com diferentes graus de conhecimento em biologia interpretavam gráficos de população (em relação às taxas de

natalidade e mortalidade) e descobriram que a falta do referente para alguma variável causa o mesmo tipo de dificuldades em todos os grupos.

Além de estudar como podemos capturar os estímulos visuais, a psicologia cognitiva está interessada em saber como o cérebro organiza as informações capturadas pela visão. Existem vários modelos que explicam o processo de interpretação de estímulos visuais. Estes modelos são compostos por três fases (EYSENCK; KEANE, 2007):

- a) **Primeiro Esboço:** É a primeira fase na organização da percepção visual. Aqui são organizados os estímulos, como luz e sombra, que permitem a identificação dos dados como textura e bordas da figura, que são os elementos que dão as características básicas do objeto percebido;
- b) **2 ½ D esboço (Duas e meia dimensões):** É a segunda fase da organização. Aqui é criada uma imagem que contém dados com a profundidade do objeto e mais dados complexos, como concavidades e saliências, combinando dados do esboço preliminar;
- c) **Modelo em 3D (tridimensional):** Esta etapa é a construção de um modelo estável, que permite "rotação mental" da figura. Nestas rotações, as informações do objeto visualizado não vão mudar com o movimento do observador porque é construída a imagem mental do objeto visualizado, que pode ser manipulado mentalmente.

As etapas do modelo de interpretação visual descritas acima vão ser necessárias para realização das tarefas pelos usuários durante a avaliação da usabilidade do protótipo. A escolha das métricas que vão avaliar se o usuário conseguiu interpretar os dados da maneira correta vai ser baseada nas fases dos modelos de interpretação dos dados.

2.3.3 Resolução de Problemas

A resolução de problemas é um fenômeno cognitivo que poderia ser descrito como uma aprendizagem de investigação onde o conhecimento existente é aplicado a uma situação nova ou desconhecida, de modo a obter novos conhecimentos (KILLEN, 2012). Às vezes, a resolução de problemas é considerada uma estratégia usada para desenvolver habilidades de raciocínio, porque envolve uma pesquisa para identificar problemas, analisar várias perspectivas sobre o problema, avaliar o mérito das diferentes perspectivas e fazer o resumo dos resultados (TSENG; CHAO; LAI, 2013). O domínio da resolução de problemas requer o desenvolvimento de habilidades de ordem superior do pensamento, uma compreensão conceitual de sistemas, e um ponto de vista mais holístico.

Segundo Mynen e Narayanan (2012), durante resolução de problemas em ambientes presenciais, os usuários iniciantes se concentram muitas vezes nas características superficiais do problema e gastam pouco tempo para construir a representação do problema devido à falta de um conhecimento amplo e bem indexado do problema. Por outro lado, o avanço das técnicas de visualização e simulação baseadas em computador permitiu o desenvolvimento de ferramentas de modelagem de gráficos com o objetivo de fornecer o suporte auxiliar no desenvolvimento de formas de visualizações efetivas do problema onde o usuário simula experimentos num ambiente virtual de aprendizagem, uma vez que no ambiente presencial não era possível.

De acordo com os psicólogos da escola de *Gestalt*, a resolução de problemas tem uma ligação clara com a percepção. Eles descobriram que os problemas podem ser resolvidos através dos *insights* obtidos da percepção e interpretação dos dados. Os *gestaltistas* relataram também que a resolução de problemas pode ser feita em conjunto com o pensamento produtivo que é definido como a capacidade de ir além da experiência do passado e produzir algo novo e criativo em resposta às demandas do problema (WEISBERG, 1995). Uma abordagem operacional desta teoria é a de considerar o uso de visualização como um elemento na resolução de problemas. Os usuários têm um problema, eles devem decidir qual ação devem fazer, e, para tomar essa decisão, eles precisam da informação. A visualização deve permitir-lhes extrair as informações relevantes a partir dos dados.

2.3.4 Aprendizagem

O fenômeno cognitivo de aprendizagem é definido como uma mudança relativamente permanente no processamento mental, no processo e/ou no comportamento emocional, como um resultado da experiência. A aprendizagem é um processo dinâmico por toda vida pelo qual os indivíduos adquirem novos conhecimentos ou habilidades e mudam seus pensamentos, sentimentos, atitudes e ações através das estratégias de aprendizagem. Segundo Wittrock (1991), as estratégias de aprendizagem são os pensamentos e comportamentos especiais que os indivíduos usam para ajudá-los a perceber, compreender, aprender ou reter informações. O modelo de aprendizagem é um modelo funcional de aprender com a instrução e se baseia em conhecimento sobre os processos do cérebro e na pesquisa cognitiva sobre a compreensão, a aquisição de conhecimento, atenção, motivação e transferência de informação.

Por outro lado, existem modelos de aprendizagem que estão sendo estudados no âmbito das redes neurais onde começaram a ser avaliados em algumas simulações de trabalho

e seus efeitos foram testados (O'REILLY; MUNAKATA, 2000). Estes tipos de modelos podem ser classificados em: a aprendizagem construtivista, aprendizagem com auto-organização e aprendizagem baseada em erros. Como sugerido pelos seus nomes, estes tipos de modelos de aprendizagem são diferentes das forças que os guiam e tem características específicas. A aprendizagem construtivista explica como a inteligência humana se desenvolve partindo do princípio de que o desenvolvimento da inteligência é determinado pelas ações mútuas entre o INDIVÍDUO e o meio. A aprendizagem com auto-organização pode ser vista como um modelo de aprendizagem baseado na realização de uma tarefa, no qual o objetivo é desenvolver um bom modelo interno da estrutura do ambiente sem que ele forneça feedback imediato. Aprendizagem baseada em erro é guiada pelo objetivo de reduzir os erros ao mesmo tempo da aprendizagem com a auto-organização que ocorre na ausência de quaisquer erros aparentes (HUANG *et. al.*, 2013).

Esses modelos afirmam que durante as atividades de aprendizagem complexas a quantidade de informações e interações podem ser processadas simultaneamente sobrecarregando a memória de trabalho (PAAS; RENKEL; SWELLER, 2004). Para evitar essa sobrecarga, dependendo da forma como os dados são visualizados, há algumas técnicas de visualização que, quando devidamente desenvolvidas, podem transmitir ideias complexas com clareza, precisão e eficiência para o sistema visual humano (TUFTE, 1997).

Além disso, as técnicas de visualização podem se basear nos modelos descritos acima para facilitar a aprendizagem. A visualização tem um papel importante no processo cognitivo de aprendizagem pois é através dela que os usuários obtêm conhecimento sobre dados analisados e elas apoiam a autorreflexão, consciência e colaboração entre os mestres e aprendizes. Segundo Klerkx, Verbet e Duval (2014), as técnicas de visualização podem dar suporte aos seguintes processos de aprendizagem:

- a) **Encontrar:** A visualização pode adicionar valor quando os alunos ou professores estão procurando por algum material de aprendizagem importante sobre certo tópico;
- b) **Entender:** A visualização pode facilitar melhor entendimento de um assunto do material de aprendizagem;
- c) **Colaborar:** A visualização pode dar suporte a colaboração entre os alunos ou entre os alunos e seus professores;
- d) **Autorreflexão:** A visualização ajuda os alunos na reflexão de como eles estão indo no

decorrer do curso quando comparados com outros alunos;

e) **Planejamento:** A visualização pode facilitar o planejamento das experiências de aprendizado.

Entre os processos de aprendizagem acima descrito, apenas os processos de encontrar, entender e autorreflexão foram utilizados no desenvolvimento do protótipo.

2.4 Abordagens Conceituais para Cognição

No design de interação é possível utilizar os princípios conceituais das abordagens cognitivas durante o desenvolvimento de um artefato (ROGERS; PREECE; SHARP, 2011). Cada abordagem cognitiva tem uma perspectiva diferente acerca da cognição e elas podem ser classificadas em:

- a) modelos mentais;
- b) processamento de informação;
- c) cognição externa.

Os modelos mentais são modelos conceituais para a cognição que permitem que um usuário construa o conhecimento de um determinado sistema de forma rápida e eficiente. Os modelos mentais foram postulados na psicologia cognitiva como sendo construções internas de algum aspecto do mundo físico que são manipuladas possibilitando que previsões e inferências sobre o mundo físico sejam feitas (CRAIK, 1943).

Por outro lado, a abordagem de processamento de informações é baseada na modelagem de atividades mentais que acontecem exclusivamente dentro do cérebro. Contudo, a maioria das atividades cognitivas envolve pessoas interagindo com tipos externos de representações, como por exemplo, computadores. Além disso, o processamento de informação se baseia no modelo do processador humano, que modela os processos cognitivos de um usuário interagindo com um computador onde a informação entra e sai da mente por meio de uma série de estágios de processamento ordenados (CARD et. al., 1983). Dentro desses estágios, existem vários processos que atuam sobre as representações mentais e que são baseados nos modelos de visualizações de Card, Mackinlay e Shneiderman (1999).

Por fim, a abordagem da cognição externa preocupa-se em explicar as atividades cognitivas envolvidas com diferentes representações externas como, por exemplo, livros, jornais, mapas, entre outros (SCAIFE; ROGERS, 1996). Um dos objetivos dessa abordagem

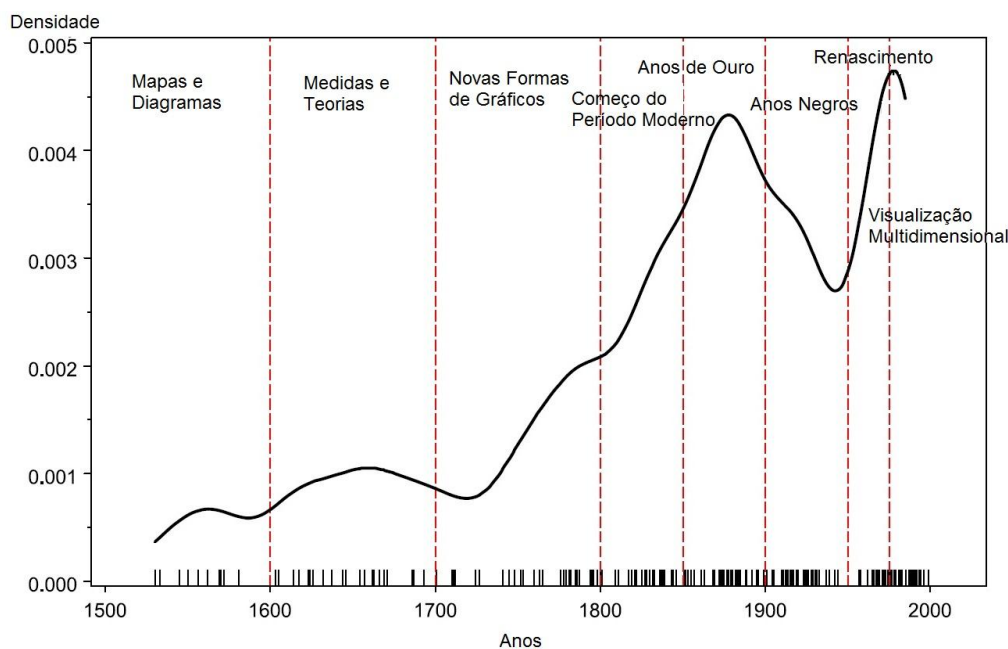
consiste em explicar os benefícios cognitivos em se utilizar representações diferentes para atividades cognitivas diferentes.

Diante dessas abordagens cognitivas apresentadas acima, a abordagem que mais se adequava ao design de interação no desenvolvimento do protótipo foi a abordagem do processamento de informação porque essa abordagem está relacionada com o objetivo desse estudo.

2.5 Origem e Evolução da Visualização de Dados

A história da visualização de dados foi dividida em fases, cada uma das quais foi delimitada por temas e rótulos coerentes que caracterizam cada uma delas. Esta divisão proporcionou a oportunidade de caracterizar cada fase com eventos específicos que ocorreram conforme apresentado no apêndice A. Figura 8 mostra uma visualização gráfica da distribuição temporal dos eventos considerados como marcos na história da visualização de dados, mostrando a frequência destes eventos.

Figura 8 – Visualização dos eventos considerados marcos da visualização de dados.



Fonte: Friendly (2005).

De acordo com a Figura 8, a visualização de dados foi subdividida em oito fases. A primeira fase se caracterizou pela criação de mapas e diagramas em decorrência da expansão marítima europeia. A segunda fase surgiu com a necessidade de se definir teoremas para calcular as distâncias (medidas) entre lugares e espaço na astronomia, navegação e expansão

territorial. Na terceira fase, outros tipos de gráficos surgiram com a inserção de novas tecnologias, tais como a cor, litografia e a imprensa. Nesta fase surgiram tentativas de mapear não só a cartografia, como também as informações da geologia, economia, demografia e saúde. No ano de 1800 iniciou-se o período moderno através do surgimento da computação gráfica moderna que desempenhou um papel importante na visualização de informação. Esta fase foi marcada pela explosão na quantidade de gráficos estatísticos e no mapeamento temático e também pelo crescimento importante da informação numérica para planejamento social, indústria, comércio e transportes quando foram criadas todas as condições necessárias para um crescimento rápido da visualização da informação.

A fase negra da visualização dos gráficos estatísticos ocorreu durante o período de 1900 até 1949 onde ocorreram poucas inovações gráficas e o entusiasmo vivido no século passado foi suplantado pelo crescimento da quantificação e dos modelos formais. Após o período negro, os computadores começaram a mostrar seu potencial para o desenvolvimento de novas técnicas de visualização. A partir desse momento começaram a surgir novos padrões e inovações no processo de criação de visualizações que contribuem para uma evolução no histograma da análise de dados e novas propostas de comparação visual surgiram. A última fase descreve a visualização de dados multivariados onde novos paradigmas de manipulação de dados surgem com a invenção de técnicas gráficas e métodos de visualização de dados multivariados.

A partir dos anos 1990, alguns pesquisadores (NIELSEN, 1993; BEAUDOUIN-LAFON, 2000; JACOB *et al.*, 2008) recommçaram a pesquisa sobre o desenvolvimento de um novo paradigma de interfaces que vai além da tradicional interface desktop, mouse e teclado, chamadas de interfaces de pós-WIMP. Esse novo paradigma chamado de “interface baseada por gestos” surgiu em 1969 de um projeto denominado de *Video Place* por Krueger (2013). Outros exemplos desse novo paradigma de interface pós-WIMP incluem interação instrumental (BEAUDOUIN-LAFON, 2000), *proxemics* (GREENBERG *et al.*, 2011), baseada em toque (WOBBROCK; MORRIS; WILSON, 2009), e interação baseado em esboço em (OLSEN *et al.*, 2009) e sistemas de reconhecimento de gestos no ar (SHOTTON *et al.*, 2011).

2.6 Estudos Relacionados com Técnicas de Visualização 2D e 3D

Atualmente as técnicas de visualização desempenham um papel importante no fornecimento de insights sobre as relações dos conjuntos de dados complexos em toda uma

série de domínios principalmente quando se tem dados multivariados (VITIELLO; KALAWSKY, 2012). Contudo, a maioria dos trabalhos sobre visualização está relacionada com técnicas que utilizam a análise de dados com interfaces gráficas 2D. Estes trabalhos estão relacionados com a evolução e as diferentes técnicas de visualização 2D (DIEHL, 2007; FIGUEIRAS, 2013; GRACANIN; MATKOVIC; ELTOWEISSY, 2005) e também com as taxonomias da visualização de informação com técnicas 2D (ROPINSKI; PREIM, 2008; MALETIC; MARCUS; COLLARD, 2002; COTTAM; LUMSDAINE; WEAVER, 2012; GALLAGHER; HATCH; MUNRO, 2005). Por outro lado, com a evolução da tecnologia da informação, as técnicas 3D de visualização vem surgindo e apoiando o usuário no processo de desenvolvimento cognitivo quando está analisando dados com mais de duas variáveis numa só interface (SANFTMANN, 2012; TURKAY et. al., 2012; SHNEIDERMAN, 2003).

De acordo com a definição sobre visualização de dados descrita neste capítulo, existe uma diferença entre a visualização de dados e a visualização da informação. Para a visualização de informação, as técnicas mais utilizadas são baseadas na técnica de Grafos, como por exemplo, *Tree*, *TreeMap*, *H-Tree*, *Radial Árvore*, *Cone Tree*, *Hyperbolic Tree*, entre outros. Por outro lado, as técnicas mais utilizadas na visualização de dados são: gráfico de dispersão, gráfico de barras, *scatterplot*, gráfico de pizza, entre outros. Ambos os tipos de visualizações, podem ser desenvolvidos com técnicas 2D e 3D.

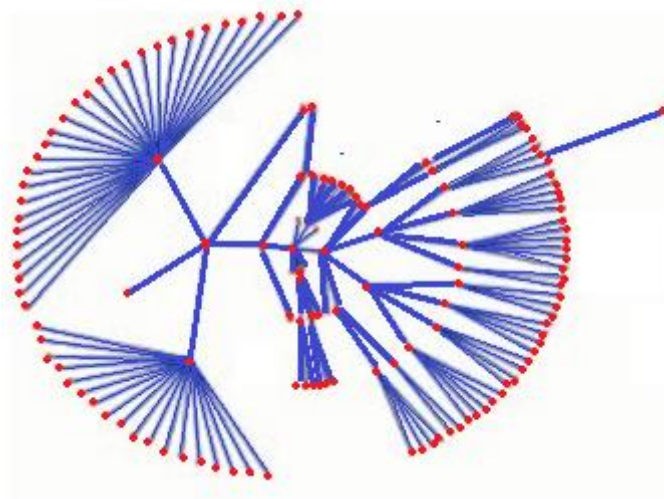
2.6.1 Visualização com Técnicas 2D

Inicialmente fizemos uma revisão de estudos relacionados com técnicas na área de visualização de Informação. Essa revisão foi baseada em trabalhos que tinham uma estrutura de dados hierárquicos. Para este caso, as técnicas mais comuns encontradas na literatura foram os grafos. Um grafo é uma estrutura discreta que fornece uma representação de um conjunto finito de objetos e uma relação específica entre alguns ou todos os objetos (ISMAIL; HASNI; SUBRAMANIAN, 2009). Os elementos do grafo podem ser representados pelos nós, e as linhas que unem os nós representam as relações entre os elementos.

Algumas técnicas 2D de visualização foram utilizadas no desenvolvimento de visualização de grafo, tais como: *Tree* (WILLS, 2009), *H-Tree* (SHILOACH, 1976; SANTOS; DIAS; SANTOS, 2012), *Cone Tree* (ROBERTSON; MACKINLAY; CARD, 1991; BIUK-AGHAI, 2006), *Radial Tree* (EADES, 1992; DRAPER; LIVNAT; RIESENFELD, 2009), *Treemap* (JOHNSON; SCHNEIDERMAN, 1991; AZZAG; LEBBAH; ARFAOUI, 2010), *Spring Box* (EADES, 1992; DENG; DIGIUSEPPE; JONES, 2011), *Onion*

órbitas é relativamente linear. Recentemente esta técnica foi utilizada em outros sistemas, como por exemplo, por Draper, Livnat, Riesenfeld (2009).

Figura 10 – Técnica de árvore radial..



Fonte: Eades (1992).

Robertson, Mackinlay, Card (1991) desenvolveram outro algoritmo que foi utilizado como instância da técnica de árvore, chamada de *Cone Tree*, e pode ser usado para obter um insight sobre a árvore em forma de balão, projetando-o para o nível onde os irmãos das subárvores estão incluídos nos círculos ligados ao elemento pai (BIUK-AGHAI, 2006).

Outros dois tipos de técnicas de visualização de árvores que não fazem parte do conjunto tradicional, mas são amplamente utilizados: *TreeMap* e *Onion Graph*, que representam árvores por sequências de caixas alinhadas onde os nodes ficam posicionados uns dentro dos outros. É importante notar, no *Treemap*, que o tamanho de cada retângulo é proporcional a uma variável.

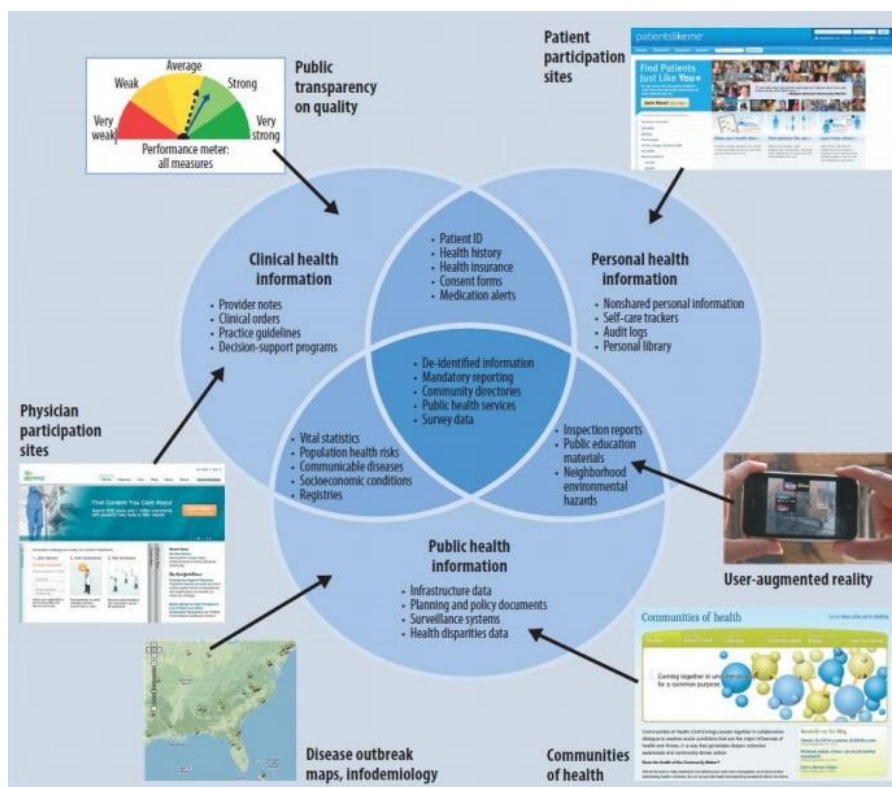
A visualização *Box Spring* é outra técnica de grafo baseada em layout não-determinístico que também pode ser chamado de método *Force-Directed*. Eades (1992) foi o primeiro a propor esta abordagem no design de um grafo onde os nós e as arestas de um grafo são modelados como corpos físicos amarrados com molas. Usando a lei de *Hooke*, que descreve as forças entre os corpos, ele foi capaz de produzir a visualização de grafos com esse método. A partir daí, seu método foi revisto e melhorado por outros pesquisadores (KERMARREC; MOIN, 2013; HUA *et. Al.*, 2012). Poucos são os sistemas que podem realmente visualizar milhares de nós, embora se encontre exemplos de grafo com esta ordem de grandeza que aparecem em uma ampla variedade de aplicações, tais como *SuperGraphs*

(LIMA; RODRIGUES; TRAINA, 2013), WIVF - Web based Information Visualization Framework (WU, 2010) e GVF (HERMAN; MARSHALL; MELANÇON, 2000).

Na área de saúde a maioria dos estudos realizados com técnicas 2D de visualização da informação está relacionada com imagens médicas como, por exemplo, raios-x. Com o avanço da tecnologia para saúde, a tomografia computadorizada e a ressonância magnética têm modificado os cuidados médicos, utilizando as técnicas 3D de visualizações da informação para visualizar volumes 3D mais precisos destacando as áreas problemáticas e críticas de alguma doença. Outros sucessos do uso das técnicas de visualização na saúde incluem planejamento cirúrgico com auxílio de visualização, telecirurgia, a informática química, análise do genoma, entre outros. Além disso, a visualização de informação está ampliando as vantagens no uso com bancos de dados e nas redes de informática em saúde, aumentando o suporte aos pacientes, médicos e os formuladores de políticas de saúde pública na tomada de decisões (SHORTLIFFE; CIMINO, 2013).

Hesse *et al.* (2010) desenvolveu um *framework* para a análise da tecnologia da informática na saúde, a chamada “Saúde 2.0”. Este termo sugere estratégias inovadoras baseadas nas aplicações na web e em dispositivos móveis. Os autores previram três domínios para o uso da tecnologia na saúde 2.0: Informação em Saúde Pessoal, Informação em Saúde Clínica, Informação em Saúde Pública. Segundo Shneiderman, Plaisant e Hesse, (2013) estes três domínios fornecem novos desafios diferentes para o desenvolvimento de ferramentas de visualização interativa porque as características de assimilação, interpretação e aprendizagem dos usuários que gerenciam as informações são bastante diferentes e com isso para cada domínio seria necessário desenvolver um tipo de técnica de visualização específica (Figura 11).

Figura 11 - Sistemas de participação social mediada por tecnologia.

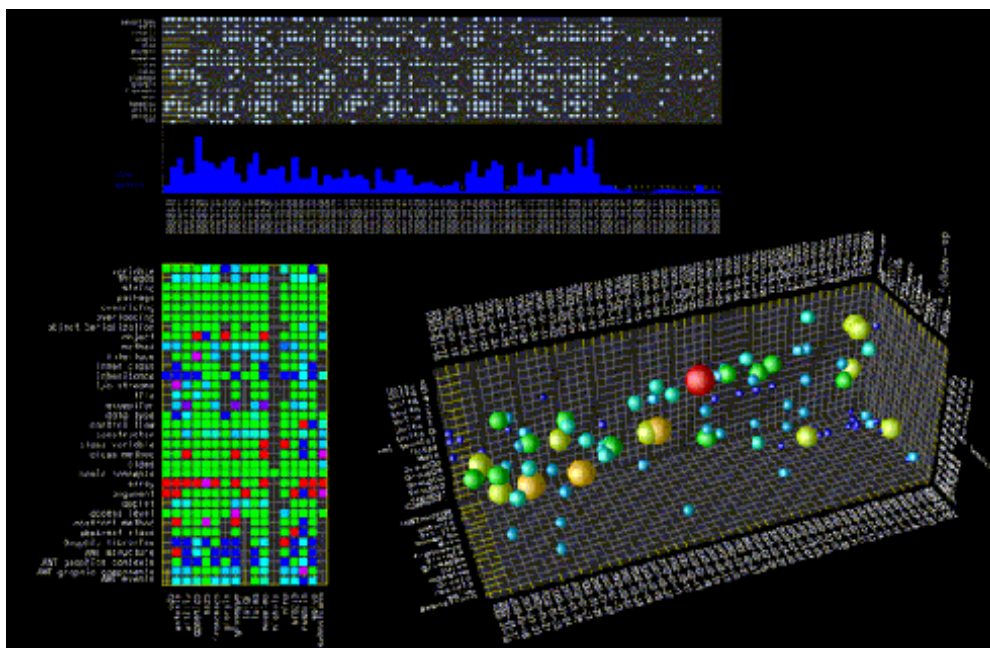


Fonte: Hesse *et al.* (2010).

Como se pode observar na Figura 11 existe uma ampla oportunidade de pesquisa no desenvolvimento de sistemas de visualização com participação social mediada por tecnologia em saúde dentro das esferas de informações em saúde pessoal, clínica e pública. Em 2013, no Workshop Internacional "*Visual Analytics in Healthcare*" foram apresentados alguns trabalhos sobre visualização da informação na saúde. A maioria dos trabalhos apresentados está relacionada com o uso de técnicas 2D de visualização da informação na esfera de saúde pessoal ou clínica, havendo poucos na esfera pública para o monitoramento de indicadores e com a utilização de técnicas 3D.

Na área de Educação existem vários estudos realizados (PSAROMILIGKOS *et al.*, 2009; ZORRILA; ALVAREZ, 2008; MILLER *et al.*, 2007; JUAN *et al.*, 2008) que relatam o uso de técnicas 2D de visualização de informação no gerenciamento e monitoramento dos indicadores de comportamento dos alunos, como por exemplo a representação da relação entre o professor e um aluno num sistema educacional. Dentre os sistemas de visualização de informação existentes, Bakharia e Dawson (2011) desenvolveram o *Social Networks Adapting*

Figura 13 – CourseVis.



Fonte: Mazza e Dimitrova (2004).

De acordo com a Figura 13 o sistema *CourseVis* pode gerar visualizações tanto com técnicas 2D como também com 3D. De acordo com Mazza e Dimitrova (2007) as representações da ferramenta *CourseVis* ajudam os instrutores a captar informações sobre aspectos sociais, cognitivos e comportamentais dos alunos rapidamente e com mais precisão. Os pesquisadores relataram que as representações gráficas fornecidas em *CourseVis* podem ajudar os instrutores a identificar, e até mesmo impedir, alguns dos problemas existentes no ensino a distância, como por exemplo, alunos que não se comunicam podendo se sentir isolado ou um estudante que não acessa o material do curso podendo estar confuso ou perdido ou ser um potencial indício de abandono.

Problemas

A utilização da técnica da visualização de informação mais apropriada para um determinado conjunto de dados vai depender do número de elementos que ela contém. Uma visualização com um grande número de elementos contém vários problemas de visualização que são difíceis de resolver como, por exemplo, o desempenho do sistema pode ser comprometido ou pode mesmo atingir o limite da capacidade da plataforma de visualização (ISMAIL; HASNI; SUBRAMANIAN, 2009). Atualmente esse problema de desempenho já foi resolvido tanto para técnicas 2D quanto para 3D em virtude da alta capacidade de processamento com a qual os computadores são desenvolvidos. Segundo Bochicchio, Longo

e Vaira (2011) o desempenho alcançado em sistemas web com técnicas 3D, em termos de quadros por segundo, é bom ou aceitável na medida em que o número dos triângulos é pequeno a médio (até »10.000). Por outro lado, a compreensão e análise de um gráfico se torna mais fácil, quando o número de elementos a ser visualizado é menor.

Nem sempre é possível visualizar um grande conjunto de dados, mas é apenas possível obter uma sensação da estrutura geral ou um local específico, embora seja difícil para entendê-la. Mesmo que seja possível ver todos os elementos de um grande conjunto de dados, surge um problema na visualização e usabilidade, pois se torna impossível discriminar entre os nós (elementos) e arestas (relações). Na verdade, o problema torna-se uma prioridade na usabilidade, mesmo antes do problema de visualização ser atingido. (DINKLA; WESTENBERG, 2012; PURCHASE; PILCHER; PLIMMER, 2012).

Outro problema na visualização de um conjunto de dados devido à quantidade de elementos é a natureza estética, porque, como o número de elementos cresce, as linhas entre os nós aumentam e eles acabam se cruzando o que diminui a legibilidade do grafo (RUSU, 2012). A inspeção das vizinhanças num grafo também é um outro problema difícil de solucionar. As vizinhanças de um conjunto de dados menores são identificadas e, portanto, fácil de interpretar. No entanto, grandes conjuntos de dados já tem suas vizinhanças espalhadas que não aparecem como unidades visuais isoladas. Por isso, é difícil analisar a sobreposição de dados (DINKLA; WESTENBERG, 2012).

Para resolver este problema, foram criadas algumas regras e algoritmos. O algoritmo Reingold e Tilford é um bom exemplo de um algoritmo de visualização para resolver os problemas de estética (REINGOLD; TILFORD, 1981; DINKLA; WESTENBERG, 2012). O algoritmo de subárvores isomórficas foi desenvolvido exatamente da mesma maneira do algoritmo Reingold e Tilford e a distância entre os nós torna-se outro parâmetro do algoritmo. Este parâmetro de distância vai separar os nós de modo que suas bordas não se cruzam.

Embora o adjetivo "estético" é amplamente utilizado, existem algumas regras no desenvolvimento de interfaces que foram originalmente motivadas por questões mais práticas. Por exemplo, a minimização de toda a área da interface pode ser um critério importante para o desenvolvimento de técnicas de visualização. Algumas regras aplicam-se claramente a uma determinada categoria de gráficos, mas outras têm um caráter mais absoluto. Além disso, cada

uma das regras define um problema de otimização associada utilizada num número de algoritmos de layout não determinístico.

Purchase, Pilcher e Plimmer (2012) mostraram que a redução dos cruzamentos é um fator de estética mais importante, ao mesmo tempo minimizar o número de curvas e a maximização de simetria tem um efeito menor. Além disso, outros autores (ARCHAMBAULT; PURCHASE, 2012; DENGLER; COWAN, 1998; MCGRATH; BLYTHE e KRACKHARDT, 1997) relataram diferenças na percepção de um gráfico por um usuário, dependendo de como ele é desenvolvido. Infelizmente, não existem muitos estudos de usabilidade na área de visualização de dados, pois requerem um grande esforço, tanto para realizar a própria experiência ou para analisar os resultados corretamente. Os estudos de usabilidade ganharam recentemente credibilidade na comunidade de visualização gráfica, bem como o reconhecimento da sua contribuição para ajudar a focar em questões importantes na área.

Outras técnicas de visualização podem ser utilizadas, mas a maioria dos algoritmos de visualização terá o mesmo problema. Como a visualização é tão densa, a interação com o gráfico torna-se difícil, as oclusões entre os objetos tornam impossível a navegação no sistema e a consulta de um nó específico. O uso do 3D ou da geometria não euclidiana foi proposta para resolver estes problemas (MIYAZAKI; ITOH, 2009).

2.6.2 Visualização com técnicas 3D

Uma solução para resolver o problema de visualização com grandes quantidades de elementos é a utilização de técnicas de visualização 3D em vez de 2D (MIYAZAKI; ITOH, 2009). A terceira dimensão proporcionará, literalmente, mais espaço e vai ser capaz de resolver o problema de apresentar as estruturas do conjunto de dados. Além disso, o usuário pode navegar para encontrar uma visualização sem obstruções através dos seis graus de liberdade que a técnica 3D oferece. A abordagem mais simples é transformar os algoritmos clássicos utilizados com técnicas 2D para visualização com técnicas 3D, por exemplo, mostrar uma versão 3D de um algoritmo de árvore radial.

Rekimoto e Green (1993) fizeram a transformação da abordagem bidimensional com as técnicas 3D das caixas de informação alinhadas, como mostrado na Figura 14 (SINDRE; GULLA; JOKSTAD, 1993). Os métodos de *force-directed* também foram utilizados em termos de tamanho independente, o que lhes permite ser generalizada para 3D.

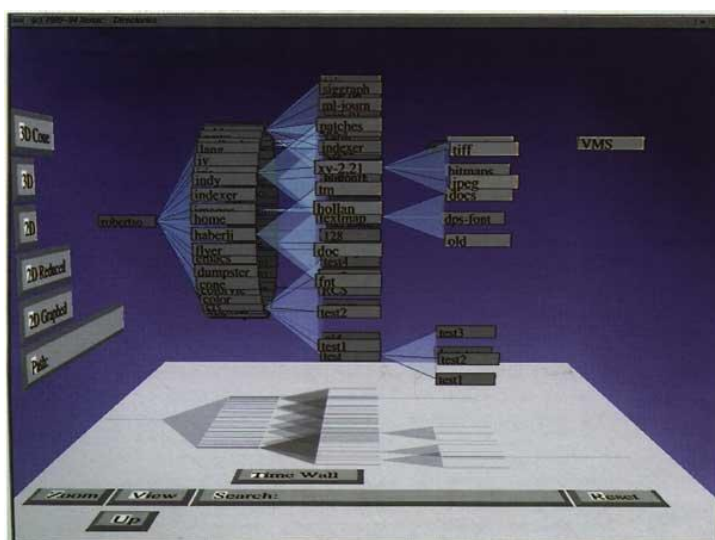
Figura 14 – Técnica 3D das caixas de informação alinhadas.



Fonte: Rekimoto e Green (1993).

A técnica de visualização *Cone Tree* também foi desenvolvida com interfaces 3D por Robertson, Mackinlay e Card, (1991) (Figura 15). A ideia original da técnica 3D de *Cone Tree* também foi estudada por outros autores (CARRIÉRE; KAZMAN, 1995; JEONG; PANG, 1998; BOCHICCHIO; LONGO; VAIRA, 2011) e, em alguns casos, foi possível desenvolver visualizações com resultados mais refinados. Por exemplo, Carrière e Kazman (1995) desenvolveram uma abordagem para calcular o diâmetro de cada base do cone atravessando o fundo da árvore para cima, levando o número de filhos em cada etapa para fazer melhor uso do espaço disponível. Em contrapartida, Jeong e Pang (1998) substituíram os núcleos com discos para reduzir a oclusão.

Figura 15 – Técnica de visualização 3D cone tree.



Fonte: Robertson, Mackinlay e Card (1991).

As visualizações hiperbólicas descritas acima, também podem ser implementadas em 3D proporcionando uma visão distorcida de uma árvore. É semelhante ao efeito da técnica de lente *fisheyes* em layouts de árvores tradicionais. Essa visão distorcida permite ao usuário interagir com árvores que possuem grandes quantidades de elementos, tornando-o adequado para aplicações na vida real.

A conquista de mais espaço não é a única vantagem possível para a utilização de técnicas com interfaces 3D. Devido à familiaridade humana com o mundo físico, a técnica 3D também pode ser aplicada juntamente com o uso de metáfora do mundo real para ajudar a compreender as estruturas complexas. Uma das primeiras aplicações difundidas com o uso de metáforas é o sistema de Navegação de arquivos - *Navigator* (STRASNICK; TESLER, 1996), que utilizou as estações de trabalho de um Sistema de Gerenciamento de Informação (SGI) do seu sistema operacional anterior. A interface (uma árvore que representa o espaço de arquivos do usuário) é um layout simples planar. A característica 3D é, por um lado, a adição de blocos no plano cujo tamanho é proporcional ao tamanho do arquivo e, por outro lado, a capacidade de voar ao longo da paisagem virtual criada por estes blocos.

Outra metáfora muito utilizado é a "paisagem urbana" que foi implementada por vários autores (MÉTRAL *et.al.*, 2013; FISHER-GEWIRTZMAN, 2012; CORRAL-SOTO *et. al*, 2012). De acordo com esses autores o uso dessa metáfora tem como objetivo além de fornecer um repositório de conhecimento para apoiar a concepção de modelos 3D de cidade virtual também possibilitar o desenvolvimento de um sistema distribuído para sentir, interpretar e visualizar a dinâmica em tempo real da vida urbana no contexto 3D de uma cidade. Um problema encontrado por Fisher-Gewirtzman (2012) com a utilização dessa metáfora foi que o tamanho da janela onde está sendo visualizado o ambiente e sua localização tem grande impacto sobre a visualização, por isso percebemos que o modelo atual não tem o poder de expressar a situação realista.

Outra metáfora utilizada com a técnica 3D foi o sistema solar que tinha como objetivo visualização de métricas de software (GRAHAM; YANG; BERRIGAN, 2004). Segundo os autores a escolha de visualização 3D sobre 2D foi impulsionada principalmente pela novidade, mas também através do reconhecimento da delicada tarefa de tentar representar relações dentro de um código de *software* complexo.

Há também metáforas de *Perspective Wall*. Essa metáfora foi utilizada por Ltifi (2012) para melhorar a qualidade da assistência médica através do desenvolvimento de um aplicativo. Esse aplicativo usa a técnica 3D para visualizar uma grande coleção de dados fixos e temporais dos pacientes na Unidade de Terapia Intensiva, a fim de prevenir a ocorrência de infecção hospitalar. De acordo com os resultados da avaliação de utilidade da técnica 3D, Ltifi (2012) relatou que: i. usuários gostaram de utilizar a técnica 3D; ii. A técnica 3D é clara através de seus diversos painéis; iii. o tempo de resposta da técnica 3D é bom; iv. A interatividade é rápida e eficiente; v. aumento da prevenção de doenças hospitalares; vi. o tempo para tomada de decisão diminuiu. O autor também enfatizou que a técnica está mostrando bons resultados apesar de algumas limitações em relação ao tamanho limitado da tela.

O *WebBook* (CARD; ROBERTSON; YORK, 1996) é outra técnica 3D de visualização que utiliza a metáfora de biblioteca para representar o conteúdo das páginas da *Web* (Figura 16). Uma página *Web* é representada como um livro tradicional em um *biblioteca*. Quando um link para uma página da *Web* contidos no mesmo *WebBook* é clicado, a página do *WebBook* é redirecionada até a página desejada ser atingida e exibida. Quando se visita uma página que reside em outro *WebBook*, automaticamente esse *WebBook* é fechado e abre uma nova. Páginas na *WebBook* também pode armazenar bookmarks do usuário.

Figura 16 – Webbook.



Fonte: Card, Robertson e York (1996).

Existem outras visualizações com técnicas 3D que utilizam a metáfora de biblioteca para a visualização de documentos como, por exemplo, o *MUBIL* (CARROZZINO, 2012). O

projeto MUBIL envolve museus, bibliotecas e parceiros da academia de tecnologia da informação e comunicação e tem como objetivo desenvolver uma metodologia consistente que permite o uso de ambientes virtuais juntamente com a metáfora de biblioteca para apresentar o conteúdo manuscritos através dos paradigmas de interação e imersão.

As técnica 3D de visualização da informação também foram usadas na área de saúde. Ridder et. al. (2013) desenvolveu um sistema com interface 3D para visualização do prontuário eletrônico de saúde com base na *Web* chamado de *3D Medical Graphical Avatar (MGA)*, que foi projetado para explorar uma grande variedade de tipos de dados médicos, incluindo imagens médicas, vídeos médicos, anotações espaciais e dados baseados em texto. Os autores fizeram teste de usabilidade e performance do MGA tanto em computadores quanto em celulares. No teste de performance, a aplicação teve resultados bons e no teste de usabilidade a concepção da interface se adequava à maioria dos critérios principais de usabilidade, de tal forma que ele pode ser capaz de facilitar a compreensão dos dados médicos.

Outro exemplo do uso de técnicas 3D em aplicações na saúde está relacionado com a visualização de imagens médicas. Lee et. al. (2013) desenvolveu um sistema de visualização interativa de imagens médicas 3D para apoiar a terapia médica e planejamento cirúrgico. Além disso, foi aplicado uma interface gesto sobre a interface gráfica do usuário para fornecer interatividade mais natural e intuitiva. Os autores concluíram que o sistema proposto pode ser aplicado em muitos ambientes clínicos como um sistema eficaz de apoio clínico desde a consulta de pacientes até o diagnóstico e tratamento.

Problemas

Apesar de todo o aperfeiçoamento no desenvolvimento técnico e de suas características atraentes, sem dúvida, as técnicas 3D de visualização são limitadas e também possuem problemas na interatividade com o usuário. Um dos problemas está associado aos fatores cognitivos de navegação espacial em ambientes 3D (MIRZAEI, 2012). Os conflitos nos fatores cognitivos de navegação são causadas pela discrepância de usar telas 2D com dispositivos de entrada 2D para interagir com um mundo 3D (WARE; FRANCK, 2005). Segundo Evans et.al. (2010) os usuários ficam desorientados devido a um novo conjunto de interações que tem que executar e também pelo maior grau de liberdade que é possível interagir.

Outro principal problema das interfaces com técnicas de visualização 3D é a adaptação do usuário com o ambiente 3D. A maioria dos usuários só tem experiência com ferramentas 2D como o *Windows, Icons, Menus e Pointers* (WIMP). Portanto, a compreensão do ambiente 3D, a interação com a técnica 3D através das ferramentas WIMP, e, possivelmente, a execução de ações dentro dele exige mais esforços de adaptação para estas tecnologias do que para tecnologias 2D (BOWMAN *et al.*, 2001; BISTRÖM; COGLIATI; ROUHIAINEN, 2005; HANCOCK, 2010).

Além desses problemas, algumas interações com interfaces 3D são limitadas, como, por exemplo, a capacidade de rotacionar um objeto para a inspeção sem ficar mais perto dele e não causar desorientação. Algumas destas limitações podem ser resolvidas quando se utiliza tecnologia de realidade virtual avançada, como o *Computer Assisted Virtual Environment* (CAVE) ou *Workbench*. No entanto, estas tecnologias não são amplamente disponíveis e são ainda bastante caras para servir como base para a maioria das aplicações de visualização da informação. Outra alternativa encontrada para solucionar essas limitações seria a implementação de sensores óticos para o reconhecimento de gestos que são mais disponíveis para o usuário final e utilizam as técnicas de visualização em 3D para manipular um objeto e ter um efeito melhor na visualização de informação.

Esses novos sensores têm como objetivo atingir as interações humano-computador mais dinâmicas sem que haja a necessidade de contato físico com o dispositivo de entrada (ZAMAN, 2012) e pode capturar uma forma natural e intuitiva de interação entre humanos e as máquinas através do reconhecimento de gestos. Recentemente, essa nova tecnologia é uma área que vem recebendo cada vez mais atenção na pesquisa e alguns pesquisadores (KHOSHELHAM; ELBERINK, 2012; WEICHERT *et al.*, 2013) relataram em seus estudos que uma das vantagens do uso de sensores de reconhecimento de gestos é o aumento na precisão e na robustez na navegação e controle de um ambiente com técnicas 3D de visualização.

Apesar de sua aparente simplicidade, a visualização de informação com técnicas 3D também pode introduzir o problema de oclusão no qual os objetos no ambiente 3D podem ficar oclusos uns dentro dos outros dificultando a escolha da melhor perspectiva de visualizar o gráfico no espaço (ELMQVIST; ASSARSSON; TSIGAS, 2007). Uma solução para esse problema é a utilização dos atributos visuais dos objetos, como a transparência, profundidade, entre outros, para poder visualizar os objetos oclusos. Esses atributos também permitem que o

usuário altere a visualização interativa do objeto em movimento no espaço. Mas a capacidade de mudar a perspectiva acrescenta outra dificuldade que é a desorientação no espaço 3D. Práticas comuns como a minimização de bordas cruzadas são menos gratificantes se o usuário pode alterar a perspectiva e visualizar as intersecções das bordas de outro ângulo. No entanto, esta é uma característica da técnica 3D para se obter a melhor visualização possível a partir da perspectiva da informação inicialmente fornecida ao utilizador, sem que a estética seja alterada.

2.6.3 Estudos comparativos entre as técnicas 2D e 3D

Hasbrouck (2012) em sua pesquisa fez um experimento com trinta estudantes para validar a hipótese que as interfaces 2D teriam resultados mais rápidos e mais precisos para as tarefas de rotação de uma imagem e mapa mental do que interfaces 3D. Os resultados do experimento apoiaram a hipótese de que a interface 2D era melhor para a tomada de decisão quando se trata de tarefas para identificação de um objeto numa posição relativa. Em contrapartida, a interface 3D foi melhor utilizada na tomada de decisões em relação a percepção da forma do objeto. Em relação a carga mental de trabalho, os resultados foram maiores para as tarefas na interface 2D do que na interface 3D.

Outro estudo realizado por Foo *et al.* (2013) avaliou a carga mental de trabalho na realização de uma tarefa de visualização de três estruturas anatômicas - vesícula biliar, tronco celíaco e da artéria mesentérica superior tanto em ambientes com técnicas 2D quanto 3D através de um experimento com vinte e cinco estudantes do primeiro ano do curso de medicina. As variáveis utilizadas para a avaliação foram a precisão e tempo. O protocolo de avaliação de carga mental de trabalho utilizado foi o NASA-TLX como uma medida subjetiva. Os resultados mostraram que os participantes que realizaram as tarefas no ambiente 3D tiveram maior precisão na localização dos objetos e menor carga mental de trabalho. Os resultados deste estudo podem ser úteis para o planejamento curricular no ensino de anatomia melhorando os procedimentos de formação para cirurgiões.

Na área de Construção Civil a concepção do projeto espacial é frequentemente representada em duas dimensões (2D) com várias visões que devem ser combinadas e decodificadas pelo utilizador final para compreender eficazmente todas as orientações de um elemento da construção. Avanços no desenho tridimensional auxiliado por computador (CAD 3D) e da impressão 3D proporcionaram avanços promissores na visualização de informações de engenharia espacial. Para avaliar as vantagens da utilização das técnicas 3D em relação às

técnicas 2D na engenharia espacial, Dadi *et al.*(2014) investigou as demandas de carga mental de trabalho em cada uma das técnicas através de um experimento onde os participantes reconstruíram uma estrutura simples usando desenhos em 2D numa interface de CAD 3D e num modelo impresso 3D. Depois de completar a tarefa, os participantes foram questionados sobre suas percepções da carga mental de trabalho através do protocolo NASA-TLX. Os resultados da avaliação mostraram que não houve diferença na carga mental entre os três tipos de apresentação de informação, indicando que as exigências cognitivas dos meios são semelhantes. No entanto, houve diferenças estatisticamente significativas nos fatores de carga de trabalho devido à influências demográficas do participante, tais como níveis de ocupação e experiência CAD. Além disso, a carga mental de trabalho afetou a produtividade do sujeito na conclusão da tarefa.

Ito, Misue e Tanaka (2009) descreveram o método de layout para mapas de esfera ancorada com técnica 3D. Para avaliar a legibilidade do método de layout com a técnica 3D, os autores realizaram um estudo comparativo com seis usuários. que realizaram duas tarefas usando a técnica 2D e duas tarefas usando a técnica 3D. As variáveis utilizada na avaliação comparativa foram o tempo e a quantidade de acertos na realização da tarefa. Os resultados do estudo revelaram que a quantidade de acertos com a utilização da técnica 3D foi maior que a técnica 2D. Além desses resultados, a maioria dos participantes também realizou tarefas mais rapidamente utilizando a técnica 3D em relação à técnica 2D. Baseado na análise dos resultados, Ito, Misue e Tanaka (2009) concluíram que a utilização da técnica 3D teve maior legibilidade em relação a técnica 2D, especialmente em torno das âncoras.

Em relação à visualização de dados, Seipel e Carvalho (2012) apresentaram um estudo que investigou a comparação entre a visualização com técnicas 2D e 3D de gráficos de barras em mapas geográficos. O estudo foi realizado através de um experimento com 18 participantes que realizaram uma tarefa de visualizar os dados em vinte e cinco situações diferentes. As variáveis da análise comparativa foram o tempo, precisão, aprendizado e habilidades pessoais. Em relação à precisão e aprendizagem, os resultados deste experimento mostram que não houve diferença significativa na visualização dos dados entre as duas técnicas. Em contrapartida, o tempo de realização da tarefa com a técnica 2D foi maior que com a técnica 3D. O desconforto visual foi relatado por quase a metade dos participantes, mas o desempenho não foi afetado. O estudo também mostrou que os participantes experientes não se beneficiaram mais com a utilização da visualização 3D que os participantes inexperientes.

Em relação à visualização de dados multivariados, Sanftmann (2012) relatou que a técnica 3D pode fornecer mais informações do que em 2D e até mesmo melhorar o desempenho da tarefa. Essas vantagens no uso da técnica 3D são decorrentes das características da profundidade, sem abrir mão dos benefícios da visualização em 2D. Ao lidar com a técnica 3D, a percepção espacial precisa ser explorada, de forma eficaz usando sugestões de profundidade para transmitir informação espacial para o usuário.

Sanftmann (2012) analisou em sua pesquisa o uso da técnica *Scatterplot* com técnica 3D para visualizar e explorar dados multivariados. Ele relatou que a técnica *Scatterplot* 3D foi e ainda é usada em vários locais para obter *insights* (TAKAHASHI; FUJISHIRO; OKADA, 2009) principalmente porque ela fornece uma dimensão adicional de dados e também reduz a perda de informação (POCO *et. al.*, 2011). No entanto, o usuário visualiza a estrutura dos dados através da representação 3D apenas pela capacidade de girar a interface para gerar novas projeções em uma tela 2D. Esta pode ser uma das principais razões pela qual a técnica *Scatterplots* 3D tenha recebido muitas críticas por exigir muita interação do usuário, o que pode ser válido em alguns casos. Sanftmann (2012) concluiu que quando se trata de visualizar dados multivariados, a utilização da técnica *Scatterplot* 3D sem nenhum outro recurso visual não é suficiente. O autor apresentou um modelo de interpolação e projeção para a navegação entre *Scatterplots* utilizando de recursos de animação dando suporte às transições entre *Scatterplots* 3D que são percebidos como rotações 3D de corpo rígido.

2.7 Conclusão

Neste capítulo, apresentamos os conceitos sobre visualização (Dados, Informação e Científica) e sobre os modelos de visualização. Após isso foram detalhados os fenômenos cognitivos (percepção visual, interpretação de dados e resolução de problemas) relacionados com a visualização de dados e também foram detalhadas as abordagens conceituais para cognição que serão utilizadas na análise da usabilidade do protótipo desenvolvido neste trabalho. No final, foi descrito a evolução da visualização da informação desde a origem até os dias atuais e também alguns trabalhos relacionados às técnicas de visualização.

De acordo com os pesquisadores que desenvolveram algum tipo de técnica de visualização com interface gráfica 2D, a maioria relatou que existem problemas semelhantes com o uso dessas técnicas no suporte para visualização de informação. Os principais problemas estão relacionados com a natureza **estética** da visualização (REINGOLD; TILFORD, 1981; DINKLA; WESTENBERG, 2012) que causam a dificuldade de discernir

entre os nós (elementos) e arestas (relações) no grafo, numa estrutura de dados (PURCHASE; PILCHER; PLIMMER, 2012; DINKLA; WESTENBERG, 2012), porque quando o número de elementos cresce, as bordas entre os nós aumentam e acabam cruzando (PURCHASE; PILCHER; PLIMMER, 2012), resultando nas **oclusões** entre objetos (MIYAZAKI; ITOH, 2009). Os problemas relativos à queda de **desempenho** do sistema quando o sistema tem uma grande quantidade de dados (ISMAIL; HASNI e SUBRAMANIAN, 2009) já vem sendo solucionado com o surgimento de computadores mais potentes em relação ao processamento de dados.

Além dos problemas encontrados na interface 2D também foram encontrados outros problemas em interfaces de visualização de informação com técnicas 3D, como os aspectos da **cognição** na navegação dentro do ambiente (MELANÇON; MARSHAL, 2000) e com conflitos de **percepção e navegação** causados pela discrepância de usar telas 2D e dispositivos de entrada para interagir com um mundo 3D (WARE; FRANCK, 2005). Outro principal problema de interfaces com técnicas de visualização 3D é a **adaptação** o usuário com ferramentas como o *Windows, Icons, Menus, Pointers* (WIMP) usando metáfora do *desktop* 3D, (BOWMAN *et al.*, 2001; BISTRÖM; COGLIATI; ROUHLAINEN, 2005; HANCOCK, 2010). O problema com a **oclusão** também foi encontrado em técnicas de visualização 3D (ELMQVIST; ASSARSSON; TSIGAS, 2007).

Os problemas descritos acima corroboram para responder a pergunta de pesquisa dessa tese de doutorado que é a necessidade de conceber uma solução de visualização de informação com técnicas 3D para análise e monitoramento de mais de duas variáveis de forma a melhorar a efetividade e eficiência na busca de informações específicas, reduzindo o tempo de busca e da carga mental.

Capítulo 3

3 Método

Este capítulo descreve o método adotado nesta pesquisa incluindo técnicas e instrumentos usados na coleta e análise dos dados para a investigação do fenômeno analisado, adquirindo novos conhecimentos, ou corrigindo e integrando conhecimentos já existentes. O método vai conduzir a pesquisa no alcance dos objetivos definidos.

3.1 Estrutura do Método

A estrutura do método pode ser vista no Quadro 1 onde a abordagem usada foi indutiva com escopo experimental, com um processo misto de análise contendo uma parte analítica e outra estatística. Como o processo é misto, a natureza das variáveis foi qualitativa e quantitativa. A variável qualitativa foi usada para o estudo e análise da interpretação dos usuários sobre o objeto estudado, ou seja, entender como os usuários percebem o objeto estudado e quais foram suas experiências sobre ele, entender suas ações, seu ambiente e o contexto no qual o objeto está inserido e dar uma descrição sobre a percepção social construída (MERRIAM, 1998). A variável quantitativa foi usada para analisar as opiniões, reações, atitudes e hábitos que foram medidos dos usuários.

Em relação ao objetivo, esta pesquisa foi classificada como descritiva e causal. Um experimento foi realizado para a coleta e análise dos dados referentes às variáveis definidas e para a identificação da relação entre elas.

Quadro 1– Quadro metodológico.

Quadro metodológico	
Método de abordagem	Indutivo
Natureza das variáveis	Quali/quantitativa
Método do processo	Analítico /estatístico
Tipo de objetivo	Descritivo e causal
Tipo de escopo	Experimento

Fonte: Autor (2013).

No experimento também foram adotadas técnicas de natureza observacional onde o pesquisador adotou métodos de análise de usabilidade baseado em critérios ergonômicos

(BASTIEN; SCAPIN, 1993) e análise cognitiva da tarefa (CLARK *et al.*, 2008) para analisar o fenômeno cognitivo relacionado com a visualização de dados.

3.2 Premissas

A premissa desta pesquisa é a validação que o uso de técnicas 3D de visualização contribui para o aumento da percepção, assimilação e interpretação no monitoramento de indicadores da qualidade dos serviços provindos de uma rede social. A validação desta premissa foi realizada através de uma análise de usabilidade ergonômica e da carga mental na realização de uma tarefa.

3.3 Objetivos

O objetivo desta tese é conceber uma nova técnica 3D de visualização de informação por meio do design e avaliação da usabilidade. Os objetivos específicos que foram definidos no capítulo de introdução são apresentados na Quadro 2 juntamente com a técnica utilizada na coleta de dados.

Quadro 2 - Objetivos específicos da pesquisa.

Objetivos Específicos	Técnica de Coleta de Dados
Conceber um modelo que sirva como base para o desenvolvimento de sistemas com técnicas 3D de visualização da informação.	Estudo Observacional: Revisão da literatura.
Desenvolver um protótipo com técnicas de visualização em 3D com base nos requisitos identificados.	Processo de design: Desenvolver personagens, elaboração de cenários, especificação de requisitos e desenvolvimento do protótipo.
Avaliar a usabilidade, efetividade e eficiência do protótipo desenvolvido com a técnica 3D baseado nos critérios ergonômicos em relação a uma técnica de visualização 2D.	Estudo experimental: Observação, análise da tarefa, teste de usabilidade baseado em fatores ergonômicos e análise estatística.
Avaliar a carga mental usada na realização de uma tarefa de interpretação, percepção visual, resolução de problemas e aprendizagem com a técnica 3D em relação a técnica 2D.	Estudo experimental: Observação, análise da tarefa, teste de usabilidade baseado em fatores ergonômicos e análise estatística.

Fonte: Autor (2013).

3.4 Hipóteses

As estratégias de validação das hipóteses descrita no capítulo de introdução foram realizadas por meio da coleta e análise de dados baseada nos seguintes critérios (variáveis) que foram adaptadas da literatura (ITO; MISUE; TANAKA, 2009; SEIPEL; CARVALHO, 2012; BLADH; CARR; SCHOLL, 2004):

a) quantitativo:

- **Esforço:** tempo gasto na realização de cada tarefa por cada participante;
- **Efetividade:** relação entre a quantidade de tarefas realizadas corretamente e a quantidade total de tarefas na avaliação;
- **Eficiência:** relação entre a quantidade de tarefas realizadas corretamente e o tempo total gasto na realização da tarefa.

b) qualitativo:

- **Facilidade para aprender:** o sistema deve ser fácil de aprender e de manusear. A usabilidade da interface deve ser clara e objetiva;
- **Facilidade de lembrar:** este critério relaciona-se com a facilidade de lembrar as ações realizadas no sistema, mesmo que essa ação é realizada ocasionalmente ou após longos períodos;
- **Satisfação:** o grau de satisfação do usuário utilizando o sistema;
- **Carga mental:** Carga mental de trabalho necessária para a realização de uma tarefa.

Por trás desses critérios, foram propostos critérios de avaliação para representações gráficas com interfaces 3D. Esses critérios são:

a) **ordem lógica:** Distribuição dos objetos no layout 3D;

b) **oclusão de objetos:** Sobreposição de objetos em layout 3D;

c) **orientação:** Percepção espacial que os usuários têm no ambiente 3D.

3.5 Participantes

Os participantes da avaliação são parte de um subconjunto de pessoas (amostra) que existem no mundo real e são representativos, contendo todas as características da população para que se tornem válidas as conclusões obtidas sobre a população. O método para a escolha dos participantes é chamado de amostragem e tem como objetivo formar pequenos grupos da população para serem conhecidas suas características e participar de algum procedimento (MOORE, 2003).

A avaliação de usabilidade foi realizada com duas amostras de populações distintas, sendo que uma foi com profissionais de telessaúde e a outra com profissionais de educação a distância. De acordo com os parâmetros de cálculo do tamanho da amostra e dos critérios para

que o tamanho da amostra seja significativo, o tamanho foi de 30 (trinta) participantes para cada amostra, num total das duas amostras de 60 (sessenta) participantes.

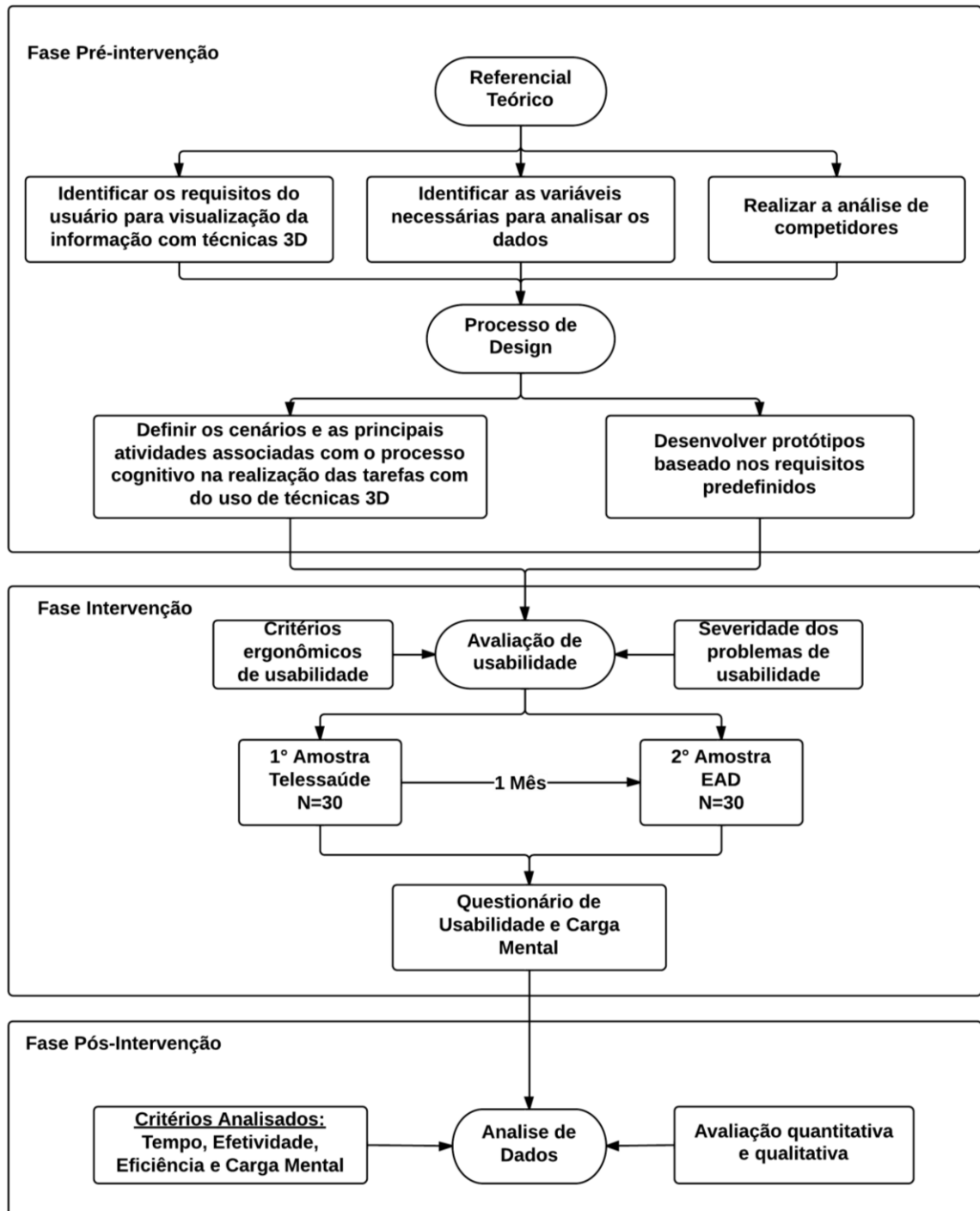
3.6 Fases da Pesquisa

A pesquisa foi realizada em três fases: Fase de Pré-Intervenção, Fase de Intervenção e Fase de Pós Intervenção de acordo com a Figura 17. A fase de pré-intervenção foi composta em duas etapas: referencial teórico e processo de design. No referencial teórico foram utilizadas as técnicas de análise documental através de uma revisão da literatura que teve o objetivo de identificar o problema de pesquisa, entender a questão norteadora da pesquisa, identificar os requisitos para o desenvolvimento do protótipo e identificar as variáveis a serem analisadas na avaliação e a técnica de análise de competidores que teve como objetivo identificar na literatura um software com técnica 3D que mais se adequava aos requisitos levantados no qual seria o artefato a ser analisado. Depois da análise de competidores chegou-se à conclusão que não havia nenhum software com técnica 3D que se adequasse aos requisitos levantados. Com isso, foi decidido desenvolver um novo protótipo baseado nos requisitos levantados. Na segunda etapa foi inicializado o processo de design que utilizou a técnica de análise de cenário e tarefas cujo objetivo foi a definição dos cenários de aplicação da avaliação e definição das tarefas realizadas pelos participantes e também a técnica de prototipagem cujo objetivo foi o desenvolvimento do protótipo.

A fase de intervenção foi composta pela avaliação de usabilidade, efetividade, eficiência e carga mental. A avaliação de usabilidade foi composta pelos critérios ergonômicos e pelo grau de severidade dos problemas de usabilidade encontrados. Nessa fase foram utilizadas as técnicas de observação, análise cognitiva da tarefa, análise de usabilidade ergonômica e análise de carga mental de trabalho. Na observação foi utilizado o instrumento de gravação de vídeo cujo objetivo era de gravar a interação do participante com o protótipo durante a realização da tarefa. Na análise cognitiva da tarefa foram utilizados questionários para o registro das dificuldades encontradas dos participantes na realização da tarefa. Na análise de usabilidade ergonômica foi utilizado o protocolo de critérios ergonômicos de Bastien e Scalpin (1993) e na técnica de análise de carga mental foi utilizado o protocolo da NASA TLX (NASATLX, 2013). Finalmente, A fase de pós-intervenção foi realizada com o objetivo de analisar os dados coletados através da técnica de análise quantitativa e qualitativa. A técnica de análise qualitativa utilizou o teste estatístico *t de Student* com nível de confiança

de 95% e a técnica de análise qualitativa avaliou o comportamento e dificuldades previamente encontradas pelos usuários enquanto utilizavam as técnicas 3D de visualização de dados.

Figura 17 – Fases da pesquisa.



Fonte: Autor (2013).

As técnicas e instrumentos utilizados em todas as fases podem ser visualizados na Figura 18. As seguintes subseções vão detalhar cada técnica e instrumento utilizado em cada fase da pesquisa.

Figura 18 – Método de pesquisa.



Fonte: Autor (2013).

A escolha da técnica e instrumentos usados nas fases da pesquisa depende das variáveis a ser analisadas. O Quadro 3 apresenta a relação entre as variáveis de avaliação e as respectivas técnicas.

Quadro 3 – Relação dos variáveis de avaliação x técnica.

Variáveis de avaliação	Técnica
Esforço	Observação
Efetividade	Observação
Eficiência	Observação / Bastin (Errors)
Facilidade de aprender	Observação / Bastin (orientação)
Facilidade de lembrar	Bastin (legibilidade)
Satisfação	NASA LTX, Bastin (Feedback)
Carga Mental	NASA LTX
Ordem lógica	Bastin (agrupamento)
Oclusão de objetos	Observação
Orientação	Observação

Fonte: Autor (2013).

3.6.1 Primeira Fase: Referencial Teórico

O objetivo desta fase é entender a questão norteadora da pesquisa e também levantar requisitos necessários para o desenvolvimento do protótipo de visualização da informação

com técnicas 3D. A técnica usada nesta fase foi análise de documentos e os instrumentos foram pesquisa bibliográfica e análise de competidores.

Análise documental

A análise de documentos tem como objetivo identificar as características visuais do comportamento cognitivo e também requisitos de interatividade do usuário com técnicas 3D de visualização de informação. A análise foi realizada através de pesquisa em fontes acadêmicas e bibliotecas digitais como, por exemplo, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), *Association for Computing Machinery* (ACM) e *PubMed* durante o período de janeiro de 2011 até fevereiro de 2014. As palavras chaves utilizadas na pesquisa foram: Visualização, 3D, 2D, Usabilidade, Carga Mental, variáveis multidimensionais e indicadores. Também foram utilizados os respectivos termos em inglês. Os resultado da pesquisa bibliográfica em relação aos trabalhos relacionados foram descritos no capítulo 2.

Entre os estudos relacionados que relatam os requisitos necessários para o desenvolvimento de sistemas de visualização da informação, Pfitzner, Hobbs e Powers (2003) relataram que é importante considerar os aspectos de design de interface de um sistema com técnicas de visualização da informação. Segundo os pesquisadores existem cinco fatores que tem que ser considerados: dados, tarefas, interatividade, nível de habilidade e contexto. Todos esses cinco fatores são considerados importantes na resolução dos problemas de visualização de estrutura completa de um grande conjunto de dados, de estética e de redução de cruzamentos que foram encontrados na revisão da literatura (sessão 2.6 nas páginas 45 e 51) e também vão fazer parte dos requisitos do protótipo, mas apenas os fatores da tarefa e interatividade foram os que mais tiveram relevância na avaliação da usabilidade da interface 3D.

Em relação ao fator tarefa, Schneiderman (1998) dividiu o domínio da tarefa em sete dimensões distintas. Essas dimensões são:

- a) **overview**: visão geral de todos os dados;
- b) **zoom**: visão de um dado específico. Esta visão pode ser tanto para o objeto quanto para o nível de seu atributo;
- c) **filtro**: Remover itens indesejados da visão;
- d) **detalhe sob demanda**: Visão detalhada de um determinado grupo, subgrupo ou item

selecionado;

e) **relate**: visualizar as relações entre um grupo selecionado, subgrupo ou item;

f) **história**: visualizar todas as ações que o usuário fez anteriormente;

g) **extração**: extração de um conjunto específico de dados.

Estas dimensões da tarefa são os requisitos de interatividade necessárias no desenvolvimento do protótipo e podem afetar diretamente a interatividade dos usuários com a visualização porque é através delas que o usuário consegue interagir com a interface e consequentemente extrair apenas os dados relevantes para a interpretação do problema analisado. Outro requisito identificado na literatura foi baseado no pré-processamento atento da informação visual que é executada automaticamente em todo o campo visual para detectar características básicas de objetos na tela. Este processo está relacionado com o que pode ser visualmente identificado antes da atenção consciente e tem um papel importante na melhoria do processo de visualização (TRIESMAN, 1985). Segundo Ware (2012) o processamento pré-atentivo é dividido em três categorias: posição (posição 2D, profundidade estereoscópica, sombreamento convexo / côncavo), forma (orientação da linha, comprimento, largura, a curvatura, o agrupamento espacial, se tem marcas, numerosidade) e cores (tonalidade e saturação).

Além dos requisitos levantados acima, também é importante considerar as características específicas da visualização com técnicas 3D como as dicas de profundidade que o sistema visual usa para perceber a cena 3D. As dicas da profundidade podem ser divididas em dois grupos principais (Quadro 4): profundidade psicológica, que dependem de nosso conhecimento prévio do aspecto visual de objetos familiares e profundidade fisiológica, que se manifestam através da anatomia do nosso sistema visual (OKOSHI, 1976; PIMENTA; SANTOS, 2012).

Quadro 4 – Dicas de Profundidade.

Grupo	Dicas De Profundidade
Profundidade Psicológica	Oclusão: a sobreposição de alguns objetos por outros que estão mais perto do usuário.
	Perspectiva linear: dado um conhecimento prévio de formas e/ou tamanhos dos objetos, interpretamos distorções percebidas na sua forma (partes mais distante de nós parecem menores), as diferenças de tamanho entre os objetos, e variação do tamanho angular (quanto do nosso campo visual eles cobrem) como indicadores para a sua localização no espaço tridimensional.
	Perspectiva atmosférica: geralmente conhecido como neblina à distância, refere-se ao desaparecimento do contraste e detalhes dos objetos localizados a uma grande distância. As cores deles mudam para cores azuladas.
	Projeção sombreamento e sombra: efeitos causados pela relação entre objetos e fontes de luz.
	Paralaxe de movimento: alterações relativas na posição percebida entre dois objetos quando nos movemos.
	O efeito de profundidade cinética: mudanças na aparência de um objeto devido ao seu próprio movimento.
Profundidade Fisiológica	Acomodação: o esforço feito pelos músculos do olho que controlam a forma da sua lente, a fim de trazer a imagem em foco na retina.
	Convergência: fenômeno ocorrente quando ambos os olhos giram para dentro com o objetivo de focar o objeto de interesse, alinhando, assim, as diferentes imagens provinda dele, para que a visualização possam ser mais eficaz quando combinadas pelo cérebro
	Disparidade binocular (ou paralaxe estérea): diferenças de imagens recebidas por cada olho

Fonte: Autor (2013).

As sugestões encontradas nas dicas de profundidade foram utilizadas como solução dos problemas de visualização relacionadas com a oclusão de objetos, a navegação e desorientação espacial. Todos os requisitos identificados foram selecionados porque eles estão de acordo com os princípios da abordagem cognitiva em IHC escolhida para o fenômeno estudado: a teoria do processamento da informação.

Análise de competidores

A análise de competidores é uma técnica que consiste na avaliação de produtos já existentes no mercado com o objetivo de coletar diretrizes, princípios e práticas de um bom design para o desenvolvimento de um novo produto (BORCHERS, 2000). Assim, por meio da identificação destes elementos se pode encontrar características e funcionalidades úteis que devem ser mantidos na concepção do novo produto e aquelas que devem ser evitadas. Além disso, Maguire (2001) e Nielsen (1993) enfatizam que a análise dos concorrentes também pode ajudar na identificação de potenciais problemas de usabilidade porque visualizar e identificar os erros dos concorrentes faz com que os erros não sejam repetidos.

A análise da concorrência foi realizada com o objetivo de extrair características dos softwares 3D analisados, avaliar os pontos fortes e fracos dos concorrentes e identificar o melhor software 3D que se encaixa com os requisitos definidos na revisão da literatura. Antes da análise de concorrentes, foi definido um requisito mínimo o qual o software analisado

deveria atender: técnica de visualização *scatterplot* 3D. Esse requisito mínimo foi definido porque os dados analisados eram indicadores multivariados de origem numérica onde a técnica 3D *scatterplot* possibilitaria a visualização de seis variáveis ao mesmo tempo. Além desse requisito, o software teria que atender as seguintes características que estariam relacionadas aos requisitos levantados: *freeware*, integração com banco de dados através de arquivo XML ou Excel, filtro de dados, Animação, *Drag*, *Zoom*, Legenda, *Cluster* hierárquica e rotação.

Após a pesquisa, foram identificados 10 concorrentes: *Origin*, *Graphing Calculator 3D*, *Grapher10*, *SimpleGraph3D*, *3D Calculus Graphs*, *CoPlot*, *3D Graph Explorer*, *Excel3Dscatterplot*, *3D XY Scatter Chart*. Todos esses softwares foram analisados de acordo com os requisitos listados acima e o resultado da análise pode ser vista no Quadro 5.

Quadro 5 – Análise dos Concorrentes.

	Scatter plot	Freeware	Banco de Dados	Filtros	Animação	Drag	Zoom	Rotacionar	Cluster
<i>Origin</i>	Sim	Não	xls ¹	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Graphing Calculator 3D</i>	Sim	Não	xls/cvs ²	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
<i>Grapher10</i>	Sim	Não	xls/cvs	Não	Não	Não	Não	Não	Não
<i>SimpleGraph3D</i>	Não	Sim	web	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
<i>3D Calculus graphs</i>	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
<i>CoPlot</i>	Não	Sim	xls	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
<i>3D Graph Explorer</i>	Não	Não	Função	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
<i>Excel3Dscatterplot</i>	Sim	Sim	xls	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
<i>3D XY Scatter Chart</i>	Sim	Sim	xls	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não

Fonte: Autor (2013).

De acordo com a Tabela 6, a maioria dos softwares analisados não preencheu 100% dos requisitos necessários para ser o objeto de estudo para análise proposta nessa pesquisa. Por esse motivo, foi decidido que seria melhor desenvolver um novo protótipo baseado nas variáveis e requisitos definidos anteriormente e também em algumas características e funcionalidades de ambas as técnicas 2D e 3D de visualização que solucionam os problemas encontrados na revisão da literatura e não foram encontrados nas ferramentas concorrentes analisadas.

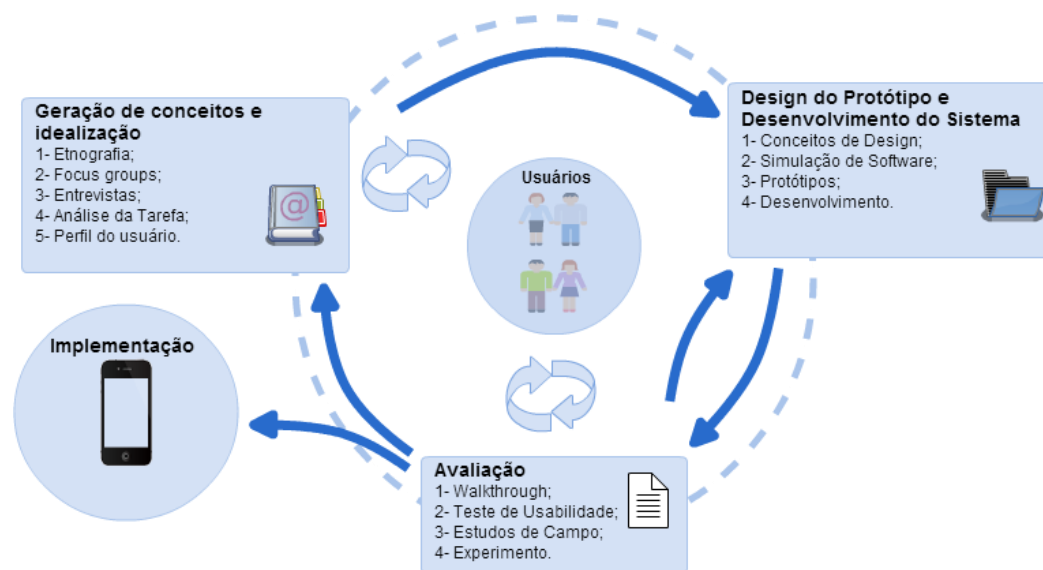
¹ xls é um arquivo que contém tabelas de dados no formato do programa Excel.

² O *Comma-Separated Values* (CVS) é um arquivo que armazena dados tabulares (números e texto) em forma de texto simples separados por vírgula.

3.6.2 Segunda Fase: Processo de Design centrado no usuário

O processo de design centrado no usuário é uma técnica que envolve a consideração de que o usuário está presente em todas as fases do ciclo de projeto como mostrado na Figura 19 (MAO *et al.*, 2005). Essa técnica foi escolhida no processo de desenvolvimento do protótipo porque o design centrado no usuário é um processo iterativo, cujo objetivo é o desenvolvimento de sistemas fáceis de serem utilizáveis, alcançados através do envolvimento de potenciais usuários no projeto de sistema.

Figura 19 – Processo de design centrado no usuário.



Fonte: Adaptado de Mao *et al.* (2005).

A Figura 19 apresenta o processo de design centrado no usuário de forma resumida e tem como objetivo incorporar a perspectiva e as necessidades do usuário no processo de design do artefato. A fase de geração do conceito e idealização do protótipo foi inicializada com a análise de concorrentes e finalizada com os resultados da análise dos dados do estudo piloto e de requisitos elicitados na primeira fase. Após a conclusão da primeira fase, o documento de requisitos é revisto para iniciar a nova etapa: a concepção e desenvolvimento do protótipo. As técnicas utilizadas na concepção do protótipo e desenvolvimento do sistema foram a criação de personagens e cenários que ajudaram na compreensão do contexto a ser desenvolvido. Para elaboração de cenários e personagens foram utilizados os resultados obtidos durante a primeira fase realizada neste estudo.

3.6.3 Terceira Fase: Avaliação de Usabilidade

O planejamento da avaliação de usabilidade foi baseado na técnica de experimento que consiste em estudo controlado com um procedimento metódico que tem o objetivo de verificar, falsificar, ou estabelecer a validade de uma hipótese. A realização da avaliação de usabilidade requer um planejamento prévio para que seja conduzido e analisado o objeto de estudo com a melhor aproximação possível. O controle das variáveis é muito importante para que os resultados da avaliação contenham o menor número de erros possível.

Depois de identificados os requisitos e desenvolvido o protótipo, foram identificados as técnicas e instrumentos para serem usados na avaliação de usabilidade (Figura 18, pág. 62) assim como o material de suporte para a avaliação do comportamento cognitivo humano durante a realização da tarefa.

Observação

Observação é uma técnica de coleta de dados usada amplamente em pesquisa qualitativa a qual demonstra ser relevante para o entendimento do comportamento humano em circunstâncias específicas (FLICK, 2009). Esta técnica também é aplicada em estudos envolvendo interações humanas quando há situações que dificilmente poderiam ser capturadas ou apreendidas em outra técnica (KREPPNER, 2001). Esta técnica foi escolhida porque através dela foi possível observar, registrar e descrever informações precisas acerca do fenômeno estudado. Durante a observação da avaliação, foram usados os seguintes instrumentos:

- a) Questionários: perguntas referente à percepção do usuário em relação a realização da tarefa;
- b) registro de dados: formulários referentes à análise da tarefa cognitiva e gravação da interação do usuário com a interface de visualização;

Para conduzir a avaliação, foi adotada a observação direta durante a realização de tarefas com o mínimo de interação com os usuários, procedendo apenas para esclarecer dúvidas decorrentes da realização da tarefa. Depois que o participante finaliza as tarefas eles respondem um questionário sobre a experiência e dificuldades encontradas na realização da tarefa (SOUZA; COSTA; MOREIRA, 2010).

Análise cognitiva da Tarefa

Cognitive Task Analysis (CTA) é definida como extensão da técnica da análise da tarefa tradicional que tem como objetivo produzir informações sobre os processos de conhecimento e estruturas de pensamento que fundamentam o desempenho da tarefa observável (CHIPMAN *et al.*, 2000).

A aplicação da CTA foi feita juntamente com técnicas de observação porque ao mesmo tempo que o pesquisador observava o usuário na realização da tarefa, ele também registrava os comportamentos do usuário em relação aos processos cognitivos no desempenho da tarefa. O CTA tinha como objetivo capturar uma descrição do conhecimento que os usuários utilizam para realizar tarefas complexas (CLARK *et al.*, 2008). Enquanto os participantes realizavam as tarefas os comportamentos dos participantes na realização delas foram observados e coletados. Os comportamentos de interatividade com o sistema que mais se destacaram foram anotados para serem analisados. No final da avaliação foi aplicado um questionário onde os participantes respondem qual a opinião deles em relação à realização das tarefas com as duas técnicas de visualização da informação.

CrITÉRIOS ErgonÔMICOS

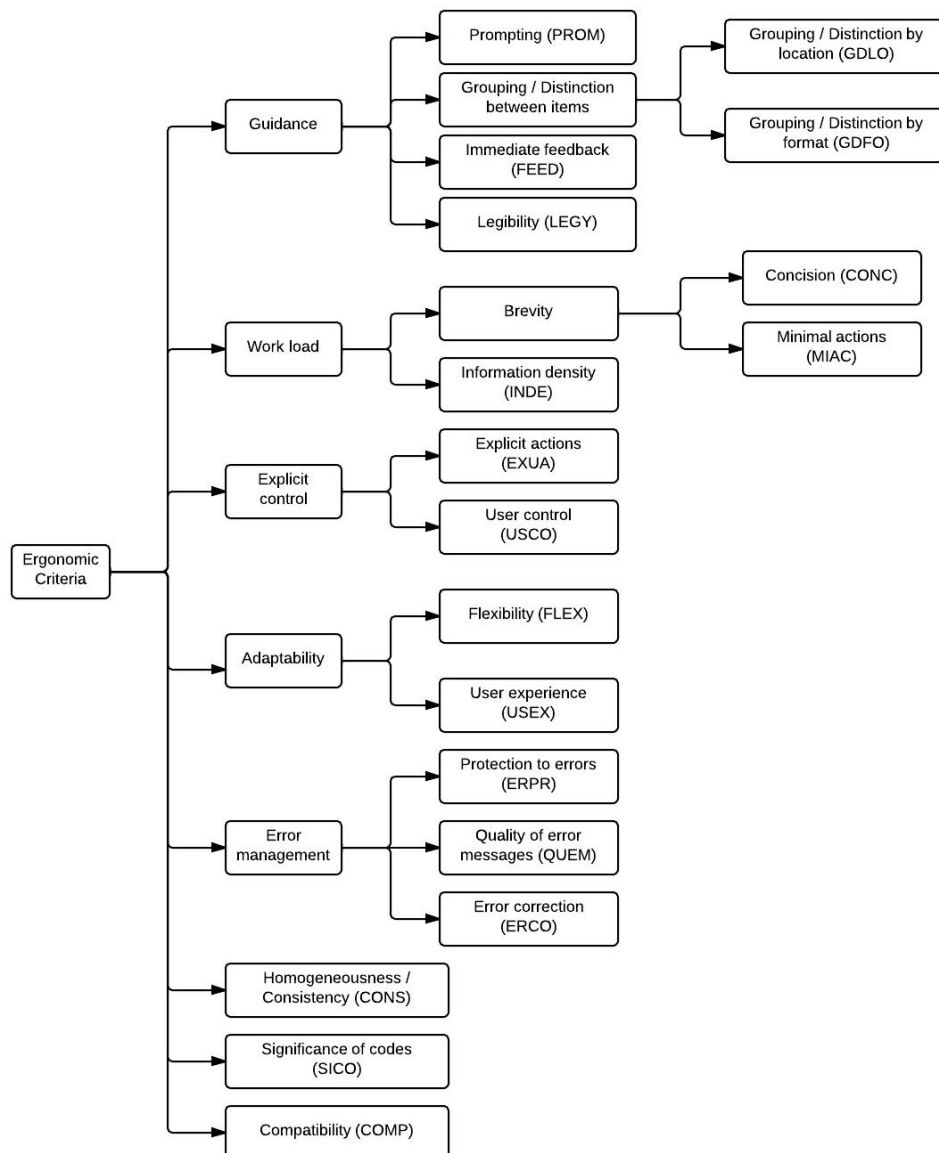
Ergonomia é uma ciência multidisciplinar, com uma abordagem sistêmica para todos os aspectos da atividade humana. A Ergonomia pesquisa, estuda, desenvolve e aplica regras e normas, com base em pesquisa descritiva e experimental, na busca de princípios, limites e capacidade humana de adaptação entre o ambiente e os seres humanos. A Ergonomia utiliza métodos científicos para adaptar o trabalho às características físicas e psicológicas dos seres humanos.

Na literatura foram encontradas as seguintes heurísticas de avaliação de usabilidade para sistemas de computador: os cinco componentes de qualidade de Nielsen (NIELSEN, 2012), as oito regras de Shneiderman (SHNEIDERMAN, 1998), os sete princípios ergonômicos propostos pela norma ISO 9241:10 (ISO 9241:10, 2013), e os oito critérios ergonômicos de Scapin e Bastien (BASTIEN; SCAPIN, 1993). Todas elas contêm suas características específicas e, em geral, precisam ser customizadas de acordo com o tipo de interface que vai ser analisada. Entre elas, foram escolhidos os critérios de Bastien e Scapin (1993) porque eles desenvolveram um conjunto de critérios que representa uma forma de melhorar a integridade e explicitação do diagnóstico, padronização do formato da avaliação, e

de melhorar a documentação da avaliação de usabilidade com base no conceito ergonômico e no processo de concepção e avaliação de Interfaces Homem Computador (IHC).

Esse conjunto de critérios de ergonomia foi validado pelos autores em 1992 e é composto por oito principais critérios ergonômicos, divididos em dezoito subcritérios (Figura 20). Segundo a literatura, outros pesquisadores aplicaram critérios de Bastien e Scapin para avaliar a usabilidade de sistemas interativos em muitas e variadas áreas de aplicação (BELARDI; CUGGIA; LE BEUX, 2012; COSQUER; LEGAY; HAUTIN, 2006; BACH; SCAPIN, 2003; KARWOWSKI, 2005).

Figura 20 – Critérios ergonômicos de Bastien e Scapin.



Fonte: Bastien e Scapin (1993).

Dos critérios ergonômicos apresentados na Figura 20, foram escolhidos os critérios de agrupamento, incitação, legibilidade, feedback, concisão, ações mínimas e densidade informacional porque são aqueles que melhor se relacionam com os requisitos para análise de usabilidade da técnica 3D através das variáveis predefinidas no Quadro 3 da sessão 3 na página 60. Esses critérios juntamente com as variáveis escolhidas previamente foram aplicados num questionário de avaliação de usabilidade aos participantes.

Questionário de avaliação da usabilidade

O questionário usado para fazer a coleta de dados da avaliação de usabilidade foi concebido de acordo com os critérios ergonômicos escolhidos anteriormente (Apêndice B).

Quadro 6 - Relação entre as questões de Usabilidade com os Critérios Ergonômicos.

Nr.	Questão	Critério Ergonômico
01	Os objetos no ambiente com as variáveis semelhantes ficam com suas características visuais (cor, forma, etc.) devidamente agrupadas?	Agrupamento
02	O <i>menu</i> de interatividade está devidamente destacado, e pode facilmente ser identificado?	Incitação
03	Os diferentes elementos na interface (objetos, botões, informações) são facilmente distinguíveis?	Agrupamento/ Distinção por formato
04	Os títulos ou informações importantes estão destacados, seja com outra cor, fonte ou recursos de estilo?	Agrupamento/ Distinção por formato
05	O botão de ajuda está sempre presente/disponível?	Ajuda
06	Após a consulta da ajuda, foi possível continuar a realização da tarefa desejada com sucesso?	Ajuda
07	Os objetos se encontram posicionados uns em cima dos outros?	Agrupamento/ Distinção por localização
08	A interface emprega características de realismo, tais como textura e transparência, de modo a facilitar a visualização?	Legibilidade
09	As informações e os objetos são legíveis?	Legibilidade
10	Os objetos selecionados ficam em destaque?	Legibilidade
11	São constantemente fornecidas ao usuário informações sobre o que é processado, e também onde ele se encontra?	<i>Feedback</i> imediato
12	Todos os detalhes sobre as informações do objeto disponíveis são exibidos na tela?	Concisão
13	Os nomes das opções disponíveis no ambiente demonstram sucintamente a sua função?	Concisão
14	Existe alguma etapa desnecessária ou redundante no decorrer da interatividade da tarefa?	Ações Mínimas
15	O ambiente apresenta apenas informações relevantes à tarefa?	Densidade de Informação

Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Quadro 6, cada questão do questionário está relacionada com um dos critérios ergonômicos. A aplicação desse questionário ocorreu no final da realização das tarefas e os dados coletados com os resultados dele vão ser utilizados na análise de usabilidade. Além do questionário de usabilidade, os participantes responderam o questionário de problemas encontrados no ambiente 3D (Apêndice C). Os resultados desses dois questionários de usabilidade forneceram os problemas de usabilidade encontrados pelos participantes.

Gravação de Vídeo

A Gravação de vídeo é um instrumento muito utilizado na técnica de observação. Com a utilização deste instrumento, é possível analisar todo o material gravado e manter a neutralidade dos dados. Desse modo, o uso de vídeo permite certo grau de precisão na coleta de informações, uma frente de prova para questionamentos tradicionais da subjetividade da pesquisa qualitativa (KENSKI, 2003).

Antes de utilizar as tecnologias de gravação de vídeo na pesquisa, é necessário planejar todo o material de gravação do usuário quando ele executar a tarefa. O objetivo da gravação do vídeo foi capturar a tela do computador com toda interatividade que os usuários faziam na realização da tarefa.

A aplicação da gravação ocorreu durante toda a realização das tarefas através do software *SMRecorder*³ porque ele é um software livre e permite a captura de todas as atividades executadas na tela do computador.

Análise da Carga Mental de Trabalho

A análise da carga mental é um procedimento de classificação multidimensional, que busca as respostas subjetivas para as experiências relacionadas à carga mental de trabalho e também mede o grau de sucesso ou satisfação sentida sobre o desempenho ou a conclusão de uma determinada tarefa. Esses procedimentos frequentemente são aplicados por meio de questionários ao final da realização da tarefa. Geralmente, testes psicológicos são utilizados para quantificar e qualificar a carga mental (SANTOS; RAMIRES, 2011).

Entre as diversos protocolos para a avaliação da Carga Mental de trabalho, os mais conhecidos são SWAT (Subjetive Workload Assessment Technic) (), Escala de Cooper –

³ <http://www.video2down.com/>

Harper () e NASA TLX (NASATLX, 2013). Esses protocolos possuem diferenças entre si, porém dependem do entendimento e das respostas do participante. Para esta pesquisa foi escolhido o protocolo NASA TLX porque ele fornece uma medida personalizada da carga mental de trabalho e é um protocolo mais simples de ser aplicado e pode ser aplicado repetidas vezes em comparação ao protocolo SWAT que necessita de uma preparação para cada vez em que será aplicado e à escala Escala de Cooper –Harper que consiste numa técnica mais antiga de análise subjetiva.

O protocolo NASA TLX fornece uma pontuação da carga de trabalho global com base em uma média da Taxa Global Ponderada (TGP) das classificações de seis subfatores: exigências mentais, demanda física, demanda temporal, performance, esforço e frustração. Demanda Mental significa a atividade mental e perceptual exigida por uma tarefa. Demanda Física descreve tarefa física de empurrar, puxar, levantar, ou outras atividades, dependendo da tarefa. A medida da demanda temporal refere-se ao tempo realizado para completar a tarefa. O fator de esforço analisa quanto de tarefa mental e física era necessária para executar a tarefa. O fator de frustração avalia o nível de estresse e contentamento correlacionado com a realização da tarefa (NASATLX, 2013).

O cálculo do índice de carga mental consiste em duas partes. Na primeira parte, os participantes avaliam a magnitude (taxa) de cada um dos seis subfatores. Cada participante é orientado a escolher na escala de 0 a 100 o impacto observado em cada subfator, durante a realização da tarefa. Na segunda parte os subfatores são ponderados de acordo com as respostas de um questionário. Nesse questionário, apresentamos pares de subfatores, colocados lado a lado, onde o participante deve indicar qual subfator é mais impactante na realização da tarefa. No total o questionário é composto com uma combinação de quinze pares. Os subfatores são ponderados com pesos de acordo com o número total de marcas que tiveram para cada comparação dois a dois. Esta ação é justificada pelo fato de que os subfatores têm diferentes impactos sobre as pessoas.

Após a obtenção desses dados, para fins de análise dos resultados, foi feita a ponderação dos mesmos com a folha de ponderação (Quadro 7). Nesse momento, as escalas outrora não numéricas (taxas) foram numeradas de “1 a 100” e os valores obtidos em cada uma das seis demandas foram postos na folha de ponderação. Em seguida, foram marcadas as vezes que cada demanda foi selecionada nos pares (pesos).

Quadro 7 – Quadro da Taxa Global Ponderada

Folha de Ponderação das Taxas			
Subfator	Peso	Taxa	Ajuste (peso x taxa)
Exigência mental			
Exigência física			
Exigência temporal			
Nível de esforço			
Nível de realização			
Nível de frustração			
Somatório			

Taxa Global Ponderada (Soma dos ajustes dividida por 15) =

Fonte: NASA TLX (2013).

O protocolo NASA TLX foi aplicado aos participantes através de um questionário (Anexo A) no final da realização das tarefas em três momentos. O primeiro momento consistiu em explicar aos participantes da pesquisa as definições dos seis subfatores do NASA-TLX e esclarecer as possíveis dúvidas que surgissem. No segundo momento, foi apresentado o questionário que contém as escalas não numéricas associadas aos seis subfatores. Os participantes foram orientados a marcar o nível de relevância que cada subfator representava na realização da tarefa. Por fim o terceiro momento consistiu em apresentar aos participantes o questionário contendo os quinze pares das demandas combinadas, onde o participante devia marcar um subfator dentro de cada par, que mais pesava na realização da tarefa.

Software de visualização da informação 2D

Na avaliação de usabilidade e de carga mental de trabalho foi necessário escolher um software de visualização 2D considerando os objetivos desta tese para fazer a comparação das variáveis com o protótipo 3D desenvolvidos. Como requisito para a escolha do software de visualização 2D é que tenha a maioria dos requisitos e funcionalidade que o protótipo 3D, seja software livre e satisfaça todas as condições necessárias para a realização das tarefas. Dentre as plataformas de visualização 2D existentes (*AXIIS*⁴, *D3*⁵, *FLARE*⁶, *PREFUSE*⁷, *TULIP*⁸ e

⁴ www.axiis.org

⁵ www.d3js.org

⁶ www.flare.prefuse.org/

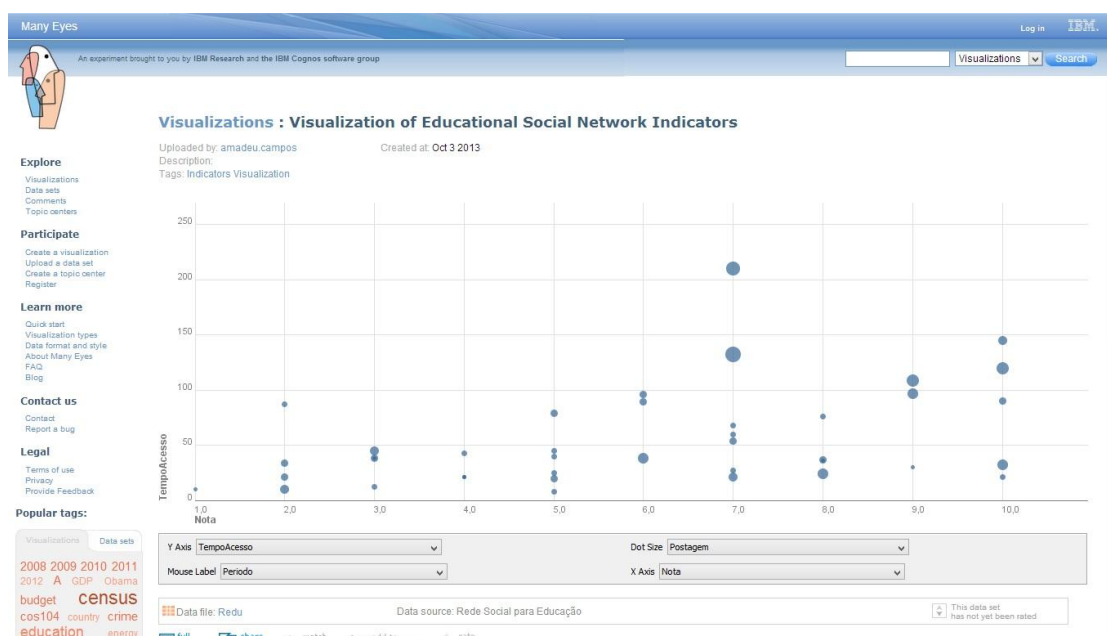
⁷ www.prefuse.org

⁸ www.tulip.labri.fr

*MANYEYES*⁹), o *ManyEyes* foi a plataforma de visualização 2D que mais se adequava aos requisitos.

O *ManyEyes* é uma plataforma pública desenvolvida pela *IBM Research* e o *IBM Cognos Software Group* (VIEGAS *et al.*, 2007) onde os usuários podem fazer o *upload* de dados, criar visualizações interativas, e continuar as discussões. O objetivo do site é apoiar a colaboração em torno de visualização em grande escala através da promoção de um estilo social da análise de dados em que as visualizações não só servem como uma ferramenta de descoberta para os indivíduos, mas também como um meio para estimular a discussão entre os usuários. Para dar suporte a esse objetivo, o site oferece vários tipos de visualizações com diferentes tipos de técnicas 2D para usuário final. A técnica de visualização *scatterplot* foi a escolhida dentre os diversos tipos de técnicas 2D de visualização para ser usado na avaliação porque foi a mesma técnica utilizada na interface do protótipo escolhido para avaliação (Figura 21).

Figura 21 – Site de visualização da informação *ManyEyes*.



Fonte: VIEGAS *et al.* (2007).

De acordo com a Figura 21, a técnica *scatterplot* tem a possibilidade da análise de variáveis quantitativas através dos eixos X e Y e das variáveis qualitativas através do tamanho de cada objeto e da opção “*mouse label*” que é a descrição da variável escolhida quando o usuário passa com o mouse em cima do objeto.

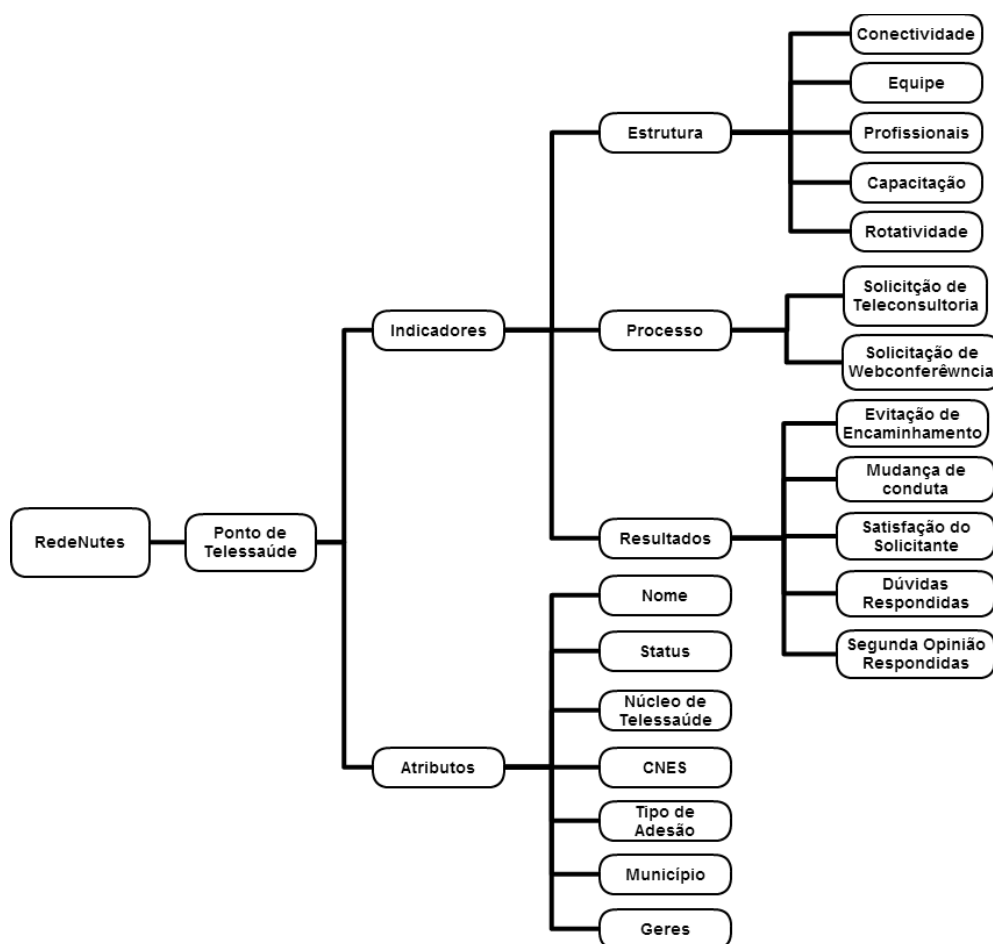
⁹ www.manyeyes.com/

Durante a realização da avaliação, os participantes após realizar as tarefas utilizando o protótipo desenvolvido com técnica 3D também realizaram tarefas com essa ferramenta de visualização 2D com objetivo de comparar os resultados com a técnica 3D.

Indicadores

Os indicadores são dados que destinam-se a dar uma visão geral do funcionamento de um determinado serviço e são utilizados para monitorar o comportamento de uma certa atividade. Para a avaliação de usabilidade, efetividade, eficiência e carga mental do protótipo desenvolvido foi necessária a escolha de um conjunto de indicadores que foram visualizados pelos usuários na realização da tarefas. Os indicadores utilizados com a amostra de Telessaúde escolhida conforme descrito na seção 1.6 da página 21 podem ser vistos na Figura 22.

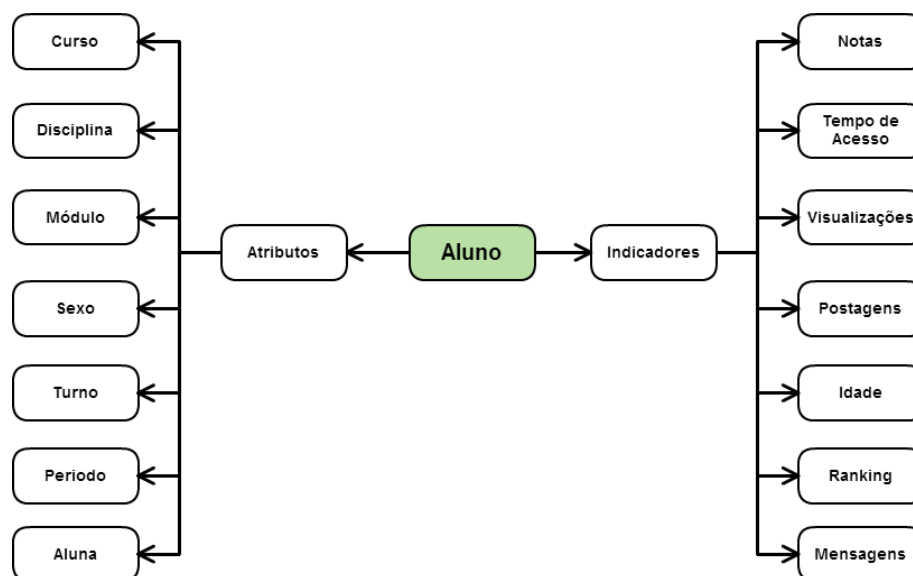
Figura 22 – Indicadores de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

Os indicadores da Figura 22 fazem parte do programa de rede de núcleos de saúde (RedeNUTES) e foram obtidos através do manual de Telessaúde do Ministério da Saúde (MINISTERIO DA SAÚDE, 2012) e também com entrevistas com a coordenação do Núcleo de Telessaúde da Universidade Federal de Pernambuco. Para a amostra de Educação a Distância, os indicadores podem ser visualizados na Figura 23.

Figura 23 – Indicadores do Redu.



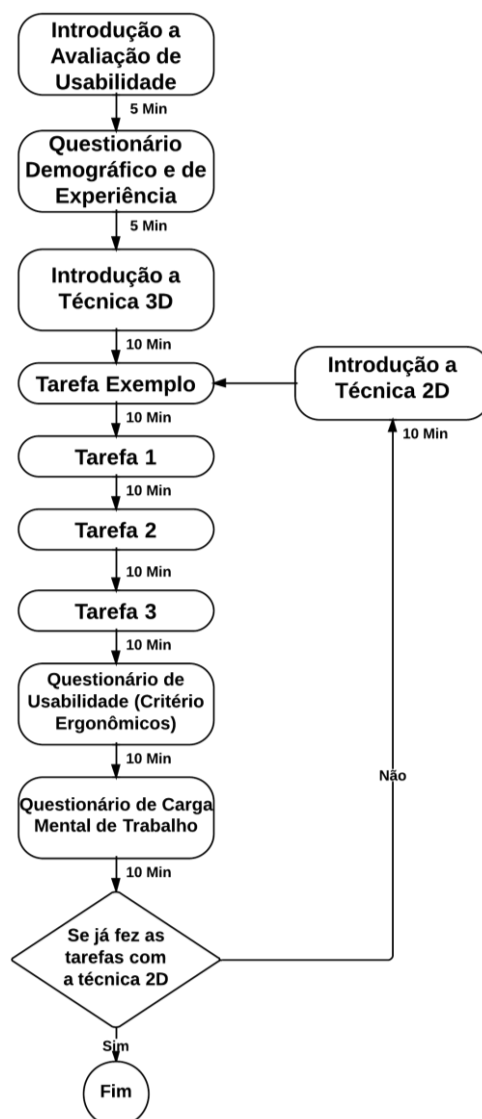
Fonte: Autor (2013).

De acordo com a Figura 23 os indicadores de educação a distância foram extraídos da rede Social de Educação (REDU) através de informações fornecidas pela empresa desenvolvedora do REDU.

Procedimento da Avaliação

O procedimento para realização da avaliação é uma sequência de atividades que os usuários fizeram durante toda avaliação. O fluxo geral das atividades na avaliação está descrito na Figura 24. Uma vez que os participantes chegaram para a avaliação, eles receberam as boas-vindas (Apêndice D) juntamente com o termo de consentimento livre e esclarecimento (TCLE) que contém todas as informações da avaliação (Apêndice E). O objetivo do TCLE é garantir que os padrões éticos sejam respeitados.

Figura 24 – Procedimento da avaliação.



Fonte: Autor (2013).

Após a leitura e assinatura do TCLE, todos foram convidados a responder um questionário com dados demográficos e de experiência anterior em algum software de visualização de informação (Apêndice F) para avaliar o conhecimento inicial dos participantes. Os participantes tiveram 10 minutos para preencher o questionário.

Após a conclusão do questionário inicial, o pesquisador apresentou em 10 minutos os objetivos do estudo, as etapas do procedimento e explicou o ambiente de visualização de informação com a técnica 3D através de uma tarefa exemplo contendo um cenário do mundo real. Uma vez que os participantes entenderam o propósito da avaliação e do ambiente de estudo, o pesquisador começou a explicar todas as tarefas realizadas pelos participantes

(Apêndice G). Após a explicação das tarefas, os participantes receberam a primeira tarefa a ser executada. As instruções das tarefas ficaram a disposição para consulta pelos participantes, de forma que eles não precisassem memorizá-las. Os participantes têm um máximo de 10 minutos para realizar cada tarefa. Uma vez que completou a primeira das tarefas, o pesquisador instruiu os participantes a continuar com a segunda e depois terceira tarefa e assim por diante. Durante a execução das tarefas o pesquisador marcou o tempo real de realização de cada tarefa para futura análise.

Uma vez que os participantes terminaram as tarefas, eles responderam um questionário de usabilidade e outro de carga mental referente ao ambiente de visualização com técnicas 3D. Após o termino de todos os questionários, os participantes continuaram a avaliação com os mesmos procedimentos descritos anteriormente, sendo que agora na análise de um ambiente de visualização com técnica 2D.

3.6.4 Quarta fase: Análise de Dados

A análise dos dados é uma fase do estudo que tem como objetivo avaliar a viabilidade, tempo, tarefa realizada e desenho do estudo, na tentativa de melhorar as funcionalidades de interface 3D e obter novos requisitos para desenvolver um protótipo 3D melhorado. Nesta fase, foi realizada a análise de usabilidade da técnica 3D e os fenômenos cognitivos de percepção visual, a interpretação dos dados, resolução de problemas e aprendizagem.

Antes de iniciar a análise dos dados é necessário validar os dados coletados após o término da avaliação. A validação dos dados está associada aos fatores relacionados aos participantes como, por exemplo, o preenchimento correto dos formulários, a compreensão sobre as atividades, o empenho na realização das tarefas, entre outros. Por outro lado, é importante invalidar os resultados provindos dos erros detectados durante a avaliação.

Depois de validar os dados recolhidos, de acordo com Wohlin *et al.* (1999) a escolha de variáveis é uma etapa importante que deve ocorrer antes da análise de dados até que a avaliação seja realizada de forma crítica. As variáveis independentes (de entrada) são controladas e devem influenciar as variáveis dependentes (saída). Segundo os autores, uma ou mais variáveis de entrada também podem ser referenciadas como um fator. Para cada um dos fatores definidos devem ser verificados os tratamentos apropriados, que corresponde, por exemplo, às abordagens utilizadas com um novo método em comparação com o método

anterior. Travassos, Gurov e Amaral (2002) apontaram que o valor do complemento de um fator é o tratamento e o valor de uma variável dependente é o resultado.

a) as variáveis independentes (entrada) usadas na avaliação são:

- a experiência dos participantes;
- método usado para realizar uma tarefa específica.

b) as variáveis dependentes (saída) são:

- tempo;
- efetividade;
- eficiência;
- facilidade de aprender;
- facilidade de lembrar;
- satisfação;
- carga Mental.

Como a natureza das variáveis da avaliação é qualitativa e quantitativa, os dados foram analisados separadamente. A análise quantitativa e qualitativa foi feita através de triangulação de métodos que foram combinadas em uma única investigação, diferentes métodos de coleta (observação e questionários) e análise das informações (PATTON, 2002).

Análise Quantitativa

Na análise quantitativa, os dados foram analisados em duas fases: estatística descritiva e teste de hipóteses. Na primeira fase, os dados são caracterizados utilizando estatística descritiva, através da visualização das variáveis de tendência central, dispersão, entre outros. Na segunda etapa os dados são analisados por meio de testes de hipóteses, onde as hipóteses do estudo são analisadas estatisticamente com certo nível de significância.

Para a análise dos dados na segunda etapa foi escolhido teste de hipótese *t de Student* com nível de confiança de 95% que de acordo com Wohlin *et al.* (1999) propõe comparar a variação das diferenças nos resultados proporcionados entre dois grupos, com o total de variação nos resultados do sujeito. As diferenças fornecidas são calculadas como a diferença entre as pontuações médias entre grupos. A estatística *t de Student* representa o tamanho da diferença entre as médias para ambos os grupos, levando-se em consideração a variação total.

A fim de que o valor observado de t seja significativo deve ser menor do que os valores críticos do t mostrados na tabela.

De acordo com as variáveis independentes e dependentes previamente estabelecidas são definidas as seguintes métricas que seriam utilizadas na análise quantitativa:

- a) **métrica 1:** Esforço (Tempo);
- b) **métrica 2:** Efetividade;
- c) **métrica 3:** Eficiência;
- D) **métrica 4:** Carga Mental.

Análise Qualitativa

A pesquisa qualitativa (FLICK, 2009) tem como objetivo identificar as dificuldades encontradas pelos usuários na visualização de informações de forma rápida e precisa. A abordagem adotada foi construtiva porque se destina a fazer as pessoas entenderem como fazer para alcançar uma determinada tarefa e atribuir significado às suas ações nesta tarefa.

Na análise qualitativa, os dados coletados durante a observação foram analisados através da técnica de análise fenomenológica cujo objetivo é que a análise deve partir da perspectiva de cada indivíduo, das suas estruturas subjetivas de significado e das suas intenções sobre o fenômeno estudado. Os dados coletados foram analisados, a fim de identificar os processos cognitivos nas verbalizações dos sujeitos num questionário predefinido. Além da análise das respostas subjetivas dos questionários, as gravações da tela contendo todas as atividades (iteratividades) dos participantes com a técnica 3D também foram analisadas.

Para obter os resultados necessários para a análise qualitativa é necessário estabelecer as métricas baseadas em variáveis predefinidas. Santos, Gassenferth e Machado, (2008) escreveram sobre métrica e avaliação em usabilidade de sistemas e propuseram o seu modelo de avaliação com métricas específicas. Para essa pesquisa foi proposto um modelo com métricas unificadas para fazer uma comparação qualitativa entre as semelhanças e diferenças entre elas, com base em uma revisão da literatura. As métricas mais adequadas para a análise qualitativa da técnica 3D são:

- a) **métrica 1:** Facilidade para aprender;

- b) **métrica 2:** Facilidade de lembrar;
- c) **métrica 3:** Satisfação;
- d) **métrica 4:** Ordem Lógica;
- e) **métrica 5:** Oclusão de objetos;
- f) **métrica 6:** Orientação;

As conclusões da análise qualitativa são extraídas a partir da interpretação dos dados gerados durante a execução. De acordo com as conclusões, as seguintes perguntas foram respondidas após o final da avaliação:

- a) o tempo na recuperação de informação com a técnica 3D é a mesma que usando a técnica 2D?
- b) a efetividade na recuperação de informação com a técnica 3D é a mesma que usando a técnica 2D?
- c) a eficiência na recuperação de informação com a técnica 3D é a mesma que usando a técnica 2D?
- d) a carga mental utilizada na busca de informações com a técnica 3D é igual ao esforço usando a técnica 2D?

3.7 Aspectos Éticos e Legais

O presente estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com Certificado da Apresentação para Apreciação de Ética (CAAE) número 15142513.3.0000.5208 (Anexo B) . Esta pesquisa respeitou os aspectos de voluntariedade e confidencialidade dos participantes.

Capítulo 4

4 Resultados

Este capítulo apresenta os resultados da análise de usabilidade, efetividade, eficiência e carga mental de um protótipo de visualização da informação com técnica 3D através dos dados coletados em duas amostras distintas: uma de profissionais que trabalham com telessaúde e outra que trabalham com educação a distância.

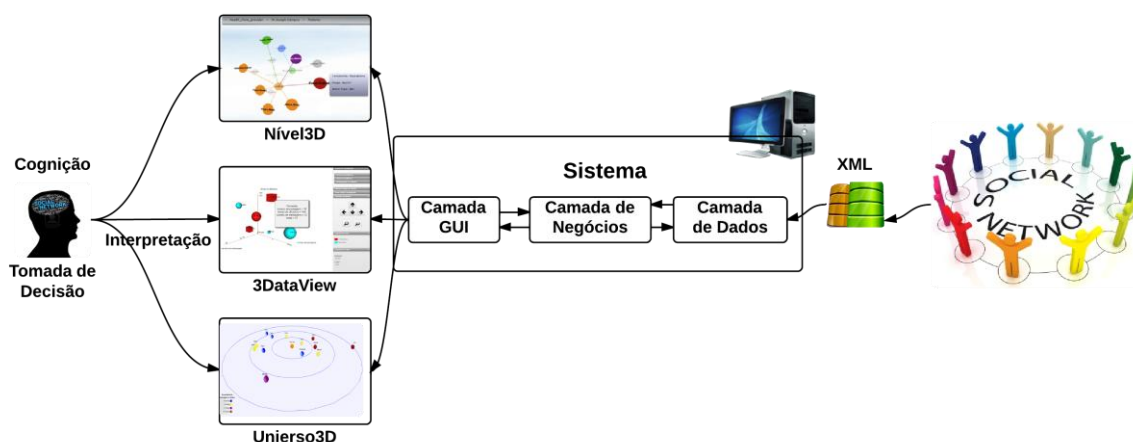
Este capítulo está estruturado em quatro sessões. A primeira sessão apresenta o *framework* utilizado no desenvolvimento do protótipo de visualização da informação com técnica 3D para facilitar a exploração visual dos dados. Esta sessão também apresenta três interfaces 3D do protótipo desenvolvido baseadas no *framework* descrito. A segunda sessão descreve a análise de usabilidade do protótipo de visualização da informação com técnica 3D baseada nos critérios ergonômicos de Bastien e Scalpin. A terceira sessão apresenta os resultados da avaliação de carga cognitiva aplicados para os profissionais de Telessaúde, e na quarta e última sessão, os resultados desta avaliação para os profissionais de educação a distância.

4.1 *Framework* para visualização da informação 3D

O *framework* para a visualização da informação em interfaces 3D foi baseado no design centrado no usuário. A primeira etapa para planejar o *framework* foi definir os tipos de interações com o usuário. As interações com os usuários dependem das tarefas que serão realizadas. A escolha dos tipos de interações foi baseada nas premissas fundamentais de estudos relacionados com a percepção visual humana (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999; WARE, 2012; CHEN, 1998) e das interações mapeadas por Amar *et al.* (2005) e Schneiderman (1998). Dentre os tipos de interações definidas pelos pesquisadores, foram escolhidas aquelas que mais se adequavam aos propósitos da interface 3D, como: clicar, mover, recuperar o valor, rotacionar, zoom (in/out), filtrar, selecionar, visualizar sob demanda, agrupar, salvar e ordenar.

Depois de escolher as interações, foram definidos os cenários (Figura 25) utilizados no desenvolvimento do protótipo 3D proposto.

Figura 25 – Cenário do protótipo 3D.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o cenário da Figura 25, os dados que vão ser visualizados são estruturados num arquivo XML que podem ser obtidos remotamente de qualquer rede social através de um *webservice* ou localmente através de um simples comando de busca num banco de dados ou também por uma função *upload* onde o arquivo XML é transferido para o sistema. Uma vez que esses dados são recuperados, o sistema vai ler as informações contidas neles e gerar uma interface no protótipo desenvolvido com técnicas 3D. Desta forma, o usuário poderá interagir com a interface 3D para melhor visualizar e interpretar as informações e poder tomar alguma decisão. Esse cenário pode ser adaptado a qualquer domínio específico (CAMPOS FILHO; GOMES; NOVAES, 2012).

4.1.1 Arquitetura

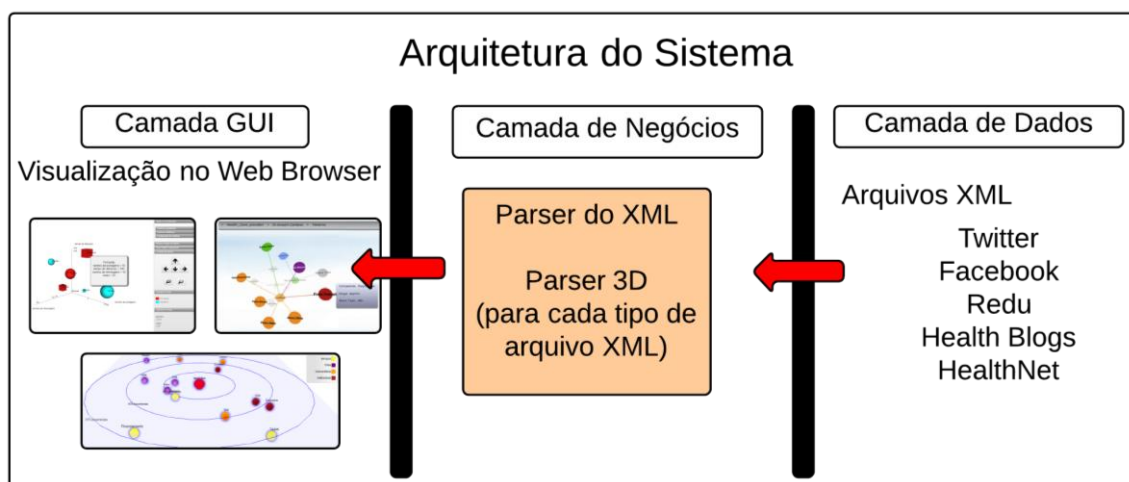
Arquitetura de *software* é a descrição de como o sistema é organizado. Propriedades do *software* como, *performance*, segurança e disponibilidade são influenciadas pela arquitetura escolhida (SOMMERVILLE, 2011). A arquitetura escolhida para o desenvolvimento do protótipo foi baseada na estrutura em três camadas por vários motivos, entre eles:

- a) seu desenvolvimento é feita de forma rápida, simples, fácil e com um custo muito baixo;
- b) a informação da conexão é mantida somente no serviço XML, facilitando e minimizando a manutenção do cliente;
- c) a camada de acesso a dados pode ser atualizada em um único local centralizado. Você não precisa distribuir componentes ao cliente quando houver alterações nesta camada;

- d) maior reusabilidade;
- e) facilidade de compreensão do código.
- f) a arquitetura em 3 camadas foi validada por Bochicchio, Longo e Vaira (2011) para ser usada em aplicações com técnicas 3D.

A estrutura da arquitetura baseada em três camadas (Figura 26) é composta pela camada de apresentação que contém a interface gráfica do usuário, pela camada de negócios que implementa as funcionalidades do sistema e pela camada de dados que fornece o acesso e comunicação com banco de dados ou sistemas externos. A camada de apresentação é a camada mais importante para esta pesquisa. Ela fornece a comunicação entre usuários e o sistema (SOMMERVILLE, 2011). De acordo com Prates e Barbosa (2003), o usuário vê a interface como sendo o sistema. Para estes autores, a interface gráfica determina a qualidade do sistema, e não seus algoritmos, arquitetura e modelos estruturados de dados. Também os usuários interagem com o sistema em apenas uma camada (Interface gráfica do usuário) que pode ser desenvolvida independentemente das outras camadas.

Figura 26 – Arquitetura do protótipo



Fonte: Autor (2013).

De acordo com a Figura 26, o arquivo XML fica armazenado na camada de dados. Para que os dados provenientes do arquivo XML possam ser visualizados pela camada de apresentação, é necessário que ele passe por uma transformação pela camada de negócios. A camada de negócio analisa e interpreta os dados contidos no XML e em seguida os dados são enviados para a camada de apresentação para ser gerada a interface gráfica com várias técnicas 3D de visualização. Neste caso a interface não tem que se preocupar com a estrutura

dos dados ou de onde eles vêm, mas apenas em como representá-los e qual é a melhor técnica de visualizá-los.

O fato da interface não ter uma relação direta com a camada de dados, possibilita gerar e adaptar vários tipos diferentes de técnicas de visualização para uma mesma estrutura de dados, o que poderá facilitar a interpretação e entendimento dos dados para solucionar a questão do problema e consequentemente a tomada da decisão correta. Zhang e Norman (1994) demonstraram em suas pesquisas que as pessoas entendem o mesmo problema de diferentes formas dependendo de como as informações são apresentadas e se as regras foram mostradas de forma explícita ou implicitamente.

O desenvolvimento das três interfaces do protótipo foi baseado nos requisitos levantados e no uso de ambas as técnicas 2D e 3D de visualização que solucionam os problemas encontrados na revisão da literatura e não foram encontrados nas ferramentas concorrentes.

4.1.2 Interface 1: Universo 3D

A ideia desta interface é criação de uma plataforma de visualização para análise de conteúdo (termos) gerado pelo consumidor na internet. Essa análise fornece ideias e percepções de como o usuário pensa e fala sobre a marca de uma empresa específica numa rede social através da similaridade de termos mais frequentes. Numa rede social, existem coleções de termos referentes a uma determinada marca que quando estão sozinhos, eles são apenas dados brutos e não têm significado. Contudo, esses dados brutos (coleções de termos) quando conectados com outros termos podem gerar informações, mas, às vezes é difícil visualizar seus significados (CAMPOS FILHO *et al.*, 2012).

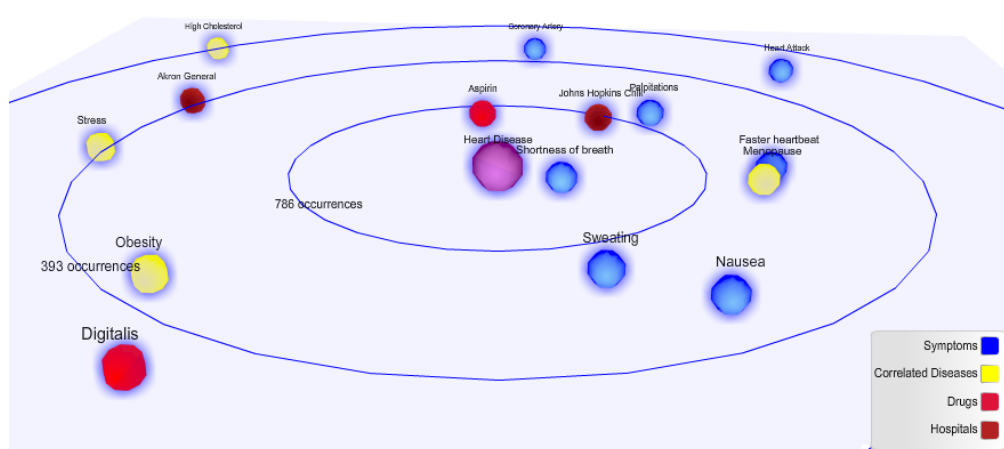
Na camada de dados o protótipo vai receber o arquivo XML para popular e transformá-lo nas regras de negócios da camada de negócio. Depois disso, a camada de negócio vai preencher o modelo de visualização para ser processado o algoritmo de *clustering* agrupando os dados com a mesma similaridade. Finalmente, na camada de interface os dados vão ser renderizados para ser analisado através da visualização do comportamento de um termo específico numa rede social.

A ideia desta interface é usar a metáfora do universo para representar a relação entre um termo principal com seus termos correlacionados que são mais falados na rede social. O objetivo dessa Interface é visualizar o comportamento dos termos correlacionados (planetas)

em relação ao termo (Sol) que está sendo analisado (Figura 27). A análise ocorre através de variáveis pré-definidas representadas por características físicas e visuais dos elementos gráficos, como cor, forma geométrica, tamanho do elemento e distância entre os objetos. No centro do universo vai ficar o termo analisado e ao redor do vão estão os termos correlacionados com o termo analisado. A distância (d) entre um termo correlacionado e o termo analisado é inversamente proporcional à sua frequência (freq.).

$$d = \frac{1}{\text{freq}(\text{var})}$$

Figura 27 – Interface 1: Universo 3D.



Fonte: Autor (2012).

De acordo com a Figura 27, os termos correlacionados podem ser classificados em categorias diferentes e cada categoria pode ser representada por uma cor. Esta interface usou um algoritmo de *clustering* hierárquico para posicionar os termos juntos de acordo com o grau de similaridade entre eles (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2006). O objetivo do *clustering* é identificar quais elementos que poderiam estar juntos e quais poderiam estar separados.

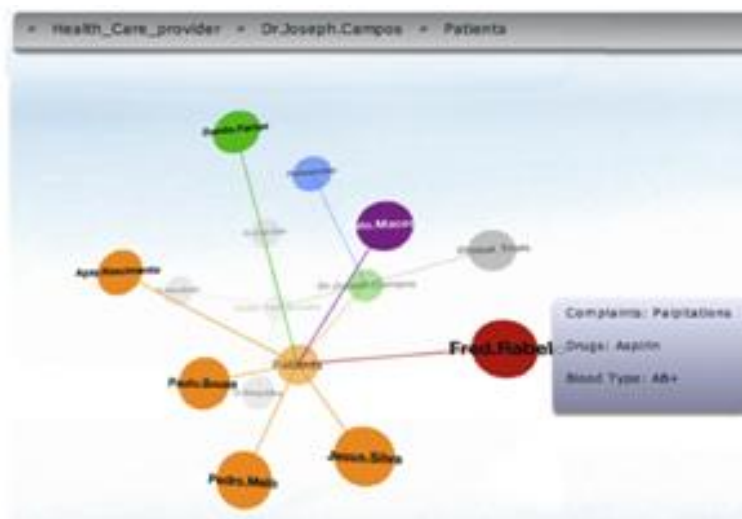
O exemplo da Figura 27 foi aplicado para a área de saúde onde o termo principal é “doenças do coração” e os termos correlacionados são aqueles termos que são mais comentados na rede social juntamente com o termo principal, como por exemplo, 'Faster heartbeat' e "Menopause". Esses dois termos pertencem a categorias diferentes, pois eles estão com cores diferentes. Por outro lado, eles estão muito juntos um do outro, significando que eles podem ter alguma relação, como por exemplo: A menopausa causa um batimento cardíaco rápido?

4.1.3 Interface 2: Níveis 3D

Esta interface foi desenvolvida baseada na teoria dos grafos desenvolvida por Leonhard Euler em 1736 com a técnica de visualização de árvore hierárquica, mas numa interface 3D. Buscamos verificar se a interface 3D permite que a carga mental seja reduzida pelo fato que os usuários não ficam perdidos no percurso da árvore durante a busca de uma informação desejada porque todas as informações já visualizadas vão se movendo para traz com a profundidade (eixo z).

Um exemplo disso pode ser visto na Figura 28 quando um usuário está procurando uma informação entre os elementos filho de uma árvore hierárquica, todas as informações relacionadas com o elemento pai desse elemento filho não estão perdidas, porque as informações do elemento pai ficam posicionadas atrás do elemento filho no eixo z. Neste momento a cor do elemento pai fica mais transparente, reduzindo a quantidade de informações na tela. Uma vez que o usuário queira visualizar novamente as informações do elemento pai, basta apenas clicar nele e então o elemento se posiciona mais à frente da tela e fica com sua cor nítida.

Figura 28 – Interface 2: Nível 3D.



Fonte: Autor (2012).

De acordo com o exemplo da Figura 28, o elemento inicial da árvore é 'Health Care Provider'. Quando se clica nele, surgem vários médicos e quando se clica em um médico específico surgem seus pacientes e assim sucessivamente. Se o usuário quiser ver os pacientes do outro médico, ele pode clicar no nome do médico que está posicionado num nível de profundidade maior e os pacientes desse médico se movem para frente da tela.

4.1.4 Interface 3: 3DataView

Esta interface foi planejada com o objetivo de oferecer uma representação visual dos indicadores de monitoramento de um serviço através das variáveis quantitativas e qualitativas num plano cartesiano baseado na técnica *scatterplot* em três dimensões. No gráfico 3D, as variáveis quantitativas são representadas pelos eixos X, Y, Z e também pelo tamanho do objeto. As variáveis qualitativas também podem ser representadas pela cor e pela forma geométrica dos elementos. (CAMPOS FILHO; NOVAES; GOMES, 2013)

A comunicação com a base de dados foi realizada através da função *upload*¹⁰ de acordo com a arquitetura do *framework* definido. Antes de visualizar os dados, o usuário primeiramente tem que configurar o ambiente de visualização 3D através dos seguintes passos:

1. Escolher ou fazer o *upload* do Arquivo XML ou carregar uma visualização já salva no sistema (Figura 29).
2. Definir qual elemento gráfico (eixo X, Y, Z, tamanho, cor e forma) vai representar cada variável quantitativa e qualitativa e também definir as configurações do ambiente como, por exemplo, cor de fundo e cor e tamanho da fonte das letras (Figura 30).

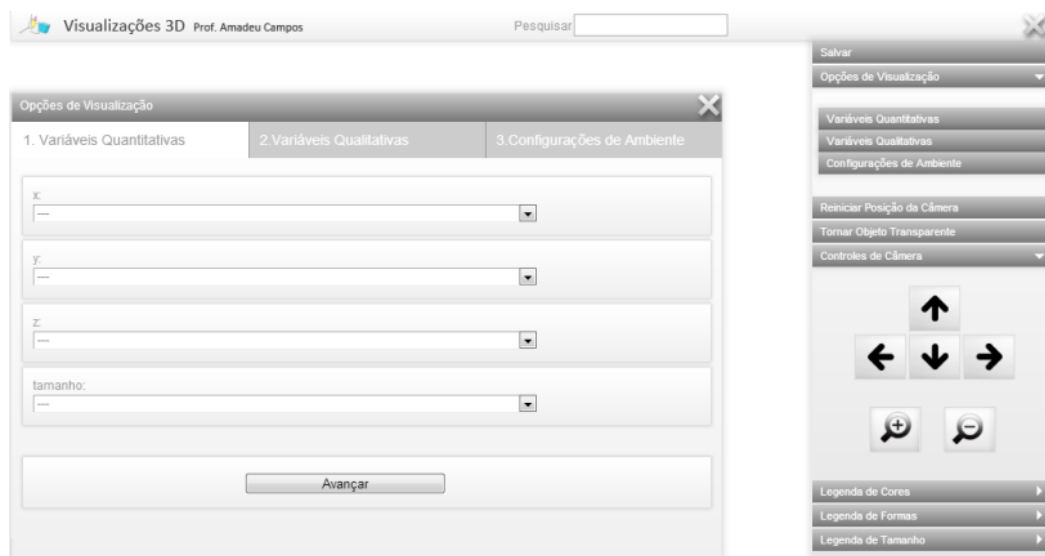
Figura 29 – Painel para escolher o arquivo XML.



Fonte: Autor (2013).

¹⁰ A função *upload* é a transferência de dados de um computador local para outro computador ou para um servidor

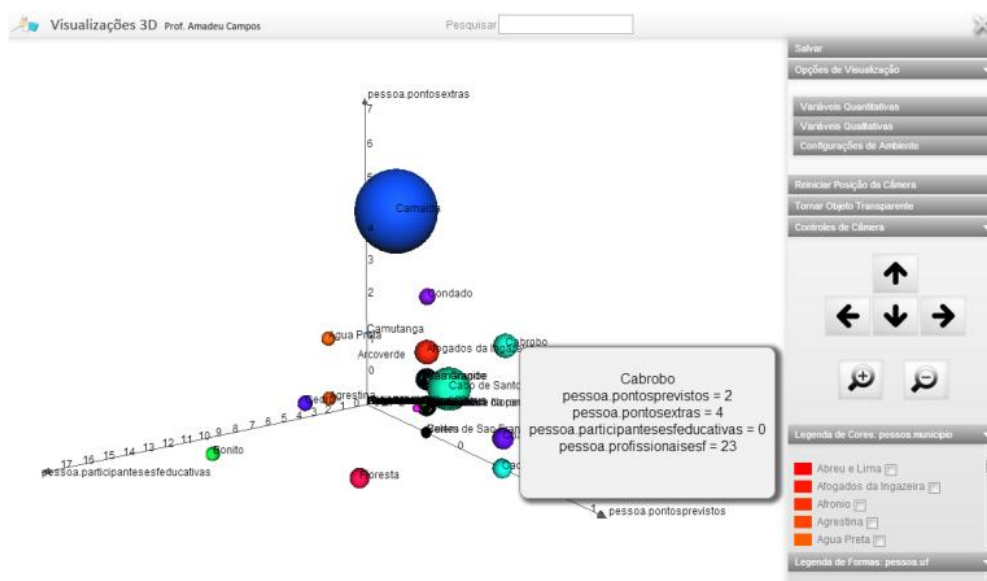
Figura 30 - Painel para configurar as variáveis.



Fonte:: Autor (2013).

Depois desses passos, o usuário vai visualizar o conjunto de dados (Figura 31) e vai poder interagir com o ambiente através do *menu* localizado no lado direito da tela.

Figura 31 – Ambiente com a técnica 3D.



Fonte: Autor (2013).

Os seguintes tipos de interações podem ser realizados no ambiente:

- os usuários podem mudar as variáveis que estão sendo visualizadas a qualquer momento clicando no painel “opções de visualização” que está localizado no *menu*;
- os usuários podem mover a posição da câmera (para cima ou para baixo, para o lado direito ou esquerdo) clicando nas setas localizadas no *menu* ou pressionando as teclas das setas do

teclado;

c) os usuários podem rotacionar o gráfico com o mouse para melhor visualizar um objeto específico ou para visualizar um objeto que esteja sendo ocultado por outro. Este tipo de interação pode solucionar o problema de oclusão entre os objetos;

d) os usuários podem filtrar objetos através de qualquer variável definindo os valores limites do filtro da respectiva variável;

e) os usuários podem selecionar um objeto clicando nele. Neste momento as informações sobre o objeto ficam visíveis, o objeto fica realçado e a linha de grade referente aos valores nos eixos X, Y e Z fica visível;

f) os usuários podem ver as informações de cada objeto à medida que necessitam através de um painel que fica visível apenas quando o mouse fica em cima do objeto;

g) o sistema reúne os objetos muito próximos em clusters e o usuário pode clicar em cima desse cluster para visualizar com mais detalhe os objetos que fazem parte do cluster;

h) os usuários também podem salvar a visualização com toda a configuração pré-definida para que possa novamente visualizar o mesmo conjunto de dados.

Das três interfaces descritas acima, a interface *3DataView* foi a única que mais se adequava aos requisitos dessa pesquisa para a análise de usabilidade em virtude que ela foi a primeira a ser concluída e devido ao pouco tempo restante para a conclusão da pesquisa não foi possível terminar o desenvolvimento e análise das outras duas interfaces.

4.2 Estudo de Caso: Telessaúde

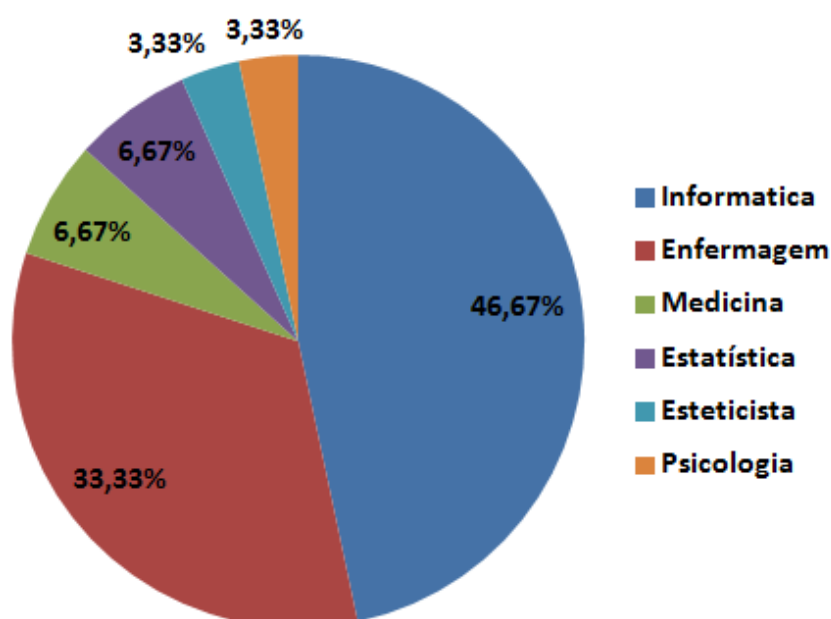
4.2.1 Avaliação da usabilidade da interface “3DataView”

O objetivo da avaliação da usabilidade é validar o *framework* proposto e o protótipo desenvolvido. A avaliação da usabilidade foi aplicada apenas para a amostra de profissionais de Telessaúde e os resultados foram divididos em três etapas: Avaliação ergonômica de usabilidade, avaliação do grau de importância dos problemas de usabilidade encontrados na técnica 3D e avaliação qualitativa de usabilidade. Os resultados da avaliação de usabilidade consistem em dados quantitativos, recolhidos a partir de diferentes questionários respondidos pelos participantes, e dados qualitativos, obtidos a partir dos registros e gravações da tela.

4.2.2 Características do usuário

A avaliação foi realizada no período de setembro de 2013 a novembro de 2013 com uma amostra de 30 (trinta) usuários que trabalham com serviços de telessaúde. A média de idade foi 27 anos ($\delta=4,54$) onde a maioria deles foi de homens (56%). Em relação ao nível de escolaridade a maioria foi de profissionais graduados (67%) enquanto 33% de estudantes. A área de conhecimento dos participantes é diversa e pode ser vista no Gráfico 1. A maioria dos profissionais (78%) teve alguma experiência no uso de técnicas de visualização da informação.

Gráfico 1 – Área de Conhecimento dos Participantes em Telessaúde.



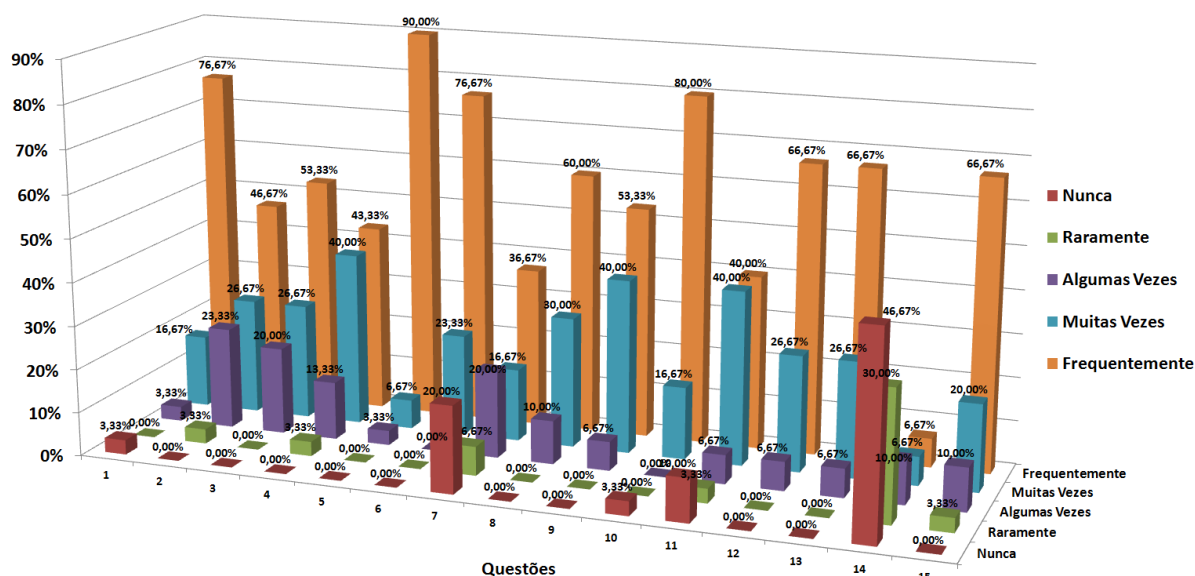
Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 1, apesar da maioria (53,34%) dos profissionais participantes ser da área de ciências exatas (informática e estatística), os mesmos trabalham com telessaúde, por esta ser uma área multidisciplinar envolvendo saúde e tecnologia.

4.2.3 Avaliação Ergonômica de Usabilidade

A avaliação de usabilidade foi elaborada de acordo com as heurísticas/critérios de usabilidade ergonômica de Bastien e Scapin. Cada questão do questionário é relacionada com um critério. A Tabela 7 mostra a relação entre cada questão com o seu respectivo critério. O Gráfico 2 apresenta os resultados da análise ergonômica de usabilidade.

Gráfico 2 – Resultado da Análise de Usabilidade.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 2, a maioria dos participantes responderam que na questão 1 (critério de agrupamento) a técnica 3D frequentemente reuniu os objetos com as variáveis semelhantes em um grupo com as mesmas características visuais (cor ou forma). O resultado da questão 2 mostrou que em relação ao critério de incitação¹¹, a maioria dos participantes acha que o *menu* de interatividade não está fácil de ser identificado na interface e que deveria ficar mais destacado. Os resultados das questões 3 e 4 demonstrou que os participantes muitas vezes conseguiam distinguir os objetos na interface 3D, significando que os objetos na técnica 3D eram de fácil distinção ou pela forma ou pela localização.

Os resultados da análise das questões 5 e 6 mostraram que a maioria dos participantes concordou que a ajuda do sistema estava frequentemente visível para os usuários. Em relação ao critério de legibilidade (questões 8, 9 e 10) mais da metade dos participantes concordou que os objetos na interface 3D são legíveis e que a interface usa de características de realismo como textura e transparência para facilitar a visualização. Em contrapartida, na questão 11 menos da metade dos participantes concordou que o sistema fornece frequentemente um feedback ao usuário sobre o que está sendo processado e onde ele está no ambiente 3D.

Em relação ao critério de concisão (questões 12 e 13), a maioria dos participantes respondeu que frequentemente a interface 3D mostra todas as informações dos objetos claramente e de forma concisa. Na questão 14 mais da metade dos participantes respondeu

¹¹ Incitação fornece sugestões ao usuário, de tal forma que algumas que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e de usar

que nunca ou raramente o sistema tinha passos desnecessários ou redundantes na realização da tarefa, ou seja, a realização da tarefa exigia o mínimo de ações necessárias. Por último, os resultados da análise do critério de densidade de informações apresentou que a maioria dos participantes concordava que a interface 3D apresentava apenas informações relevantes para a tarefa.

4.2.4 Avaliação da severidade dos problemas de Usabilidade

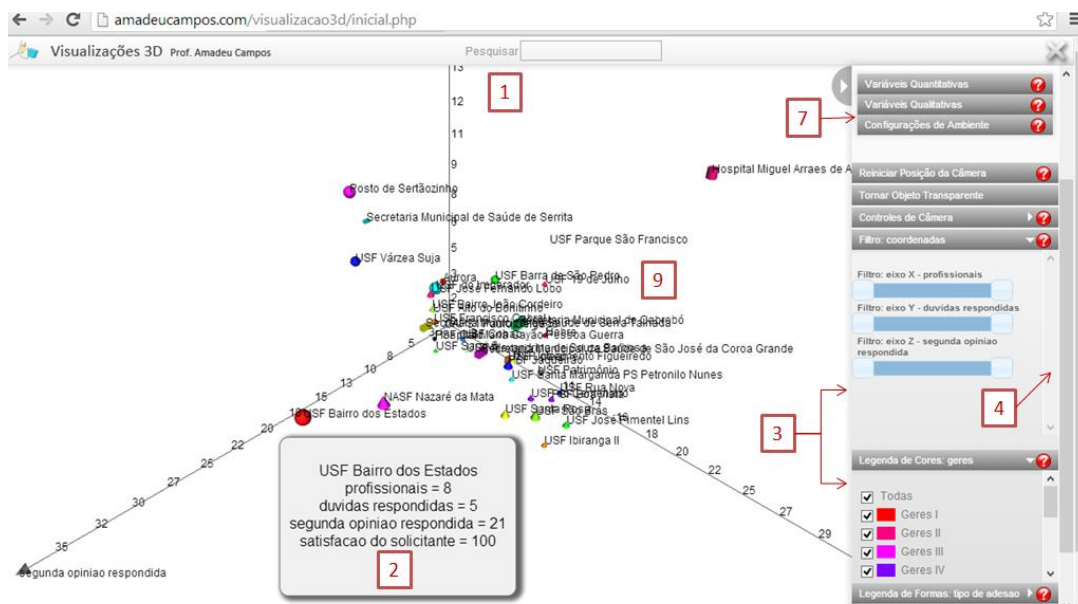
Na avaliação da severidade dos problemas de usabilidade, os participantes relataram um total de 18 problemas de usabilidade e 35 sugestões para a melhoria da usabilidade da interface 3D. De acordo com os instrumentos usados para medir o grau de importância dos problemas de usabilidade, a maioria deles teve severidade cosmética (18,52%) e simples (55,56%). Abaixo são descritos os problemas de usabilidade com severidade grave (3,70%) e urgente (22,22%) e suas soluções para melhor a usabilidade da interface 3D. Todos os problemas descritos podem ser visualizados nas Figuras 32 e 33.

1. **problema:** Os nomes de todos os eixos não estão visíveis quando a visualização inicializa. **Sugestão:** Quando a visualização inicializar, o gráfico 3D poderia ser posicionado no centro da interface com o zoom proporcional para que todos os nomes dos eixos fiquem visíveis;
2. **problema:** O painel de informações só visualiza as variáveis quantitativas (X, Y, Z e tamanho) e não as qualitativas (cor e forma). **Sugestão:** Inserir no painel de informação as variáveis qualitativas;
3. **problema:** No *menu* de interatividade, há muitos painéis expandidos aumentando a densidade de informação no *menu*. **Sugestão:** Quando a interface 3D inicializar, todos os painéis podem estar fechados e quando o usuário selecionar um painel específico, ele abrirá;
4. **problema:** Existem muitas barras de rolagem no *menu* de interatividade confundindo o usuário na manipulação do painel. **Sugestão:** Cada painel poderia ser independente do *menu* e o usuário poderia habilitar ou desabilitar a visualização de um painel específico;
5. **problema:** O usuário tem que ter um conhecimento gráfico e matemático prévio para a manipulação do gráfico 3D. **Sugestão:** Este problema está relacionado com a capacidade cognitiva no conhecimento gráfico e em geometria de cada usuário e com isso não houve nenhuma sugestão para melhorar a usabilidade;
6. **problema:** Quando o usuário vai escolher o indicador no painel de configuração, a cores de fundo dos *checkboxes* é semelhante à cor de fundo do painel de configuração dificultando a visualização e escolha do indicador. **Sugestão:** Mudar a cor de fundo do *checkbox* ou

colocar outra cor de destaque na borda do *checkbox* para se diferenciar da cor de fundo do painel de configuração;

7. **problema:** A fonte do texto no *menu* de interatividade é muito pequena. **Sugestão:** Inserir um botão para aumentar ou diminuir a fonte do texto;

Figura 32 – Problemas relatados pelos participantes no ambiente 3D – parte 1.

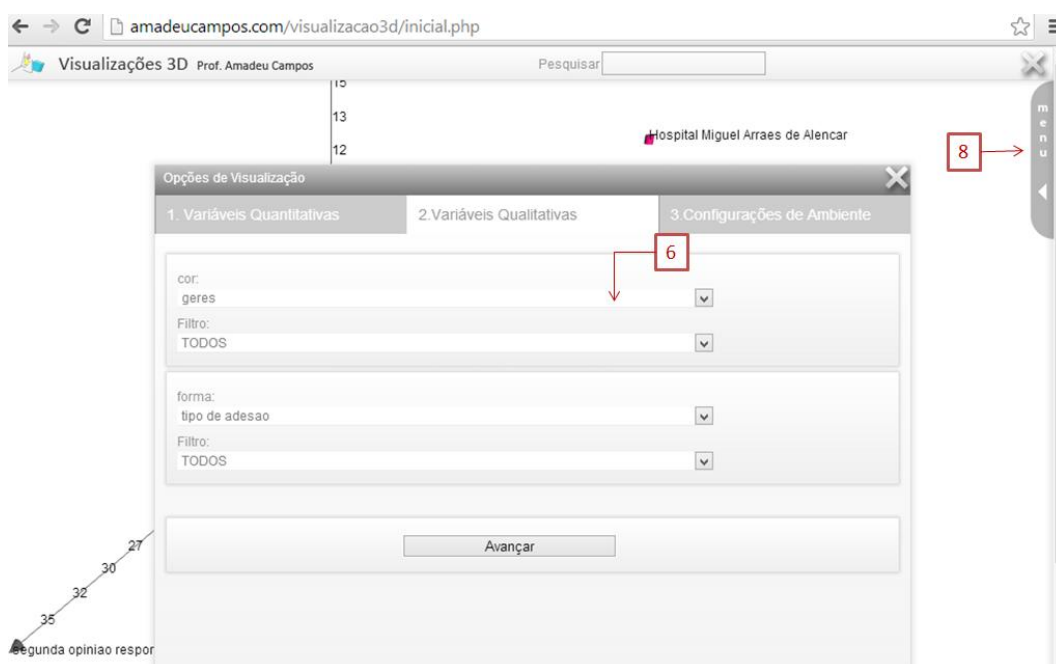


Fonte: Autor (2013).

8. **problema:** O botão do *menu* de interatividade é pequeno e está escondido dificultando sua visualização. **Sugestão:** Mudar o layout e cores do botão de *menu* para ficar mais visível;

9. **problema:** A grande quantidade de texto no nome dos objetos no gráfico 3D quando o sistema se inicializa deixa a interface poluída. **Sugestão:** inserir uma opção de ocultar o texto dos nomes dos objetos no gráfico 3D. Quando essa opção estivesse habilitada, em cada objeto apareceria uma numeração ordenada e ao mesmo tempo apareceria um painel com a numeração ordenada e seus respectivos os nomes dos objetos.

Figura 33 – Problemas relatados pelos participantes no ambiente 3D – parte 2.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com os problemas descritos acima, pode-se notar que a maioria dos problemas encontrados pelos participantes está relacionada a algum aspecto da interface 2D (*menu* de interatividade). Além das sugestões acima, os participantes relataram mais mudanças na interface que melhoraria a usabilidade da técnica 3D:

- a) a visualização da técnica 3D seria melhor se fosse demonstrada numa tela maior;
- b) o item de mostrar nomes dos objetos no menu de interatividade poderia estar desabilitado quando o sistema inicializar;
- c) no item “filtro dos eixos” no menu de interatividade, poderia ter a opção de digitar o valor do filtro desejado porque o mouse não é preciso;
- d) o item “opções de visualização” deveria conter apenas as configurações de controle. A opção de “configurações de variáveis” poderia ser estática noutro local da tela;
- e) no item “opções de visualização” do menu de interatividade poderia existir a opção de transformar o gráfico 3D em 2D de acordo com as necessidades do usuário;
- f) no *menu* poderia haver um botão de apagar as configuração atuais do sistema e voltar para a configuração inicial quando o sistema foi inicializado;
- g) os filtros dos eixos poderiam ser acessados clicando diretamente nos eixos do gráfico 3D na forma de *popup*;

h) no painel de configuração das variáveis quantitativas e qualitativas, as variáveis que aparecem na lista de seleção poderiam aparecer na ordem alfabética;

i) poderia ser inserido o nome X, Y e Z nos respectivos eixos do gráfico 3D.

Essas sugestões propostas demonstram que os participantes têm diferentes conhecimentos e habilidades, têm diferentes preferências de como visualizar os indicadores para algum propósito significativo e também têm diferentes necessidades de obter as informações.

4.2.5 Avaliação Qualitativa

O registro das gravações da tela com as atividades de interação dos participantes com a interface 3D mostrou que eles têm pouca experiência na manipulação e visualização dos dados no gráfico 3D, mas tinham mais habilidade na manipulação dos elementos da interface 2D como *Windows, Icons, Menus, Pointer* (WIMP). Este fato foi observado porque a maioria dos participantes preferiam interagir apenas com o *menu* para visualizar os dados no gráfico 3D.

Foi observado que 50% dos participantes ficava desorientado espacialmente pela falta de habilidade na navegação de interfaces com técnicas 3D, mas os participantes relatavam que se tivessem um tempo maior para ficar se acostumando com a navegação em ambientes com técnicas 3D, seria mais fácil a realização da tarefa. Como descrito nos problemas de usabilidade acima, um participante relatou que a falta de conhecimento prévio em gráficos e geometria espacial poderia afetar a resolução do problema da tarefa.

Outro aspecto observado foi que alguns participantes tinham dificuldade na interpretação da questão da tarefa. Este aspecto não é específico de interfaces 3D, pois pode ocorrer em qualquer outro tipo de interface 2D, e está relacionado ao entendimento da tarefa e não na resolução dela. Todos esses fatores podem influenciar a usabilidade do sistema (CHEN, 2005).

De acordo com os depoimentos dos participantes, todos concordaram que a visualização dos indicadores com técnica 3D é muito importante na visualização, porque eles podiam simultaneamente visualizar e analisar seis diferentes indicadores numa mesma interface através de propriedades gráficas como X, Y, Z, tamanho, forma e cor. Os participantes também relataram que foi mais fácil identificar o comportamento de certo dado

ou obter insight sobre o dado analisado porque eles estavam agrupados com as mesmas variáveis por cor e forma.

Outra questão observada foi o tempo requerido para os participantes se familiarizarem com a interface 3D. Na maioria dos casos os participantes demoravam mais tempo para terminar a primeira tarefa que as outras. Quando os participantes começavam a última tarefa, eles estavam mais familiarizados com a interface 3D e eles relataram que foi mais fácil de interagir com o gráfico 3D.

Durante a avaliação de usabilidade foi notado que a estética da interface não teve um bom design (*layout*) porque os participantes relataram muitos problemas referentes ao design pobre com os tamanhos das fontes pequenos, os botões não são destacados e o *menu* tem muitos itens aumentando a densidade de informações na interface. Durante o desenvolvimento do protótipo, uma preocupação era em criar uma técnica 3D que fosse útil e auxiliasse a tomada de decisão dos usuários finais e não apenas criar uma interface 3D bonita sem utilidade. Contudo, de acordo com Chen (2005) é importante entender como os *insights* e a estética interagem entre si e como esses dois princípios poderiam sustentar uma visualização de informação esclarecedora e visualmente atraente. Em seus estudos Cawthon e Moere (2007) também relataram que alguns estudos sobre problemas de estética estão sendo pesquisados pela comunidade de desenho gráfico. Além disso, a estética é muitas vezes vista como um *add-on*, implementado no final do processo de desenvolvimento.

Finalmente, outra observação desta avaliação foi que a técnica 3D apresentada diminuiu o problema de oclusão em várias situações. Alguns participantes relataram a dificuldade de visualizar uma grande quantidade de dados através de uma técnica de visualização tradicional porque em muitos casos os objetos ficavam posicionados uns em cima de outros. Entretanto, os relatos mostravam que com a técnica 3D este problema foi resolvido porque era possível rotacionar o gráfico 3D ou fazer com que um objeto que estivesse na frente de outro ficasse invisível.

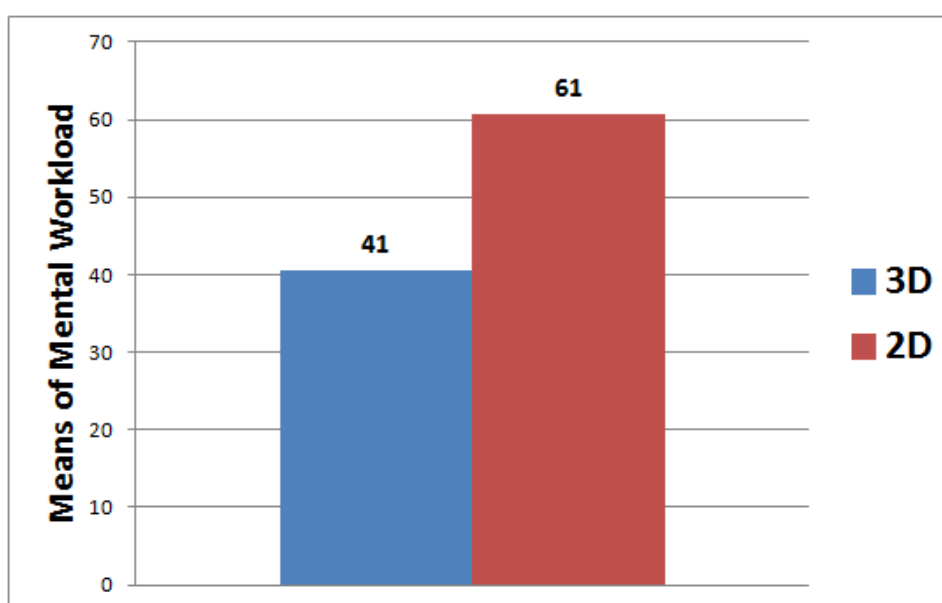
4.2.6 Avaliação da Carga Mental: NASA Task Load Index

A avaliação da carga mental foi realizada com o objetivo de comparar a carga mental utilizada na realização de uma tarefa com a técnica 3D e 2D para a visualização de indicadores de serviços de telessaúde. Os resultados da avaliação consistem em dados quantitativos, obtidos a partir de questionários baseados no protocolo da NASA TLX. Os

usuários que participaram da avaliação da carga mental foram os mesmos que participaram da avaliação de usabilidade da interface 3D.

A média dos valores da Taxa Global Ponderada da carga mental obtida do questionário da NASA TLX respondido pelos participantes pode ser visualizada no Gráfico 3. A média dos valores foi calculada através dos pesos e classificação de cada um dos seis fatores do protocolo NASA TLX. Para determinar se a pontuação da técnica 2D e 3D afetou na carga mental percebida pelos participantes, o teste *t-student* para análise das médias das duas técnicas foi realizado.

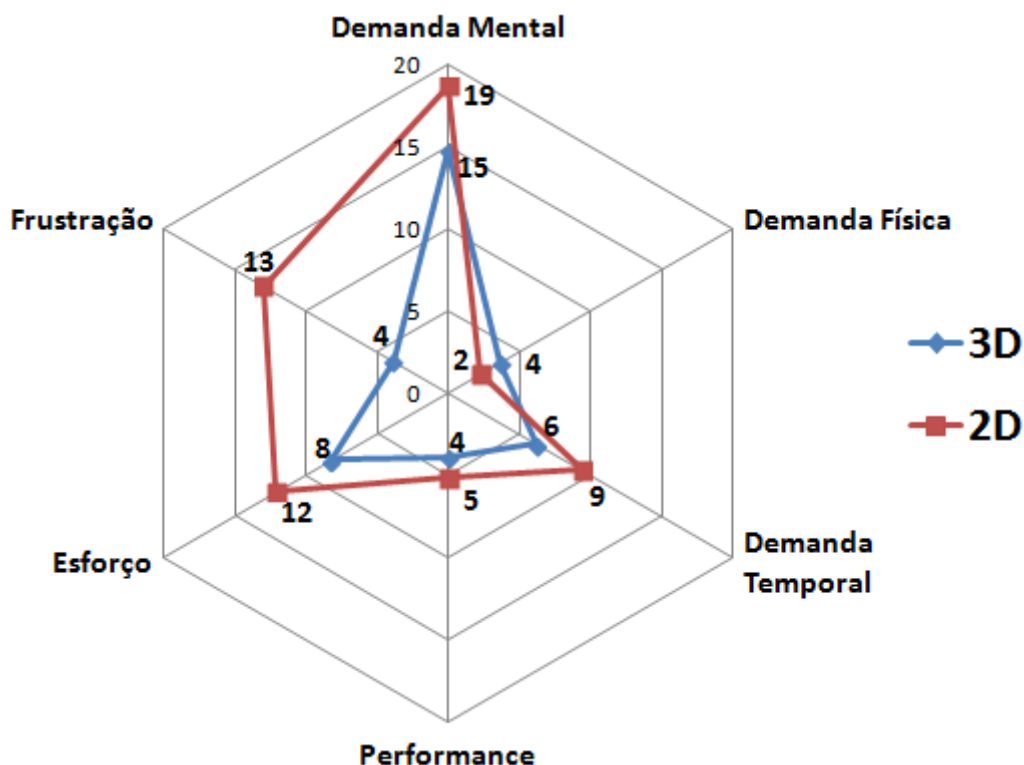
Gráfico 3 – Média da Taxa Global Ponderada para a amostra de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 3 a carga mental dos participantes na realização das tarefas com a técnica 2D ($M = 61$, $\delta = 16.84$) foi maior que com a técnica 3D ($M = 41$, $\delta = 14.29$) mas com evidências significativas $p = 1.232e-06$, $p < 0.05$. A análise estatística rejeitou a hipóteses 1 nula (H_{1-0}) significando que a carga mental nas técnicas 2D e 3D são diferentes. Também foi analisado separadamente cada fator que compõe o calculo da carga mental (Gráfico 4). Os resultados da avaliação das demandas da Taxa Global Ponderada (TGP) de cada participante está apresentado no Apêndice H para a técnica 2D e no Apêndice I para a técnica 3D.

Gráfico 4 – Média de cada subfator para amostra de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 4, em todos os subfatores houve diferença entre a média das duas técnicas. O peso concedido a cada subfator significa o grau de importância de cada subfator de acordo com o sentimento do participante. A menor diferença da média das pontuações entre as duas técnicas foi observado no subfator Performance mas não houve diferenças estatísticas significativas entre elas ($p=0.3159$, $p>0.05$). A técnica 2D requereu dos usuários mais performance ($M=5$, $\delta= 3.47$) que a técnica 3D ($M=4$, $\delta= 3.06$). A maior diferença encontrada foi o fator de frustração com diferença estatística significativa ($p=1.722e-05$ $p<0.05$), o que significa que os participantes tiveram menos nível de frustração na técnica 3D ($M=4$, $\delta=5.18$) que na técnica 2D ($M=13$, $\delta= 9.65$). Em relação à carga mental, a técnica 3D foi a que teve menor pontuação ($M=15$, $\delta= 7.67$) em relação à 2D ($M=18$, $\delta= 8.35$) com diferença significativa entre eles ($p=0.047$, $p<0.05$) significando que os participantes pensaram mais na realização das tarefas na técnica 2D que na 3D.

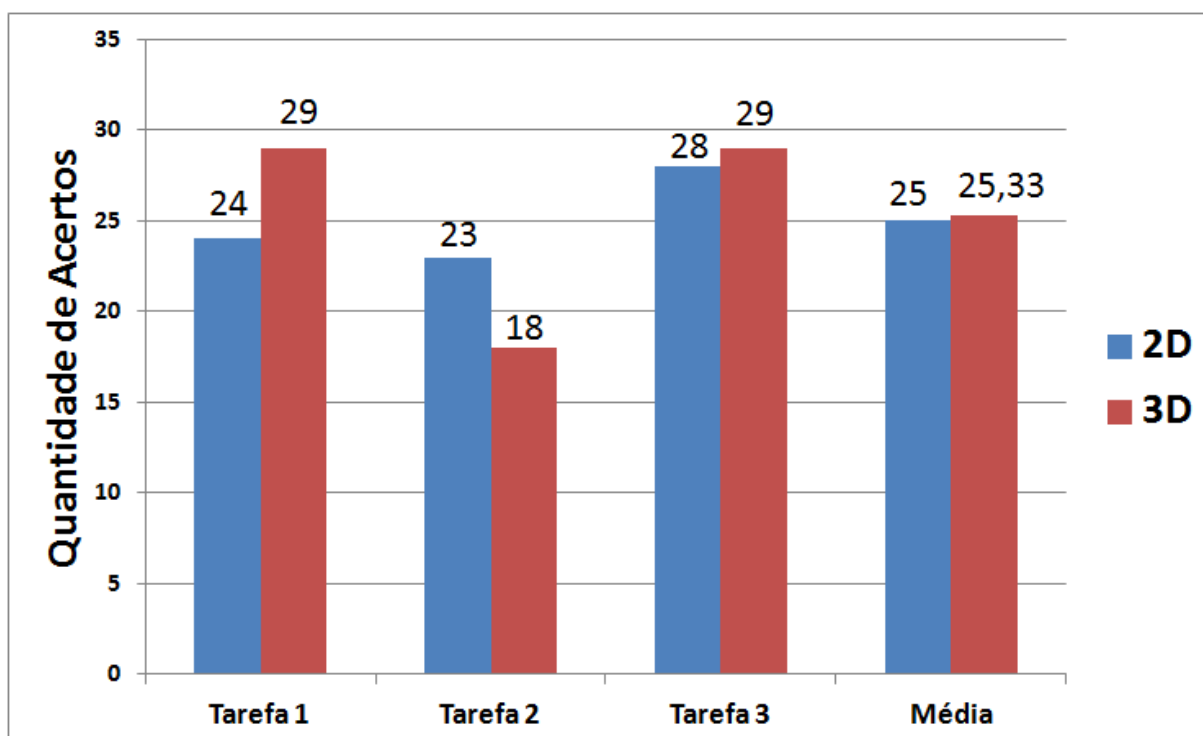
O subfator referente à demanda física foi mais requisitado com a técnica 3D ($M=4$, $\delta= 6.80$) que a 2D ($M=2$, $\delta= 4.62$) sendo que não houve diferença significativa entre eles $p=0.1578$, $p>0.05$. Este fenômeno já era esperado, pois a técnica 3D requer uma maior habilidade física em mover, arrastar, rotacionar e dar zoom nos objetos com o mouse que a

técnica 2D. Os resultados da avaliação do fator esforço mostraram que na técnica 3D ($M= 8$, $\delta= 5.65$) os participantes tiveram um menor esforço que na técnica 2D ($M= 12$, $\delta= 7.32$) e não houve diferença significativa ($p=0.0011$, $p<0.05$).

4.2.7 Avaliação da Efetividade (taxa de acertos)

A eficiência foi calculada como a porcentagem entre o total do número de acertos em cada tarefa com relação ao número total de participantes (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Taxa de Sucesso para Amostra de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

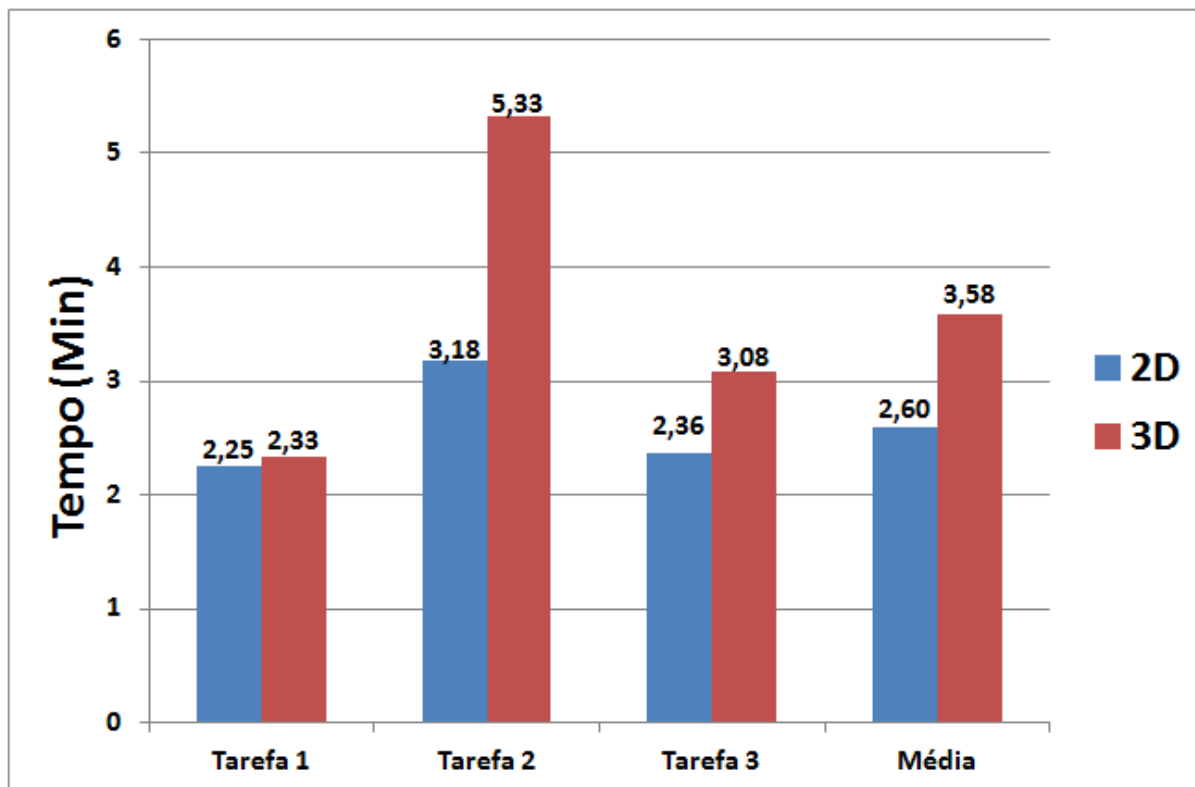
De acordo com o Gráfico 5, a técnica 2D foi menos efetiva que a 3D na primeira e terceira tarefa. Por outro lado, a técnica 3D foi menos efetiva na segunda tarefa. Em geral a média de acertos da técnica 2D ($M=25$; $\delta=2,65$) foi levemente menor em relação à técnica 3D ($M=25,33$; $\delta=6,35$) sendo que não houve diferença significativa entre eles ($p= 0,9192$, $p>0,05$). Os resultados da análise estatística não rejeitaram a hipótese 2 nula H_{2-0} significando que a efetividade nas técnicas 2D e 3D são iguais.

4.2.8 Avaliação do Tempo da Tarefa

O tempo para realização de cada tarefa com a técnica 2D e 3D foi cronometrado e pode ser visto no Gráfico 6. Os resultados do tempo de realização de cada tarefa por cada

participante está apresentado no Apêndice J para a técnica 2D e no Apêndice K para a técnica 3D.

Gráfico 6 – Tempo de Realização da Tarefa para Amostra de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

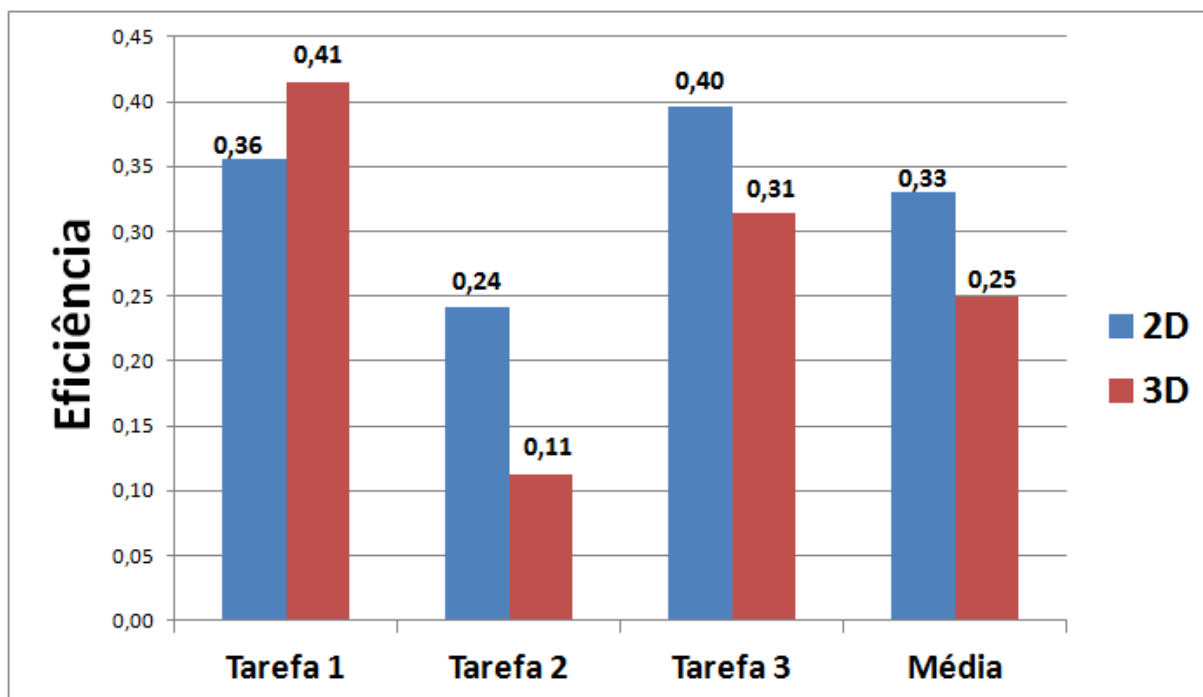
De acordo com o Gráfico 6 a média dos valores do tempo para realização das tarefas 1, 2 e 3 com a técnica 3D foi maior que a técnica 2D. A média geral do tempo de execução da tarefa em minutos foi maior com a técnica 3D ($M = 2.60$, $\delta = 0.468$) que com a 2D ($M = 3.58$, $\delta = 0.872$) sendo que houve diferença significativa entre eles ($p = 2.512e-05$, $p < 0,05$). Os resultados da análise estatística rejeitaram a hipótese 3 nula H_{3-0} significando que o tempo nas técnicas 2D e 3D são diferentes.

De acordo com os relatos dos participantes, o fenômeno de que o tempo de realização da tarefa com a técnica 3D foi maior que com a técnica 2D ocorreu devido ao fato de que a técnica 3D é uma tecnologia nova, nunca foi utilizada pela maioria dos participantes e os participantes não tiveram tempo suficiente para se adaptar à técnica 3D.

4.2.9 Avaliação de Eficiência (taxa de acerto / tempo)

A eficiência foi calculada como sendo a porcentagem de acertos na tarefa dividida pelo tempo de realização da mesma (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Eficiência da Tarefa para Amostra de Telessaúde.



Fonte: Autor (2013).

Através do Gráfico 7, podemos concluir que, embora a técnica 3D teve melhor eficiência apenas na primeira tarefa que a técnica 2D, na média geral a técnica 2D ($M = 0,33$, $\delta = 0,087$) obteve uma melhor eficiência em relação à técnica 3D ($M = 0,25$, $\delta = 0,093$) sendo que houve diferença significativa entre eles ($p = 0,0043$, $p < 0,05$). Os resultados da análise estatística rejeitaram a hipótese 4 nula H_{4-0} significando que a eficiência nas técnicas 2D e 3D são diferentes.

4.3 Caso de Estudo: Educação a Distância

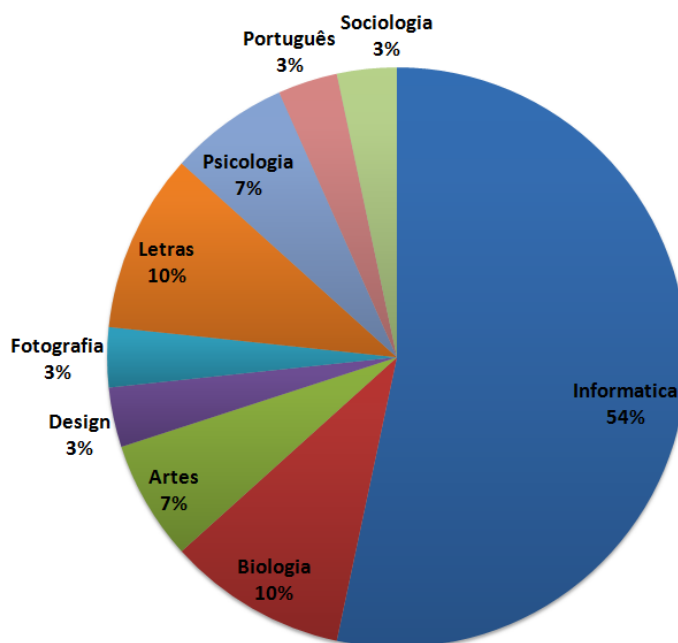
Esta segunda avaliação da carga mental teve como objetivo comparar a efetividade, eficiência e o nível de carga mental utilizada na realização de uma tarefa com a técnica 3D e 2D para a visualização de indicadores de comportamento de alunos num ambiente de ensino a distância. A avaliação de usabilidade para essa amostra não foi realizada porque segundo Nielsen (2000) um usuário consegue identificar cerca de 30% dos problemas de usabilidade de uma interface. Nielsen também mostrou que a partir de 5 (cinco) usuários, o aumento no número de falhas identificadas não corresponde a um ganho significativo. A percentagem de erros de usabilidade encontrada por um grupo de cinco usuários é de 85%, o que representa a melhor relação custo-benefício.

Os resultados também consistem em dados qualitativos, recolhidos a partir de diferentes questionários respondidos pelos participantes, e dados quantitativos, obtidos através de questionários baseados no protocolo da NASA TLX.

4.3.1 Características do usuário

A coleta e avaliação foram realizadas no período de novembro de 2013 a dezembro de 2013 com uma amostra de 30 (trinta) profissionais que trabalham com monitoramento do comportamento dos alunos. A média de idade foi 35 anos ($\delta = 9,38$) onde a maioria deles foi de homens (73%). Em relação ao nível de escolaridade, a maioria foi de profissionais graduados (90%) enquanto 10% não tem graduação. A área de conhecimento dos participantes é diversa e pode ser vista no Gráfico 8. A maioria dos profissionais (70%) teve alguma experiência no uso de técnicas de visualização da informação.

Gráfico 8 – Área de Conhecimento dos Participantes de Educação.



Fonte: Autor (2013).

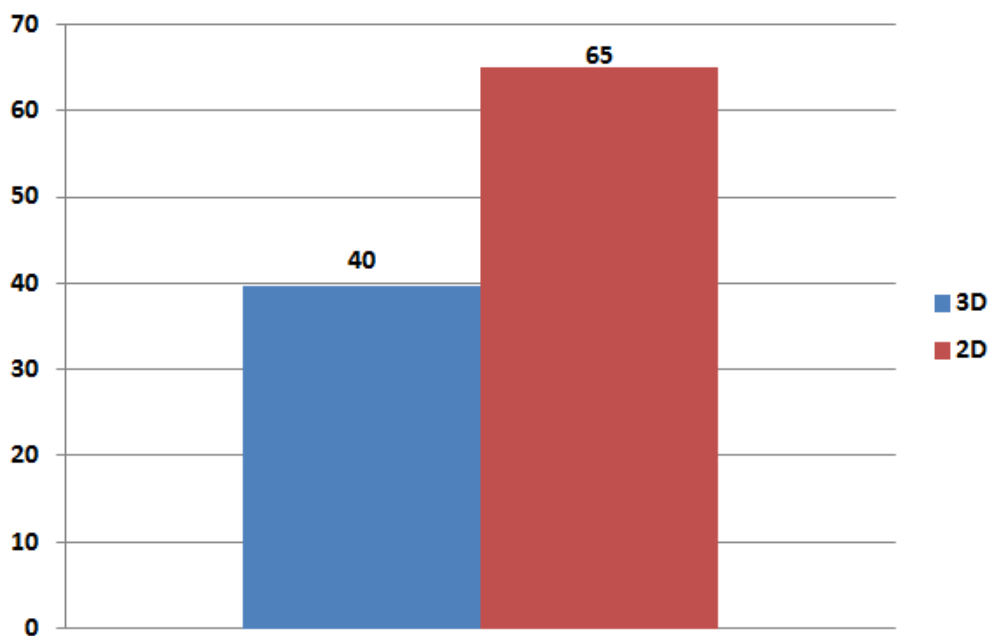
De acordo com o Gráfico 8, a maioria (54%) dos participantes é profissional da área de informática que trabalham com educação.

4.3.2 Avaliação da Carga Mental: NASA Task Load Index

A média dos valores da Taxa Global Ponderada da carga mental obtida do questionário da NASA TLX respondido pelos participantes podem ser visualizada no Gráfico 9. Para determinar se a média dos valores obtidos nas técnicas 2D e 3D afetou na carga

mental percebida pelos participantes, foi realizado o teste *t-student* com intervalo de confiança de 95%.

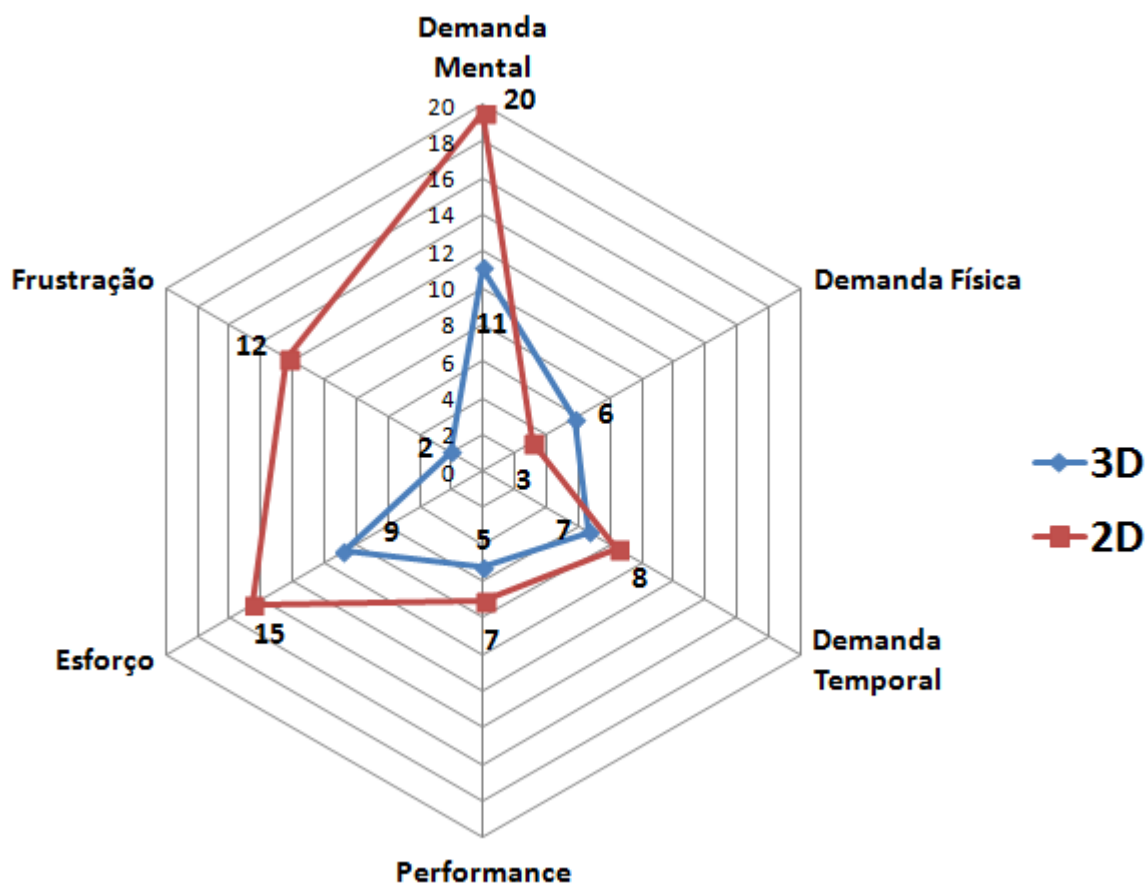
Gráfico 9 – Média da Taxa Global Ponderada para Amostra de Educação a Distância.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 9, a carga mental dos participantes na realização das tarefas com a técnica 2D ($M = 65$, $\delta = 13.13$) foi maior que com a técnica 3D ($M = 40$, $\delta = 16.49$) mas com evidências significativas $p = 4e-07$, $p < 0.05$. A análise estatística da avaliação com essa amostra também rejeitou a hipótese 1 nula H_{1-0} significando que a carga mental nas técnicas 2D e 3D são diferentes. Também foi analisado separadamente cada fator que compõe o cálculo da carga mental (Gráfico 10). Os resultados da avaliação das demandas da Taxa Global Ponderada de cada participante estão apresentados no Apêndice L para a técnica 2D e no Apêndice M para a técnica 3D.

Gráfico 10 – Média de valores de cada Subfator para Educação a Distância.



Fonte: Autor (2013).

De acordo com o Gráfico 10, em todos os subfatores houve diferença entre a média das duas técnicas. A menor diferença entre as médias das pontuações das duas técnicas foi observado na demanda temporal, onde a técnica 2D requereu dos participantes mais tempo na realização da tarefa ($M = 8$, $\delta = 7.08$) que a técnica 3D ($M = 7$, $\delta = 6.38$), mas não houve diferenças estatística significativas entre elas ($p = 0.1659$, $p > 0.05$). A maior diferença encontrada foi o subfator de frustração, onde os participantes tiveram menor nível de frustração na técnica 3D ($M = 2$, $\delta = 5.12$) que na técnica 2D ($M = 12$, $\delta = 11.54$). Em relação ao subfator frustração houve diferença estatística significativa ($p = 5.59e-05$, $p < 0.05$).

O resultado da diferença das médias dos valores da demanda física não mostrou diferença significativa entre eles $p = 0.1131$, $p > 0.05$ significando que a demanda física de manipular o mouse foi mais requisitada com a técnica 3D ($M = 6$, $\delta = 7.22$) que a 2D ($M = 3$, $\delta = 3.8$). Este resultado já era esperado, pois a técnica 3D requer uma maior habilidade física em mover, arrastar, rotacionar e dar zoom nos objetos com o mouse que a técnica 2D. Em relação à carga mental, a técnica 3D foi a que teve menor valor ($M = 11$, $\delta = 7.67$) em relação

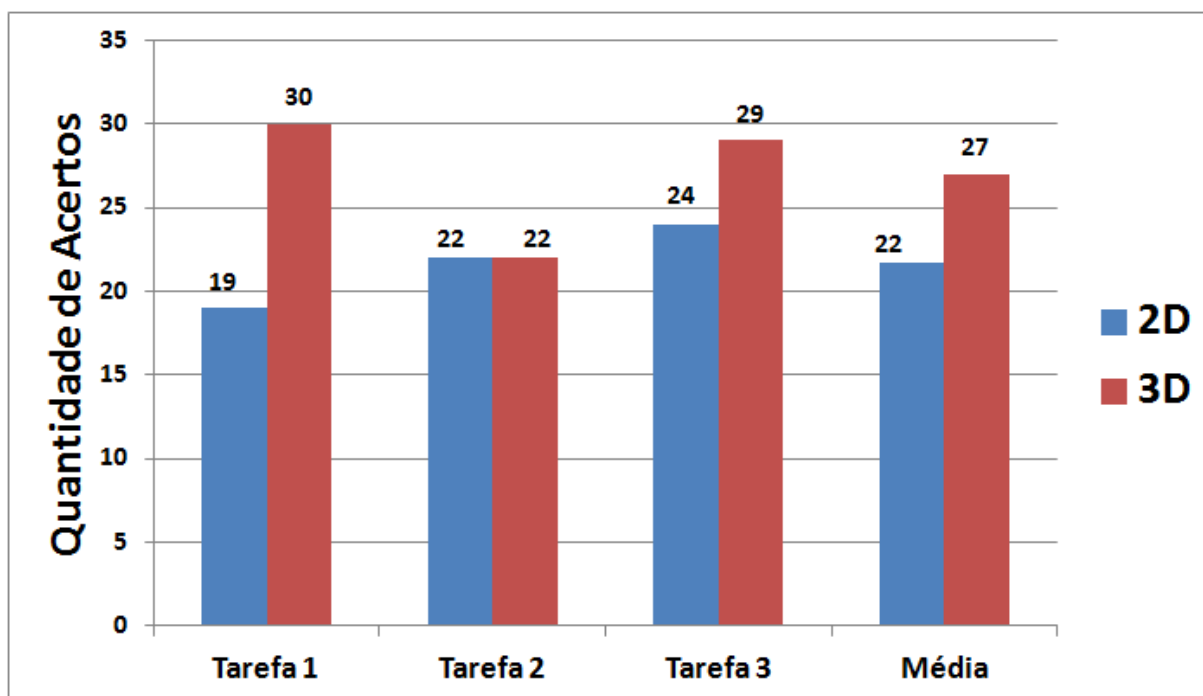
à 2D ($M = 20$, $\delta = 5,89$) com diferença significativa entre eles ($p = 2.125e-05$, $p < 0.05$) significando que os participantes pensaram mais na realização da tarefas na técnica 2D que na 3D. Os resultados avaliação do fator esforço mostraram que na técnica 3D ($M = 9$, $\delta = 6.52$) os participantes tiveram um menor esforço que na técnica 2D ($M=15$, $\delta =7.78$) e com diferença significativa entre as médias ($p=0.004$, $p<0.05$).

De acordo com os resultados da pontuação da média de cada fator podemos observar que apenas a demanda física obteve uma maior pontuação com a técnica 3D do que com a técnica 2D. Esse fenômeno também ocorreu com a amostra de profissionais de telessaúde e já era esperado, pois os participantes relataram uma maior dificuldade na manipulação do mouse com a técnica 3D. Apesar de o esforço físico ter sido maior com a técnica 3D, os participantes não sentiram dificuldades em realizar a tarefa e se sentiram motivados em utilizá-lo.

4.3.3 Avaliação da efetividade (taxa de acertos)

A eficiência foi calculada como a percentagem entre o total do número de acertos em cada tarefa com relação ao número total de participantes (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Quantidades de Acertos para Amostra de Educação à Distância.



Fonte: Autor (2013).

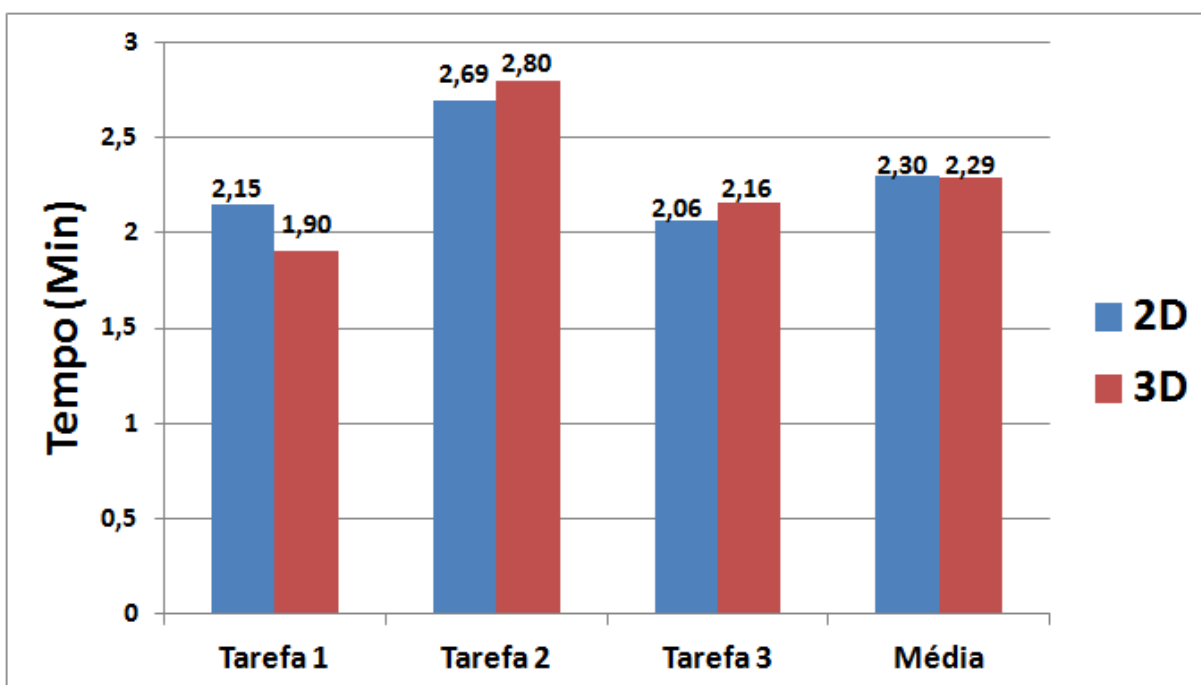
De acordo com o Gráfico 11, na primeira e terceira tarefa a técnica 3D teve maior quantidade de acertos que a técnica 2D. Na segunda tarefa, ambas as técnicas tiveram a

mesma quantidade de acertos. Em geral, a média de acertos com a técnica 2D ($M=22$; $\delta = 2,52$) foi menor em relação à técnica 3D ($M=27$; $\delta= 4,36$) sendo que houve diferença significativa entre eles ($p= 0,004$, $p<0,05$). Os resultados da análise estatística rejeitaram a hipótese 2 nula H_{2-0} significando que a efetividade nas técnicas 2D e 3D é desigual.

4.3.4 Avaliação do Tempo da Tarefa

O tempo para realização de cada tarefa com a técnica 2D e 3D foi cronometrado e pode ser visto no Gráfico 12. Os resultados do tempo de realização de cada tarefa por cada participante está apresentado no Apêndice N para a técnica 2D e no Apêndice O para a técnica 3D.

Gráfico 12 – Tempo de Realização da Tarefa para Amostra de Educação a Distância.



Fonte: Autor (2013).

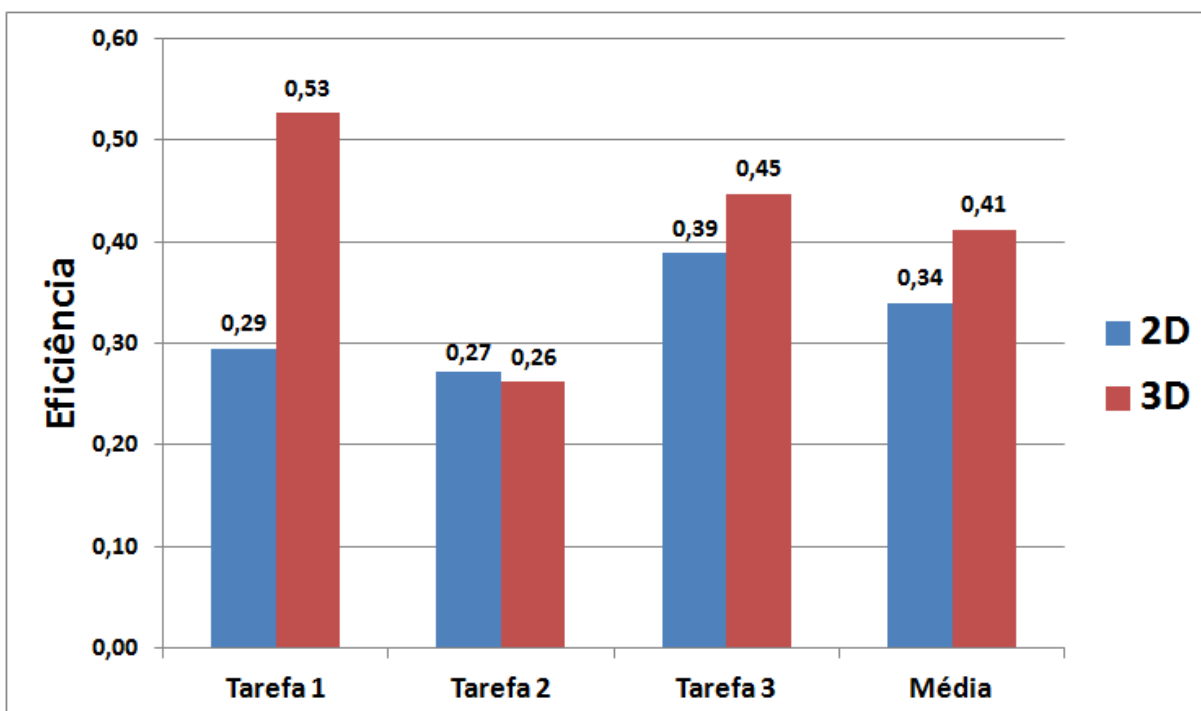
De acordo com o Gráfico 12, apenas na tarefa 1 a média dos valores do tempo para realização da mesma com a técnica 3D foi menor que a técnica 2D. Em contrapartida, o tempo para realização das tarefas 2 e 3 com a técnica 3D foi maior que com a 2D. Em geral a média geral dos tempos nas três tarefas com a técnica 3D ($M= 2,29$; $\delta= 0,48$) foi semelhante com a técnica 2D ($M=2,30$; $\delta= 0,62$), sendo que não houve diferença significativa entre eles ($p= 0,9691$, $p>0,05$). Os resultados da análise estatística não rejeitaram a hipótese 3 nula H_{3-0} significando que a tempo nas técnicas 2D e 3D é igual.

Com essa amostra de participantes o tempo de realização da tarefa com ambas as técnicas foi praticamente igual devido ao fato de que a maioria dos participantes era de professores de alguma disciplina da área de informática e tinha uma maior familiaridade com a manipulação do computador.

4.3.5 Avaliação da Eficiência (taxa de acerto / tempo)

A eficiência foi calculada como sendo a percentagem de acertos na tarefa dividida pelo tempo em minutos de realização da mesma (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Taxa de Eficiência para Amostra de Educação a Distância.



Fonte: Autor (2013).

Através do Gráfico 13, podemos concluir que a técnica 2D teve uma eficiência um pouco melhor na segunda tarefa que a técnica 3D. Por outro lado, a técnica 3D ($M = 0.41$; $\delta = 0.12$) obteve uma melhor eficiência na média geral em relação à técnica 2D ($M = 0.34$, $\delta = 0.16$) sendo que houve diferença significativa entre eles ($p = 0.04196$, $p < 0,05$). Os resultados da análise estatística rejeitaram a hipótese 4 nula H_{4-0} significando que a eficiência nas técnicas 2D e 3D é desigual.

4.4 Discussão

Este trabalho foi um estudo na área de visualização da informação que teve o objetivo de conceber uma nova técnica 3D de visualização de informação por meio do design e

avaliação da usabilidade na visualização de dois ou mais indicadores de qualidade de serviço. A abordagem dos métodos mistos utilizada neste estudo facilita o *feedback* quantitativo e qualitativo para melhor entender os usuários e suas opiniões e preferências em relação o uso da aplicação no contexto de dados de telessaúde e educação.

Observamos, desde a fase de revisão da literatura, que não existiam muitos estudos na literatura sobre análise comparativa entre técnicas de visualização 2D e 3D para a área de análise de indicadores de qualidade em um serviço. Os resultados deste estudo estão em continuidade com uma série de trabalhos anteriores em outras áreas de visualização e com outros tipos de tarefas (interpretação de gráficos da árvore) onde apontam fortes vantagens no uso de técnicas de visualizações 3D em comparação as técnicas 2D.

O estudo ajudou a identificar algumas importantes orientações para o desenvolvimento de aplicações com técnicas 3D de visualização da informação para uso por diferentes grupos interessados na análise e monitoramento de indicadores de qualidade de serviço. As informações obtidas durante a avaliação do protótipo vai nos ajudar a desenvolver uma segunda versão do protótipo que seja mais estável e mais fácil de ser usado. Os resultados da avaliação mostraram que houve um grande impacto tanto na análise e interpretação de dados multivariados, como também na motivação e diminuição da carga mental de trabalho na realização de uma tarefa através do uso da técnica 3D em relação à técnica 2D.

4.4.1 Processo de Concepção do Framework

O *framework* propôs a integração dos princípios de técnicas 3D de visualização, abordagem centrada no usuário e teoria cognitiva que podem apoiar a projetar sistemas de gerenciamento de monitoramento de indicadores na *web* contribuindo assim para o campo de visualização, fornecendo a base para aumentar a utilização de técnicas de visualização modulares no domínio visualização de informação. O objetivo do *framework* foi abstrair as diferenças entre a visualização de dados multivariados em interfaces multidimensionais, e concentrar-se nos elementos comuns. Várias tentativas já foram feitas para alcançar este objetivo como relatado por Santos (2004).

O *framework* proposto teve um impacto inovador porque integrou os princípios de técnicas 3D de visualização, abordagem centrada no usuário e teoria cognitiva que podem apoiar a projetar sistemas de gerenciamento de monitoramento de indicadores na *web*.

A concepção do *framework* exigiu o conhecimento sobre o contexto de trabalho no qual os sistemas serão aplicados, e deve envolver a entrada do usuário em todas as fases, como é a prática em qualquer esforço de design centrado no usuário. Os usuários tiveram papéis importantes na construção do *framework* porque eles tinham necessidades e visões diferentes em virtude de serem de diversas áreas, incluindo medicina, enfermagem, ciências da computação, educação e estatística. O entendimento sobre as necessidades dos usuários é essencial para garantir que a tecnologia é apropriada funcional e será útil para completar as tarefas (BOWEN; REEVES, 2007).

Nós podemos observar que o *framework* apresentado neste trabalho também pode ser adaptado para a combinação de técnicas 2D e elementos WIMP juntamente com técnicas 3D numa mesma interface de forma simples e eficaz. O *framework* permitiu o desenvolvimento de vários tipos de interfaces num mesmo protótipo evitando confusão através de um conceito de navegação clara, minimiza a poluição visual através do agrupamento das extremidades e permite que o usuário gerencie muitas visões de acordo com a necessidade. A implementação do *framework* e do protótipo 3D com tecnologias voltadas para web facilitou o acesso e desempenho do sistema e, portanto, teve boa interatividade, mesmo para muitos tipos de técnicas de visualizações e grandes conjuntos de dados. Observou-se também que a implementação atual do *framework* permitiu apenas o gerenciamento de um número suficiente de técnicas de visualização fixas, mas relacionadas. Por conseguinte, é necessário desenvolver um método que pode lidar com um maior número de técnicas de visualização para problemas de maior escala. Visualizar várias relações ao mesmo tempo entre várias técnicas de visualização, como descrito em Collins e Carpendale (2007), irá exigir métodos adicionais para evitar a poluição visual.

O desenvolvimento do *framework* com o uso de técnicas 3D de forma eficiente na visualização de dados ainda é um desafio no desenvolvimento de sistemas. Na literatura existem poucas orientações para a concepção de sistemas de visualização com técnicas 3D como, por exemplo, em Boichichio, Longo e Vaira (2011) que validaram o uso de uma arquitetura em 3 camadas para ser usada em aplicações com técnicas 3D. Além disso, é importante utilizar dados reais tanto para ganhar o engajamento com os usuários como para ajudá-los a aprender sobre a natureza das técnicas 3D. Atualmente a concepção do *framework* ainda contém algumas restrições e falhas que podem ser revistas, reestruturadas e aprimoradas com a continuação desta pesquisa.

4.4.2 Motivação dos usuários na utilização do protótipo

Nós observamos através dos comentários e das reações dos usuários durante a realização das tarefas que, apesar dos usuários terem nenhuma ou mínima habilidade em manipular o mouse em ambiente 3D, houve uma forte motivação e interesse entre eles em ambas as amostras para utilizar o protótipo. O fenômeno de motivação através do surgimento de uma novidade foi comprovado na literatura também por outros autores (HULLMAN; ADAR; SHAH, 2011; ADELMAN; TAYLOR, 2012; SEIPEL; CARVALHO, 2012). Segundo Seipel e Carvalho (2012) a maioria dos participantes do seu experimento (83%) se sentiam mais confiantes em relação ao desempenho da técnica 3D que a técnica 2D (17%), apesar que quase metade da população sentiu desconforto visual em 3D, estes resultados confirmam o que parece ser uma superestimativa prevalente de os benefícios reais de visualização tridimensionais.

O aspecto motivacional pode estar relacionado com carga mental de trabalho na realização da tarefa, pois nós observamos que a carga mental de trabalho foi menor com a técnica 3D do que com a 2D em ambas as amostras. Além disso o fator de frustração calculado foi maior para a técnica 2D do que para técnica 3D, o que comprova a maior motivação dos usuários em utilizar a técnica 3D.

4.4.3 Usabilidade do modelo de visualização 3D

Os resultados da avaliação geral do protótipo tiveram resultados relevantes, tanto em relação à adaptação das técnicas de avaliação de usabilidade (Avaliação de usabilidade baseado nos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin) no contexto da avaliação e a capacidade de filtragem dos problemas de usabilidade, quanto a análise da carga mental necessária para a realização de uma tarefa e das variáveis de comparação (tempo, efetividade e eficiência) do protótipo com técnica 3D e o 2D.

Nós observamos que os usuários expressaram algumas dificuldades na interpretação das questões das tarefas, tiveram limitações na forma como eles analisavam os dados e na falta de habilidade de analisar os dados corretamente de tal forma que os dados mais importantes não eram escolhidos em tempo hábil para serem feitas intervenções apropriadas. Esse fenômeno ocorreu em virtude de que a maioria dos usuários não tinham a habilidade de

analisar questões com dados multivariados. Essas limitações podem influenciar na qualidade dos resultados analisados.

Em relação à usabilidade do protótipo, a maioria dos problemas encontrados teve severidade simples ou cosmética, o que mostrou que o protótipo apesar de ser complexo, é bastante útil e fácil de usar. No entanto, em alguns momentos foi observado que alguns participantes tinham dificuldades com o uso da interface e precisaram do apoio de outra pessoa para continuar a usá-lo e finalizar a tarefa. Por meio de todos os problemas de usabilidade relatados durante o trabalho, ficou visível que o protótipo ainda tem muito a evoluir. Além disso, a avaliação de usabilidade do usuário forneceu *feedback* sobre as modificações que possam ser necessárias para tornar o sistema ainda mais fácil de usar.

A utilização do conjunto de critérios ergonômicos utilizado na avaliação mostrou vários aspectos de funcionalidade e layout que dificultavam o uso do protótipo e até então não tinham sido detectados. Contudo, o protótipo deve ser melhorado através da análise dos problemas encontrados e implementação das sugestões relatadas pelos participantes. Após o *redesign* do protótipo, outro trabalho de pesquisa na avaliação de usabilidade se faz necessário, pois este estudo fez parte da primeira interação do ciclo de design centrado no usuário.

4.4.4 Metáforas utilizadas na concepção do protótipos

Um aspecto importante de ser discutido é o uso da metáfora no design de interfaces, pois as metáforas podem confundir os usuários, ou a compreensão deles em relação ao computador pode ser limitada devido aos aspectos inferidos a partir da metáfora.

Um aspecto importante observado na pesquisa e relatado por outros pesquisadores (EKBIA, 2013; BARR; NOBLE; BIDDLE, 2003; NIELSEN, 1993; AVERBUKH *et al.*, 2007) foi que as metáforas são úteis no processo cognitivo de entendimento na medida em que ajuda as pessoas a se beneficiar da sua experiência com um objeto ou atividade familiar, mas às vezes pode conter problemas como, por exemplo, a interpretação da metáfora e também ser muito restritivo, especialmente quando eles estão literalmente interpretados. Segundo Nielsen (1993), as metáforas podem enganar os usuários, ou a compreensão deles em relação ao computador pode ser limitada devido aos aspectos inferidos a partir da metáfora utilizada.

Em nosso estudo, as metáforas foram analisadas através de relações entre representações do mundo real com o mundo virtual. Desta forma as metáforas escolhidas foram propriamente escolhidas, adaptadas e desenvolvidas de acordo com os requisitos levantados o que ocasionou resultados positivos na compreensão e resolução das tarefas. Na literatura, Gonçalves e Ferreira (2013) relatou que o uso adequado de metáforas produz um impacto positivo e significativo sobre a usabilidade de interfaces de usuário. O uso consistente de metáforas em interfaces de usuário pode melhorar a interface e proporcionar ganhos substanciais na produtividade do usuário.

De acordo com os resultados da análise qualitativa na seção 4.2.5 e dos problemas de usabilidade foi observado a necessidade de fazer uma melhor análise e compreensão de como a estrutura metafórica influenciaria no processamento de visualização de informação, pois essa influência está correlacionada com a eficiência do utilizador.

4.4.5 Dificuldades de orientação com a técnica 3D

Apesar dos resultados mostraram uma maior preferência dos participantes para o uso da técnica 3D (seção 4.2.5), foi observado que os participantes ficaram desorientados espacialmente pela falta de habilidade na navegação de interfaces com técnicas 3D ou eles, na maioria das vezes, preferiam interagir apenas com o *menu* 2D para visualizar os dados no gráfico 3D. Este fenômeno pode ter ocorrido pelo fato de os participantes estarem acostumados em utilizar sistemas com interfaces com técnicas 2D, e também porque os participantes não tiveram um treinamento previamente adequado para o uso da técnica 3D.

Como descrito nos problemas de usabilidade na seção 4.2.4, a desorientação também pode ter sido causada pela falta de conhecimento prévio em gráficos e geometria espacial dos participantes. Todas essas dificuldade encontradas de orientação na navegação em um ambiente 3D pelos participantes significa que o protótipo necessita de um redesign com a inclusão de novas funcionalidade de manipulação em ambientes 3D e também na realização de um treinamento de utilização, manipulação e navegação de um ambiente 3D

Carga mental requerida na execução de tarefas

A preferência dos participantes no uso do protótipo 3D teve relação direta com os resultados da avaliação da carga mental. Os resultados da avaliação indicam que a realização das tarefas com técnicas 2D induz níveis mais elevados de carga mental de trabalho do que em 3D tanto com os profissionais de Telessaúde como com os profissionais de Educação. Se

correlacionarmos os resultados da carga de trabalho mental com os resultados da média geral da efetividade para a realização da tarefa, também podemos inferir que níveis mais baixos de carga mental de trabalho resultará em igual ou maior efetividade.

Em contrapartida a demanda física na manipulação do mouse foi maior com a técnica 3D do que com a técnica 2D porque os participantes tinham mais habilidades em utilizar o mouse em ambientes com técnicas 2D. Esse Fenômeno pode ser atribuído a várias causas que devem ser abordadas em estudos futuros. Uma das razões foi que os participantes usaram mais o mouse durante a tarefa de interagir com a técnica 3D, e os participantes também tiveram a clicar em ícones para alternar entre as várias funções do mouse, tais como interações básicas, *zoom*, rotacionar e fazer um recorte de um objeto numa representação 3D. Outra explicação poderia ser que os participantes estavam menos familiarizados com 3D e, portanto, interagiram com a técnica 3D por longos períodos de tempo, ou que os participantes estavam mais envolvidos com as novidades das representações 3D. Esse resultados também estão em conformidade com outras pesquisas na literatura (SEBRECHTS, 1999; KAHANI; BEADLE, 2000; HASBROUCK, 2012; FOO *et. al.*, 2013; DADI *et. al.*, 2014).

A análise dos resultados também mostrou que a utilização de uma técnica 3D para análise de indicadores teve um grande impacto na tomada de decisão do que com uma técnica 2D porque a técnica 3D exigiu uma menor carga mente de trabalho, uma maior efetividade, eficiência e satisfação na realização da tarefa. Além disso as características espaciais dinâmicas na visualização 3D também desempenharam um papel significativo. Por outro lado, foi relatado pelos os participantes que o protótipo também teria grande impacto quando utilizado com outros grupos de gestores e em outras áreas de pesquisa relacionadas com visualização de dados com mais de duas variáveis.

Além disso, aplicações de visualização de informações com técnicas 3D para dados multivariados são difíceis de aprender e usar, são predominantemente genéricas, não são desenvolvidas para um usuário específico e são projetados de acordo com os princípios de engenharia e tecnologia. Assim, os resultados de nosso estudo podem suprir estas lacunas através do *framework* proposto.

4.4.6 Efetividade na execução de tarefas

Em relação à quantidade de acertos nas tarefas pode-se observar que a técnica 3D obteve em ambas as amostras uma maior media geral em quantidade de acertos que a técnica

2D. Esse resultado comprova que o protótipo desenvolvido com a técnica 3D foi mais eficiente que a técnica 2D. Somente a tarefa 2 obteve uma maior quantidade de acertos da técnica 2D que a técnica 3D para amostra de telessaúde e para a amostra de Educação a distância os resultados foram equivalentes para a mesma tarefa. Este fenômeno ocorreu pelo fato de que a tarefa 2 tinha uma maior quantidade de variáveis a serem analisadas e também exigia uma maior quantidade de passos na sua resolução com a técnica 3D que com a técnica 2D.

Alguns estudos (BLADH, T.; CARR, D.; SCHOLL, J., 2004; ITO; MISUE; TANAKA, 2009; SEIPEL; CARVALHO, 2012) relatam que a quantidade de acertos na realização de uma tarefa em um ambiente 3D é maior que num ambiente 2D, mas Hasbrouck (2012) comprovou em seu experimento que a quantidade de acertos foi igual em ambas as técnicas. Conforme os resultados do nosso estudo e da literatura, os resultados são diferentes e podem variar dependendo de vários fatores, como por exemplo, da complexidade dos dados que estão sendo visualizados, do contexto do experimento, da experiência e do perfil dos usuários.

4.4.7 Tempos de execução de tarefas

A média dos tempos de execução das tarefas com a técnica 3D foi igual ou maior tempo em relação à técnica 2D não havendo diferença significativa, apesar dela ser relatada como mais fácil e exigir menos carga mental na execução das tarefas do que a técnica 2D. Esses resultados estão de acordo o estudo realizado por Seipel e Carvalho (2012). Um dos motivos desse fato foi que os participantes tendem a ficar mais tempo explorando o ambiente 3D antes de confirmar suas decisões como previsto por Foo (2012). Por outro lado outros estudos (BLADH, T.; CARR, D.; SCHOLL, J., 2004; WIEGMANN, 2006; ITO; MISUE; TANAKA, 2009) relatam o fato de que o tempo de execução de uma tarefa num ambiente com uma técnica 3D é menor que com uma técnica 2D.

Nós observarmos com este estudo que, apesar de o tempo em realizar a tarefa com a técnica 3D ter sido maior com o grupo de Telessaúde e consequentemente a efetividade da técnica 3D ter sido menor com esse mesmo grupo, a carga mental utilizada na realização das tarefas com a técnica 3D foi menor que com a 2D, significando que os profissionais de Telessaúde tiveram mais cuidado e precisão em realizar as tarefas com a técnica 3D já que não tinha tanto conhecimento com a tecnologia 3D do que com a técnica 2D. O tempo de execução das tarefas foi igual ou maior no protótipo 3D proposto do que no sistema 2D devido

a uma maior quantidade de recursos (WIMP + zoom + rotacionar + filtrar + selecionar + mover, entre outros) que o protótipo 3D continha o que ocasionou um maior tempo na finalização da tarefa.

4.4.8 Eficiência na execução de tarefas

Na literatura foi encontrado um estudo que comprova que a técnica 3D é mais eficiente que a técnica 2D (BLADH, T.; CARR, D.; SCHOLL, J., 2004). Por outro lado Hasbrouck (2012) concluiu que a técnica 2D é mais eficiente que a técnica 3D. Esses diferentes resultados da avaliação encontrados tanto no nosso estudo quanto na literatura mostraram que a eficiência de uma técnica nova (3D) para duas amostras diferentes pode variar de acordo com perfil do usuário em cada situação e o grau de conhecimento na utilização da técnica avaliada (SEIPEL; CARVALHO, 2012; DADI *et. al.*, 2014).

Observou-se que o protótipo com técnica 3D teve em média maior eficiência apenas para o grupo de profissionais de Educação a distância. Para o grupo de Telessaúde, a média geral mostrou que a eficiência foi maior com a técnica 2D do que com a técnica 3D. Este fato ocorreu em virtude que 54% dos profissionais que participaram da avaliação eram da área de informática e tinha uma maior familiaridade com o uso do computador e manuseio do mouse.

Capítulo 5

5 Conclusão e Trabalhos Futuros.

Nesta tese, apresentamos uma nova tendência no desenvolvimento de interfaces para visualização da informação usando técnicas de 3D em um sistema baseado na web interativo para apoiar a tomada de decisão em qualquer domínio do conhecimento. Através do protótipo desenvolvido e da análise de usabilidade, eficiência, efetividade e carga mental de trabalho foi possível responder a questão de pesquisa desta tese. O protótipo foi uma ferramenta interativa para visualizar e monitorar os indicadores de serviço na rede social através da integração dos princípios e característica das técnicas 3D de visualização, da abordagem centrada no usuário e da teoria cognitiva.

Embora o protótipo tenha apresentado várias limitações em relação ao desempenho e a alguns erros de processamento, os resultados deste estudo corroboraram a validação da hipótese principal desta tese concluindo que o protótipo 3D desenvolvido contribuiu para melhorar a resolução de problemas através da identificação de padrões, percepção visual e compreensão reduzindo o tempo de pesquisa e a carga cognitiva do que um ambiente com técnicas 2D. Este fato fez com que o objetivo principal e os secundários inicialmente definidos fossem alcançados. No entanto, a análise de usabilidade também mostra que há problemas de interface de visualização que serão ajustadas de modo a que o ambiente venha se tornar mais fácil de usar.

Com base neste trabalho, destacamos seis desafios práticos que a técnica 3D de visualização de informação pode ajudar a solucionar:

a) *Framework* para técnicas 3D: O *framework* proposto teve um impacto inovador porque integrou os princípios de técnicas 3D de visualização, abordagem centrada no usuário e teoria cognitiva que podem apoiar a projetar sistemas de gerenciamento de monitoramento de indicadores na web. Ele também irá ajudar no desenvolvimento de interfaces com técnicas 3D com o objetivo de apoiar os usuários na análise de dados multivariados interativamente em

sua forma gráfica num processo de apoio à decisão;

b) variáveis multidimensionais (mais que 2 dimensões): A visualização com técnica 3D apresenta uma visão geral integrada de todo o espaço funcional em todas as dimensões, simultaneamente. O protótipo com a técnica 3D tem uma grande vantagem em relação à escalabilidade das variáveis onde é possível visualizar dados com até seis variáveis num só gráfico, sendo 4 variáveis quantitativas (eixos X, Y, Z e tamanho dos objetos) e 2 qualitativas (cor e forma do objeto);

c) conhecimento adquirido: Através dos sistemas de visualização de informação com técnica 3D os usuários começam a adquirir mais conhecimento a partir da identificação de padrões, conexões e anomalias em dados de negócios ou científicos numa descoberta de conhecimento interativo;

d) caracterização e compreensão de similaridade: A visualização passou a ser fundamental para ajudar os usuários a resolver casos difíceis ou lidar com situações complicadas. O refinamento na visualização de dados estruturados e não estruturados vai orientar os usuários em busca de evidências para apoiar a tomada de decisão;

e) visualizando a relação comparativa de causa e efeito: As visualizações vão ajudar a caracterizar as diferenças e facilitar estudos comparativos entre variáveis multidimensionais para permitir aos pesquisadores e gestores avaliar quais os melhores métodos e tratamentos para solucionar o problema. Em particular, o objetivo de descobrir fenômenos de causa e efeito pode ser auxiliado através da combinação de análise estatística adequada e matrizes visuais compactas resumindo as relações entre os vários eventos de uma situação;

f) oclusão de objetos: Para resolver os problemas de oclusão de objetos, a visualização de informação através de técnicas 3D pode proporcionar mecanismos básicos de manipulação geométrica, como rotação, mudança de escala e translação dos objetos, para a minimização deste problema. Além disso, podem ser utilizadas características de realismo, tais como sombra e transparência, tornando a localização dos objetos mais clara ao usuário.

A complexidade da visualização dos dados com mais de duas variáveis pode ser reduzida pela técnica 3D, quer através do aumento do espaço disponível e de parâmetros visuais para codificar os dados, quer através de novos paradigmas de interação e navegação só possíveis em 3D. As principais dificuldades e limitações encontradas durante o estudo foram:

a) O grau de conhecimento dos participantes em manipular um mouse nem ambiente 3D;

- b) encontrar um colaborador que contribuísse no desenvolvimento do protótipo com a técnica 3D;
- c) Falta de documentação adequada para o desenvolvimento da técnica 3D com a *Application Programming Interface (API) JavaScript 3D library* chamada *three.js*¹²

As contribuições desta pesquisa de doutorado são:

- a) concepção de um *framework* original para visualização de informação usando técnicas 3D, metáforas e a incorporação de características de mundos virtuais, onde aplicáveis;
- b) um protótipo para visualização de informação com técnica 3D para análise e monitoramento de indicadores de qualidade de serviços;
- c) avaliação de usabilidade, efetividade, eficiência do protótipo baseado em critérios ergonômicos;
- d) avaliação da carga mental requerida pelo usuário na realização da tarefa em interfaces 3D;
- e) finalmente, acredita-se que esse estudo vai contribuir para o avanço do estado da arte na área de visualização de informação.

As contribuições oferecidas neste trabalho foram decorrentes da validação das hipóteses definidas e vão além da comunidade acadêmica, pois foi possível realizar as análises em cenários reais no contexto da Telessaúde e EAD, criando uma oportunidade de discussão e reflexão sobre o uso de técnicas 3D de visualização da informação para a análise e monitoramento de indicadores de qualidade de serviços associados com estas áreas.

5.1 Trabalhos Futuros

Durante o processo de avaliação de usabilidade da técnica 3D foram encontradas algumas dificuldades de manipulação do mouse e navegação no ambiente 3D, principalmente em relação à orientação dos objetos junto aos eixos X, Y e Z do gráfico. Essas dificuldades podem ser resolvidas com algumas sugestões e modificações na forma como os usuários manipulam e interagem com os dados no ambiente 3D.

A primeira sugestão seria aprimorar o protótipo desenvolvendo uma segunda versão. Para isto, primeiramente seria feita a análise dos problemas encontrados na análise de usabilidade e das sugestões relatadas pelos participantes. Após essa análise, é necessário fazer

¹² <http://threejs.org/>

o *redesign* do protótipo para reaplicar a análise de usabilidade. Com a segunda versão do protótipo pretende-se transformar o protótipo em software livre para que a comunidade possa interagir sugerindo novas funcionalidades e aprimorar seu código.

A segunda sugestão seria a introdução de alguma tecnologia de sensores ópticos que permitem a manipulação de objetos 3D através de reconhecimento de gestos, pois permitiria que o usuário manipulasse o gráfico livremente sem a necessidade da utilização do mouse, simulando melhor a interação espacial. Assim, a orientação poderia ser melhor compreendida e praticada.

Esta nova tecnologia tem como objetivo atingir as interações entre o homem e o computador dinamicamente sem a necessidade de contato físico com a base do dispositivo de entrada (ZAMAN, 2012) e também pode capturar de forma natural e intuitiva as interações gestuais (movimento do corpo) que o mouse e teclado geralmente não podem. A vantagem desta nova tecnologia é especialmente o aumento da precisão e robustez de sensores 3D (KHOSHELHAM; ELBERINK, 2012; WEICHERT *et al.*, 2013).

Um exemplo dessa nova tecnologia é o *Kinect* e o *leap motion* que reduzem as barreiras à interação, aumentam as possibilidades de comunicação entre o usuário e o computador sem que o usuário use ou adquira um objeto de rastreamento e apresentam características aprimoradas para criação de aplicações de visualização com um alto nível de interatividade dando aos usuários uma experiência realística através dos movimentos do corpo.

Referências

- ACKOFF, R. L. **From data to wisdom**. Journal of Applies Systems Analysis , 16, 3-9. 1989.
- ADELMAN, H. S.; TAYLOR, L. **Student Engagement and Disengagement: An Intrinsic Motivation Perspective and a Mental Health Concern**. In J. Waller (ed) Mental Health Promotion in Schools. Sharjah, UAE: Benthem Science. 2012.
- ARCHAMBAULT, D.; PURCHASE, H.C. **The Mental Map and Memorability in Dynamic Graphs**. In IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis), PP. 89-96, 2012.
- ASIMOV, D. **Grand tour**. SIAM Journal of Scientific and Statistical Computing , 6 (1), pp. 128-143. 1985.
- AVERBUKH, V. *et al.* **Interface and visualization metaphors**. 12th international conference on Human-computer interaction: interaction platforms and techniques (HCI'07). pp. 13-22. Heidelberg: Springer-Verlag. 2007.
- AZZAG, H.; LEBBAH, M.; ARFAOUI, A. **Map-TreeMaps : A new approach for hierarchical and topological clustering**. Ninth International Conference on Machine Learning and Applications. 2010.
- BACH, C.; SCAPIN, D.L. **Recommandations ergonomiques pour l'inspection d'environnements virtuels**. (Rapport de contrat). Projet EUREKA-COMEDIA, INRIA Rocquencourt, France, 2003.
- BAKHARIA, A.; DAWSON, S.; SNAPP: **A. bird's-eye view of temporal participant interaction**. Learning Analytics and Knowledge Conference, 2011.
- BARR, P.; NOBLE, J.; BIDDLE, R. **A Semiotic model of user-interface metaphor**. Chapter in Virtual Distributed and Flexible Organisations. Edited proceedings of the Sixth International Workshop on Organisations Semiotics in Reading, UK. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces**. INRIA, Rocquencourt, France, 1993.
- BEAUDOUIN-LAFON, M. **Instrumental interaction: an interaction model for designing post-WIMP user interfaces**, Proc. CHI, pp. 446–453, 2000.
- BECKER, R. A.; CLEVELAND, W. S. **Brushing scatterplots**. Technometrics , 29 (2), pp. 127-142. 1987
- BELARBI, D.; CUGGIA, M.; LE BEUX, P. **Évaluation de l'utilisabilité de la fonction prescription connectée d'un dossier patient informatisé**. in: Systèmes d'information pour l'amélioration de la qualité en santé Informatique et Santé, Volume 1, pp 309-320, 2012.

BELLINGER, G.; CASTRO, D.; MILLS, A. **Data, information, knowledge, and wisdom.** In *Systems Thinking: A journey in the realm of systems*. Disponível em: [HTTP://WWW.SYSTEMS-THINKING.ORG/DIKW/DIKW.HTM](http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm). Acesso em: Abril 2012. 2004.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. **The semantic web.** *Scientific American*, pp. 34-43. 2001.

BERTIN, J. **Sémiologie Graphique: Les diagrammes, les réseaux, les cartes.** Gauthier-Villars, Ed. Paris. 1967.

BISTRÖM, J.; COGLIATI, A.; ROUHIAINEN, K. **Post-WIMP User Interface Model for 3D Web Applications.** Research Seminar on Digital Media. Telecommunications Software and Multimedia Laboratory. Helsinki University of Technology. 2005.

BIUK-AGHAI, R. P. **Visualizing Co-Authorship Networks in Online Wikipedia.** In *Communications and Information Technologies, ISCIT '06. International Symposium on*, Bangkok pp. 737-742, 2006.

BOCHICCHIO, M. A.; LONGO, A.; VAIRA, L. **Extending Web Applications with 3D Features.** In *proceeding of 13th IEEE International Symposium on Web Systems Evolution (WSE)*, pp. 93-96, 2011.

BORCHERS, J. **A Pattern approach to interaction design.** *Proceedings of the International Conference on Designing Interactive Systems*, ACM Press, p. 369–378. 2000.

BOWEN, J.; REEVES, S. **Formal models for informal GUI designs.** *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 183, 57-72. 2007.

BOWMAN, D. *et al.* **An introduction to 3D user interface design.** *Presence*, 10, pp. 96-108. 2001.

BRTKA,E.; BRTKA,V.; OGNJENOVIC, V.; BERKOVIC, I. **The data visualization technique in e-learning system.** In *IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2012)*, 2012.

BRUCE, V.; GREEN, P.; GEORGESON, M. **Visual perception: physiology, psychology and ecology** (4 ed.). Psychology Press Ltd. 2003.

BUTLER, D. M. *et al.* **Visualization reference models.** *Proceedings of the 4th conference on Visualization '93 (VIS '93)*. pp. 337-342. Washington: Dan Bergeron and Greg Nielson. 1993.

CAMPO, M.; OROSCO, R.; TEYSEYRE, A. **Automatic abstraction mangement in information visualization systems.** *Proceedings of the International Information Visualization Conference* , pp. 50-56. 1997.

CAMPOS FILHO, A. S. *et al.* **Brandmap: an Information Visualization Platform for Brand Association in Blogosphere.** In: *16th International Conference Information Visualisation*, 2012, Montpellier. IV2012: SMA - Social Media Analytics, 2012.

CAMPOS FILHO, A. S. ; GOMES, A. S. ; NOVAES, M. A. **Technique for 3D Information Visualization for Health Information Systems.** In: AMIA 2012 Annual Symposium, 2012, Chicago. AMIA 2012 Annual Symposium, 2012.

_____. **3D Visualization Environment for Analysis of Telehealth Indicators in Public Health.** In: 14th World Congress on Medical and Health Informatics - MedInfo, 2013, Copenhagen. Proceedings of the 14th World Congress on Medical and Health Informatics, v. 192. p. 1152-1152. 2013.

CARD, S. K.; ROBERTSON, G. G.; YORK, W. **The webbook and the web forager: an information workspace for the world wide web.** Human Factors in Computer Systems, CHI '96 Conf. Proc. , pp. 111-117. 1996.

CARD, S.; MACKINLAY, J.; SHNEIDERMAN, B. **Readings in information visualization: using vision to think.** (M. Kaufmann, Ed.) Kaufmann-Elsevier. 1999.

CARRIÈRE, J.; KAZMAN, R. **Interacting with huge hierarchies: beyond cone trees.** Proc. IEEE Conf. Information Visualization '95, pp. 74-81. 1995.

CARROLL, J. M. **Review of mental model.** In Contemporary Psychology (9 ed., p. 694). Dedre Gentner and Albert Stevens. 1985.

CASERTA, P.; ZENDRA, O.; BODENES, D. **3D Hierarchical Edge Bundles to Visualize Relations in a Software City Metaphor.** In Proc. of the 6th Int. Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis. IEEE Computer Society, 2011.

CHAKRABORTY, G. **Analysis of Unstructured Data: Applications of Text Analytics and Sentiment Mining.** In SAS Global Forum. Washington, DC. pp. 1288-2014. 2014.

CHEN, C. **Information Visualization: beyond the horizon.** (2 ed.). Springer. 2006.

CHEN, M. *et al.* **Data, Information, and Knowledge in Visualization.** *IEEE Comput. Graph. Appl.* 29, 1, 12-19. 2009.

CHEN, M.; JANICKE, H. **An Information-theoretic Framework for Visualization.** In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, VOL. 16, NO. 6, 2010.

CHI, E. **A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model.** In: Information Visualization, 2000. InfoVis 2000. IEEE Symposium on Volume , Issue , 2000 Page(s):69 - 75. 2000.

CHI, E.; RIEDL, J. **An operator interaction framework for visualization spreadsheets.** Proceedings of IEEE Information Visualization Symposium. 1998.

CHIPMAN, S. F.; SCHRAAGEN, J. M.; SHALIN, V. L. **Introduction to cognitive task analysis.** In Cognitive Task Analysis, edited by J. M Schraagen, S. F. Chipman, and V. J. Shute, pp. 3–23. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2000.

CLARK, R.E. *et al.* **Cognitive task analysis**. In: Spector , J.M., Merrill, M.D., VanMerriënboer, J.J.G. Driscoll, M.P. (Eds.) *Handbook of research of Educational Communications and Technology* (3rd Ed.) Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2008.

COHEN, A. **On the graphical display of the significant components in a two-way contingency table**. *Communications in Statistics – Theory and Methods* , pp. 1025-1041. 1980.

COLLINS, C.; CARPENDALE, S. **Vislink: Revealing relationships amongst visualizations**. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6):1192–1199, 2007.

CORRAL-SOTO, E. R. *et al.* **3DTown: The Automatic Urban Awareness Project**. In *proceedings of Ninth Conference on Computer and Robot Vision*. 2012.

COSQUER, M.; LEGAY, N.; HAUTIN, R. **Design and evaluation: complementary viewpoints in ergonomists’ practice**. In: *20th International Symposium on Human Factors in Telecommunication* Sophia-Antipolis, France, 20-23 March, 2006.

COTTAM, J.A. ; LUMSDAINE, A.; WEAVER, C. **Watch this: A taxonomy for dynamic data visualization**. In *Proceedings of IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, pp. 193-202, 2012.

CRAIK, K. J. W. **The Nature of Explanation**. Cambridge University Press. 1943.

CVEK, U. *et al.* **Multidimensional Visualization Techniques for Microarray Data**. *15th International Conference on Information Visualisation*. 2011.

DADI, G. *et al.* **Cognitive Workload Demands Using 2D and 3D Spatial Engineering Information Formats**. In *Journal of Construction Engineering Management*, disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000827>, 2014.

DINKLA, K.; WESTENBERG, M. A. **Network Visualization in Cell Biology**. *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 17, Issue:4, pp. 365-382, 2012.

DRAPER, G. M.; LIVNAT, L. Y.; RIESENFELD, R. F. **A Survey of Radial Methods for Information Visualization**. In *proceedings of IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15 , No. 5, pp. 759 – 776, 2009.

DENG, F.; DIGIUSEPPE, N.; JONES, J.A. **Constellation Visualization: Augmenting Program Dependence with Dynamic Information**. In *6th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis (VISSOFT)*, pp. 1-8, 2011.

DENGLER, E.; COWAN, W. **Human perception of laid-out graphs**. *Proc. Symp. Graph Drawing GD '98* , pp. 441-444. 1998.

DIEHL, S. **Software visualization: visualizing the structure, behaviour, and evolution of software** (1 ed.). Springer. 2007.

EADES, P. **Drawing free trees**. Bulletin of the Inst. for Combinatorics and Its Applications , pp. 10-36, 1992.

EDEN, S. *et al.* **A two-step process for graphically summarizing spatial temporal multivariate data in two dimensions**. Computational Statistics , pp. 587-601. 2010.

EKBIA R. E. **Models and metaphors. annotation from lectures**. Acessivel em: http://ils.indiana.edu/faculty/hekbia/teaching/s516/spring11/notes/s516_lecture02_models.pdf Acessado em novembro, 2013.

ELMQVIST, N.; ASSARSSON, U.; TSIGAS, P. **Employing dynamic transparency for 3D occlusion management: Design issues and evaluation**, in Proceedings of INTERACT, ser. LNCS, C. Baranauskas, P. Palanque, J. Abascal, and S. D. J. Barbosa, Eds., vol. 4662. Springer, pp. 532–545. 2007.

EVANS, A. *et al.*. **Thinking about 3D-design Constraints for Effective 3D Interfaces**. In proceedings of Conference on Visual Media Production (CVMP), pp. 131-140, 2010.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Reconhecimento de objetos**. In Manual de Psicologia Cognitiva (5 Ed ed., pp. 74-113). Porto Alegre: ArtMed. 2007.

FALCONE, M.; SHARIF, B. **OnionUML: An Eclipse Plug-In for Visualizing UML Class Diagrams in Onion Graph Notation**. In IEEE 21st International Conference on Program Comprehension (ICPC), pp. 233-235, 2013.

FIENBERG, S. **Perspective Canada as a social report**. Department of Applied Statistics, University of Minnesota. 1975.

FIGUEIRAS, A. **A Typology for Data Visualization on the Web**. In Proceedings of the 17th International Conference on Information Visualisation (IV '13). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 351-358., 2013.

FISHER-GEWIRTZMAN, D. **3D models as a platform for urban analysis and studies on human perception of space**. In: T. Leduc, G. Moreau & R. Billen (Eds.), Usage, Usability, and Utility of 3D City Models, pp. 1-16. 2012.

FISHKELLER, M.; FRIEDMAN, J.; TUKEY, J. **PRIM-9: An interactive multidimensional data display and analysis system**. Stanford Linear Accelerator Center, Stanford. 1974.

FITZNER, D.; HOBBS, V.; POWERS, D. **A unified taxonomic framework for information visualization**. In Proceedings of the Asia-Pacific symposium on Information visualisation - Volume 24 (APVis '03), Tim Pattison and Bruce Thomas (Eds.), Vol. 24. Australian Computer Society, Inc., Darlinghurst, Australia, Australia, 57-66. 2003.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed. 2009.

FOO, J.L. *et al.* **Evaluating mental workload of two-dimensional and three-dimensional visualization for anatomical structure localization.** Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Volume 23, Number 1, pp. 65-70. 2013.

FRIENDLY, M. **Milestones in the history of data visualization: a case study in statistical historiography.** In C. Weihs, & W. Gaul (Eds.), Classification — the Ubiquitous Challenge (pp. 34-52). Springer Berlin Heidelberg. 2005.

_____. **Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization.** Engineering. 2009.

FRIENDLY, M.; DENIS, D. **The early origins and development of the scatterplot.** Journal of the History of the Behavioral Sciences , 41 (2), 103-130. 2005.

FRIENDLY, M.; KWAN, E. **Effect ordering for data displays.** Computational Statistics and Data Analysis , 43 (4), pp. 509-539. 2003.

FUNKHOUSER, H. **Historical development of the graphical representation of statistical data.** Osiris , 3 (1), 269-405. 1937.

FURNAS, G. W. **Generalized fisheye views.** Proceedings of the ACM CHI 86 Human Factors in Computing Systems Conference, Boston. pp. 16-23. 1986.

GALLAGHER, K.; HATCH, A.; MUNRO, M. **A Framework for software architecture visualization assessment.** Proc. Third Workshop Visualizing Software for Understanding and Analysis (VISOFT '05) , pp. 76-81. 2005.

GIBSON, J. J. **The Ecological Approach to Visual Perception.** Lawrence Erlbaum Associates Inc, US, 1986.

GONÇALVES, A. C; FERREIRA, D. J. **Metáforas Aplicadas ao Design de Interação no Ensino de IHC (Interação Humano-Computador).** XVIII Conferência Internacional sobre Informática na Educação. Porto Alegre, Brasil. 2013.

GRACANIN, D.; MATKOVIC, K.; ELTOWEISSY, M. **Software visualization.** Innovations in Systems and Software Eng. (ISSE) , 1 (2), pp. 221-230. 2005.

GREENBERG, S. *et al.* **Proxemic interactions: the new ubicomp?** interactions 18, 1, 42-50. 2011.

GROTH, D. P.; STREEFKERK, K. **Provenance and annotation for visual exploration systems.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 12(6):1500–1510, 2006.

HABER, R. B.; MCNABB, D. A. **Visualization idioms: a conceptual model for scientific visualization systems.** In Visualization in Scientific Computing, IEEE Computer Society Press, pages 74–93. 1990.

HANCOCK, M. **3D Tabletop Display Interaction**. PhD thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, July, 2010.

HARTIGAN, J.; KLEINER, B. **Mosaics for contingency tables**. (W. Eddy, Ed.) Computer Science and Statistics: Proceedings of the 13th Symposium on the Interface , pp. 268-273. 1981.

HASBROUCK, J. T. **Examining benefits of two-dimensional and three-dimensional displays**. Master of Arts in Psychology. San Diego State University, 2012.

HELIANG, Z.; KATO, C.; TSUCHIDA, K. **Application of 3D Spiral Graph Visualization to the Psychological Data**. In International Journal of Electronics and Computer Science Engineering (IJECS) Volume 2, Number 4 , 2013.

HERMAN, I.; MARSHALL, M. S.; MELANÇON, G. **An object-oriented design for graph visualization**. Technical Report, CWI (Centre for Mathematics and Computer Science), Amsterdam. 2000.

HESSE, B.W. *et al.* **Social participation in health 2.0**. IEEE Computer 43, 11, 45-52, 2010.

HUA, J. *et al.* **Force-directed Graph Visualization with Pre-positioning - Improving Convergence Time and Quality of Layout**. In 16th International Conference on Information Visualisation, pp. 124-129, 2012.

HUANG, T. *et al.* **Assembling old tricks for new tasks: A neural model of instructional learning and control**. Journal of Cognitive Neuroscience, 25, pp. 843-851. 2013.

HULLMAN, J.; ADAR, E.; SHAH, P. **Benefitting InfoVis with Visual Difficulties**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 213-2222, 2011.

HUTCHINS, E. **Cognition in the wild**. The Journal of the Royal Anthropological Institute , 19, 381. 1995.

INSELBERG, A. **The plane with parallel coordinates**. The Visual Computer. 1985.

IRANI, P.; WARE, C. **Diagramming information structures using 3d perceptual primitives**. ACM Trans. Computer-Human Interaction , 10 (1), pp. 1-19. 2003.

ISMAIL, A. S.; HASNI, R.; SUBRAMANIAN, K. G. **Some applications of eulerian graphs**. International Journal of Mathematical Science Education , pp. 1-10. 2009.

ISO. **ISO 9241-10: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Part 10 - Dialogue principles**. Genève. 2013.

ITO, T.; MISUE, K.; TANAKA, J. **Sphere Anchored Map: A Visualization Technique for Bipartite Graphs in 3D**. Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques. Lecture Notes in Computer Science Volume 5611, pp 811-820. 2009.

JACOB, R. J. K. *et al.* **Reality-Based interaction: a framework for post-WIMP interfaces**, Proc. CHI, pp. 201–210, 2008.

JANKUN-KELLY, T.; MA, K.-L.; GERTZ, M. **A model and framework for visualization exploration**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 13(6):357–369, 2007.

JEONG, C. S.; PANG, A. **Reconfigurable disc trees for visualizing large hierarchical information space**. In Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS '98) (pp. 19-25). Washington: IEEE Computer Society. 1998.

JOHNSON, B.; SCHNEIDERMAN, B. **Tree-Maps: a space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures**. Proc. IEEE Visualization '91, pp. 275-282. 1991.

JUAN, A. *et al.* **Developing an information system for monitoring student's activity in online collaborative learning**. International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 270-275, 2008.

KANTARDZIC, M. **Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms**, the textbook, IEEE Press & John Wiley, (First edition, November 2002; Second Edition, August 2011).

KARWOWSKI, W. **Handbook of standards and guidelines in ergonomics and human factors**. Boca Raton, FL: CRC Press. 2005.

KEIM, D. A. **Information visualization and visual data mining**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, p. 8. 2002.

KENSKI, V. M. **Aprendizagem mediada pela tecnologia**. Revista Diálogo. Educacional, Curitiba, v. 4, n. 10, p. 47-56, 2003.

KEHRER, J.; HAUSER, H. **Visualization and Visual Analysis of Multifaceted Scientific Data: A Survey**. IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, VOL. 19, NO. 3, 2013.

KERMARREC, A.-M.; MOIN, A. **FlexGD: A flexible force-directed model for graph drawing**. In proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis), pp. 217-224, 2013.

KHOSHELHAM, K.; ELBERINK, S.O. **Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications**. Sensors. 12, 1437–1454. 2012.

KILLEN, R. **Effective teaching strategies. Lessons from research and practice**. 6th Edition, Sydney: Social Science Press. 2012.

KLERKX, J.; VERBERT, K.; DUVAL, E. **Enhancing learning with visualization techniques**. Handbook of Research on Educational Communications and Technology, pp 791-807. 2014.

KREPPNER, k. **Sobre a Maneira de Produzir Dados no Estudo da Interação Social.** Psicologia: teoria e pesquisa, 17(2), 97-107. 2001.

KRUEGER, M. **A history of videoplace by myron krueger.** Disponível em: <http://jtnimoy.net/itp/newmediahistory/videoplace/>. Acessado: dezembro de 2013.

LAM, H. *et al.* **Empirical Studies in Information Visualization: Seven Scenarios.** In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18(9):1520–1536, September 2012.

LAMPING, J.; RAO, R. **The hyperbolic browser: a focus+context technique for visualizing large hierarchies.** Journal of Visual Languages and Computing , 7, pp. 33-55. 1996.

LI, W.; HE, Y. **Application on Integration Technology of Visualized Hierarchical Information.** In Proceedings of International Conference on Internet Computing & Information Services (ICICIS), pp. 8-10, 2011.

LIMA, D. M.; RODRIGUES Jr, J. F.; TRAINA, A. J. M. **Graph-based Relational Data Visualization.** In Proceedings of 17th International Conference on Information Visualisation, pp. 210-219, 2013.

LIU, Y.; HAO, L. **Information graphics as a visual language.** Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design (CAIDCD), pp. 757 - 761. 2001.

LIU, Z.; STASKO, J. T. **Mental Models, Visual Reasoning and Interaction in Information Visualization: A Top-down Perspective.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 16, no. 6, 2010.

LTIFI, H. *et al.* **Using perspective wall to visualize medical data in the Intensive Care Unit.** in IEEE 12th International Conference on Data Mining Workshops. 2012.

MAGUIRE, M. **Methods to support human-centred design.** In: International Journal of Human-Computer Studies, v. 55, n. 4, p. 587-634. 2001.

MALCZEWSKI, J. **A GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature.** International Journal of Geo-graphical Information Science, Vol. 20, No. 7, pp. 703-726, 2006.

MALETIC, J. I.; MARCUS, A.; COLLARD, M. **A task oriented view of software visualization.** Proc. First Workshop Visualizing Software for Understanding and Analysis (VISOFT '02), pp. 32-40. 2002.

MAO J-Y. *et al.* **The state of user-centered design practice.** Com ACM. 48(3):105-109. 2005.

MARRIOTT, K. *et al.* **Memorability of Visual Features in Network Diagrams.** In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 18, no. 12, 2012.

MAZZA, R.; DIMITROVA, V. **Visualising student tracking data to support instructors in web-based distance education**, 13th International World Wide Web Conference - Alternate Educational Track, 154-161. 2004.

MCGRATH, M.; BLYTHE, J.; KRACKHARDT, D. **The effect of spatial arrangement on judgments and errors in interpreting graphs**. Social Networks , 19, pp. 223-242. 1997.

MÉTRAL C. *et al.* **A repository of information visualization techniques to support the design of 3D virtual city models**. In Proc. 8th 3D GeoInfo Conference, Istanbul. 2013.

MERRIAM, S.B. **Qualitative research and case study applications in education**. San Francisco: Jossey -Bass Publishers. 1998.

MILLER, L.D. *et al.*, **Statistics and analysis tools for a computer supported collaborative learning system**. Proceedings of the 37th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 2007.

MINARD, C. **Des tableaux graphiques et des cartes figuratives**. École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris. 1861.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Telessaúde para Atenção Básica / Atenção Primária à Saúde**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. – Brasília : Ministério da Saúde, 2012.

MIYAZAKI, R.; ITOH, T. **An occlusion-reduced 3d hierarchical data visualization technique**. 13th International Conference Information Visualisation (pp. 38-43). E. Banissi *et al.*, eds. 2009.

MOORE, D. **The basic practice of statistics**. 3. ed. [S.l.]: Palgrave Macmillan, 2003.

MUNZNER, T. **Drawing large graphs with h3viewer and site manager**. Proc. Symp. Graph Drawing GD '98, pp. 384-393. 1998.

MYNEN, L. S.; NARAYANAN, N. H. **An Intelligent Tutoring and Interactive Simulation Environment for Physics Learning**. Intelligent Tutoring Systems. Lecture Notes in Computer Science Volume 7315, pp 250-255, Proceedings of 11th International Conference, ITS 2012.

NESBITT, K. V. **Getting to more abstract places using the metro map metaphor**. Eighth International Conference on Information Visualisation (IV'04), pp. 488-493. 2004.

NIELSEN, J. **Noncommand user interfaces**, CACM, vol. 36, no. 4, pp. 83–99, 1993.

_____. **Usability engineering**. Boston: Academic Press Professional; 1993.

_____. **Why You Only Need to Test with 5 Users**. Nielsen Norman Group, Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/> Acessado em: Março de 2014. 2000.

_____. **Usability 101: Introduction to Usability**. Nielsen Norman Group. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/> Acessado: Fevereiro de 2014. 2012.

NOE, A. **Action in Perception**. The MIT Press, 2005.

OKOSHI, T. **Three-dimensional imaging techniques**. Academic Press. 1976.

OLSEN, L. *et al.* **Sketch-based modeling: a survey**, Computers & Graphics, vol. 33, pp. 85–103, 2009.

O'REILLY, R.; MUNAKATA, Y. **Computational explorations in cognitive neuroscience: understanding the mind by simulating the brain**. Mit Press. 2000.

PAAS, F.; RENKEL, A.; SWELLER, J. **Cognitive load theory: instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture**. Instructional Science 32 , pp. 1-8. 2004.

PALSKY, G. **Des chiffres et des cartes: naissance et développement de la cartographie quantitative française au XIXe siècle**. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (CTHS), Paris. 1996.

PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation and research methods** (3 ed.). Thousand Oaks: Sage Publications. 2002.

PEROZZO, L. **Della rappresentazione grafica di una collettività di individui nella successione del tempo**. Annali di Statistica. 12, pp. 1-16. London: British Library. 1880.

PIMENTA W.; SANTOS L.P. **A comprehensive taxonomy for three-dimensional displays**. In: Winter School of Computer Graphics - WSCG 2012. Winter School of Computer Graphics – WSCG. 2012.

PINEO, D.; WARE, C. **Data Visualization Optimization via Computational Modeling of Perception**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 18, No. 2, 2012.

PINKER, S. **Como a mente funciona**. Cia. das Letras. 2002.

PLAYFAIR, W. **Statistical breviary; shewing, on a principle entirely new, the resources of every state and kingdom in europe** (3 ed.). (H. Wainer, & I. Spence, Eds.) London: Cambridge University Press. 2005.

POCO, J. *et al.* **A Framework for Exploring Multidimensional Data with 3D Projections**. Computer Graphics Forum, 30(3):1111–1120, 2011.

ROGERS, Y.; PREECE, J.; SHARP, H.; **Interaction Design: Beyond Human-computer Interaction**. 3rd. edition, Blackwell Publishing. 2011.

PRIESTLEY, J. **A new chart of history**. (T. Jeffreys, Ed.) London: British Library. 1753.

PURCHASE, H. C.; PILCHER, C.; PLIMMER, B. **Graph Drawing Aesthetics—Created by Users, Not Algorithms**. In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 18, no. 1, pp. 81-92. 2012.

PSAROMILIGKOS, Y. *et al.* **Mining log data for the analysis of learners' behaviour in web-based learning management systems**, Oper. Res. J., vol. 11, pp.1, 2009.

PYLYSHYN, Z. W. **Perception, Representation and the World: The FINST that binds**. In D. Dedrick & L. M. Trick (Eds.), Computation, Cognition and Pylyshyn. Cambridge, MA: MIT Press. 2009.

REINGOLD, E. M.; TILFORD, J. S. **Tidier drawing of trees**. IEEE Trans. Software Eng. , 7, pp. 223-228. 1981.

REKIMOTO, J.; GREEN, M. **The information cube: using transparency in 3d information visualization**. Proc. Third Ann. Workshop Information Technologies & Systems (WITS '93), pp. 125-132. 1993.

RIEDWYL, H.; SCHUPBACH, M. **Siebdiagramme: graphische darstellung von kontingenztafeln**. Institute for Mathematical Statistics, University of Bern, Bern. 1983.

ROBERTSON, G. G.; MACKINLAY, J. D.; CARD, S. K. **Cone trees: animated 3d visualizations of hierarchical information**. Conf. Proc. Human Factors in Computing Systems CHI '91 , pp. 189-194. 1991.

ROPINSKI, T.; PREIM, B. **Taxonomy and Usage Guidelines for Glyph-Based Medical Visualization**. Proc. Simulation and Visualization (SimVis), pp. 121-138, 2008.

RUSU, A. *et al.* **Using the Gestalt Principle of Closure to Alleviate the Edge Crossing Problem in Graph Drawings**. In 15th International Conference on Information Visualisation, pp. 488-493, 2012.

SANFTMANN, H. **3D Visualization of Multivariate Data**. Tese de doutorado. Universidade Tecnica de Stuttgart. Alemanha. Disponível em: [HTTP://ELIB.UNI-STUTTART.DE/OPUS/VOLLTEXTE/2012/7807/PDF/DISS_MAIN_FINAL.PDF](http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2012/7807/pdf/DISS_MAIN_FINAL.PDF). 2012.

SANTOS, S. R. **A framework for the visualization of multidimensional and multivariate data**. PhD thesis, University of Leeds, Reino Unido, Dinsponivel em: <http://etheses.whiterose.ac.uk/1316/> . 2004.

SANTOS, R. C.; GASSENFERTH, W.; MACHADO, M. A. **Systems usability evaluation metrics review**. Global Business and Technology Association Conference - GBATA. Madri. 2008.

SANTOS, R.G.; RAMIRES, P. **Análise da carga mental dos profissionais na área de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial - Um estudo de caso**. Congresso internacional de Adm. 24 a 28 Setembro, 2012.

SCAIFE, M. ROGERS, Y. 1996. **External cognition: how do graphical representations work?**. Int. J. Hum.-Comput. Stud. 45, 185-213. 1996.

SEIPEL, S.; CARVALHO, L. **Solving combined geospatial tasks using 2D and 3D bar charts**. In 16th International Conference on Information Visualisation. pp. 157-163, 2012.

SCHWARTZMAN, Y.; BORNING, A. **The indicator browser: a web-based interface for visualizing urbansim simulation results**. Proceedings of 40th IEEE Hawaii International, Conference on System Sciences, IEEE Computer Science Society, 2007.

SHARAFI, Z. A. **Systematic Analysis of Software Architecture Visualization Techniques**. In proceeding of: The 19th IEEE International Conference on Program Comprehension, ICPC 2011, Kingston, ON, Canada, June 22-24, 2011.

SHILOACH, Y. **Arrangements of planar graphs on the planar lattices**. Tese de Doutorado, Weizmann Inst. of Science, Rehovot. 1976.

SHNEIDERMAN, B. **The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations**. In Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages, pages 336-343, Washington. IEEE Computer Society Press, 1996.

_____. **Designing the user interface. strategies for effective human-computer interaction**. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, pp.523-524. 1998.

_____. **Why not make interfaces better than 3D reality?** IEEE Computer Graphics and Applications, 23, pp. 12-15. 2003.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C.; HESSE, B. W. **Improving health and healthcare with interactive visualization methods**. HCIL Technical Report. IEEE Computer Special Issue on Challenges in Information Visualization. 2013

SHORTLIFFE, E. H.; CIMINO, J. J. **Biomedical informatics: computer applications in healthcare and biomedicine**. 4th Edition, Springer, New York. 2013.

SHOTTON, J. *et al.* **Real-time human pose recognition in parts from single depth images**. In CVPR, 2011.

SINDRE, G.; GULLA, B.; JOKSTAD, H. G. **Onion graphs: aesthetics and layout**. Proc. IEEE/CS Symp. Visual Languages (VL '93), pp. 87-291. 1993.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9th Edition. Pearson Addison Wesley. 2011.

SOUZA, F. N.; COSTA, A. P. C; MOREIRA A. **WebQDA – software de apoio à análise qualitativa**. In Atas da 5ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação (CISTI2010), pp. 293-298. 2010.

STRASNICK, S. L.; TESLER, J. D. **Method and apparatus for displaying data within a three-dimensional information landscape**. US Patent 5,528,735, Silicon Graphics, Inc.,

June 1996.

SWELLER, J. **Cognitive load theory**. In Educational Psychologist , 1 ed., Vol. 38, p. 80. 2003.

TAKAHASHI, S.; FUJISHIRO, I.; OKADA, M. **Applying Manifold Learning to Plotting Approximate Contour Trees**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 15(6):1185–1192, 2009.

TAN, P.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Cluster analysis: basic concepts and algorithms**. In Introduction to Data Mining (pp. 487-568). Addison Wesley. 2006.

TEYSEYRE, A. R.; CAMPO, M. R. **An overview of 3D software visualization**. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 15, pp. 87-105. 2009.

TRAVASSOS, G. H.; GUROV, D.; AMARAL, G. **Introdução a engenharia de software experimental**. Relatório Técnico, COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Rio de Janeiro. 2002.

TRIESMAN, A. **Preattentive processing in vision**. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 31:156–177, 1985.

TSENG, C.; CHAO, P.; LAI, K.R. **An Operational Concept Map to Faciliate Physics Problem Solving**. In IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies, Beijing, 2013.

TUFTE, E. **Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative**. (9 ed.). Cheshire: Graphics Press. 1997.

_____. **The visual display of quantitative information**. (2 ed.). Cheshire: Graphics Press. 2001.

TUKEY, J. **The future of data analysis**. Annals of Mathematical Statistics, pp. 1-67. 1967.

TUKEY, P.; TUKEY, J. **Graphical display of data sets in 3 or more dimensions**. Interpreting Multivariate Data. 1981.

TURKAY, C. *et al.* **Representative Factor Generation for the Interactive Visual Analysis of High-Dimensional Data**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, VOL. 18, NO. 12, 2012.

VIEGAS, F. *et al.* **ManyEyes: a site for visualization at internet scale**. IEEE Trans Vis Comput Graph, 13, pp. 1121-8. 2007.

VITIELLO, P. F.; KALAWSKY, R. S. **Visual Analytics: A Sensemaking Framework for Systems Thinking in Systems Engineering**. In IEEE International Systems Conference (SysCon), 1-6. 2012.

WALLER, J. *et al.* **SynchroVis: 3D Visualization of Monitoring Traces in the City Metaphor for Analyzing Concurrency.** In: 1st IEEE International Working Conference on Software Visualization (VISOFT 2013), 2013.

WARE, C. **Information visualization: perception for design.** 3 ed. (M. Kaufmann, Ed.) São Francisco: Elsevier. 2012.

WARE, C.; FRANCK, G. **Reevaluation of stereo and motion cues for visualising information in three dimensions.** In proceeding of the 2nd symposium on Applied perception in graphics and visualization (APGV '05), Pp 51-58, New York, 2005.

WEGMAN, E. **Hyperdimensional data analysis using parallel coordinates.** Journal of the American Statistical Association , pp. 664-675. 1990.

WEICHERT, F. *et al.* **Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller.** Sensors (Basel). 2013.

WEISBERG, R. **Prolegonema to theories of insight in problem solving: A Taxonomy of Problems.** In R. Sternberg, & J. E. Davidson, The Nature of insight, Cambridge, pp. 157-196. 1995.

WEN, J. **Exploiting orthogonality in three dimensional graphics for visualizing abstract data.** Technical Report CS-95-20, Brown University, Dept. of Computer Science. 1995.

WIEGMANN, D.A. *et al.* **Human factors aspects of three-dimensional visualization of power system information.** In IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.

WILKINSON, L. **The grammar of graphics.** Vol. 2. J. Chambers, D. Hand, & W. Härdle, Eds. Springer. 2005.

WILLS, G. J. **Visualizing hierarchies encyclopedia of database systems.** In Encyclopedia of Database Systems. pp. 3425-3432. 2009.

WOBBROCK, J.O.; MORRIS, M.R.; WILSON, A.D. **User-defined gestures for surface computing,** Proc. CHI, pp. 1083–1092, 2009.

WOHLIN, C. *et al.* **Experimentation in software engineering: an introduction.** 1 ed., Vol. VI. Springer. 1999.

WRIGHT, S. **The relative importance of heredity and environment in determining the piebald pattern of guinea-pigs.** Proceedings of the National Academy of Sciences , pp. 320-332. 1920.

WU. J. **WIVF: Web Information Visualization Framework based on Information Architecture 2.0.** In Proceedings of the 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Volume:1, 2010.

YOUNG, F. **ViSta: the visual statistics system.** Thurstone Psychometric Laboratory. 1994.

ZAMAN, K. R. **Hand gesture recognition: a literature review**. International Journal of Artificial Intelligence & Applications. 161-174. Print. 2012.

ZORRILLA, M.; ÁLVAREZ, E. MATEP: **Monitoring and analysis tool for e-learning platforms**, Proceedings of the 2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, p.611-613, 2008.

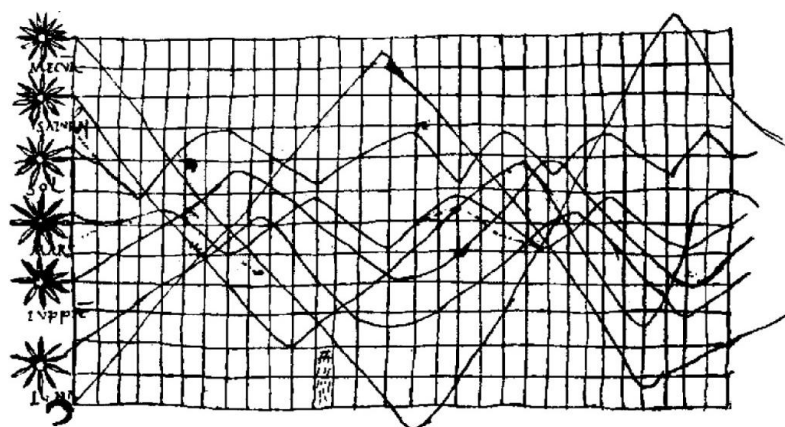
APÊNDICES

APÊNDICE A – História da Visualização

A visualização de dados teve origem nos séculos XVI e XVII através dos diagramas geométricos, tabelas com posições das estrelas e os mapas. No século XVI, com a expansão marítima da Europa, foram desenvolvidas novas técnicas e instrumentos e com elas, novas e mais precisas formas de apresentação visual de conhecimento foram criadas (FRIENDLY, 2005).

O gráfico de séries de tempo (Figura 34) é um tipo de visualização que altera a posição dos sete grandes corpos celestes no espaço e no tempo foram as primeiras representações gráficas de informação quantitativa encontrados no século X (FUNKHOUSER, 1937) e desenvolvido por (TUFTE, 2001). De acordo com a Figura 34, o eixo vertical representa a inclinação das órbitas planetárias e o eixo horizontal mostra o tempo, dividido em 30 intervalos.

Figura 34 - Movimento planetário.



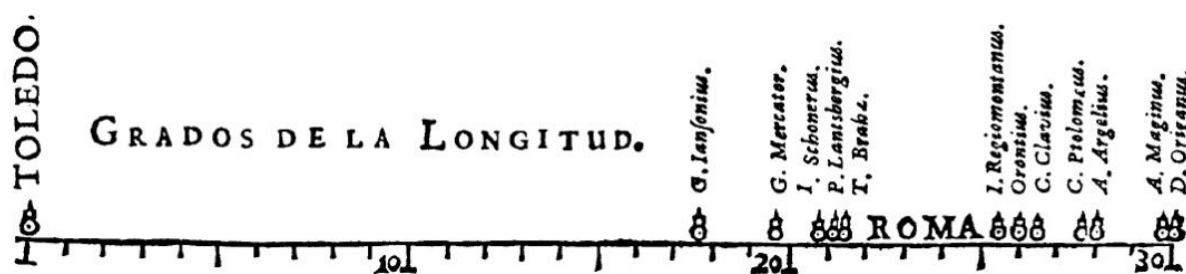
Fonte: Funkhouser (1937).

Em 1436, Johannes Gutenberg inventou a imprensa que foi um marco no uso de representações temáticas para expor a notícia de todos os dias. Em 1500, o italiano Leonardo da Vinci transpõe seus conhecimentos em ilustrações detalhadas para retrair a anatomia, máquinas e movimentos (FRIENDLY, 2009).

No período 1600-1699 foram desenvolvidas as primeiras formas de visualização de medição e teorias. Os principais problemas do século XVI estavam se referindo a medição física do tempo, distância e espaço para a astronomia, navegação e expansão territorial. Durante este século, o campo das estimativas, as probabilidades, a demografia e todo o domínio da estatística foram avançados. No final do século XVII os elementos para iniciar um

"pensamento visual" estavam prontos. Em 1644 Michael Florent van Langren, um astrônomo Flamengo na corte da Espanha, criou um gráfico de linha que mostra todos os 12 pontos conhecidos da diferença de longitude entre Toledo e Roma (Figura 35). Acredita-se que este gráfico seja a primeira representação visual de dados estatísticos (TUFTE, 1997).

Figura 35 - Gráfico da distância de Toledo a Roma.



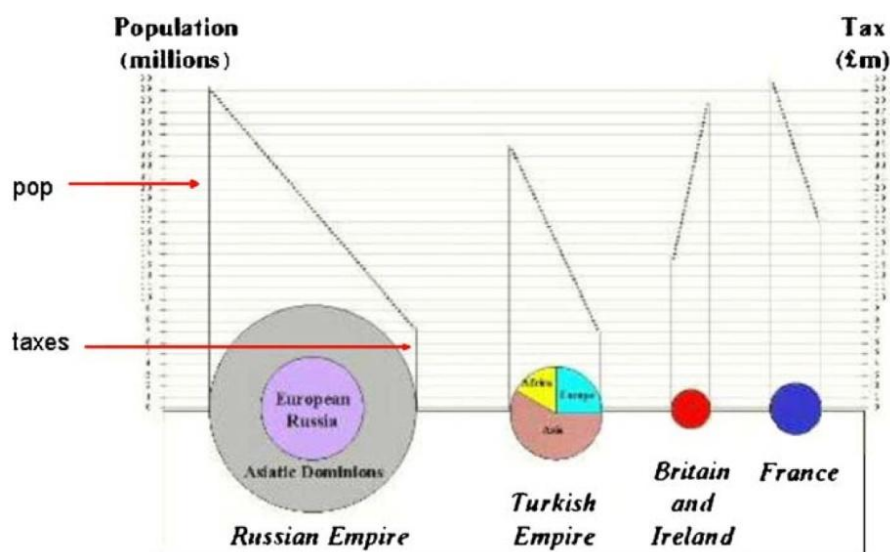
Fonte: Tufte (1997).

O gráfico de Van Langren também é considerado como um marco, pois é o mais antigo exemplo conhecido do princípio do efeito de ordenação para a visualização de dados (FRIENDLY; KWAN, 2003). Em 1686 Edmond Halley criou o primeiro conhecido mapa do tempo que mostra a prevalência dos ventos em um mapa geográfico.

De 1700-1799 foram criadas novas fórmulas gráficas. Cartógrafos começam a mostrar mais do que a posição geográfica. Até o final do século aparecem tentativas para mapear informações para a geologia, economia, demografia e saúde. Como o volume de dados tem aumentado, novas formas de visualização apareceram. As inovações tecnológicas, tais como cor, litografia e a imprensa abriram caminhos para uma nova forma de visualizar as informações.

Em 1765, o inglês Joseph Priestley (PRIESTLEY, 1753) criou um gráfico de linha do tempo onde ele mostra a expectativa de vida de 2.000 pessoas famosas a partir de 1200 até 1750. O tempo de vida foi representado por gráfico de barras. Em 1779 o alemão Johann Heinrich Lambert, criou a análise gráfica da variação sazonal da temperatura do solo (FRIENDLY, 2009). Em 1786, William Playfair foi considerado o inventor de formas gráficas mais utilizadas até hoje - primeiro o gráfico de barras e linha e, em seguida, os gráficos de pizza e círculos (PLAYFAIR, 2005). Figura 36 mostra uma comparação visual entre a população e os impostos em vários países através de uma combinação criativa de diferentes formas visuais: círculos, linhas e torta.

Figura 36 - Gráfico que compara a populações e impostos por vários países.

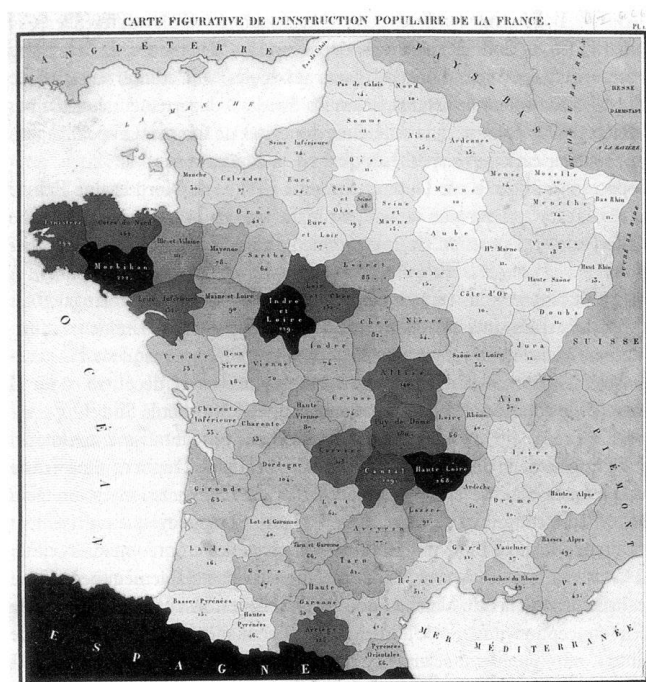


Fonte: Playfair (2005).

O período 1800-1849 foi o início da computação gráfica moderna, que desempenha um papel importante na visualização de informação. A infografia é uma forma valiosa para explorar o estilo de visualização de dados complexos ou informações com base em uma linguagem visual universal. Esses gráficos são usados onde a informação precisa ser explicada para fins mais dinâmicos, tais como mapas, jornalismo e manuais técnicos, educativos ou científicos. É um recurso muitas vezes complexo e pode ser usada uma combinação de fotografia, desenho e texto (LIU; HAO, 2011).

A primeira metade do século XIX foi responsável por uma explosão no crescimento de gráficos estatísticos e mapeamento temático, por meio de inovações obtidas no século anterior. Todas as formas de gráficos estatísticos conhecidos hoje foram desenvolvidas neste momento. Em cartografia, mapas simples foram transformados em atlas complexos com base em uma variedade de dados. Em 1819, Charles Dupin criou o cartograma, mapa sombras em preto e branco, mostrando a distribuição de analfabetismo na França (Figura 37). Este foi o primeiro mapa temático estatístico (PALSKY, 1996).

Figura 37 - Mapa do analfabetismo na França.

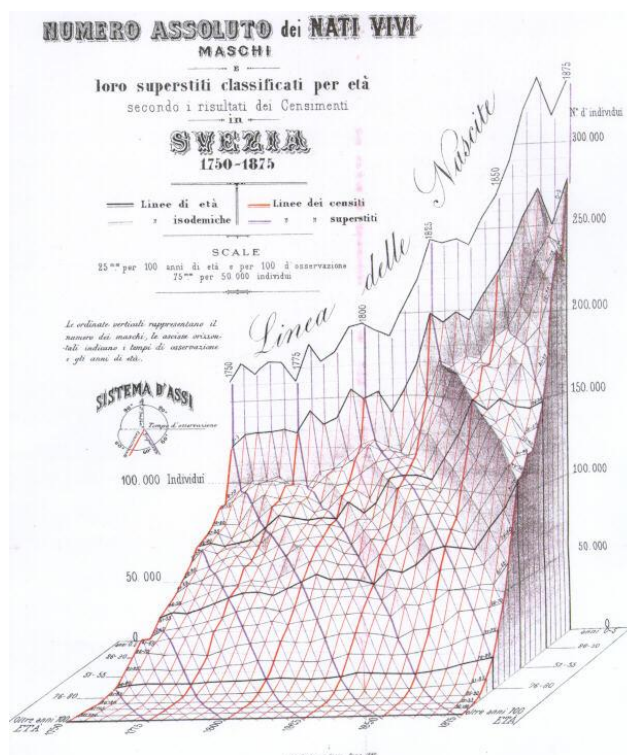


Fonte: Palsky (1996).

De 1850 a 1900 foi a idade de ouro da estatística. Em 1850 foram criadas todas as condições para um crescimento rápido para visualização da informação. Escritórios de análise se espalharam pela Europa com um crescimento importante da informação numérica para planejamento social, indústria, comércio e transportes. A teoria estatística iniciada por Gauss e Laplace foi fonte para a criação de um grande número de dados (FRIENDLY, 2009). Em 1869, o engenheiro francês Charles Minard ilustrou graficamente a desastrosa batalha de Napoleão contra a Rússia em 1812. O tamanho do percurso é proporcional ao número de sobreviventes soldados na campanha de guerra. No gráfico Minard ilustrou em cinza o caminho de ida e, preto, o retorno (MINARD, 1861).

Embora tenha havido algumas tentativas para visualizar mais de duas variáveis simultaneamente, como tinha acontecido anteriormente, foi surgindo uma nova série de gráficos que utilizando a terceira dimensão para representar estes dados. Em 1879, o italiano Luigi Perozzo (PEROZZO, 1880) criou um gráfico da população na superfície 3-D (o estereograma tridimensional) com base em dados do Censo da Suécia para o período de 1750-1875 (Figura 38).

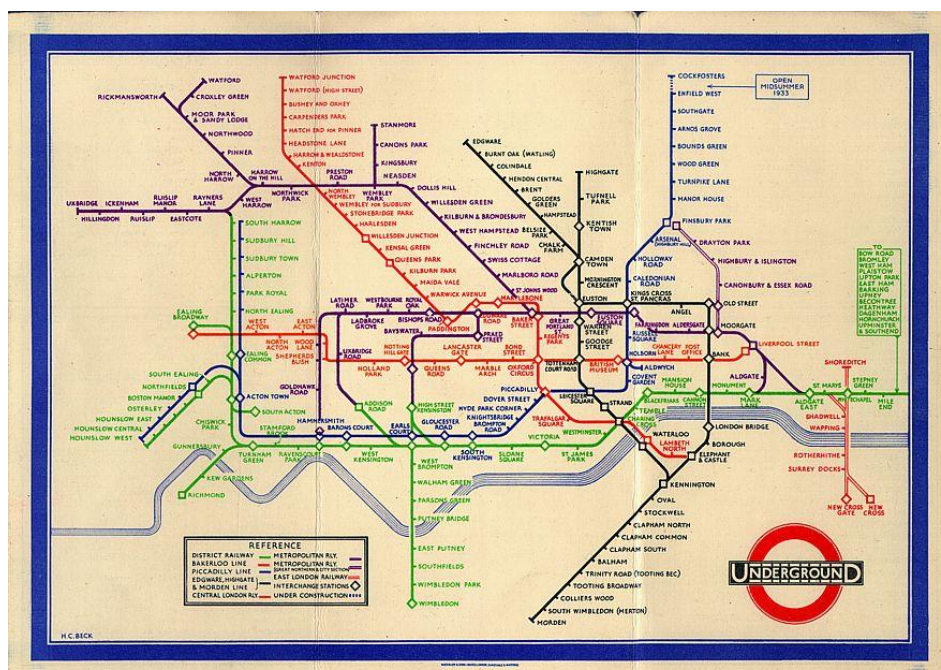
Figura 38 - Gráfico 3D da população da Suécia.



Fonte: Perozzo (1880).

Após este período, começou o período negro dos gráficos estatísticos de 1900 até 1949. Durante este período, ocorreram algumas inovações gráficas e o entusiasmo vivido no século passado foi suplantado pelo crescimento da quantificação e dos modelos formais. Durante este período, no entanto, tudo o que foi conseguido foi capaz de popularizá-lo no governo, comércio e ciência. A visualização gráfica é dedicada a explicar novas descobertas e teorias (FRIENDLY; DENIS, 2005). Em 1920, o americano Sewall Wright inventou o diagrama de setas para mostrar a relação entre variáveis, formando um sistema estrutural (WRIGHT, 1920). Em 1933, Harry Beck criou o mapa do metro de Londres (Figura 39), que se tornou um símbolo reconhecido mundialmente por sua simplicidade e clareza. O mapa foi baseado em um diagrama de circuito que usava o dia-a-dia (NESBITT, 2004).

Figura 39 - Mapa do metro de Londres.



Fonte: Nesbitt (2004).

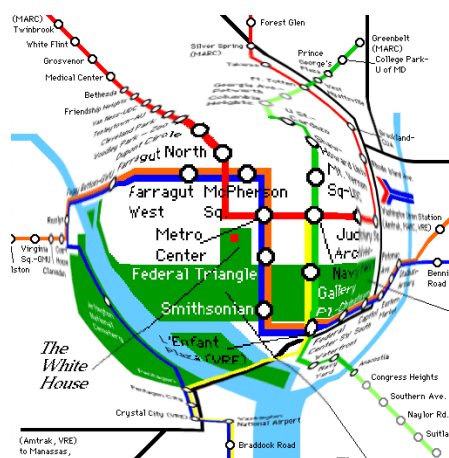
No período 1950-1974 foi o período do renascimento da visualização. A visualização de dados começou a emergir da letargia em 1960. Em 1965, nos Estados Unidos da América, John W. Tukey (TUKEY, 1967) reconhece a importância da análise gráfica dos dados e introduz novos padrões e inovações que contribuem para uma evolução no histograma da análise de contas com as novas propostas de comparação visual. Na França, em 1967, Jacques Bertin (BERTIN, 1967) publica sua semiologia gráfica que organiza a visão e a percepção de gráficos, resultando na teoria de símbolos e modelos gráficos. Finalmente, os computadores começaram a mostrar seu potencial na criação de novas técnicas de visualização de modo que, em 1957, o tratamento informatizado dos dados estatísticos surgiu com a criação do Fortran, a primeira linguagem de alto nível para a computação (FISHKELLER; FRIEDMAN; TUKEY, 1974).

De 1975 até hoje, o computador surgiu como uma nova fronteira para a visualização de dados. As inovações que ocorreram neste tempo eram em grande quantidade e em diversas áreas como em sistemas de desenvolvimento de software e de computadores, altamente interativo e fáceis de manusear foram a chave para tudo. Os novos paradigmas de manipulação de dados, a invenção de técnicas gráficas e métodos de visualização multidimensionais também deixaram sua marca. Entre as muitas inovações durante esse período pode ser observado:

- a) O desenvolvimento de sistemas de computador altamente interativos em estatística;
- b) A criação de novos paradigmas de manipulação direta para análise de dados visual (como *linking*, *brushing* (BECKER; CLEVELAND, 1987), seleção, foco, entre outros);
- c) A criação de novos métodos e técnicas para a visualização de dados de alta dimensão (o *Grand Tour* (ASIMOV, 1985), a matriz de dispersão (TUKEY, P.; TUKEY, J., 1981), coordenadas paralelas (INSELBERG, 1985; WEGMAN, 1990), *spread plots* (YOUNG, 1994);
- d) A criação inicial de algumas técnicas especializadas para a visualização de dados baseou-se na ideia de mostrar frequências por área (FRIENDLY, 2005), por exemplo: *four-fold display* (FIENBERG, 1975), *association plot* (COHEN, 1980), *mosaic plot* (HARTIGAN; KLEINER, 1981) e *sieve diagram* (RIEDWYL; SCHUPBACH, 1983);
- e) A invenção (ou reinvenção) de técnicas gráficas para dados discretos e categóricos;
- f) A aplicação de métodos de visualização para um corpo crescente de estruturas de dados;
- g) O aumento substancial de atenção para a visualização de dados cognitiva e perceptual.

Em 1981, George W. Furnas (FURNAS, 1986) inventou a técnica *fisheyes* (vista de olho de peixe) que permite que você se concentre em detalhes sobre uma área de interesse de um todo, deixando as imagens secundárias ao redor, mas com menos detalhes (Figura 40). Em 1999, Leland Wilkinson escreve "A Gramática de gráficos", uma espécie de dicionário sistemático fácil de entender com as regras gramaticais para dados e gráficos (WILKINSON, 2005).

Figura 40 - Técnica *fisheyes* do mapa de Washington D.C.



Fonte: Furnas (1986).

APÊNDICE B – Questionário de Usabilidade Ergonômica

Agora que você concluiu a realização do questionário de carga cognitiva, sua última atividade para este experimento é preencher o questionário de ergonomia de Bastien e Scapin. Por favor, preencha-o completamente, de acordo com sua opinião. Quando terminar, devolva o questionário para mim.

Por favor, marque a alternativa que mais reflete sua opinião sobre a utilização deste sistema de computador.

Questão	Nunca	Raramente	Às vezes	Várias vezes	Frequentemente
Os objetos no ambiente com as variáveis semelhantes ficam com suas características visuais (cor, forma, etc) devidamente agrupadas?					
O <i>menu</i> de interatividade é devidamente destacado, e facilmente identificado?					
Os diferentes elementos na interface (Objetos, botões, informações) são facilmente distinguíveis?					
Os títulos ou informações importantes estão destacados, seja com outra cor, fonte ou recursos de estilo?					
Um botão de ajuda está sempre presente/disponível?					
Após a consulta da ajuda, foi possível continuar a realização da tarefa desejada com sucesso?					
Os objetos se encontram posicionados uns em cima dos outros?					
A interface emprega características de realismo, tais como textura e transparência, de modo a facilitar a visualização?					
As informações e os objetos são legíveis?					
Os objetos selecionados ficam em destaque?					
São constantemente fornecidas ao usuário informações sobre o que está sendo processado, bem como onde ele se encontra?					
Todos os detalhes sobre as informações do objeto disponíveis são exibidos na tela?					
Os nomes das opções disponíveis no ambiente demonstram sucintamente a sua função?					
Existe alguma etapa desnecessária ou redundante no decorrer da interatividade da tarefa?					
O ambiente apresenta apenas informações relevantes à tarefa?					

APÊNDICE C – Questionário de Problemas Encontrados no Ambiente 3D

Após realizar as tarefas no ambiente 3D, de modo a conhecer o mesmo e tentar descobrir suas funcionalidades, você vai relatar no espaço disponibilizado os problemas de usabilidade encontrados e classifique-o de acordo com o grau de importância para o mesmo:

- Cosmético: problemas irrelevantes, reparar apenas se desejado;
- Simples: problemas comuns, mas que devem ser reparados se possível;
- Grave: problemas que devem ser reparados, pois podem afetar o desempenho do sistema;
- Urgente: problema deve ser reparado de qualquer maneira, pois pode impedir o funcionamento do sistema.

Problema 1:	Importância: ☐ Cosmético ☐ Simples ☐ Grave ☐ Urgente
Problema 2:	Importância: ☐ Cosmético ☐ Simples ☐ Grave ☐ Urgente
Problema 3:	Importância: ☐ Cosmético ☐ Simples ☐ Grave ☐ Urgente
Problema 4:	Importância: ☐ Cosmético ☐ Simples ☐ Grave ☐ Urgente
Problema 5:	Importância: ☐ Cosmético ☐ Simples ☐ Grave ☐ Urgente

APÊNDICE D - Introdução a Avaliação

Objetivo:

Apresentação do projeto, seus objetivos e o porquê da realização desse experimento e da escolha dos participantes presentes. Posteriormente, esclarecer a presença de observadores na prática do experimento, deixando claro que se trata de uma avaliação da usabilidade do sistema, e não dos usuários do sistema. Dessa maneira, os participantes têm total liberdade para opinar e expor suas impressões.

Roteiro:

Muito obrigado pela sua presença. Você está aqui hoje para me ajudar a avaliar o uso de uma aplicação de visualização da informação. Através da aplicação é possível fazer a visualização e monitoração dos indicadores de qualidade dos serviços de telessaúde. Eu vou pedir que você utilize a aplicação e depois você vai me dar a sua opinião sobre o que você achou dessa experiência. O nosso objetivo é colher a sua opinião em relação à usabilidade desta aplicação.

Eu sei que esta não é uma situação usual para você, mas, por favor, tente agir da maneira mais natural possível, como você agiria se estivesse sozinho.

Esse experimento será composto de cinco etapas. Inicialmente você vai responder um questionário demográfico e de experiências anteriores. Depois dessa primeira etapa você vai receber explicação sobre o funcionamento do software de visualização através de um exemplo prático. Na terceira etapa você receberá as tarefas para serem realizadas dentro do ambiente 3D. Depois da realização das tarefas você vai responder dois questionários de avaliação do comportamento do usuário mediante a utilização do software. Depois que os participantes finalizarem o preenchimento dos questionários, eles iram fazer o mesmo procedimento com a técnica 2D.

APÊNDICE E – Termo Consentimento Livre e Esclarecido



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o(a) Sr(a) para participar, como voluntário(a), da pesquisa “Ambiente Computacional de Visualização 3D para Análise de Indicadores de Monitoração” que está sob a responsabilidade do pesquisador Amadeu Sá de Campos Filho que tem residência na Rua Estevão de Sá 390 Apt. 302, Várzea, Recife, PE, CEP: 50740-270. O telefone de contato do pesquisador é (81) 91122587 e o email é amadeu.campos@nutes.ufpe.br. Participam também dessa pesquisa os pesquisadores: Prof. Dr. Alex Sandro Gomes e a Profa. Magdala Araújo Novaes. Telefone para contato: (81) 21263903 e está sob a orientação do prof. Dr. Alex Sandro Gomes.

Após serem esclarecido(a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar a fazer parte do estudo, rubrique as folhas e assine ao final do documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa o(a) Sr.(a) não será penalizado de forma alguma.

Informações sobre a pesquisa:

Desenho e objetivo da pesquisa:

Este estudo trata da análise de usabilidade de um software 3D. O objetivo deste projeto é investigar e demonstrar que o uso de técnicas de visualização 3D como suporte para visualização de indicadores de monitoramento, melhora a capacidade de usuários na percepção, assimilação, interpretação e tomada de decisão de um conjunto de dados com gestores de serviços de educação e telessaúde através do uso de um software computacional. A abordagem é uma aproximação indutiva, suportado por um processo misto onde terá uma parte analítica e uma estatística. Os resultados do presente estudo serão apresentados em formato de uma tese de doutorado acompanhado de eventuais tabelas e representações gráficas de função ilustrativa. Este estudo busca encontrar padrões nos dados coletados em diferentes casos para agrupar em categorias que possibilitem serem confrontadas com os fatores teóricos previamente levantados na literatura. E eventualmente, identificar novos fatores ainda não relatados.

Procedimentos para entrevista(s):

As técnicas utilizadas na coleta de dados serão de natureza observacional baseadas em métodos de análise ergométrica (análise do comportamento humano ao realizar uma tarefa) e de análise cognitiva da tarefa (análise do processo de aprendizado do usuário sobre a realização de uma tarefa). Os instrumentos usados na coleta de dados serão questionários estruturados e gravações de áudio e vídeo.

As gravações serão mantidas sob sigilo e em local seguro e apenas de acesso pelos pesquisadores.

Riscos diretos para o participante:

Os riscos diretos para o participante deste projeto será o desconforto e constrangimento que o participante poderá sentir em compartilhar informações pessoais ou confidenciais, ou em alguns tópicos que ele possa se sentir incômodo em falar.

Benefícios:

Os benefícios diretos para o participante seriam: 1- A capacidade de melhorar significativamente a identificação de padrões, a percepção visual e compreensão na busca de informações específicas; 2- Facilidade de uso e aprendizado; 3- A identificação do comportamento e da postura dos usuários diante do uso de recursos computacionais. 4- Aumento na satisfação e motivação dos usuários. 5- Redução dos tempos de busca da informação e tempo de realização de cada tarefa aumentando o desempenho e a produtividade do utilizador. 6- Menos stress na utilização já que o software terá sido construído em torno das necessidades dos usuários e usando sua terminologia e conceitos. Outro benefício



alcançado pela pesquisa é em relação à área de usabilidade de sistemas de informação, pois os resultados irão dar subsídios para o melhoramento de interfaces na visualização da informação em ambientes computacionais 3D.

Direito de confidencialidade:

Para efeito dessa pesquisa, consideremos importante identificar a fonte da entrevista, bem como da instituição a que se referem às informações obtidas, mas isto somente será feito mediante sua autorização por escrito.

Desembolsos e compensações:

Não há previsão de desembolsos pessoais para o participante/instituição em qualquer fase desta pesquisa. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação.

Compromisso do pesquisador:

As informações e materiais aqui coletados serão arquivados em pastas de forma a garantir acesso restrito aos pesquisadores envolvidos, e terá a guarda no mínimo por 5 anos sob a responsabilidade do pesquisador principal no endereço acima descrito.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos desse estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: Av. da Engenharia s/n – 1 andar, sala 104 – Cidade Universitária, Recife/PE, CEP: 50740-600, telefone: (81) 2126.8588, correio eletrônico: cepccs@ufpe.br.

Amadeu Sá de Campos Filho

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO PARTICIPANTE

Eu, _____, RG _____, CPF _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo "Ambiente Computacional de Visualização 3D para Análise de Indicadores de Monitoração" como voluntário(a). Fui devidamente informado(a) e esclarecido (a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes a minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isso leve a qualquer penalidade ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento.

Local e data: _____

Nome do participante: _____

Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimento sobre a pesquisa e aceite do voluntário em participar.

02 Testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores)

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE F - Questionário demográfico e de experiências anteriores

Nesse momento você vai ter uma pausa de 10 minutos. Durante esse tempo, por favor, preencha o questionário abaixo demográfico.

Nome:

Idade:

- ☐ até 19 anos
- ☐ de 20 a 25 anos
- ☐ de 26 a 30 anos
- ☐ de 31 a 35 anos
- ☐ de 36 a 40 anos
- ☐ mais de 41 anos

Sexo:

- ☐ Masculino
- ☐ Feminino

Nível de Educação:

- ☐ Até 1o grau incompleto
- ☐ 1º grau completo
- ☐ 2º grau incompleto
- ☐ 2º grau completo
- ☐ Superior incompleto
- ☐ Superior completo ou mais

Cargo:

Tempo de Trabalho no ultimo emprego:

- ☐ até 6 meses
- ☐ de 06 meses a 01 anos
- ☐ de 01 a 02 anos
- ☐ de 02 a 03 anos
- ☐ de 03 a 05 anos
- ☐ mais de 05 anos

O questionário de experiências anteriores vai conter as seguintes questões:

1. Antes dessa ocasião, você teve quaisquer outras experiências significativas onde as visualizações geradas pelo computador lhe ajudou na aprendizagem e/ou na tomada de decisão de alguma situação?

☐ Sim

☐ Não

(Se sim, por favor, descreva e responda as questões 2 e 3).

2. De que forma você acha que as informações geradas pela visualização através do uso de computador pode lhe ajudar na sua tomada de decisão?

3. Quais os aspectos da sua experiência de aprendizagem você acha que foram mais reforçadas com a utilização das técnicas de visualização de informação gerados pelo computador?

APÊNDICE G – Tarefas

Roteiro de execução das tarefas:

- As tarefas vão ser entregues aos participantes, uma de cada vez, em ordem crescente de dificuldade. As tarefas vão ser lidas e em seguida foi entregue ao participante uma cópia em papel que ele poderia consultar sempre que julgasse necessário.
- Vai ser perguntado ao participante se ele tinha alguma dúvida e logo após vai ser então dado início à execução da tarefa. Você vai executá-las normalmente, como você faria se estivesse realmente naquela situação. Toda tarefa vai ser iniciada na tela do computador e o participante vai avisar quando considerar a tarefa como concluída. Ao concluir a tarefa o participante deve escrever as informações encontradas.
- Toda a interação vai ser observada através do visor da câmera filmadora sem interferir na execução da tarefa. O avaliador vai anotar todas as observações feitas, bem como possíveis comentários e reações do participante. Ao final de cada tarefa vai ser realizada uma rápida entrevista com o participante para esclarecer possíveis dúvidas quanto aos incidentes de interação observados. Estaremos também filmando as imagens da tela do computador (ou da tela e teclado do telefone) e também gravaremos o áudio desta sessão.
- Você pode fazer perguntas, entretanto nem sempre eu poderei respondê-las, pois nosso objetivo é simular o uso deste sistema supondo que você está sozinho, por isso você trabalhará sozinho, sem o meu auxílio. Não se preocupe com resultados, não há respostas certas nem erradas, lembre-se que você está aqui para me ajudar a avaliar a usabilidade desta aplicação.

Agora que você já recebeu todas as informações sobre o experimento, gostaria que você utilizasse esse conhecimento para aplicá-lo. Você receberá três tarefas para realizar nesta parte do experimento, e você terá 15 minutos para realizar cada uma delas. Trabalhe com o melhor de seu conhecimento e compreensão.

Você tem alguma dúvida?

<se não> Por favor, comece as tarefas.

Cenário 2d:

Agora, imagine que você está no seu trabalho e você precisa analisar os indicadores de acompanhamento dos alunos utilizando o sistema de Visualização de Informação 2D. Você não tem experiência no uso de ambiente de visualização da informação 2D, mas você teve um treinamento anteriormente que explicou como utilizar esse ambiente. Agora você está apto a realizar a tarefa que lhe foi solicitada. Você tem alguma dúvida neste momento?

Background: Você é o coordenador de um curso de graduação a distância e seu trabalho é monitorar e avaliar o desempenho dos alunos ambiente virtual de aprendizagem. Todo mês, você tem que fazer um relatório com os indicadores de qualidade dos alunos. No relatório, de acordo com os indicadores realize as seguintes tarefas:

Tarefa 1: Identifique qual o(s) aluno(s) que tiveram maior nota, maior tempo de acesso no ambiente, maior numero de postagens no fórum e tem o maior numero de visualizações da aula.

Tarefa 2: Identifique que o(s) aluno(s) que tem menor número de mensagem enviadas, maior número postagens no fórum, maior nota e o maior tempo de acesso ao ambiente. Depois de identificado o aluno, identifique qual o turno e o curso que ele está cursando?

Tarefa 3: Identifique o(s) alunos(s) que teve uma nota entre 7 a 9, teve o tempo de acesso no ambiente menor que 50 minutos, teve o menor numero de postagem no fórum mas que seja do primeiro período.

Cenário 3D:

Agora, imagine que você está no seu trabalho e você precisa analisar os indicadores de acompanhamento dos alunos utilizando o sistema de Visualização de Informação 3D. Você não tem experiência no uso de ambiente de visualização da informação 3D, mas você teve um treinamento anteriormente que explicou como utilizar esse ambiente. Agora você está apto a realizar a tarefa que lhe foi solicitada. Você tem alguma dúvida neste momento?

Background: Você é o coordenador de um curso de graduação a distância e seu trabalho é monitorar e avaliar o desempenho dos alunos ambiente virtual de aprendizagem. Todo mês, você tem que fazer um relatório com os indicadores de qualidade dos alunos. No relatório, de acordo com os indicadores realize as seguintes tarefas:

Tarefa 1: Identifique qual o(s) aluno(s) que tiveram menor nota, menor tempo de acesso no ambiente, menor numero de postagens no fórum e tem o menor numero de visualizações da aula.

Tarefa 2: Identifique que o(s) aluno(s) que tem maior número de mensagem enviadas, classificou a aula com maior ranking, menor idade e o menor tempo de acesso ao ambiente. Depois de identificado o aluno, identifique qual o turno e o curso que ele está cursando?

Tarefa 3: Identifique o(s) alunos(s) que teve uma nota entre 5 a 7, teve o tempo de acesso no ambiente maior que 50 minutos, teve o maior numero de postagem no fórum mas que seja do segundo período.

APÊNDICE H – Valores da TGP para Amostra de Telessaúde com a Técnica 2D

1	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	5	0	0
DT	3	35	105	7
NP	2	25	50	3
NE	4	30	120	8
NF	1	20	20	1

Total 670
TGP = A/15 = 45

2	P	T	A	TGP
DM	3	80	240	16
DF	1	30	30	2
DT	2	90	180	12
NP	1	40	40	3
NE	3	65	195	13
NF	5	85	425	28

Total 1110
TGP = A/15 = 74

3	P	T	A	TGP
DM	4	40	160	11
DF	0	5	0	0
DT	1	30	30	2
NP	2	45	90	6
NE	3	20	60	4
NF	5	75	375	25

Total 715
TGP = A/15 = 48

4	P	T	A	TGP
DM	3	65	195	13
DF	3	30	90	6
DT	1	55	55	4
NP	4	5	20	1
NE	4	55	220	15
NF	0	55	0	0

Total 580
TGP = A/15 = 39

5	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	10	0	0
DT	1	50	50	3
NP	2	20	40	3
NE	4	60	240	16
NF	3	70	210	14

Total 915
TGP = A/15 = 61

6	P	T	A	TGP
DM	4	65	260	17
DF	1	30	30	2
DT	0	30	0	0
NP	2	45	90	6
NE	5	65	325	22
NF	3	75	225	15

Total 930
TGP = A/15 = 62

7	P	T	A	TGP
DM	4	30	120	8
DF	1	5	5	0
DT	2	5	10	1
NP	4	15	60	4
NE	4	15	60	4
NF	0	25	0	0

Total 255
TGP = A/15 = 17

8	P	T	A	TGP
DM	3	65	195	13
DF	1	40	40	3
DT	4	75	300	20
NP	2	40	80	5
NE	1	40	40	3
NF	4	80	320	21

Total 975
TGP = A/15 = 65

9	P	T	A	TGP
DM	1	65	65	4
DF	2	45	90	6
DT	4	25	100	7
NP	5	30	150	10
NE	3	55	165	11
NF	0	5	0	0

Total 570
TGP = A/15 = 38

10	P	T	A	TGP
DM	4	65	260	17
DF	0	25	0	0
DT	1	50	50	3
NP	4	15	60	4
NE	2	55	110	7
NF	4	60	240	16

Total 720
TGP = A/15 = 48

11	P	T	A	TGP
DM	4	30	120	8
DF	1	55	55	4
DT	2	55	110	7
NP	5	10	50	3
NE	3	30	90	6
NF	0	30	0	0

Total 425
TGP = A/15 = 28

12	P	T	A	TGP
DM	5	100	500	33
DF	0	30	0	0
DT	3	100	300	20
NP	1	50	50	3
NE	4	75	300	20
NF	2	85	170	11

Total 1320
TGP = A/15 = 88

13	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	25	0	0
DT	2	60	120	8
NP	4	30	120	8
NE	1	65	65	4
NF	3	65	195	13

Total 875
TGP = A/15 = 58

14	P	T	A	TGP
DM	2	75	150	10
DF	4	90	360	24
DT	2	50	100	7
NP	2	75	150	10
NE	5	80	400	27
NF	0	75	0	0

Total 1160
TGP = A/15 = 77

15	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	50	0	0
DT	2	75	150	10
NP	2	30	60	4
NE	4	75	300	20
NF	2	65	130	9

Total 1015
TGP = A/15 = 68

16	P	T	A	TGP
DM	5	50	250	17
DF	1	35	35	2
DT	3	55	165	11
NP	2	40	80	5
NE	1	75	75	5
NF	3	85	255	17

Total 860
TGP = A/15 = 57

17	P	T	A	TGP
DM	4	65	260	17
DF	0	50	0	0
DT	4	75	300	20
NP	4	35	140	9
NE	2	25	50	3
NF	1	25	25	2

Total 775
TGP = A/15 = 52

18	P	T	A	TGP
DM	3	80	240	16
DF	0	50	0	0
DT	3	75	225	15
NP	2	45	90	6
NE	3	65	195	13
NF	4	70	280	19

Total 1030
TGP = A/15 = 69

19	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	2	5	10	1
DT	4	75	300	20
NP	2	40	80	5
NE	1	70	70	5
NF	5	70	350	23

Total 1035
TGP = A/15 = 69

20	P	T	A	TGP
DM	4	60	240	16
DF	0	5	0	0
DT	1	20	20	1
NP	2	50	100	7
NE	4	75	300	20
NF	4	75	300	20

Total 960
TGP = A/15 = 64

21	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	0	50	0	0
DT	3	65	195	13
NP	5	5	25	2
NE	2	20	40	3
NF	1	10	10	1

Total 570
TGP = A/15 = 38

22	P	T	A	TGP
DM	5	100	500	33
DF	0	25	0	0
DT	2	100	200	13
NP	1	30	30	2
NE	3	80	240	16
NF	4	75	300	20

Total 1270
TGP = A/15 = 85

23	P	T	A	TGP
DM	3	50	150	10
DF	0	5	0	0
DT	2	75	150	10
NP	1	30	30	2
NE	4	50	200	13
NF	5	90	450	30

Total 980
TGP = A/15 = 65

24	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	25	0	0
DT	1	55	55	4
NP	3	75	225	15
NE	4	75	300	20
NF	2	75	150	10

Total 1105
TGP = A/15 = 74

25	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	1	10	10	1
DT	2	15	30	2
NP	1	50	50	3
NE	4	75	300	20
NF	2	80	160	11

Total 925
TGP = A/15 = 62

26	P	T	A	TGP
DM	2	85	170	11
DF	0	70	0	0
DT	3	55	165	11
NP	1	85	85	6
NE	4	70	280	19
NF	5	75	375	25

Total 1075
TGP = A/15 = 72

27	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	1	55	55	4
DT	2	70	140	9
NP	0	55	0	0
NE	3	75	225	15
NF	4	85	340	23

Total 1135
TGP = A/15 = 76

28	P	T	A	TGP
DM	5	85	425	28
DF	1	75	75	5
DT	3	70	210	14
NP	0	50	0	0
NE	3	70	210	14
NF	3	70	210	14

Total 1130
TGP = A/15 = 75

29	P	T	A	TGP
DM	4	80	320	21
DF	2	45	90	6
DT	3	60	180	12
NP	2	70	140	9
NE	1	80	80	5
NF	3	85	255	17

Total 1065
TGP = A/15 = 71

30	P	T	A	TGP
DM	5	90	450	30
DF	0	40	0	0
DT	1	50	50	3
NP	2	65	130	9
NE	4	75	300	20
NF	3	65	195	13

Total 1125
TGP = A/15 = 75

APÊNDICE I – Valores da TGP para Amostra de Telessaúde com a Técnica 3D

1	P	T	A	TGP
DM	4	60	240	16
DF	0	5	0	0
DT	2	15	30	2
NP	5	25	125	8
NE	3	25	75	5
NF	1	45	45	3

Total 515
TGP = A/15 = 34

2	P	T	A	TGP
DM	3	65	195	13
DF	0	25	0	0
DT	1	55	55	4
NP	4	5	20	1
NE	2	65	130	9
NF	5	50	250	17

Total 650
TGP = A/15 = 43

3	P	T	A	TGP
DM	4	15	60	4
DF	0	5	0	0
DT	3	25	75	5
NP	1	10	10	1
NE	3	5	15	1
NF	4	20	80	5

Total 240
TGP = A/15 = 16

4	P	T	A	TGP
DM	3	30	90	6
DF	1	50	50	3
DT	2	75	150	10
NP	5	5	25	2
NE	4	30	120	8
NF	0	25	0	0

Total 435
TGP = A/15 = 29

5	P	T	A	TGP
DM	5	70	350	23
DF	0	40	0	0
DT	3	65	195	13
NP	3	30	90	6
NE	1	60	60	4
NF	3	60	180	12

Total 875
TGP = A/15 = 58

6	P	T	A	TGP
DM	2	60	120	8
DF	0	65	0	0
DT	4	55	220	15
NP	2	25	50	3
NE	4	60	240	16
NF	3	75	225	15

Total 855
TGP = A/15 = 57

7	P	T	A	TGP
DM	2	25	50	3
DF	2	10	20	1
DT	3	50	150	10
NP	5	5	25	2
NE	3	10	30	2
NF	0	5	0	0

Total 275
TGP = A/15 = 18

8	P	T	A	TGP
DM	5	70	350	23
DF	1	45	45	3
DT	2	25	50	3
NP	4	20	80	5
NE	3	30	90	6
NF	0	30	0	0

Total 615
TGP = A/15 = 41

9	P	T	A	TGP
DM	0	45	0	0
DF	5	85	425	28
DT	1	5	5	0
NP	3	10	30	2
NE	3	65	195	13
NF	3	25	75	5

Total 730
TGP = A/15 = 49

10	P	T	A	TGP
DM	5	45	225	15
DF	0	60	0	0
DT	1	20	20	1
NP	4	10	40	3
NE	3	45	135	9
NF	2	15	30	2

Total 450
TGP = A/15 = 30

11	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	1	55	55	4
DT	2	55	110	7
NP	4	30	120	8
NE	5	30	150	10
NF	0	10	0	0

Total 660
TGP = A/15 = 44

12	P	T	A	TGP
DM	5	100	500	33
DF	1	50	50	3
DT	2	50	100	7
NP	3	5	15	1
NE	4	75	300	20
NF	0	75	0	0

Total 965
TGP = A/15 = 64

13	P	T	A	TGP
DM	4	70	280	19
DF	0	5	0	0
DT	3	55	165	11
NP	5	5	25	2
NE	2	40	80	5
NF	1	60	60	4

Total 610
TGP = A/15 = 41

14	P	T	A	TGP
DM	3	25	75	5
DF	4	75	300	20
DT	0	55	0	0
NP	1	20	20	1
NE	5	70	350	23
NF	2	55	110	7

Total 855
TGP = A/15 = 57

15	P	T	A	TGP
DM	4	60	240	16
DF	2	35	70	5
DT	2	80	160	11
NP	2	20	40	3
NE	4	50	200	13
NF	1	70	70	5

Total 780
TGP = A/15 = 52

16	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	1	20	20	1
DT	0	15	0	0
NP	4	20	80	5
NE	3	20	60	4
NF	2	40	80	5

Total 565
TGP = A/15 = 38

17	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	5	0	0
DT	4	75	300	20
NP	2	25	50	3
NE	3	25	75	5
NF	1	30	30	2

Total 830
 $TGP = A/15 = 55$

18	P	T	A	TGP
DM	3	50	150	10
DF	1	5	5	0
DT	4	25	100	7
NP	5	5	25	2
NE	2	25	50	3
NF	0	5	0	0

Total 330
 $TGP = A/15 = 22$

19	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	0	5	0	0
DT	2	75	150	10
NP	5	30	150	10
NE	1	75	75	5
NF	3	75	225	15

Total 900
 $TGP = A/15 = 60$

20	P	T	A	TGP
DM	5	50	250	17
DF	1	5	5	0
DT	2	25	50	3
NP	3	30	90	6
NE	3	25	75	5
NF	1	30	30	2

Total 500
 $TGP = A/15 = 33$

21	P	T	A	TGP
DM	4	65	260	17
DF	1	75	75	5
DT	2	65	130	9
NP	5	5	25	2
NE	3	30	90	6
NF	0	25	0	0

Total 580
 $TGP = A/15 = 39$

22	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	2	15	30	2
DT	2	55	110	7
NP	2	30	60	4
NE	5	50	250	17
NF	0	10	0	0

Total 750
 $TGP = A/15 = 50$

23	P	T	A	TGP
DM	4	55	220	15
DF	1	5	5	0
DT	3	5	15	1
NP	5	5	25	2
NE	2	15	30	2
NF	0	5	0	0

Total 295
 $TGP = A/15 = 20$

24	P	T	A	TGP
DM	5	25	125	8
DF	3	5	15	1
DT	3	30	90	6
NP	3	5	15	1
NE	1	5	5	0
NF	0	5	0	0

Total 250
 $TGP = A/15 = 17$

25	P	T	A	TGP
DM	3	55	165	11
DF	1	30	30	2
DT	2	55	110	7
NP	5	30	150	10
NE	4	55	220	15
NF	0	55	0	0

Total 675
TGP = A/15 = 45

26	P	T	A	TGP
DM	3	20	60	4
DF	2	10	20	1
DT	1	10	10	1
NP	4	15	60	4
NE	5	20	100	7
NF	0	5	0	0

Total 250
TGP = A/15 = 17

27	P	T	A	TGP
DM	4	55	220	15
DF	1	20	20	1
DT	0	55	0	0
NP	5	5	25	2
NE	2	55	110	7
NF	3	60	180	12

Total 555
TGP = A/15 = 37

28	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	0	10	0	0
DT	4	55	220	15
NP	3	30	90	6
NE	2	60	120	8
NF	1	30	30	2

Total 785
TGP = A/15 = 52

29	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	4	70	280	19
DT	0	40	0	0
NP	2	5	10	1
NE	3	30	90	6
NF	1	20	20	1

Total 725
TGP = A/15 = 48

30	P	T	A	TGP
DM	4	55	220	15
DF	3	45	135	9
DT	1	30	30	2
NP	3	60	180	12
NE	3	55	165	11
NF	1	10	10	1

Total 740
TGP = A/15 = 49

APÊNDICE J – Valores dos Tempos da Amostra de Telessaúde com a técnica 2D

ID	Duração (Minutos)								
	Tarefa 1 (T1)			Tarefa 2 (T2)			Tarefa 3 (T3)		
	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total
1	10:01:40	10:03:40	00:02:00	10:03:50	10:07:47	00:03:57	10:07:55	10:09:46	00:01:51
2	10:56:00	10:59:18	00:03:18	10:59:25	11:03:05	00:03:40	11:03:10	11:06:05	00:02:55
3	09:37:56	09:40:11	00:02:15	09:40:40	09:44:40	00:04:00	09:44:42	09:46:04	00:01:22
4	09:17:08	09:19:10	00:02:02	09:19:15	09:21:55	00:02:40	09:22:00	09:24:55	00:02:55
5	08:42:26	08:44:30	00:02:04	08:44:35	08:47:20	00:02:45	08:47:25	08:49:55	00:02:30
6	11:00:15	11:03:30	00:03:15	11:03:55	11:07:25	00:03:30	11:07:30	11:09:29	00:01:59
7	09:06:22	09:08:00	00:01:38	09:08:05	09:10:30	00:02:25	09:10:35	09:12:45	00:02:10
8	08:22:27	08:23:40	00:01:13	08:23:46	08:25:59	00:02:13	08:26:03	08:28:20	00:02:17
9	10:23:51	10:26:07	00:02:16	10:26:13	10:28:30	00:02:17	10:28:35	10:30:15	00:01:40
10	08:30:23	08:31:50	00:01:27	08:32:10	08:36:15	00:04:05	08:36:25	08:38:49	00:02:24
11	10:22:31	10:24:25	00:01:54	10:24:39	10:27:15	00:02:36	10:27:22	10:29:30	00:02:08
12	10:35:40	10:37:32	00:01:52	10:37:40	10:39:55	00:02:15	10:40:00	10:42:15	00:02:15
13	12:06:05	12:08:32	00:02:27	12:08:41	12:12:05	00:03:24	12:12:13	12:14:42	00:02:29
14	10:50:20	10:51:33	00:01:13	10:51:40	10:54:22	00:02:42	10:54:30	10:56:16	00:01:46
15	09:40:55	09:43:25	00:02:30	09:43:31	09:47:01	00:03:30	09:47:05	09:50:10	00:03:05
16	10:15:21	10:17:26	00:02:05	10:17:32	10:20:40	00:03:08	10:20:46	10:23:01	00:02:15
17	09:10:43	09:12:20	00:01:37	09:12:25	09:14:59	00:02:34	09:15:05	09:16:58	00:01:53
18	09:19:20	09:22:17	00:02:57	09:22:30	09:25:01	00:02:31	09:25:05	09:26:56	00:01:51
19	08:13:45	08:15:40	00:01:55	08:15:45	08:18:39	00:02:54	08:18:47	08:20:15	00:01:28
20	08:36:47	08:38:46	00:01:59	08:38:46	08:42:02	00:03:16	08:42:11	08:44:04	00:01:53
21	11:17:05	11:20:09	00:03:04	11:20:16	11:23:13	00:02:57	11:23:13	11:25:10	00:01:57
22	09:05:10	09:07:29	00:02:19	09:08:05	09:10:20	00:02:15	09:10:25	09:12:40	00:02:15
23	08:13:50	08:16:25	00:02:35	08:16:30	08:19:58	00:03:28	08:20:05	08:22:35	00:02:30
24	09:56:36	09:57:40	00:01:04	09:57:45	10:03:12	00:05:27	10:03:20	10:06:15	00:02:55
25	15:45:14	15:47:43	00:02:29	15:47:51	15:50:43	00:02:52	15:51:02	15:52:58	00:01:56
26	10:17:56	10:20:18	00:02:22	10:20:31	10:22:44	00:02:13	10:23:05	10:28:08	00:05:03
27	02:05:04	02:08:39	00:03:35	02:08:59	02:13:55	00:04:56	02:14:01	02:16:54	00:02:53
28	16:09:29	16:12:46	00:03:17	16:13:40	16:17:01	00:03:21	16:17:13	16:20:23	00:03:10
29	10:16:46	10:19:05	00:02:19	10:19:15	10:22:47	00:03:32	10:22:57	10:25:32	00:02:35
30	11:25:46	11:28:15	00:02:29	11:28:25	11:32:23	00:03:58	11:32:30	11:34:54	00:02:24

APÊNDICE K – Valores dos Tempos da Amostra de Telessaúde com a Técnica 3D

ID	DURAÇÃO (MINUTOS)								
	TAREFA 1 (T1)			TAREFA 2 (T2)			TAREFA 3 (T3)		
	INICIO	FIM	TOTAL	INICIO	FIM	TOTAL	INICIO	FIM	TOTAL
1	09:41:21	09:42:59	00:01:38	09:43:10	09:48:21	00:05:11	09:54:43	09:57:21	00:02:38
2	11:12:08	11:14:45	00:02:37	11:15:04	11:19:23	00:04:19	11:19:52	11:22:35	00:02:43
3	09:17:36	09:20:50	00:03:14	09:21:38	09:25:08	00:03:30	09:25:30	09:28:33	00:03:03
4	10:36:55	10:38:59	00:02:04	10:39:34	10:44:30	00:04:56	10:48:43	10:51:22	00:02:39
5	08:59:53	09:02:26	00:02:33	09:03:09	09:07:08	00:03:59	09:07:42	09:10:32	00:02:50
6	10:00:30	10:02:24	00:01:54	10:03:14	10:11:07	00:07:53	10:11:47	10:15:59	00:04:12
7	09:09:30	09:11:45	00:02:15	09:12:40	09:20:15	00:07:35	09:20:36	09:26:36	00:06:00
8	09:20:30	09:21:39	00:01:09	09:22:39	09:30:34	00:07:55	09:31:25	09:36:48	00:05:23
9	11:10:10	11:12:23	00:02:13	11:12:46	11:18:09	00:05:23	11:18:25	11:21:40	00:03:15
10	08:46:06	08:48:07	00:02:01	08:48:46	08:57:54	00:09:08	08:58:11	09:00:47	00:02:36
11	10:06:48	10:11:44	00:04:56	10:12:30	10:20:55	00:08:25	10:21:22	10:25:23	00:04:01
12	09:53:54	09:56:30	00:02:36	09:56:52	10:01:08	00:04:16	10:01:56	10:06:15	00:04:19
13	11:54:50	11:57:39	00:02:49	11:58:10	12:02:58	00:04:48	12:03:18	12:06:41	00:03:23
14	11:47:23	11:48:38	00:01:15	11:49:11	11:54:24	00:05:13	11:54:55	11:57:29	00:02:34
15	09:50:23	09:52:47	00:02:24	09:53:21	10:01:05	00:07:44	10:01:34	10:04:04	00:02:30
16	09:33:10	09:35:25	00:02:15	09:36:17	09:40:31	00:04:14	09:41:06	09:43:32	00:02:26
17	10:30:37	10:32:20	00:01:43	10:34:09	10:41:26	00:07:17	10:41:41	10:44:02	00:02:21
18	12:09:52	12:11:19	00:01:27	12:11:56	12:15:58	00:04:02	12:16:35	12:18:52	00:02:17
19	08:38:37	08:40:16	00:01:39	08:42:52	08:47:34	00:04:42	08:49:41	08:51:50	00:02:09
20	09:27:05	09:29:30	00:02:25	09:30:12	09:38:23	00:08:11	09:38:59	09:42:21	00:03:22
21	11:43:36	11:46:05	00:02:29	11:46:59	11:50:54	00:03:55	11:51:29	11:54:30	00:03:01
22	08:54:04	08:57:43	00:03:39	08:58:21	09:01:50	00:03:29	09:02:26	09:04:47	00:02:21
23	09:34:20	09:35:55	00:01:35	09:36:10	09:40:33	00:04:23	09:41:49	09:44:45	00:02:56
24	10:32:41	10:34:38	00:01:57	10:35:02	10:38:38	00:03:36	10:39:09	10:41:51	00:02:42
25	04:00:25	04:03:39	00:03:14	04:04:14	04:08:44	00:04:30	04:09:12	04:12:23	00:03:11
26	09:51:36	09:53:23	00:01:47	09:54:15	09:57:22	00:03:07	10:00:24	10:01:59	00:01:35
27	01:35:39	01:38:59	00:03:20	01:39:45	01:44:32	00:04:47	01:45:10	01:48:27	00:03:17
28	15:45:24	15:47:25	00:02:01	15:48:14	15:54:56	00:06:42	15:56:21	16:00:42	00:04:21
29	09:40:32	09:43:05	00:02:33	09:44:23	09:47:30	00:03:07	09:48:43	09:50:52	00:02:09
30	10:50:08	10:52:18	00:02:10	10:53:08	10:56:36	00:03:28	10:57:49	11:00:05	00:02:16

APÊNDICE L – Valores da TGP para Amostra de Educação à Distância com a Técnica

2D

1	P	T	A	TGP
DM	5	85	425	28
DF	2	90	180	12
DT	2	85	170	11
NP	0	70	0	0
NE	3	90	270	18
NF	3	70	210	14

Total 1255
TGP = A/15 = 84

2	P	T	A	TGP
DM	4	100	400	27
DF	0	50	0	0
DT	1	55	55	4
NP	2	50	100	7
NE	3	75	225	15
NF	5	80	400	27

Total 1180
TGP = A/15 = 79

3	W	R	A	TGP
DM	4	100	400	27
DF	2	25	50	3
DT	1	15	15	1
NP	3	5	15	1
NE	5	85	425	28
NF	0	50	0	0

Total 905
TGP = A/15 = 60

4	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	0	40	0	0
DT	2	65	130	9
NP	1	60	60	4
NE	4	65	260	17
NF	5	75	375	25

Total 1050
TGP = A/15 = 70

5	P	T	A	TGP
DM	5	85	425	28
DF	1	75	75	5
DT	3	90	270	18
NP	0	15	0	0
NE	2	70	140	9
NF	4	65	260	17

Total 1170
TGP = A/15 = 78

6	P	T	A	TGP
DM	3	65	195	13
DF	1	5	5	0
DT	3	55	165	11
NP	0	45	0	0
NE	3	60	180	12
NF	5	65	325	22

Total 870
TGP = A/15 = 58

7	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	1	55	55	4
DT	2	75	150	10
NP	2	50	100	7
NE	1	75	75	5
NF	5	74	370	25

Total 1050
TGP = A/15 = 70

8	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	5	0	0
DT	4	55	220	15
NP	3	40	120	8
NE	2	65	130	9
NF	1	5	5	0

Total 850
TGP = A/15 = 57

9	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	0	5	0	0
DT	1	30	30	2
NP	4	35	140	9
NE	3	70	210	14
NF	2	35	70	5

Total 775
TGP = A/15 = 52

10	P	T	A	TGP
DM	4	70	280	19
DF	3	60	180	12
DT	1	60	60	4
NP	2	40	80	5
NE	5	70	350	23
NF	0	65	0	0

Total 950
TGP = A/15 = 63

11	P	T	A	TGP
DM	2	65	130	9
DF	3	30	90	6
DT	5	60	300	20
NP	4	30	120	8
NE	1	60	60	4
NF	0	35	0	0

Total 700
TGP = A/15 = 47

12	P	T	A	TGP
DM	3	100	300	20
DF	0	55	0	0
DT	1	75	75	5
NP	2	75	150	10
NE	4	75	300	20
NF	5	100	500	33

Total 1325
TGP = A/15 = 88

13	P	T	A	TGP
DM	5	45	225	15
DF	0	15	0	0
DT	3	75	225	15
NP	3	30	90	6
NE	2	45	90	6
NF	2	35	70	5

Total 700
TGP = A/15 = 47

14	P	T	A	TGP
DM	3	55	165	11
DF	2	25	50	3
DT	4	75	300	20
NP	5	30	150	10
NE	1	25	25	2
NF	0	50	0	0

Total 690
TGP = A/15 = 46

15	P	T	A	TGP
DM	2	75	150	10
DF	1	95	95	6
DT	5	5	25	2
NP	4	55	220	15
NE	0	95	0	0
NF	3	75	225	15

Total 715
TGP = A/15 = 48

16	P	T	A	TGP
DM	5	80	400	27
DF	1	65	65	4
DT	2	65	130	9
NP	3	70	210	14
NE	4	70	280	19
NF	0	55	0	0

Total 1085
TGP = A/15 = 72

17	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	25	0	0
DT	3	75	225	15
NP	3	75	225	15
NE	1	25	25	2
NF	3	55	165	11

Total 1015
TGP = A/15 = 68

18	P	T	A	TGP
DM	4	95	380	25,33333
DF	1	75	75	5
DT	0	75	0	0
NP	2	75	150	10
NE	3	75	225	15
NF	5	90	450	30

Total 1280
TGP = A/15 = 85

19	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	0	40	0	0
DT	1	60	60	4
NP	2	60	120	8
NE	4	70	280	19
NF	5	90	450	30

Total 1135
TGP = A/15 = 76

20	P	T	A	TGP
DM	5	60	300	20
DF	3	60	180	12
DT	2	55	110	7
NP	1	25	25	2
NE	4	60	240	16
NF	0	60	0	0

Total 855
TGP = A/15 = 57

21	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	0	20	0	0
DT	2	50	100	7
NP	2	65	130	9
NE	4	55	220	15
NF	2	70	140	9

Total 915
TGP = A/15 = 61

22	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	1	75	75	5
DT	0	55	0	0
NP	3	45	135	9
NE	4	85	340	23
NF	4	85	340	23

Total 1115
TGP = A/15 = 74

23	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	1	90	90	6
DT	3	75	225	15
NP	2	40	80	5
NE	5	80	400	27
NF	0	55	0	0

Total 1095
TGP = A/15 = 73

24	P	T	A	TGP
DM	5	70	350	23
DF	0	10	0	0
DT	1	20	20	1
NP	3	40	120	8
NE	4	50	200	13
NF	2	55	110	7

Total 800
TGP = A/15 = 53

25	P	T	A	TGP
DM	3	95	285	19
DF	0	15	0	0
DT	2	50	100	7
NP	1	90	90	6
NE	4	85	340	23
NF	5	90	450	30

Total 1265
TGP = A/15 = 84

26	P	T	A	TGP
DM	2	80	160	11
DF	1	30	30	2
DT	5	80	400	27
NP	3	30	90	6
NE	4	75	300	20
NF	0	80	0	0

Total 980
TGP = A/15 = 65

27	P	T	A	TGP
DM	5	65	325	22
DF	2	5	10	1
DT	1	25	25	2
NP	3	30	90	6
NE	4	40	160	11
NF	0	10	0	0

Total 610
TGP = A/15 = 41

28	P	T	A	TGP
DM	2	80	160	11
DF	1	75	75	5
DT	3	55	165	11
NP	1	75	75	5
NE	5	85	425	28
NF	3	75	225	15

Total 1125
TGP = A/15 = 75

29	P	T	A	TGP
DM	4	70	280	19
DF	0	5	0	0
DT	1	5	5	0
NP	3	55	165	11
NE	4	55	220	15
NF	3	50	150	10

Total 820
TGP = A/15 = 55

30	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	30	0	0
DT	1	50	50	3
NP	2	75	150	10
NE	3	50	150	10
NF	4	70	280	19

Total 1005
TGP = A/15 = 67

APÊNDICE M – Valores da TGP para Amostra de Educação à Distância com a Técnica 3D

1	P	T	A	TGP
DM	4	25	100	7
DF	3	5	15	1
DT	2	70	140	9
NP	5	5	25	2
NE	1	65	65	4
NF	0	5	0	0

Total 345
TGP = A/15 = 23

2	P	T	A	TGP
DM	0	50	0	0
DF	3	65	195	13
DT	3	55	165	11
NP	4	30	120	8
NE	4	30	120	8
NF	1	30	30	2

Total 630
TGP = A/15 = 42

3	P	T	A	TGP
DM	3	90	270	18
DF	5	5	25	2
DT	1	5	5	0
NP	3	5	15	1
NE	3	15	45	3
NF	0	10	0	0

Total 360
TGP = A/15 = 24

4	P	T	A	TGP
DM	2	15	30	2
DF	4	30	120	8
DT	1	10	10	1
NP	4	20	80	5
NE	4	10	40	3
NF	0	5	0	0

Total 280
TGP = A/15 = 19

5	P	T	A	TGP
DM	4	50	200	13
DF	1	20	20	1
DT	2	70	140	9
NP	4	10	40	3
NE	4	25	100	7
NF	0	35	0	0

Total 500
TGP = A/15 = 33

6	P	T	A	TGP
DM	3	50	150	10
DF	1	5	5	0
DT	4	60	240	16
NP	5	5	25	2
NE	2	30	60	4
NF	0	5	0	0

Total 480
TGP = A/15 = 32

7	P	T	A	TGP
DM	3	55	165	11
DF	1	30	30	2
DT	5	55	275	18
NP	4	30	120	8
NE	2	55	110	7
NF	0	5	0	0

Total 700
TGP = A/15 = 47

8	P	T	A	TGP
DM	5	80	400	27
DF	0	25	0	0
DT	2	5	10	1
NP	4	40	160	11
NE	2	5	10	1
NF	2	5	10	1

Total 590
TGP = A/15 = 39

9	P	T	A	TGP
DM	5	5	25	2
DF	0	5	0	0
DT	1	50	50	3
NP	3	5	15	1
NE	4	30	120	8
NF	2	5	10	1

Total 220
TGP = A/15 = 15

10	P	T	A	TGP
DM	3	60	180	12
DF	4	65	260	17
DT	2	50	100	7
NP	1	30	30	2
NE	5	60	300	20
NF	0	40	0	0

Total 870
TGP = A/15 = 58

11	P	T	A	TGP
DM	5	75	375	25
DF	0	30	0	0
DT	2	65	130	9
NP	1	35	35	2
NE	3	70	210	14
NF	4	80	320	21

Total 1070
TGP = A/15 = 71

12	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	2	65	130	9
DT	3	55	165	11
NP	1	10	10	1
NE	5	50	250	17
NF	0	50	0	0

Total 855
TGP = A/15 = 57

13	P	T	A	TGP
DM	2	60	120	8
DF	4	45	180	12
DT	1	65	65	4
NP	3	35	105	7
NE	5	65	325	22
NF	0	50	0	0

Total 795
TGP = A/15 = 53

14	P	T	A	TGP
DM	3	50	150	10
DF	2	5	10	1
DT	4	30	120	8
NP	5	30	150	10
NE	1	25	25	2
NF	0	5	0	0

Total 455
TGP = A/15 = 30

15	P	T	A	TGP
DM	4	25	100	7
DF	1	5	5	0
DT	4	5	20	1
NP	4	5	20	1
NE	2	5	10	1
NF	0	40	0	0

Total 155
TGP = A/15 = 10

16	P	T	A	TGP
DM	5	40	200	13
DF	0	35	0	0
DT	2	70	140	9
NP	3	40	120	8
NE	4	25	100	7
NF	1	15	15	1

Total 575
TGP = A/15 = 38

17	P	T	A	TGP
DM	0	25	0	0
DF	5	75	375	25
DT	2	25	50	3
NP	4	50	200	13
NE	3	50	150	10
NF	1	25	25	2

Total 800
TGP = A/15 = 53

18	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	0	25	0	0
DT	1	50	50	3
NP	2	30	60	4
NE	3	50	150	10
NF	5	25	125	8

Total 685
TGP = A/15 = 46

19	P	T	A	TGP
DM	3	30	90	6
DF	3	30	90	6
DT	0	5	0	0
NP	4	5	20	1
NE	1	25	25	2
NF	4	40	160	11

Total 385
TGP = A/15 = 26

20	P	T	A	TGP
DM	5	60	300	20
DF	1	5	5	0
DT	3	45	135	9
NP	2	15	30	2
NE	4	35	140	9
NF	0	15	0	0

Total 610
TGP = A/15 = 41

21	P	T	A	TGP
DM	4	75	300	20
DF	4	70	280	19
DT	1	45	45	3
NP	2	50	100	7
NE	4	60	240	16
NF	0	15	0	0

Total 965
TGP = A/15 = 64

22	P	T	A	TGP
DM	2	50	100	7
DF	0	20	0	0
DT	4	65	260	17
NP	4	15	60	4
NE	1	55	55	4
NF	4	60	240	16

Total 715
TGP = A/15 = 48

23	P	T	A	TGP
DM	5	30	150	10
DF	2	50	100	7
DT	3	5	15	1
NP	2	15	30	2
NE	3	85	255	17
NF	0	90	0	0

Total 550
TGP = A/15 = 37

24	P	T	A	TGP
DM	3	30	90	6
DF	1	10	10	1
DT	2	30	60	4
NP	5	25	125	8
NE	4	35	140	9
NF	0	10	0	0

Total 425
TGP = A/15 = 28

25	P	T	A	TGP
DM	2	10	20	1
DF	2	10	20	1
DT	2	10	20	1
NP	5	10	50	3
NE	4	50	200	13
NF	0	10	0	0

Total 310
TGP = A/15 = 21

26	P	T	A	TGP
DM	4	30	120	8
DF	2	30	60	4
DT	5	80	400	27
NP	3	30	90	6
NE	1	30	30	2
NF	0	30	0	0

Total 700
TGP = A/15 = 47

27	P	T	A	TGP
DM	4	25	100	7
DF	3	50	150	10
DT	1	25	25	2
NP	5	30	150	10
NE	2	35	70	5
NF	0	5	0	0

Total 495
TGP = A/15 = 33

28	P	T	A	TGP
DM	4	15	60	4
DF	1	5	5	0
DT	3	30	90	6
NP	5	25	125	8
NE	2	15	30	2
NF	0	5	0	0

Total 310
TGP = A/15 = 21

29	P	T	A	TGP
DM	4	90	360	24
DF	3	75	225	15
DT	1	10	10	1
NP	3	30	90	6
NE	4	75	300	20
NF	0	70	0	0

Total 985
TGP = A/15 = 66

30	P	T	A	TGP
DM	3	75	225	15
DF	3	90	270	18
DT	1	55	55	4
NP	4	40	160	11
NE	4	70	280	19
NF	0	55	0	0

Total 990
TGP = A/15 = 66

APÊNDICE N – Valores dos Tempos da Amostra de Educação à Distância com a técnica 2D

ID	Duração (Minutos)								
	Tarefa 1 (T1)			Tarefa 2 (T2)			Tarefa 3 (T3)		
	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total
1	18:03:25	18:08:58	00:05:33	18:08:01	18:10:48	00:02:47	18:10:51	18:13:23	00:02:32
2	13:45:52	13:50:25	00:04:33	13:50:35	13:54:30	00:03:55	13:54:45	13:56:15	00:01:30
3	14:08:16	14:10:36	00:02:20	14:10:44	14:13:05	00:02:21	14:13:10	14:16:38	00:03:28
4	16:34:40	16:36:58	00:02:18	16:37:03	16:39:15	00:02:12	16:39:22	16:41:47	00:02:25
5	16:45:25	16:47:20	00:01:55	16:47:38	16:49:15	00:01:37	16:49:20	16:51:01	00:01:41
6	16:31:40	16:32:55	00:01:15	16:32:59	16:35:05	00:02:06	16:35:10	16:36:30	00:01:20
7	08:13:35	08:15:55	00:02:20	08:16:48	08:19:55	00:03:07	08:20:26	08:22:10	00:01:44
8	14:27:20	14:29:25	00:02:05	14:30:59	14:32:36	00:01:37	14:32:45	14:34:27	00:01:42
9	14:29:45	14:31:50	00:02:05	14:32:00	14:34:59	00:02:59	14:35:05	14:37:20	00:02:15
10	14:07:45	14:10:15	00:02:30	14:10:20	14:15:25	00:05:05	14:15:30	14:18:22	00:02:52
11	16:46:40	16:47:55	00:01:15	16:48:00	16:50:55	00:02:55	16:51:05	16:52:45	00:01:40
12	09:59:05	10:02:39	00:03:34	10:02:39	10:06:05	00:03:26	10:06:10	10:08:50	00:02:40
13	16:57:35	16:59:55	00:02:20	17:00:00	17:03:10	00:03:10	17:03:10	17:05:45	00:02:35
14	13:49:21	13:51:40	00:02:19	13:51:40	13:53:23	00:01:43	13:53:30	13:55:05	00:01:35
15	17:03:20	17:04:57	00:01:37	17:05:03	17:07:37	00:02:34	17:07:41	17:09:32	00:01:51
16	12:04:06	12:06:50	00:02:44	12:06:55	12:10:58	00:04:03	12:11:05	12:13:23	00:02:18
17	08:30:31	08:32:05	00:01:34	08:32:11	08:34:36	00:02:25	08:34:43	08:36:28	00:01:45
18	10:39:27	10:40:25	00:00:58	10:40:31	10:43:33	00:03:02	10:43:45	10:46:15	00:02:30
19	16:22:59	16:24:58	00:01:59	16:25:12	16:27:05	00:01:53	16:27:10	16:28:39	00:01:29
20	14:08:16	14:09:25	00:01:09	14:09:30	14:10:58	00:01:28	14:11:06	14:13:01	00:01:55
21	15:18:57	15:20:21	00:01:24	15:20:21	15:22:47	00:02:26	15:22:47	15:24:39	00:01:52
22	15:19:12	15:20:21	00:01:09	15:20:27	15:24:10	00:03:43	15:24:15	15:26:21	00:02:06
23	10:45:15	10:47:38	00:02:23	10:47:46	10:50:10	00:02:24	10:50:16	10:52:13	00:01:57
24	10:11:33	10:12:55	00:01:22	10:13:02	10:15:30	00:02:28	10:15:36	10:16:36	00:01:00
25	16:21:42	16:23:27	00:01:45	16:23:47	16:25:42	00:01:55	16:25:51	16:27:23	00:01:32
26	18:20:20	18:22:15	00:01:55	18:22:22	18:24:57	00:02:35	18:25:04	18:27:13	00:02:09
27	11:46:22	11:48:59	00:02:37	11:49:07	11:51:58	00:02:51	11:52:13	11:54:39	00:02:26
28	16:21:57	16:22:59	00:01:02	16:23:05	16:24:30	00:01:25	16:24:35	16:25:51	00:01:16
29	19:05:21	19:07:33	00:02:12	19:07:40	19:10:47	00:03:07	19:10:55	19:13:42	00:02:47
30	20:29:44	20:31:53	00:02:09	20:32:01	20:35:16	00:03:15	20:35:22	20:38:09	00:02:47

APÊNDICE O – Valores dos Tempos da Amostra de Educação à Distância com a técnica 3D

ID	Duração (Minutos)								
	Tarefa 1 (T1)			Tarefa 2 (T2)			Tarefa 3 (T3)		
	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total	Início	Fim	Total
1	17:39:32	17:42:10	00:02:38	17:43:01	17:45:59	00:02:58	17:46:33	17:49:10	00:02:37
2	14:05:10	14:08:25	00:03:15	14:13:29	14:17:42	00:04:13	14:22:35	14:24:20	00:01:45
3	13:32:40	13:34:48	00:02:08	13:35:18	13:39:09	00:03:51	13:39:41	13:42:48	00:03:07
4	16:03:40	16:04:56	00:01:16	16:05:45	16:08:50	00:03:05	16:15:05	16:17:07	00:02:02
5	16:11:47	16:14:27	00:02:40	16:15:27	16:18:34	00:03:07	16:19:20	16:22:05	00:02:45
6	16:12:20	16:13:41	00:01:21	16:14:15	16:17:11	00:02:56	16:17:45	16:19:53	00:02:08
7	07:36:26	07:37:42	00:01:16	07:43:12	07:46:30	00:03:18	07:48:20	07:51:01	00:02:41
8	14:47:52	14:50:41	00:02:49	14:51:40	14:54:53	00:03:13	14:55:55	14:58:10	00:02:15
9	14:55:53	14:58:00	00:02:07	14:58:40	15:02:10	00:03:30	15:03:30	15:05:10	00:01:40
10	13:42:17	13:44:27	00:02:10	13:45:13	13:48:00	00:02:47	13:50:00	13:52:10	00:02:10
11	16:18:25	16:20:50	00:02:25	16:21:59	16:23:05	00:01:06	16:27:30	16:28:43	00:01:13
12	09:36:59	09:38:10	00:01:11	09:39:25	09:41:40	00:02:15	09:43:20	09:45:47	00:02:27
13	17:21:55	17:22:49	00:00:54	17:25:59	17:28:47	00:02:48	17:33:50	17:35:42	00:01:52
14	13:34:08	13:35:24	00:01:16	13:35:49	13:37:45	00:01:56	13:37:59	13:39:42	00:01:43
15	16:38:59	16:41:05	00:02:06	16:41:59	16:44:22	00:02:23	16:45:20	16:46:57	00:01:37
16	11:33:14	11:36:01	00:02:47	11:36:50	11:38:55	00:02:05	11:40:35	11:42:31	00:01:56
17	08:55:35	08:57:22	00:01:47	08:58:15	09:01:19	00:03:04	09:02:08	09:05:31	00:03:23
18	10:07:58	10:09:27	00:01:29	10:10:02	10:14:32	00:04:30	10:15:10	10:18:21	00:03:11
19	15:53:34	15:55:08	00:01:34	15:55:40	15:58:38	00:02:58	15:59:20	16:01:44	00:02:24
20	13:39:25	13:41:01	00:01:36	10:42:52	10:46:02	00:03:10	10:47:59	10:50:28	00:02:29
21	15:08:20	15:10:05	00:01:45	15:10:52	15:12:17	00:01:25	15:14:31	15:16:23	00:01:52
22	14:53:58	14:56:05	00:02:07	14:57:17	14:59:35	00:02:18	15:00:48	15:02:42	00:01:54
23	10:18:58	10:21:34	00:02:36	10:22:39	10:25:58	00:03:19	10:27:10	10:28:10	00:01:00
24	09:53:46	09:54:30	00:00:44	09:55:06	09:57:33	00:02:27	09:58:12	09:59:59	00:01:47
25	16:01:45	16:02:59	00:01:14	16:03:32	16:06:45	00:03:13	16:07:35	16:08:48	00:01:13
26	18:03:44	18:05:41	00:01:57	18:07:10	18:09:30	00:02:20	18:10:45	18:12:11	00:01:26
27	11:16:44	11:18:43	00:01:59	11:19:23	11:22:12	00:02:49	11:23:59	11:26:54	00:02:55
28	16:08:16	16:09:30	00:01:14	16:09:55	16:11:15	00:01:20	16:11:43	16:13:14	00:01:31
29	18:31:16	18:33:49	00:02:33	18:35:52	18:39:08	00:03:16	18:40:52	18:44:02	00:03:10
30	19:52:13	19:54:25	00:02:12	19:55:49	19:58:09	00:02:20	20:00:32	20:03:15	00:02:43

ANEXOS

ANEXO A – Questionário de Carga Mental de Trabalho - NASA TLX

Prezado(a) Sr(a).

O preenchimento desse questionário não é obrigatório, mas sua opinião sobre o seu trabalho é muito importante. Esse questionário é composto por 2º etapas. Na primeira etapa será apresentado 15 combinações binárias dos 6 fatores que influenciam na carga cognitiva de trabalho. Esses fatores serão descritos abaixo. Solicito, então, que marque com um X entre os pares relacionados o fator que mais representa a carga de trabalho durante a realização da tarefa.

A segunda fase do questionário será composta por perguntas referentes aos 6 fatores que influenciam na carga cognitiva de trabalho. Então, solicito que marque com um X na escala apresentada, a resposta que melhor representa sua opinião em relação aos diversos itens apresentados.

Não escreva seu nome no questionário. As informações são sigilosas e servirão para o trabalho que está sendo desenvolvido.

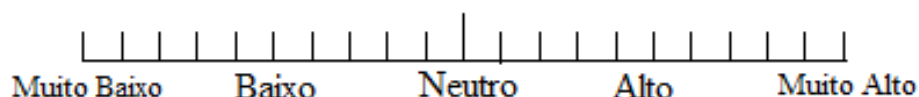
- 1- Marque um dos fatores, entre os pares abaixo, que você considera como fonte mais significativa para a carga de trabalho durante a realização das tarefas.

Fator	Descrição
Demanda mental	Atividade mental e perceptiva que é necessária para realização da tarefa como pensar, decidir, calcular, lembrar, olhar, procurar, etc.
Demanda física	Atividade física que é necessária para realização da tarefa como puxar, empurrar, girar, deslizar, etc.
Demanda Temporal	Nível de pressão temporal sentida, razão entre o tempo requerido e o disponível.
Performance	Nível de sucesso ou satisfação obtida na realização da tarefa e no alcance dos objetivos
Esforço	Nível de trabalho (mental e físico) que se precisa para alcançar o seu nível de desempenho
Nível de Frustração	Nível de insegurança, stress, irritabilidade, falta de estímulo e contrariedades que se sente durante a realização da tarefa.

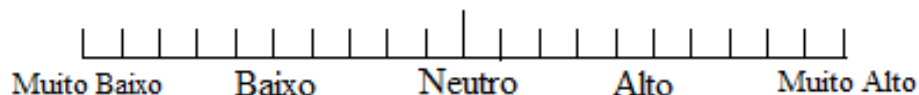
Demanda Mental	X	Demanda Física
Demanda Temporal	X	Demanda Física
Demanda Temporal	X	Nível de Frustração
Demanda Temporal	X	Demanda Mental
Performance	X	Demanda Física
Demanda Temporal	X	Esforço (Físico e Mental)
Performance	X	Demanda Mental
Nível de frustração	X	Demanda Física
Performance	X	Nível de frustração
Nível de frustração	X	Demanda Mental
Esforço (Físico e Mental)	X	Demanda Física
Performance	X	Esforço (Físico e Mental)
Esforço (Físico e Mental)	X	Demanda Mental
Demanda Temporal	X	Performance
Esforço (Físico e Mental)	X	Nível de Frustração

Marque na escala qual a sua opinião sobre o nível de influência dos fatores abaixo para a realização de sua tarefa.

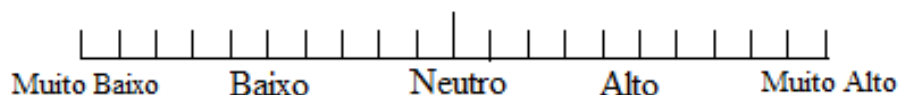
- a. Qual o nível de esforço de pensar ou lembrar ou decidir, você teve durante a realização da tarefa?



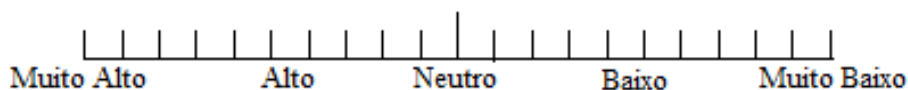
- b. Qual o nível de esforço físico de manipular o mouse no ambiente 3D você teve para a realização da tarefa



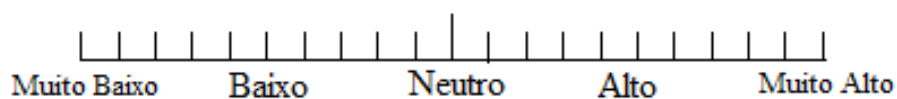
- c. Qual o nível de preocupação com o tempo para a realização da tarefa?



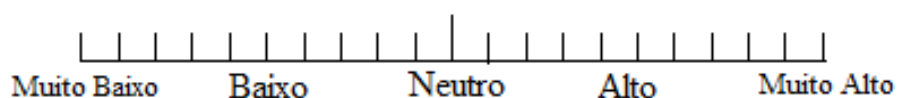
- d. Qual o nível de sucesso ou satisfação obtida na realização da tarefa



- e. Qual o nível de esforço de trabalho obtido na realização da tarefa



- f. Qual o nível de insegurança, stress, irritabilidade obtido na realização da tarefa.



ANEXO B – Certificado da Apresentação para Apreciação de Ética

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-	
--	---

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Ambiente Computacional de Visualização 3D para Análise de Indicadores de Monitoração

Pesquisador: Amadeu Sá de Campos Filho

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 15142513.3.0000.5208

Instituição Proponente: CENTRO DE INFORMÁTICA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 326.348

Data da Relatoria: 03/07/2013

Apresentação do Projeto:

Este projeto tem como finalidade desenvolver e avaliar um software de visualização de informações e de tomada de decisões utilizando uma interface tridimensional virtual, estruturando a apresentação de informações na forma de gráficos 3D para melhorar a interpretação e tomada de decisões a partir da análise destes dados apresentados desta forma.

Serão avaliados 30 profissionais que trabalham com estatística e sejam responsáveis pela monitoração de indicadores de produtividade.

Após o desenvolvimento do sistema, este será aplicado numa avaliação piloto com o objetivo de ser examinado o comportamento e as dificuldades encontradas pelos usuários ao utilizar uma interface 3D. Após o processo de finalização do design do software, será realizado o experimento com a amostra populacional para coletar dados obtidos através da observação, análise da tarefa cognitiva, diagnóstico ergonômico e do teste de usabilidade e, por fim, será realizada a análise dos dados a fim de avaliar a usabilidade do software 3D através das variáveis quantitativas e qualitativas.

Objetivo da Pesquisa:

Investigar e avaliar se o uso de técnicas de visualização 3D como suporte para visualização de

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS			
Bairro: Cidade Universitária		CEP: 50.740-600	
UF: PE	Município: RECIFE		
Telefone: (81)2126-8588	Fax: (81)2126-8588	E-mail: cepccs@ufpe.br	

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 326.348

indicadores de monitoramento melhora a capacidade de usuários na percepção, assimilação, interpretação e tomada de decisão de um conjunto de dados.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Adequados

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de pesquisa de área técnica específica que não é do domínio do relator. Sugiro que seja também avaliado por profissional da área de educação e de desenvolvimento de software de avaliação de dados para maiores esclarecimentos, se o plenário julgar necessário. Os riscos e benefícios são aceitáveis para os padrões da CONEP e da declaração de Helsinque sobre os direitos dos submetidos a pesquisa.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os itens obrigatórios estão adequados.

Recomendações:

Nenhuma

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Nenhuma

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O Colegiado aprova o parecer do protocolo em questão e o pesquisador está autorizado para iniciar a coleta de dados.

Projeto foi avaliado e sua APROVAÇÃO definitiva será dada, após a entrega do relatório final, através da PLATAFORMA BRASIL ou por meio de ofício impresso emitido pelo Comitê de Ética em Pesquisa/UFPE.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

Fax: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 328.948

RECIFE, 04 de Julho de 2013

Assinador por:
GERALDO BOSCO LINDOSO COUTO
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
UF: PE Município: RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 Fax: (81)2126-8588 E-mail: cepccs@ufpe.br