

**UTIL: UMA TAXONOMIA UNIFICADA PARA
VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO**

DIEGO AUGUSTO DE FARIA BARROS

**UTIL: UMA TAXONOMIA UNIFICADA PARA
VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientadora: RAQUEL CARDOSO DE MELO MINARDI
Coorientadora: RAQUEL OLIVEIRA PRATES

Belo Horizonte

Junho de 2015

© 2015, Diego Augusto de Faria Barros.
Todos os direitos reservados.

Barros, Diego Augusto de Faria

B277u UTIL: Uma Taxonomia Unificada para Visualização
de Informação / Diego Augusto de Faria Barros. —
Belo Horizonte, 2015
xxii, 54 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de
Minas Gerais - Departamento de Ciência da
Computação

Orientadora: Raquel Cardoso de Melo Minardi
Coorientadora: Raquel Oliveira Prates

1. Computação — Teses. 2. Sistemas de recuperação
de informação — Teses. I. Orientadora.
II. Coorientadora. III. Título.

CDU 519.6*75(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

UTIL: uma taxonomia unificada para visualização de informação

DIEGO AUGUSTO DE FARIA BARROS

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

PROFA. RAQUEL CARDOSO DE MELO MINARDI - Orientadora
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROFA. RAQUEL OLIVEIRA PRATES - Coorientadora
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROF. ADRIANO CÉSAR MACHADO PEREIRA
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROFA. SIMONE DINIZ JUNQUEIRA BARBOSA
Departamento de Informática - PUCRJ

Belo Horizonte, 26 de junho de 2015.

Aos meus amados pais

Agradecimentos

Impossível começar esta seção em que dedicamos a dar honra a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho sem agradecer ao Maravilhoso, Conselheiro, Deus Forte, Pai da Eternidade, Príncipe da Paz ao Único e Soberano Deus, Jesus Cristo. Sou o que sou pela Graça de Deus em minha vida e se cheguei até este ponto, foi porque o Senhor me sustentou, fortaleceu e guiou todos os meus passos. A Deus toda a Glória!

Aos meus pais Edvaldo e Fátima Barros a quem amo infinitamente e que têm se dedicado tão intensamente no amor, cuidado, carinho e zelo para comigo. Sou eternamente grato a Deus por ter me presenteado com os melhores pais que alguém poderia ter e quero honrá-los através destas poucas palavras, pois palavras me faltam para expressar, a mais profunda gratidão que tenho em meu coração pela vida deles. Saiba disso em toda a Terra!

As minhas queridas orientadoras Raquel Minardi e Raquel Prates pelo empenho, dedicação e amor em realizar uma ótima orientação no mais alto nível de excelência. Muito obrigado, com certeza, aprendi e cresci bastante não só academicamente/profissionalmente mas também pessoalmente. Muito Obrigado também por terem me recebido e acolhido de braços abertos na universidade e terem aceito o desafio de realizar este trabalho em que unimos diferentes áreas em um só propósito.

A todos os meus familiares pelo apoio, carinho e orações. Também, a toda minha família na fé da Igreja Evangélica Cristo Vive - Contagem, em especial a todos que fazem parte do Ministério de Louvor e Adoração que pacientemente me deram todo suporte durante este tempo. A Magnolia Yrasuegui, Thaísa Porto, Niliamar Medeiros, Heloiza Nunes e Bernardo Martins pelas incessantes orações, intercessões e palavras de ânimo que certamente me ajudaram a ir além.

A Glívia Angélica por ter sido “boca de Deus” e me ajudado a alcançar o mestrado, me apoiando em tudo, antes e durante este período. Ao meu querido amigo Júlio César, que tem me acompanhado desde o início nesta caminhada da Pós-Graduação. Louvo a Deus pela sua vida e de toda sua família meu amigo, muito obrigado por todas orações,

apoio e encorajamento. A Gracielle Mendonça e Priscila Souza, anjos que Deus colocou em minha vida e que têm me abençoado grandemente. A Pollyanna Gonçalves pela disponibilidade, força, apoio, encorajamentos e infinitas ajudas recebidas. Ao Ramon Gonçalves pelo companheirismo e amizade de sempre. A Natália Ramos pelas orações, apoio e estar sempre pronta em me ouvir. Ao Luiz Damilton, Kattiana Constantino e todos que frequentam a sala 3011, pelo companheirismo e por me permitirem aprender mais e mais com todos vocês.

Finalmente, agradecemos ao órgão de fomento à pesquisa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e também aos colegas do Núcleo de Pesquisa em Engenharia Semiótica e Interação (PENSi) e DCC/UFMG pelo apoio. Bem haja a todos!

“Se perseveramos, também com Ele reinaremos ...”
(II Timóteo 2:12A - Ap. Paulo, 67 D.C.)

Resumo

Diferentes taxonomias e modelos de classificação têm sido propostos para descrever as técnicas de visualização de dados e as possíveis interações do usuário. No entanto, diferentes modelos focam em aspectos distintos e podem ser para determinado contexto de acordo com o objetivo pelo qual a visualização está sendo usada. Atualmente, nenhum deles é amplo o bastante para abranger todos os recursos possíveis que possam ser relevantes, nem há uma maneira fácil de compará-los e escolher aquele que seria mais adequado para um contexto específico de uso. Neste trabalho, realizamos uma Revisão Sistemática da Literatura e analisamos as características descritas nos modelos existentes. Baseado nesta análise, propomos a UTIL, uma taxonomia unificada que pode ser usada para descrever e comparar os modelos existentes. Além disso, foi desenvolvida a UTILity, uma ferramenta online que possibilita o mapeamento dos modelos de classificação sob a perspectiva da estrutura da UTIL, facilitando assim, o processo de análise com a taxonomia. A fim de realizar uma avaliação, escolhemos alguns dos trabalhos consolidados da literatura, os descrevemos usando a UTIL e discutimos como ela pode deixar claras as diferenças entre os modelos e seus focos.

Palavras-chave: Taxonomia, Modelo Unificado, Visualização de Informação, Dados, Tarefas Analíticas, Atributos Visuais.

Abstract

Different taxonomies and classification models have been proposed to describe data visualization techniques and possible user interactions. Nonetheless, different models focus on distinct aspects and may be more or less appropriate according to the goal or context in which the visualization is being used. Currently, none of them is broad enough to encompass all the possible features that may be relevant, nor is there an easy way to compare them and choose the one that would be more adequate in a specific context. In this work we have performed a Systematic Literature Review and analyzed the features described in existing models. Based on this analysis we propose UTIL, a unified model that can be used to describe and compare existing models. Besides, it was developed the UTILity, an online tool which allows the mapping of classification models under the perspective of the UTIL structure, thus facilitating the analytical process with the taxonomy. In order to conduct a evaluation, we have chosen some consolidated works and described them using UTIL and discuss how it can make clear the differences between different models and their focuses.

Keywords: Taxonomy, Unified Model, Information Visualization, Data, Analytical Tasks, Visual Attributes.

Lista de Figuras

4.1	Estrutura da Taxonomia UTIL	19
4.2	Relacionamento entre Eixos e Autores	21
4.3	Estruturas de Relacionamento dos Dados	24
4.4	Página Inicial do Projeto Taxonomia UTIL	28
4.5	Ferramenta UTILity	29
4.6	Exemplo de Mapeamento com a Ferramenta UTILity	29
5.1	Estrutura da Taxonomia UTIL Ponderada	32
5.2	Evolução das Dimensões ao Longo dos Anos - 1986 a 2014	34
5.3	Mapeamento do Trabalho de Wenzel et al. [2003]	40
5.4	Mapeamento do Trabalho de Fujishiro et al. [2000]	40
5.5	Mapeamento do Trabalho de Mackinlay [1986]	41
5.6	Mapeamento do Trabalho de Nazemi et al. [2011]	41
5.7	Mapeamento do Trabalho de Pfitzner et al. [2003]	42
5.8	Mapeamento do Trabalho de Franciscani Jr. et al. [2014]	42
A.1	Planilha de Análise das Dimensões da UTIL	52
A.2	Planilha de análise das dimensões da UTIL	53

Lista de Tabelas

3.1	Parâmetros de Busca	11
3.2	Critérios de Inclusão/Exclusão	12
3.3	Sumário Quantitativo de Seleção dos Estudos	12
3.4	Critérios de Avaliação da Relevância Ponderados	13
3.5	Sumário dos Trabalhos Seleccionadas	15
3.6	Sumário dos Trabalhos Eliminados	16
4.1	Presença dos Eixos por Trabalhos Seleccionados	20
4.2	Escala de Mohs (exemplo de dimensão ordinal)	23

Sumário

Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Resultados e Contribuições Esperadas	3
1.3 Organização do Trabalho	3
2 Trabalhos Relacionados	5
3 Metodologia	9
3.1 Questões de Pesquisa	10
3.2 Processo de Busca	10
3.3 Seleção dos Estudos	10
3.4 Avaliação da Relevância dos Estudos	12
3.5 Processo de Extração dos Dados	14
3.6 Resultado da Extração dos Dados	15
4 Taxonomia Unificada para Visualização de Informação	17
4.1 Processo de Definição da Taxonomia	17
4.2 Eixos de Classificação	20
4.2.1 Eixo Dados	22
4.2.2 Eixo Tarefas Analíticas	25

4.2.3	Eixo Atributos Visuais	26
4.3	A Ferramenta UTILity	27
5	Análises Usando a UTIL	31
5.1	Análise do Estado da Arte de Visualização de Informação	31
5.2	Comparação dos Diferentes Esquemas de Classificação	36
6	Conclusão	43
	Referências Bibliográficas	45
	Apêndice A Análise das Dimensões dos Esquemas de Classificação	51
A.1	Dimensões da Taxonomia UTIL	51
A.2	Dimensões não Incluídas na Taxonomia	53

Capítulo 1

Introdução

As técnicas de visualização de dados têm exercido um importante papel para os processos analíticos dos dados. Segundo Shneiderman [1996], as visualizações científicas tem o poder de tornar visíveis fenômenos atômicos, cósmicos e tridimensionais (p. ex. condução de calor em motores) visíveis e compreensíveis. Já as visualizações de informação abstratas, escopo deste trabalho, são capazes de revelar padrões, agrupamentos, *gaps* ou *outliers* em dados estatísticos, comércios do mercado de ações, diretórios de computadores ou coleções de documentos.

Com o crescimento da área de Visualização de Informação, uma grande quantidade de técnicas de visualização têm sido desenvolvidas. Conseqüentemente, a escolha de técnicas apropriadas para processos de análise específicos tem se tornado cada vez mais complexa, conforme afirma Franciscani Jr. et al. [2014]. Há mais de 15 anos, pesquisadores como Mackinlay [1986] e Card & Mackinlay [1997] argumentaram que a grande quantidade de visualizações disponíveis estava se tornando um desafio para usuários finais, bem como para especialistas. Desde então, com crescente número de novas técnicas de visualização, uma das abordagens adotadas pela comunidade de Visualização de Informação para lidar com este desafio é a proposta de modelos, taxonomias e ontologias com o objetivo de apoiar tanto especialistas quanto usuários finais na caracterização de visualizações e técnicas analíticas interativas.

Tory & Moller [2004] afirmam que uma taxonomia para Visualização de Informação pode ser útil para ambos os tipos de usuários, quer sejam especialistas ou não na área. Usuários não especialistas podem utilizar a taxonomia para apoiá-los durante a busca e escolha de técnicas de visualização. Pesquisadores, por sua vez, podem fazer uso de tais taxonomias para entender melhor onde seus trabalhos se encaixam em um amplo contexto de pesquisas e identificar outros pesquisadores que trabalham na mesma área.

Além da área de Visualização de Informação, as taxonomias têm sido aplicadas em diferentes tipos de áreas que fazem uso da Visualização de Informação, tais como: Simulação em produção e logística (Wenzel et al. [2003]), grafos (Lee et al. [2006]; Nazemi et al. [2011]), visualização de software (Maletic et al. [2002]), dados temporais dependentes (Muller & Schumann [2003]), cartografia e geovisualização (Roth [2013]), dentre outros. Em uma outra vertente de trabalhos, há o foco no uso das taxonomias como base para a produção de ferramentas de recomendação. Neste sentido, Mackinlay [1986], propõe uma ferramenta de apresentação independente da aplicação que projeta automaticamente visualizações de dados tradicionais baseadas em uma taxonomia. Semelhantemente, Roth & Mattis [1990] apresentam várias dimensões pelas quais as informações podem ser caracterizadas para apoiarem apresentações automáticas. Zhou & Feiner [1996], interessados também na geração automatizada de gráficos, propõem uma taxonomia de análise de dados para caracterizar informações heterogêneas (quantitativas e qualitativas). Finalmente, Morse et al. [2000] discutem como as taxonomias podem ser úteis para a avaliação de visualizações e mostram como simples protótipos visuais podem ser avaliados através de um conjunto de tarefas baseadas em uma taxonomia visual. Finalmente, Valiati et al. [2006], seguindo também esta mesma linha de pesquisa, apresentam uma taxonomia de visualizações de tarefas voltadas para orientar a avaliação de técnicas de visualização multidimensionais.

Com um número considerável de taxonomias sendo propostas para diferentes fins, Pfitzner et al. [2003] chama a nossa atenção para a necessidade de uma taxonomia unificada, o que eles acreditam que possa ser feito através da análise da pesquisa atual na área juntamente com a criação de um arcabouço voltado para o desenvolvimento de interfaces para Visualização de Informação permitindo que outras definições taxonômicas possam ser associadas.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar uma taxonomia unificada para a área de Visualização de Informação que possa ser usada para a discussão e caracterização dos modelos de classificação propostos, possibilitando a obtenção de uma melhor percepção sobre as suas diferenças em foco e expressividade. Os objetivos específicos a serem alcançados através desta pesquisa são:

1. Conduzir uma Revisão Sistemática da Literatura a fim de identificar qual é o estado da arte dos modelos de classificação propostos na área da Visualização de Informação;

2. Fazer uma análise qualitativa aprofundada dos modelos de classificação encontrados na literatura;
3. Estudar quais são as dimensões e os valores que podem ser associadas aos componentes dos modelos de classificação;
4. Elaborar a estrutura da taxonomia geral com base na análise dos modelos;
5. Implementar uma ferramenta que possibilite a descrição e visualização dos trabalhos mapeados através da taxonomia;

1.2 Resultados e Contribuições Esperadas

Como resultado esperado para este trabalho espera-se apresentar a UTIL (Unified Taxonomy for Information Visualization), uma taxonomia unificada para Visualização de Informação, criada com base em uma análise ampla da literatura da área, realizada através da aplicação de uma Revisão Sistemática da Literatura, cujo objetivo é ser uma taxonomia geral unificada que possa ser usada para descrever taxonomias, ontologias ou modelos de classificação apresentados pela literatura.

Este trabalho traz uma contribuição para a área de Visualização de Informação, através da proposta de uma taxonomia unificada que pode ser usada para apoiar pesquisadores na discussão, comparação e caracterização de taxonomias, modelos, arcabouços, ontologias ou outras técnicas existentes. A possibilidade de descrever e comparar os modelos existentes permitirá a apresentação de uma taxonomia que funcionará como um meta-modelo para a área de Visualização de Informação.

1.3 Organização do Trabalho

Esta dissertação está organizada a seguinte forma: No capítulo 1 serão apresentados a introdução, os objetivos e os resultados esperados. O capítulo 2 é dedicado à apresentação dos trabalhos relacionados aos modelos de classificação propostos para Visualização de Informação. No capítulo 3 é descrita a metodologia que se baseia na execução de uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR). O capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos neste trabalho e a descrição completa da taxonomia proposta. O capítulo 5 contém a apresentação da ferramenta UTILity. O capítulo 6 é dedicado às análises feitas do uso da taxonomia. Finalmente, no capítulo 7 serão apresentadas as conclusões e direções futuras para a pesquisa.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

De acordo com Azzam et al. [2013], a visualização de dados atingiu um estágio em que tornou-se crítico para a comunidade de Visualização melhorar como ela projeta a informação. Portanto, uma grande quantidade de taxonomias e modelos de classificação foram propostos ao longo dos anos para categorizar as técnicas de visualização de informação em diferentes aspectos e contextos, tais como, a caracterização dos dados sendo visualizados, as tarefas analíticas feitas pelos usuários e os atributos visuais encontrados nas técnicas de visualização de dados.

A Taxonomia de Tarefa por Tipo de Dados (TTT) proposta por Shneiderman [1996] é uma das taxonomias mais conhecidas. Shneiderman [1996] assume que há 7 tipos de dados (1-, 2-, 3-dimensões, dados multidimensionais, temporais, árvore e redes) que caracterizam as informações dos objetos do domínio das tarefas e estão organizados pelos problemas que os usuários estão tentando resolver, e 7 tarefas (Visão Geral, *Zoom*, Filtro, Detalhes sob demanda, Relação, Histórico, Extrações) que representam as ações que os usuários desejam realizar.

Shneiderman [1996], em seu modelo, foca na caracterização dos dados e das tarefas executadas pelos usuários durante o processo de análise dos dados. Diversos autores têm seguido esta mesma abordagem, por exemplo, Roth & Mattis [1990] propõem uma taxonomia de características da informação que apresenta uma caracterização dos dados como tipos de dados quantitativo e qualitativo e um conjunto de tarefas analíticas relacionadas à análise dos dados feita pelos usuários. Keim [2002] propõe uma classificação de visualização de informações e técnicas de mineração de dados que está fundamentada nos *tipos de dados* visualizados, na *interação*, nas *técnicas de distorção* que fornecem um meio para focar nos detalhes enquanto há a preservação da visão geral dos dados, e inclui um terceiro eixo denominado *técnicas de visualização* cujo objetivo é caracterizar os “*displays*” das técnicas de visualização de dados. Wenzel et al. [2003]

apresentam uma taxonomia de técnicas de visualização para simulação em produção e logística e esboça como usar esta taxonomia como base no apoio à decisão na seleção da melhor técnica de visualização para grupos alvos específicos. Finalmente, Tory & Moller [2004] apresentam uma taxonomia de visualização em alto-nível que classifica os algoritmos de visualização ao invés dos dados. Apesar desta abordagem diferente, a taxonomia deles apresenta, além da caracterização dos dados, uma classificação das tarefas analíticas relacionadas com a interação do usuário e análise dos dados.

Dez anos antes de Shneiderman [1996] propor sua taxonomia, Mackinlay [1986] propôs um *ranking* de tarefas perceptivas fundamentadas na classificação dos atributos visuais relevantes (p. ex. posição, tamanho, área, textura e etc.) para cada *tipo de dados* (quantitativos, ordinal e nominal). Baseado neste ranking proposto por Mackinlay [1986], Nazemi et al. [2011] apresentam uma nova taxonomia orientada a usuários de técnicas de visualização de grafos, cujo objetivo está na classificação de técnicas de visualização conforme as características visuais comumente suportadas. Ao invés de abordar as tarefas analíticas, sua abordagem foca nos *atributos visuais* usados para implementar as técnicas de visualização de dados.

Wehrend & Lewis [1990], em uma abordagem focada nas *tarefas* realizadas pelos usuários durante o processo analítico e na classificação de técnicas de visualizações independentemente dos domínios da aplicação, propuseram um catálogo de técnicas de visualizações aplicáveis para determinados problemas. Fujishiro et al. [2000] combinaram ortogonalmente a matriz de Wehrend & Lewis [1990] com Taxonomia de Tarefa por Tipo de Dados (TTT) proposta por Shneiderman [1996] e propôs uma taxonomia orientada a objetivos focada nas tarefas feitas pelos usuários durante o processo de análise dos dados. Assim como Fujishiro et al. [2000], outros autores ao longo dos anos propuseram modelos de classificação focados nas *tarefas analíticas* realizadas pelos usuários durante um processo de análise. Por exemplo, Springmeyer et al. [1992] propõem uma caracterização do processo de análise de dados científicos; Morse et al. [2000] apresentam um conjunto de tarefas baseadas em uma taxonomia visual que permite o teste de visualizações isoladamente do resto do sistema; Maletic et al. [2002] apresentam uma visão orientada a tarefas da visualização de softwares, propondo um arcabouço para enfatizar as tarefas gerais de entendimento e análise durante o desenvolvimento e manutenção de sistemas de software em grande escala; Amar et al. [2005] propõem uma taxonomia de tarefas analíticas, composta de um conjunto de 10 tarefas de baixo nível que capturam amplamente as atividades das pessoas durante a implantação de ferramentas de visualização para entendimento dos dados; Lee et al. [2006] apresentam uma taxonomia que tem como objetivo a definição de uma lista de tarefas para visualização de grafos; Valiati et al. [2006] propõem uma taxonomia de

tarefas de visualização, baseada em taxonomias existentes, assim como, na observação de usuários realizando tarefas exploratórias em dados multidimensionais, através de duas técnicas de visualização diferentes (coordenadas paralelas e visualizações radiais); e finalmente, Roth [2013], assim como os autores anteriores, em sua taxonomias de interações primitivas para cartografia e geo-visualização interativa, apresenta tarefas mas especializadas na interação do usuário com o sistema de visualização.

Em uma abordagem diferente, a fim de explorar a série de visualização de dados para texto, Henderson & Segal [2013] construíram um arcabouço para a organização e entendimento das diferentes opções de técnicas disponíveis. Segundo os autores, os dados qualitativos podem ser quebrados em segmentos, são eles: palavras, frases e temas/narrativas. Referenciados como *nível de display*, eles possibilitam a contagem, catalogação ou conexão com outros segmentos. Além dos *níveis de display*, as técnicas de visualização de dados são classificadas de simples a complexas de acordo com o conhecimento ou habilidade necessários para criá-los. Bhowmick [2006] também foca nos dados qualitativos propondo um arcabouço para pesquisadores qualitativos, o qual, segundo o autor, poderá ser utilizado como base para a construção de uma ferramenta exploratória de visualização.

Com foco na caracterização geral dos dados, Robertson [1991] formaliza os processos de correspondência do tipo de informação em que estamos interessados com a habilidade de representação de diferentes propriedades que transmitem aquela informação; Tweedie [1997] classifica a visualização em termos dos tipos de dados representados, além da natureza do *feedback* visível exibido e as formas de interatividade utilizadas; Muller & Schumann [2003] focam na classificação dos tipos de dados como quantitativo e qualitativo.

A respeito dos atributos visuais presentes nas técnicas de visualização de dados, Rodrigues et al. [2006] apresentam uma taxonomia analítica que, ao invés de simplesmente classificar, pode descrever as técnicas para apresentação dos dados. Sedlmair et al. [2012], seguindo esta mesma abordagem, introduzem uma taxonomia de fatores de separação visual de *clusters* em *scatterplots* que pode ser usada para guiar o projeto e avaliação de medidas de separação de *cluster*.

Além disso, ao longo dos anos, diversos trabalhos propuseram modelos de classificação para Visualização de Informação em uma abordagem mais ampla. Zhou & Feiner [1996] definem uma taxonomia de análise de dados que pode ser usada para caracterizar informações heterogêneas; Zhang [1996], assim como, Zhou & Feiner [1996] em sua taxonomia, propõem uma caracterização para os dados que serão visualizados, as tarefas analíticas e os componentes visuais usados na implementação das técnicas de visualização de dados. Card & Mackinlay [1997] propõem uma organização da literatura

de Visualização de Informação, ilustrando com uma série de exemplos, que resultou em um arcabouço cujo objetivo é oferecer suporte para o projeto de novas técnicas de visualizações, assim como a ampliação de projetos existentes. Pfitzner et al. [2003], em uma abordagem unificada, apresentam um arcabouço taxonômico para visualização de informação, que a caracteriza em termos de dados, tarefas, habilidade e contexto, assim como, o número de dimensões que estão relacionadas aos dispositivos de entrada e saída, as ferramentas de software, interações do usuário e habilidades perceptuais humanas.

Finalmente, Franciscani Jr. et al. [2014] acreditam que a área de Visualização de Informação requer um processo de anotação unificado que permita que a comunidade anote ou associe termos para as tradicionais técnicas de visualização de dados, assim como as novas técnicas sendo desenvolvidas. Sendo assim, foi proposto um processo de anotação que consiste na definição de uma coleção de termos e conceitos relacionados a um conjunto de técnicas de visualização de dados que foram anotadas. Franciscani Jr. et al. [2014] descrevem os métodos de visualização em termos de componentes visuais (ex. dimensionalidade, objetos usados na composição visual, atributos pré-atentivos) e capacidades, que são características amplas que envolvem os relacionamentos quantitativos descritos e os padrões visuais revelados, assim como, a navegação analítica e as técnicas de visualização que podem ser utilizadas.

Embora, diversos modelos tenham sido propostos ao longo dos anos, observa-se que em alto nível cada um deles aborda diferentes focos da área de Visualização de Informação. Além disso, atualmente as taxonomias que foram propostas não são amplas o bastante para descreverem muitos dos modelos de classificação e oferecerem suporte para comparação entre eles. Sendo assim, tais propostas de modelos podem ser vistos como fundamentos para a construção de uma taxonomia unificada que possibilite a comparação dos modelos de classificação propostos para as visualizações de informação abstratas. Na próxima seção, será apresentada a metodologia utilizada para reunir os estudos relevantes da área que servirão como base para a construção da taxonomia proposta neste trabalho.

Capítulo 3

Metodologia

A fim de propor um modelo unificado, o primeiro objetivo foi identificar e analisar trabalhos existentes que propuseram qualquer esquema de classificação¹ para Visualização de Informação. Para tal, foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura baseada na versão 2.3 do conjunto de diretrizes propostas por Kitchenham et al. [2007]. Segundo os autores, uma Revisão Sistemática da Literatura é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas relevantes disponíveis para uma determinada questão de pesquisa, assunto ou fenômeno de interesse e possui como uma de suas principais vantagens: ser uma metodologia bem definida e menos tendenciosa que fornece informações sobre os efeitos de algum fenômeno dada uma variedade de configurações e métodos empíricos; identifica eventuais lacunas em determinada pesquisa a fim de sugerir novas áreas de investigação, e fornece um arcabouço ou base para posicionar adequadamente novas atividades de pesquisa. Uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) possui 3 etapas principais, são elas:

1. **Planejamento:** Nesta fase é desenvolvido o objetivo da revisão da literatura e o protocolo da revisão sistemática;
2. **Execução:** É conduzido o processo de revisão da literatura com a seleção dos estudos primários, verificação de sua relevância, coleta de dados e síntese dos resultados;
3. **Documentação:** Formatação e avaliação do relatório principal da revisão sistemática.

¹A expressão “Esquema de Classificação” foi adotada para se referir a qualquer modelo, taxonomia ou ontologia cujo objetivo seja classificar termos e conceitos de Visualização de Informação

3.1 Questões de Pesquisa

Este estudo tem como objetivo responder a seguinte questão principal de pesquisa: *[QPP] Qual é o estado da arte das taxonomias, ontologias e modelos de classificação propostos na área de Visualização de Informação?*

Para melhor responder à questão principal de pesquisa, ela foi decomposta nas seguintes questões específicas:

- *[QEP1] Quais são as definições adotadas para dados quantitativos e qualitativos?*
- *[QEP2] Quais dimensões são usadas para descrever as técnicas de visualização de informação?*
- *[QEP3] Quais valores podem ser associados para cada uma destas dimensões?*

3.2 Processo de Busca

As pesquisas foram feitas durante o mês de Outubro de 2014 nas seguintes bases de dados: *ACM Digital Library, IEEE Xplore, Science Direct, Scopus e HCI Bibliography*. Para cada uma destas bases foi utilizada a seguinte *string* de busca:

`(data visuali* OR information visuali*) AND (ontolog* OR taxonom*)`

A *string* de busca foi definida com base em nossa experiência e conhecimento prévio de trabalhos que tratam sobre modelos cujo objetivo é classificar os termos e conceitos de Visualização de Informação. Os caracteres curinga (*) foram usados para cobrir variações de plural e dos termos de pesquisa, por exemplo: *visualization e visualisation*.

Não foi definido um ano inicial específico para filtrar os trabalhos retornados, pois alguns trabalhos conhecidos e relevantes da área de Visualização de Informação foram publicados no início da década de 1990. Além disso, preferimos deixar que a própria busca revelasse o período de publicação dos trabalhos, e como resultados obtivemos publicações datadas em um período de 30 anos (1984 - 2014). A Tabela 3.1 apresenta na coluna *Estratégia* os parâmetros de busca definidos a fim de aprimorar a pesquisa e obter somente estudos que estão relacionados às questões de pesquisa.

3.3 Seleção dos Estudos

No resultado inicial da busca foram encontrados 2.618 artigos, sendo assim, para garantir que somente estudos relevantes fossem obtidos, foram definidos critérios de seleção dos estudos.

Tabela 3.1. Parâmetros de Busca

Base de Dados	Estratégia	Data	Período
<i>HCI Bibliography</i>	Type: Journal Articles, Conference Papers	07/10/2014	1984 - 2014
<i>ACM Digital Library</i>	-	07/10/2014	1986 - 2014
<i>Science Direct</i>	Type: Journals Area: Computer Science Topics: Semantic Web, Computer Science, Decision Support, Information System, Knowledge Management, Support System, Ontology, Expert Systems	07/10/2014	1986 - 2014
<i>IEEE Xplore</i>	Content Type: Conference Publications, Journals & Magazines	07/10/2014	1989 - 2014
<i>Scopus</i>	Subject Area: Computer Science Document Type: Article, Conference Paper Language: English, Portuguese, Spanish Keyword: Visualization, Ontology, Data Visualization Source Title: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Proceedings of the International Conference on Information Visualisation, Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings, Computer Graphics Forum, Information Visualization, International Journal of Human Computer Studies, Journal of Visual Languages and Computing, Decision Support Systems, Knowledge Based Systems, Information and Software Technology Source Type: Journals, Conference Proceedings	07/10/2014	1998 - 2014

Segundo Kitchenham et al. [2007], os critérios de seleção de estudo têm como objetivo identificar os estudos primários que fornecem evidências diretas sobre a pergunta de pesquisa. Neste sentido, com base nas perguntas de pesquisa foram definidos critérios de inclusão e exclusão dos estudos, demonstrados na Tabela 3.2, e seguidas as seguintes etapas de seleção de estudos para aplicação dos critérios definidos:

1. **Leitura por Título:** Leitura do título dos trabalhos recuperados a fim de se obter os artigos relevantes e excluir estudos que não sejam relevantes;
2. **Leitura do Resumo e Palavras-chave:** Leitura dos resumos e palavras-chave dos artigos selecionados com o objetivo de verificar se o trabalho está relacionado com as questões de pesquisa, caso contrário ele será excluído dos conjunto de trabalhos relevantes;
3. **Leitura Diagonal:** Leitura da introdução, tópicos e conclusão dos artigos para verificar se o artigo realmente está relacionado com as questões de pesquisa e assegurar que estudos que não são relevantes não foram selecionados;
4. **Leitura Completa:** Leitura completa dos artigos selecionados para avaliação da relevância e extração dos dados.

Cada um destes passos requer a leitura de parte do trabalho a fim de identificar quais são ou não relevantes; caso haja alguma dúvida relacionada à relevância do estudo ele é mantido para o próximo passo. A Tabela 3.3 apresenta o sumário quantitativo dos trabalhos selecionados. A coluna inicial corresponde à quantidade inicial de trabalhos selecionados que

Tabela 3.2. Critérios de Inclusão/Exclusão

Inclusão	<ul style="list-style-type: none"> - Artigos não encontrados nos repositórios mas que citam outros autores que descrevem, usam ou avaliam um modelo de classificação para Visualização de Informação; - Livros clássicos citados pelos autores; - Artigos resumidos atuais relevantes com período de 2 anos (2012 - 2014).
Exclusão	<ul style="list-style-type: none"> - Artigos que não estão nos idiomas Inglês, Português ou Espanhol; - Tutoriais, editoriais, pôsteres, painéis, palestras, mesas redondas, oficinas, demonstrações, workshops, livros; - Trabalhos que não descrevem o modelo apresentado ou usado.

foram obtidos através da *string* de busca em cada uma das bases de dados. As próximas colunas exibem a quantidade de trabalhos selecionados após cada uma das etapas de seleção de estudos para aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos. Finalmente, a última coluna corresponde ao número total final de estudos selecionados após o processo de avaliação da relevância dos trabalhos, descritos na próxima seção.

Tabela 3.3. Sumário Quantitativo de Seleção dos Estudos

Base de Dados	Inicial	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Final
ACM Digital Library	282	69	20	14	11	4
IEEE Xplore	853	114	57	27	23	11
Science Direct	443	12	3	2	2	0
Scopus	928	76	37	18	11	3
HCI Bibliography	112	22	15	9	3	2
TOTAL	2.618	293	132	70	50	20

Durante o processo de seleção dos estudos foram adicionados 11 novos artigos que propõem modelos de classificação para Visualização de Informação, conforme o critério de inclusão que adiciona *Artigos não encontrados nos repositórios mas que citam outros autores que descrevem, usam ou avaliam um modelo de classificação para Visualização de Informação* e 3 trabalhos pertencentes ao conjunto de estudos relevantes iniciais identificados antes da revisão sistemática.

3.4 Avaliação da Relevância dos Estudos

Cada publicação do conjunto final da etapa 4 definida no processo de seleção dos estudos teve sua relevância avaliada, a fim de assegurar que somente estudos relevantes sejam selecionados. Segundo Kitchenham et al. [2007], a avaliação da relevância dos estudos é importante pois fornece um critério de inclusão/exclusão ainda mais detalhado, investiga se as diferenças

de qualidade fornecem uma explicação para diferenças nos resultados dos estudos, é uma forma de ponderar a importância de cada um dos estudos quando os resultados estão sendo sintetizados e serve como guia para interpretação dos resultados da busca, determinação da força de inferência e recomendações para pesquisas futuras. As 5 questões definidas para avaliar a relevância de cada publicação serão detalhadas a seguir:

1. O estudo apresenta alguma definição sobre visualizações ou dados quantitativos ou qualitativos?
2. O estudo descreve o modelo de classificação de visualização de dados apresentado?
3. O modelo apresentado classifica as suas dimensões como qualitativas ou quantitativas?
4. O modelo descreve explícita ou implicitamente cada dimensão como quantitativa ou qualitativa?
5. O modelo faz o mapeamento das dimensões para técnicas de visualização?

O primeiro critério definido está relacionado com a investigação das definições sobre a caracterização dos dados como quantitativos e qualitativos. As questões 2, 3 e 4 visam avaliar a relevância de como o modelo foi descrito no estudo e como suas dimensões estão relacionadas com o quantitativo e qualitativo. Finalmente, a questão 5 tem como objetivo analisar o relacionamento de um determinada dimensão com alguma técnica de visualização de dados. Cada questão foi avaliada como “*Sim*”, “*Parcialmente*” ou “*Não*” e pontuadas respectivamente com os seguintes valores: *Sim (S)*: 1, *Parcialmente (P)*: 0,5 e *Não (N)*: 0. Além disso, cada questão foi ponderada (Tabela 3.4) conforme o seu grau de importância com base no critério de resposta das perguntas de pesquisa com os seguintes valores: *Baixo*: 1, *Médio*: 2 e *Alto*: 4

Tabela 3.4. Critérios de Avaliação da Relevância Ponderados

ID	Critérios	Peso
CAQ1	O estudo apresenta alguma definição sobre visualizações ou dados quantitativos ou qualitativos?	1
CAQ2	O estudo descreve o modelo de classificação de visualização de dados apresentado?	4
CAQ3	O modelo apresentado classifica as suas dimensões como qualitativos ou quantitativos?	2
CAQ4	O modelo descreve explícita ou implicitamente cada dimensão como quantitativo ou qualitativo?	2
CAQ5	O modelo faz o mapeamento das dimensões para técnicas de visualização?	1
TOTAL		10

As questões CAQ1 e CAQ5 receberam peso 1 pois o impacto delas é baixo relacionado com a resposta das questões de pesquisas definidas. As questões CAQ3 e CAQ4 receberam peso 2 por estarem ligadas diretamente com a questão específica de pesquisa QEP1, já o critério CAQ2 recebeu peso máximo 4 por influenciar diretamente a maioria das questões de pesquisa definidas para este estudo. A pontuação máxima foi 10 pontos, sendo estabelecido que a pontuação mínima para seleção de determinado estudo é 6 pontos, o que corresponde a aproximadamente 60%, ou seja, todos os trabalhos com pontuação menor do que o mínimo estabelecido foram eliminados a fim de assegurar a relevância mínima dos dados apresentados no estudo.

3.5 Processo de Extração dos Dados

O processo de extração dos dados foi feito durante a etapa 4 (Leitura Completa) onde, além dos dados coletadas para análise de relevância dos trabalhos, foram coletados as seguintes informações dos trabalhos selecionados para análise:

- **Dados Gerais**

Título do Trabalho;

Autoria;

Ano;

Local Publicação;

País da Instituição dos Autores;

Área do Conhecimento do veículo de publicação do trabalho;

Palavras-chave.

- **Dados de Pesquisa**

Nome do modelo de classificação de visualizações de dados;

Breve descrição do modelo;

Dimensões de classificação propostas pelo modelo;

Breve descrição das dimensões propostas pelo modelo;

Tipo de Modelo de Classificação: Taxonomia, Ontologia, *Framework*, etc.

Abordagem do Modelo: Quantitativa, Qualitativa, Mista ou Indefinida;

Definições de dados ou visualizações quantitativos ou qualitativas.

3.6 Resultado da Extração dos Dados

No final da revisão sistemática, foram recuperados ao todo 28 trabalhos relevantes que foram analisados a fim de entender o estado da arte dos esquemas de classificação para a área de Visualização de Informação. A Tabela 3.5 demonstra a lista dos trabalhos selecionados, onde para cada estudo é apresentada a referência do trabalho e seu ano de publicação (Coluna *Referência*), o nome do modelo proposto (Coluna *Nome*) e seu tipo. Finalmente, a pontuação total da qualidade obtida pelos estudos durante o processo de avaliação de relevância é também apresentada na coluna *Pontos*.

Tabela 3.5. Sumário dos Trabalhos Seleccionadas

Referência	Nome	Tipo	Pontos
Wenzel et al. [2003]	Taxonomy of visualization techniques for simulation in production and logistics	Taxonomia	9,0
Bhowmick [2006]	Visualization Framework For Qualitative Researchers	Framework	9,0
Henderson & Segal [2013]	Framework For Visualizing Qualitative Data	Framework	9,0
Zhou & Feiner [1996]	Data Characterization Taxonomy	Taxonomia	8,5
Tory & Moller [2004]	A High-Level Taxonomy	Taxonomia	8,5
Mackinlay [1986]	Ranking Of Perceptual Tasks	Ranking	8,0
Robertson [1991]	A Methodology For Choosing Data Representations	Framework	8,0
Card & Mackinlay [1997]	The Structure Of The Information Visualization Design Space	Framework	8,0
Roth & Mattis [1990]	Taxonomy Of Information Characteristics	Taxonomia	7,5
Franciscani Jr. et al. [2014]	Annotation Process For Data Visualization Techniques	Anotação	7,5
Wehrend & Lewis [1990]	A Problem-Oriented Classification Of Visualization Techniques	Catálogo	7,0
Springmeyer et al. [1992]	The Scientific Data Analysis	Classificação	7,0
Shneiderman [1996]	Task By Data Type Taxonomy	Taxonomia	7,0
Zhang [1996]	Taxonomy Of Relational Information Displays	Taxonomia	7,0
Muller & Schumann [2003]	Taxonomy For Time-Dependent Data	Taxonomia	7,0
Keim [2002]	Classification Of Visual Data Mining Techniques	Classificação	6,5
Tweedie [1997]	Characterization Of Interactive Externalizations	Caracterização	6,0
Morse et al. [2000]	Visual Taxonomy	Taxonomia	6,0
Fujishiro et al. [2000]	GADGET/IV Taxonomy	Taxonomia	6,0
Maletic et al. [2002]	Dimensions Of Software Visualization	Framework	6,0
Pfitzner et al. [2003]	A Unified Taxonomic Framework For Information Visualization	Taxonomia	6,0
Amar et al. [2005]	Analytic Task Taxonomy	Taxonomia	6,0
Rodrigues et al. [2006]	Analytical Taxonomy	Taxonomia	6,0
Lee et al. [2006]	Graph Task Taxonomy	Taxonomia	6,0
Valiati et al. [2006]	A Taxonomy Of Tasks	Taxonomia	6,0
Nazemi et al. [2011]	User-Oriented Graph Visualization Taxonomy	Taxonomia	6,0
Sedlmair et al. [2012]	A Taxonomy Of Visual Cluster Separation Factors	Taxonomia	6,0
Roth [2013]	Taxonomy Of Interaction Primitives For Interactive Cartography And Geovisualization	Taxonomia	6,0

A tabela 3.5 apresenta o conjunto total de trabalhos que durante o processo de seleção dos estudos, foram eliminados por não atingirem a pontuação mínima estabelecida de 6 pontos, ou seja, aproximadamente 60%. À partir da lista de estudos relevantes (Tabela 3.5) que apresentam modelos classificação de visualização de dados para a área de visualização de dados abstratos, fundamentaremos a taxonomia unificada. Para tal, será realizada uma análise qualitativa cuidadosa em todos os modelos recuperados, assim como, as suas dimensões, com o objetivo de construir a estrutura da taxonomia. No próximo capítulo abordaremos o processo

de análise que deu origem à taxonomia, além disso, será apresentada a sua estrutura e descrição de seus componentes.

Tabela 3.6. Sumário dos Trabalhos Eliminados

Referência	Nome	Tipo	Pontos
Ribeiro et al. [2014]	Classificação Baseada em Contexto	Classificação	5,0
Eppler & Platts [2007]	Taxonomy of Visual Methods for Management	Taxonomia	5,0
Eppler [2006]	Knowledge map classifications	Classificação	5,0
Price et al. [1992]	A Taxonomy of Software Visualization	Taxonomia	5,0
Roman & Cox [1993]	A Taxonomy of Program Visualization Systems	Taxonomia	5,0
Chuah & Roth [1996]	Basic Visualization Interaction	Framework	5,0
Chi [2000]	Taxonomy of Visualization Techniques Using Data State Model	Taxonomia	5,0
Becks et al. [2001]	Domain-Tailored Task-Model	Modelo	5,0
Cohen & Brodlie [2004]	Taxonomy for Volume Information	Taxonomia	5,0
Nesbitt [2005]	The MS-Guidelines	Diretrizes	5,0
Schulz et al. [2013]	A Design Space of Visualization Tasks	Taxonomia	5,0
Ren et al. [2013]	Multilevel Interaction Model	Taxonomia	5,0
Elmqvist & Fekete [2010]	Hierarchical Aggregation For Visualization	Modelo	4,5
Ahn et al. [2014]	A Task Taxonomy for Network Evolution Analysis	Taxonomia	4,5
Fekete & Plaisant [1999]	Taxonomy of Labeling Techniques	Taxonomia	4,5
Schulz & Schumann [2006]	Taxonomy of Network Presentation Techniques.	Taxonomia	4,5
Elias et al. [2008]	User-Task Taxonomy	Taxonomia	4,5
Draper et al. [2009]	Taxonomy for Radial Visualization	Taxonomia	4,5
Zhang et al. [2002]	The Framework of Multilevel Human-Centered Visualization	Framework	4,0
de Sousa & Barbosa [2013]	Ontologia de Visualização	Ontologia	4,0
Polowinski & Voigt [2013]	VISO	Ontologia	4,0
Kennedy et al. [1996]	A Framework for Information Visualisation	Framework	4,0
Octavia Juarez Espinosa & Jr. [1999]	VisEIO-LCA	Framework	4,0
Winckler et al. [2004]	Task Models	Modelo	4,0
Bugajska [2005]	Framework for Spatial Visualization Design	Framework	4,0
Wong et al. [2006]	Have Green	Framework	4,0
Ellis & Dix [2007]	Taxonomy of Clutter Reduction for Information Visualisation	Taxonomia	4,0
Adnan et al. [2008]	Expressive Information Visualization Taxonomy	Taxonomia	4,0
Xu [2009]	Bloom's Cognitive Taxonomy	Taxonomia	4,0
Sanver & Yang [2009]	mVis Framework	Framework	4,0
Forbes et al. [2010]	behaviorism	Framework	4,0
White & Sundaram [2011]	Purpose Visualization Evaluation Taxonomy	Taxonomia	4,0
Cottam et al. [2012]	A Taxonomy for Dynamic Data Visualization	Taxonomia	4,0
Heer & Shneiderman [2012]	Taxonomy of Interactive Dynamics for Visual Analysis	Taxonomia	4,0
Shu et al. [2008]	Visualization Ontology	Ontologia	3,0
Hervás & Bravo [2011]	PIVOn	Ontologia	2,0

Capítulo 4

Taxonomia Unificada para Visualização de Informação

Nosso objetivo com a taxonomia UTIL (**U**nified **T**axonomy for **I**nformation **V**isua**L**ization) é propor uma classificação geral unificada que pode ser usada para descrever e comparar taxonomias, ontologias ou modelos de classificação apresentados pela literatura. A possibilidade de descrever os modelos nos permite obter uma melhor percepção sobre suas diferenças em foco e expressividade. Neste capítulo apresentaremos o processo de desenvolvimento que deu origem aos componentes da taxonomia, assim como a descrição de sua estrutura.

4.1 Processo de Definição da Taxonomia

O processo de desenvolvimento da UTIL envolveu um completo mapeamento de todas as propostas de classificação existentes com a identificação de dimensões e focos em comum. Para isso todos os trabalhos foram lidos, e os elementos usados na classificação listados e analisados. A partir de uma análise cuidadosa dos trabalhos, foram identificados três focos ou eixos principais de classificação:

- **Dados:** caracterização dos tipos de dados sendo visualizados;
- **Tarefas Analíticas:** descrição das tarefas dos usuários durante a análise de dados;
- **Atributos Visuais:** atributos relacionados à representação visual.

Diferentes propostas de trabalhos envolvem um ou mais destes focos, logo, foi feito o levantamento e análise dos componentes usados pelos autores em suas propostas de modelos de classificação. A partir da análise dos nomes e definições dos termos apresentados pelos autores, eles foram classificados da seguinte forma:

1. **Comum:** Termos usados em mais de um modelo;

Exemplo: A dimensão **Rede** que representa as estruturas em grafos está presente nos trabalhos de Shneiderman [1996]; Wenzel et al. [2003] e Keim [2002]

2. **Sinônimos:** Termos que receberam diferentes nomes, mas representam a mesma coisa;

Exemplo: *Graph* apresentado por Tory & Moller [2004] pode ser representado por *Network* já *Attribute* proposto por Valiati et al. [2006] pode ser representado por *Nominal*.

Uma vez que foram listados todos os termos usados nas diversas classificações, o critério de escolha dos componentes da taxonomia levou em consideração como eles se inseriam no domínio geral de Visualização de Informação. Em outras palavras, as que não pertenciam ao domínio ou eram específica a um domínio de aplicação foram excluídas. Assim, os critérios para não incluir uma dimensão na UTIL foram:

- **Não fazem parte do domínio de Visualização de Informação;**

Exemplo: *Phenomenology* proposto por Bhowmick [2006] é específico para área de metodologia de pesquisa qualitativa; já o trabalho de Wenzel et al. [2003] tem pontos específicos para área de Simulação em Produção e Logística

- **Específicas para o esquema de classificação proposto;**

Exemplo: *Dense Pixel Display* apresentado por Keim [2002] é específico para classificação de técnicas visuais para *data mining*;

- **Sem Classificação:** Dimensões apresentadas por alguns autores como sem classificação em um contexto de neutralidade ou indefinição.

Exemplo: Wenzel et al. [2003] utiliza a dimensão *none* para indicar a inexistência de sistemas de referência geométrica disponíveis;

Uma vez que nosso objetivo é apresentar uma taxonomia geral com a UTIL, aspectos específicos aos domínios foram intencionalmente deixados de fora. No Apêndice A apresentamos a análise feita nos modelos dos trabalhos recuperados pela SLR que resultou no conjunto de dimensões que compõe a taxonomia UTIL. Na Seção A.1 apresentamos as dimensões que foram incluídas na UTIL, e em A.2 as que foram excluídas.

Baseado neste panorama de taxonomias e modelos de classificação encontrados em nossa SLR, propomos uma síntese deles na taxonomia UTIL, que é um modelo de classificação unificado hierárquico que pode ser usado para descrever modelos de classificação existentes, assim como as técnicas de visualização. Os eixos são independentes uns dos outros e podem ser usados individualmente para focar em um aspecto de visualização de dados ou combinados para uma abordagem ampla.

Chamaremos de dimensão cada termo ou conceito da taxonomia unificada, onde cada uma delas deve estar localizada sobre um e se somente um eixo da taxonomia hierárquica. A Figura 4.1 descreve a organização dos elementos da nossa taxonomia através de uma árvore circular¹. A estrutura circular em árvore foi escolhida por ser um *layout* mais compacto que reduz as limitações de espaço e permite uma visão geral do relacionamento entre os eixos. A raiz representa a taxonomia UTIL e os segundos níveis representam os eixos: *Dados* (Laranja), *Tarefas Analíticas* (Azul) e *Atributos Visuais* (Roxo). Nas próximas seções apresentaremos em detalhes nossa taxonomia resultante com a descrição de cada componente pertencente a expansão de cada eixo.

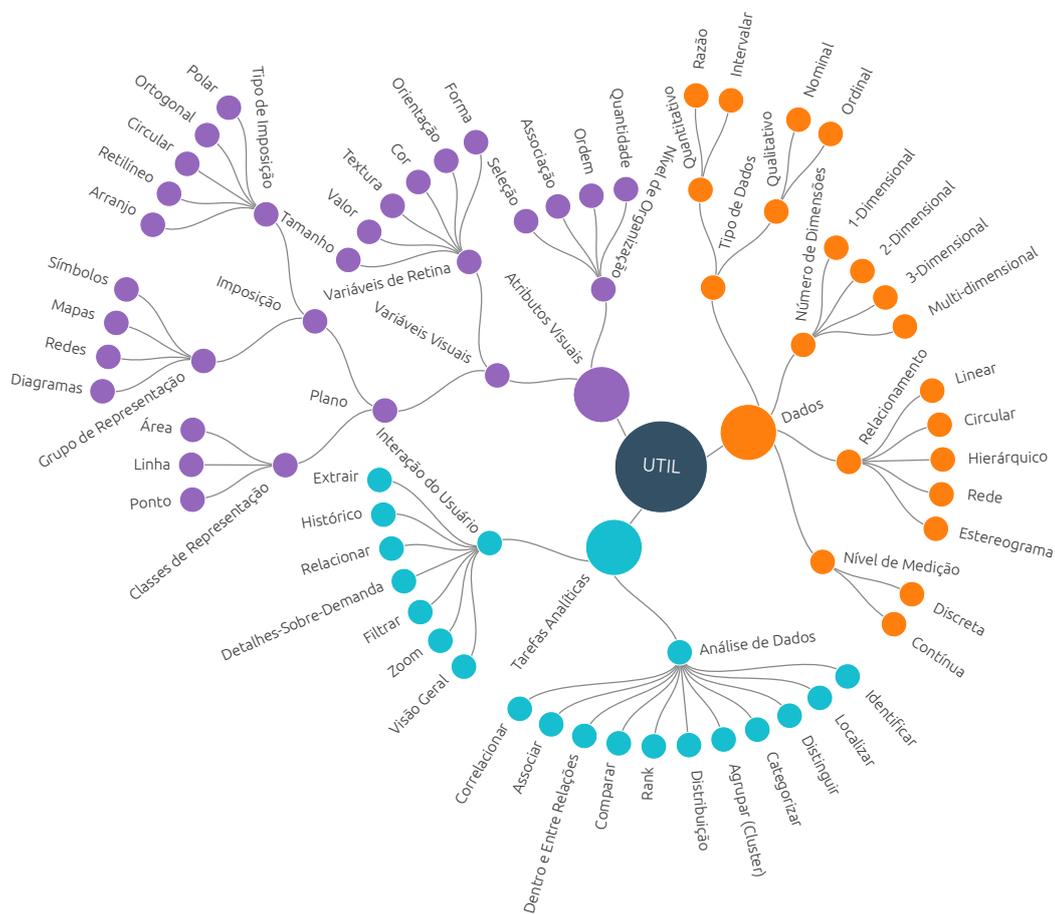


Figura 4.1. Estrutura da Taxonomia UTIL

¹Construída com a biblioteca JavaScript D3js (<http://d3js.org/>)

4.2 Eixos de Classificação

De acordo com os estudos recuperados por nossa SLR, as técnicas de Visualização de Informação podem ser classificadas sob diferentes aspectos. Através da leitura e análise dos modelos de classificação apresentados nos estudos, concluímos que em alto nível de abstração, os modelos estudados estão fundamentados sobre três eixos, são eles: *Dados*, *Tarefas Analíticas* e *Atributos Visuais*.

Dados: Seu objetivo é apresentar uma descrição e caracterização os dados que estão sendo visualizados. Por exemplo, os dados podem ser classificados conforme seu tipo como quantitativos ou qualitativos ou sua dimensionalidade: unidimensional (1D), bidimensional (2D), tridimensional (3D) e multidimensional.

Tarefas Analíticas: Compreende as tarefas feitas pelo usuário ao interagir com uma visualização de dados, por exemplo: *identificar* um item desconhecido no conjunto de dados ou *comparar* dados conforme suas características.

Atributos Visuais: Eixo que tem como objetivo apresentar um conjunto de características visuais usadas como atributos primários na construção das técnicas de visualização de dados, por exemplo: cor, forma, tamanho ou textura.

Tabela 4.1. Presença dos Eixos por Trabalhos Seleccionados

#	Autores	Dados	Tarefas Analíticas	Atributos Visuais
01	Mackinlay [1986]	✓		✓
02	Roth & Mattis [1990]	✓	✓	
03	Shneiderman [1996]	✓	✓	
04	Wehrend & Lewis [1990]	✓	✓	✓
05	Robertson [1991]	✓		
06	Springmeyer et al. [1992]		✓	
07	Zhang [1996]	✓	✓	✓
08	Zhou & Feiner [1996]	✓	✓	✓
09	Card & Mackinlay [1997]	✓	✓	✓
10	Tweedie [1997]	✓		
11	Fujishiro et al. [2000]		✓	
12	Morse et al. [2000]		✓	
13	Keim [2002]	✓	✓	
14	Maletic et al. [2002]		✓	
15	Muller & Schumann [2003]	✓		
16	Pfitzner et al. [2003]	✓	✓	✓
17	Wenzel et al. [2003]	✓	✓	
18	Tory & Moller [2004]	✓	✓	
19	Amar et al. [2005]		✓	
20	Bhowmick [2006]	✓		
21	Lee et al. [2006]		✓	
22	Rodrigues et al. [2006]			✓
23	Valiati et al. [2006]		✓	
24	Nazemi et al. [2011]	✓		✓
25	Sedlmair et al. [2012]			✓
26	Henderson & Segal [2013]	✓		
27	Roth [2013]		✓	
28	Franciscani Jr. et al. [2014]	✓	✓	✓

A Tabela 4.1 apresenta cada um dos autores analisados e os eixos presentes nos seus respectivos modelos. Dos 28 trabalhos analisados 18 apresentam classificações relacionadas a caracterização dos dados, 19 a tarefas analíticas e 10 apresentam os atributos visuais que podem estar presentes nas técnicas de visualização de dados. Note que alguns trabalhos tratam apenas de um dos eixos, enquanto outros tratam de todos os três.

Com o objetivo de visualizar o relacionamento entre os diferentes focos de classificação identificados nos trabalhos, foi gerado um grafo de forças direcionado.² Através desta visualização (Figura 4.2) é possível observar 6 agrupamentos distintos de acordo com a relação entre os trabalhos (círculos em azul marinho) e os eixos (círculos coloridos). Os agrupamentos representam uma das seguintes situações: trabalhos que abordam cada eixo isoladamente, trabalhos que utilizam dois eixos em seus modelos (*Tarefas Analíticas e Dados* e *Atributos Visuais e Dados*), e trabalhos que apresentam todos os 3 eixos em seus modelos.

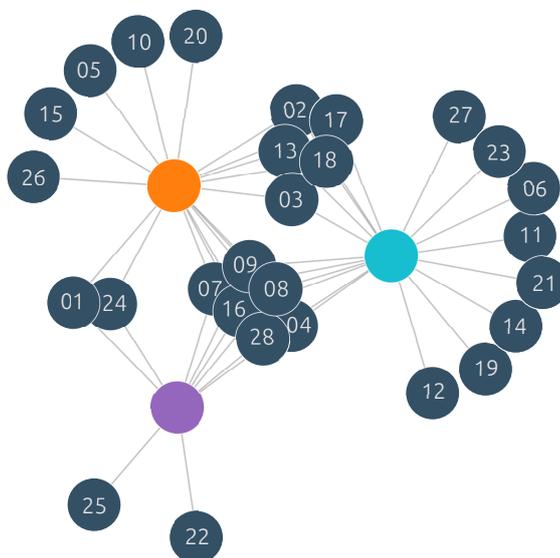


Figura 4.2. Relacionamento entre Eixos e Autores

O círculo alaranjado no gráfico da Figura 4.2 representa o eixo *Dados* onde podemos observar os 5 autores Robertson [1991]; Tweedie [1997]; Muller & Schumann [2003]; Bhowmick [2006]; Henderson & Segal [2013] que abordam exclusivamente este foco em seus modelos. O nó roxo representa o eixo *Atributos Visuais* onde temos os trabalhos de Rodrigues et al. [2006]; Sedlmair et al. [2012] cujos modelos as classificações estão voltadas para as propriedades visuais das visualizações. Ligados ao nó em azul (ciano) podemos observar 8 trabalhos voltados para classificações de tarefas analíticas dos usuários, são eles: Springmeyer et al. [1992]; Morse et al. [2000]; Fujishiro et al. [2000]; Maletic et al. [2002]; Amar et al. [2005]; Lee et al. [2006]; Valiati et al. [2006]; Roth [2013].

²Versão Interativa Disponível em: http://homepages.dcc.ufmg.br/~diego.barros/research/util/author_axis_relationship.html

Entre os nós laranja (*Dados*) e roxo (*Atributos Visuais*) temos os trabalhos de Mackinlay [1986]; Nazemi et al. [2011] que propõem modelos de classificação com estes dois focos. Já entre os nós azul (*Tarefas Analíticas*) e laranja (*Dados*) 5 trabalhos, Roth & Mattis [1990]; Shneiderman [1996]; Keim [2002]; Wenzel et al. [2003]; Tory & Moller [2004], unem estes dois focos em seus modelos. Finalmente no centro da rede, é possível observar os trabalhos de Wehrend & Lewis [1990]; Zhou & Feiner [1996]; Zhang [1996]; Card & Mackinlay [1997]; Pfitzner et al. [2003]; Franciscani Jr. et al. [2014] que fazem uso de todos os três eixos de classificação identificados na análise dos trabalhos.

4.2.1 Eixo Dados

O objetivo do eixo *Dados* é permitir uma caracterização dos dados que serão visualizados. As dimensões usadas para esta caracterização são: *Tipo de Dados*, *Número de Dimensões*, *Relacionamento* e *Nível de Medição*.

Presente nos trabalhos de Mackinlay [1986]; Roth & Mattis [1990]; Robertson [1991]; Zhou & Feiner [1996]; Wenzel et al. [2003]; Tory & Moller [2004], a dimensão **Tipo de Dados** tem como objetivo fazer uma distinção entre os dados conforme sua caracterização como **Quantitativo** e **Qualitativo**. A maioria dos trabalhos analisados não apresenta uma definição clara sobre o que são dados quantitativos e qualitativos. Somente Wenzel et al. [2003] fazem uma distinção ao dizer que o qualitativo reflete “*ideias e correlações*”, enquanto que o quantitativo “*pode ser descrito por quantidades (“Quanto”)*”. Sendo assim, para se obter uma definição mais precisa, foi feita uma pesquisa na área de metodologias de pesquisas onde foi encontrada a seguinte definição sobre qualitativo e quantitativo dada por Denzin & Lincoln [2011].

*"A palavra **qualitativa** implica em uma ênfase sobre as qualidades de entidades e nos processos e significados que não são examinados ou medidos experimentalmente (se pode ser medido de alguma forma) em termos de quantidade, valor, intensidade ou frequência. [...]. Em contrapartida, estudos **quantitativos** enfatizam a medição e análise das relações causais entre as variáveis, não entre processos."* [Denzin & Lincoln, 2011, p. 8, Tradução Nossa] ³

Ao contrastar a definição dada por Wenzel et al. [2003] com Denzin & Lincoln [2011], podemos concluir que a definição de Denzin & Lincoln [2011] está em concordância com Wenzel et al. [2003], porém, de uma forma mais precisa e bem definida.

³Texto Original: *The word qualitative implies an emphasis on the qualities of entities and on processes and meanings that are not experimentally examined or measured (if measured at all) in terms of quantity, amount, intensity, or frequency. [...]. In contrast, quantitative studies emphasize the measurement and analysis of causal relationships between variables, not processes.* [Denzin & Lincoln, 2011, p. 8]

A dimensão **Quantitativa** classifica os dados com essência numérica, cuja ênfase está na medição e análise das relações causais entre as variáveis, conforme a definição Denzin & Lincoln [2011], e encontra-se presente nos trabalhos de Mackinlay [1986]; Roth & Mattis [1990]; Zhou & Feiner [1996]; Wenzel et al. [2003]. A dimensão Quantitativa pode ser detalhada nas sub-dimensões *Intervalar* e *Razão* apresentadas por Stevens [1946]. A escala quantitativa *Intervalar* ocorre quando é possível quantificar as distâncias entre as medições, porém, sem a presença de uma unidade ou ponto nulo natural, por exemplo, dada as escalas *Celsius* e *Fahrenheit* não é possível assumir um ponto nulo (zero) ou dizer que uma é o dobro da outra. Nas escalas de *Razão*, diferentemente das escalas *Intervalares*, seus valores numéricos podem ser transformados (ex. polegadas para pés) somente através da multiplicação de cada valor por uma constante e um zero absoluto é sempre implícito, mesmo que o valor de zero em algumas escalas possa nunca ser produzido (ex. Temperatura Absoluta).

A dimensão **Qualitativa** seguindo também a definição de Denzin & Lincoln [2011] classifica os dados que expressam qualidades e atributos, e subdivide-se em *Nominal* e *Ordinal*, dimensões essas, presente nos trabalhos de Mackinlay [1986]; Roth & Mattis [1990]; Robertson [1991]; Zhou & Feiner [1996]; Wenzel et al. [2003]; Tory & Moller [2004]. O *Nominal* classifica os dados que representam características ou qualidades cuja essência não é numérica. A dimensão *Ordinal* consiste em uma classificação por “*ranking*” que se mantém numa forma invariante, ou seja, a ordenação imposta aos dados pela classificação por “*ranking*” é fixa. Por exemplo, a *escala de Mohs* (Tabela 4.2) foca em apresentar através de uma classificação o nível de dureza dos minerais, ou seja, a resistência que um determinado mineral oferece ao risco. Assim, se for apresentada a ordem entre os minerais (e não o valor de sua dureza) esta seria um exemplo de dimensão ordinal.

Tabela 4.2. Escala de Mohs (exemplo de dimensão ordinal)

Dureza	Mineral
1	Talco
2	Gipsita
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Feldspato
7	Quartzo
8	Topázio
9	Corindon
10	Diamante

Número de Dimensões é encontrada nos trabalhos de Shneiderman [1996]; Fujishiro et al. [2000]; Keim [2002]; Wenzel et al. [2003]; Tory & Moller [2004]; Franciscani Jr. et al. [2014] e seu objetivo é apresentar quantas dimensões um conjunto de dados pode possuir.

Podemos ter um dado unidimensional (1D), por exemplo, documentos textuais organizados sequencialmente onde cada item da coleção é uma linha do texto contendo uma cadeia de caracteres conforme afirma Shneiderman [1996], dados bidimensionais (2D) (ex.: dados planares, coordenadas geográficas), dados tridimensionais (3D) representando objetos do mundo real (ex.: moléculas, construções e etc.) e dados multi-dimensionais onde cada item de um conjunto de dados possui vários atributos (p. ex.: tabelas de banco de dados relacionais e diagrama de classes).

Abordada pelos trabalhos de Wenzel et al. [2003]; Pfitzner et al. [2003] a dimensão **Relacionamento** (Figura 4.3) exerce o papel de apresentar estruturas que descrevem as formas pelas quais os itens de um conjunto de dados possam ser arranjados. A classificação como *Linear* compreende o relacionamento retilíneo dos dados onde um dado referencia o próximo, *Circular* ocorre quando há um relacionamento entre os dados formando uma estrutura em círculo (ex.: redes de colaboração), *Hierárquico* é formado a partir de um relacionamento em árvore dos dados (ex. diretório de arquivos), *Rede* compreende as estruturas em grafos e *Estereograma* ou grade são as estruturas tridimensionais formada a partir dos dados (ex.: estruturas cristalinas de moléculas, construções em 3D).

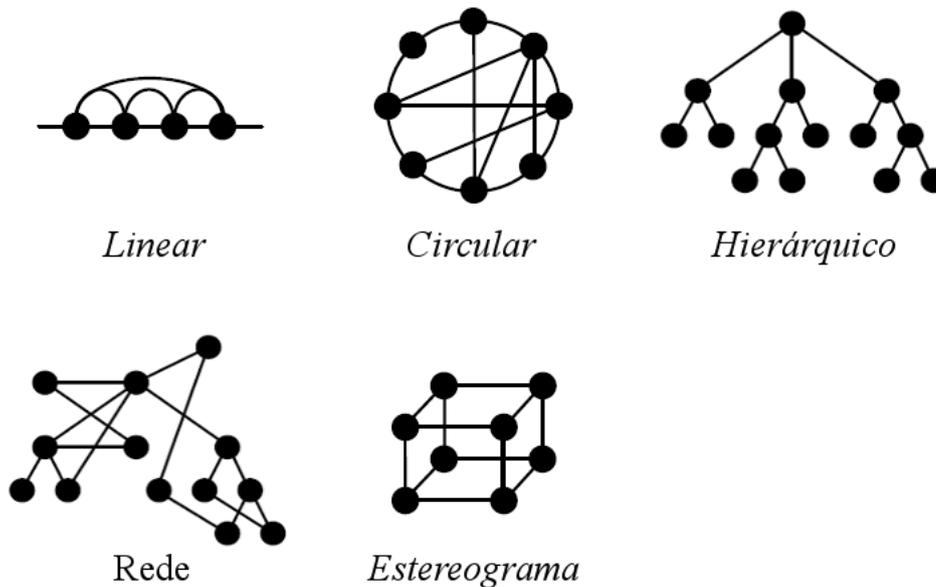


Figura 4.3. Estruturas de Relacionamento dos Dados

A última dimensão do eixo **Dados** é a **Nível de Medição**, presente nos modelos propostos pelos autores Robertson [1991]; Tweedie [1997]; Wenzel et al. [2003]; Muller & Schumann [2003]; Tory & Moller [2004] ela subdivide-se em *Contínua* se os itens pertencentes ao conjunto podem ter qualquer valor dentro de um intervalo finito ou infinito (ex.: peso,

altura, pressão e etc...) e *Discreta* se os valores pertencentes ao conjunto são distintos e separados (ex. sexo: ["Masculino", "Feminino"])).

4.2.2 Eixo Tarefas Analíticas

O eixo **Tarefas Analíticas** descreve as ações que podem ser feitas pelos usuários ao interagir com os dados como parte dos processos analíticos. Nos estudos relevantes analisados as tarefas são descritas em um alto-nível de abstração com o objetivo de descrever as possíveis ações disponíveis aos usuários. Portanto, dentro do eixo tarefas analíticas da UTIL as tarefas podem ser descritas como tarefas de **Interação do Usuário** ou ações de **Análise dos Dados**.

A dimensão **Interação do Usuário** descreve um conjunto de tarefas em alto nível realizadas pelos usuários durante sua interação com um sistema de visualização de dados. Para tal, foram utilizadas as 7 tarefas em alto nível de abstração e organizadas pelos problemas que os usuários estão tentando resolver, propostas por Shneiderman [1996]. Citadas nos trabalhos de Card & Mackinlay [1997]; Fujishiro et al. [2000]; Keim [2002]; Maletic et al. [2002]; Pfitzner et al. [2003]; Tory & Moller [2004]; Amar et al. [2005]; Valiati et al. [2006], o conjunto de tarefas em alto nível é composto pelas seguintes tarefas:

Visão Geral: implica em obter uma visão geral de toda coleção de dados que está sendo visualizada;

Zoom: consiste ampliar os itens de interesse para determinada análise;

Filtrar: é eliminar os itens que não são de interesse;

Detalhes sob demanda: é a seleção de um item ou grupo e obtenção de detalhes quando necessário;

Relacionar: é visualizar os relacionamentos entre os itens;

Histórico: é manter o histórico das ações dos usuários para dar suporte a funcionalidades de desfazer, repetir e refinamento progressivo;

Extração: é permitir a extração de sub-coleções e parâmetros de consulta.

Análise dos Dados descreve um conjunto de tarefas em baixo nível feitas pelos usuários durante a análise dos dados. Presente nos trabalhos de Zhou & Feiner [1996]; Fujishiro et al. [2000]; Morse et al. [2000]; Tory & Moller [2004]; Amar et al. [2005]; Valiati et al. [2006]; Roth [2013], as tarefas do modelo de Wehrend & Lewis [1990] foram usadas para compor esta dimensão. Através de uma análise qualitativa dos trabalhos foi possível observar que a taxonomia de tarefas proposta por Wehrend & Lewis [1990] continua sendo usada ao longo dos anos nos modelos que visam classificar as visualizações de dados e consegue sumarizar as diversas tarefas em baixo nível realizadas pelos usuários durante o processo de análise dos dados.

Localizar: ocorre quando o usuário conhece algum item do conjunto de dados e o indica;

Identificar: assemelha-se a *Localizar*, porém, neste caso o usuário não tem conhecimento prévio do item do conjunto de dados;

Distinguir: implica em diferenciar itens em um conjunto de dados;

Categorizar: significa definir classificações para os itens;

Agrupar (*Cluster*): é a tarefa de agrupar itens conforme suas características em comum;

Distribuição: é especificar itens pertencentes a categorias e distribuí-los entre elas;

Rank: é a indicação da ordem dos dados exibidos, ou seja, sua ordenação;

Comparar: é a comparação dos dados com base em suas características;

Dentro e Entre Relações: significa comparar similaridades inter ou intra conjuntos de dados;

Associar: é estabelecer relações entre os dados;

Correlacionar: é a observação de características compartilhadas entre os dados.

4.2.3 Eixo Atributos Visuais

O eixo **Atributos Visuais** baseia-se nas propriedades do sistema gráfico apresentado por Bertin & Berg [2010], por ser usado amplamente na literatura e se tratar de uma literatura clássica e consolidada na comunidade de Visualização de Informação. Por exemplo, o trabalho de Bertin & Berg [2010] se faz presente nos trabalhos dos seguintes autores: Mackinlay [1986]; Roth & Mattis [1990]; Wehrend & Lewis [1990]; Zhang [1996]; Zhou & Feiner [1996]; Card & Mackinlay [1997]; Muller & Schumann [2003]; Tory & Moller [2004]; Nazemi et al. [2011]; Roth [2013]; Franciscani Jr. et al. [2014]. Em nossa pesquisa não foram encontrados trabalhos que estenderam os atributos originais propostos por Bertin & Berg [2010] ou propuseram novos.

Bertin & Berg [2010] propõem e descrevem os atributos visuais como **Variáveis Visuais** ou **Nível de Organização**. As **Variáveis Visuais** são então detalhadas profundamente como **Variáveis de Retina** ou **Plano**. As **Variáveis de Retina** são as variáveis relacionadas à percepção profunda definida pela psicologia experimental, são elas: *Tamanho*, *Textura*, *Cor*, *Orientação*, *Forma* e *Valor* (Razão entre a quantidade total de preto e branco percebida em uma determinada superfície).

O **Plano**, por sua vez, é considerado como o pilar de toda representação gráfica, sendo mais detalhado como **Classes de Representação**, podendo ser *Ponto*, *Linha* e *Área* ou **Imposição**. **Imposição** refere-se a duas dimensões planares e pode ser descrita na forma de **Tipos de Imposição** e **Grupos de Representação**. **Tipos de Imposição** representa

as diferentes formas em que os componentes podem ser descritos, de acordo com 5 diferentes tipos, são eles: *Arranjo* ocorre quando os componentes estão inscritos de forma dispersa no *Plano*, já os tipos *Retilíneo*, *Circular*, *Ortogonal* e *Polar* em respeito ao formato da construção dos componentes no plano. **Grupos de Representação** refere-se à utilização de dois componentes da dimensão Plano e pode ser detalhada como:

1. *Diagramas*: Quando as correspondências no *Plano* podem ser estabelecidas entre todas as divisões de um e de outro componente;
2. *Redes*: Quando as correspondências no *Plano* podem ser estabelecidas entre todas as divisões do mesmo componente;
3. *Mapas*: Quando as correspondências no *Plano* podem ser estabelecidas entre todas as divisões do mesmo componente e estão organização conforme uma ordem geográfica;
4. *Símbolos*: Quando as correspondências não são estabelecidas no *Plano*, mas entre um único elemento do plano e o leitor, ou seja, a correspondência é exterior ao gráfico.

Nível de Organização define o nível de percepção das propriedades visuais de cada **Variável Visual**. O **Nível de Organização** pode ser descrito como *Seleção* quando é possível isolar todas as correspondências pertencentes à mesma categoria, *Associação* quando é possível agrupar imediatamente todas as correspondências diferenciadas por essa variável, *Ordem* quando as classificações visuais de suas categorias ou passos são imediatos ou universais e *Quantidades* quando a distância entre duas categorias de um componente ordenado podem ser expressas imediatamente por uma razão numérica.

4.3 A Ferramenta UTILITY

Conforme apresentado anteriormente, o objetivo da taxonomia UTIL é ser um modelo de classificação geral unificado que pode ser utilizado para descrever os esquemas de classificação existentes, assim como, as técnicas de visualização de dados. Diante disso, vimos a necessidade de desenvolver uma ferramenta que permitisse a representação através da taxonomia UTIL, facilitando o seu uso em contextos de classificação dentro da área de Visualização de Informação.

Sendo assim, foi desenvolvida a UTILITY, uma ferramenta online cujo objetivo é permitir que os usuários utilizem a UTIL em um contexto real. Desenvolvida para a plataforma Web com as tecnologias *HTML5*, *CSS3*, *JavaScript*, *D3js* e *Bootstrap*⁴, a ferramenta permite que o usuário, através de sua interface, escolha quais dimensões da UTIL são de seu interesse.

⁴Fonte: <http://getbootstrap.com/>

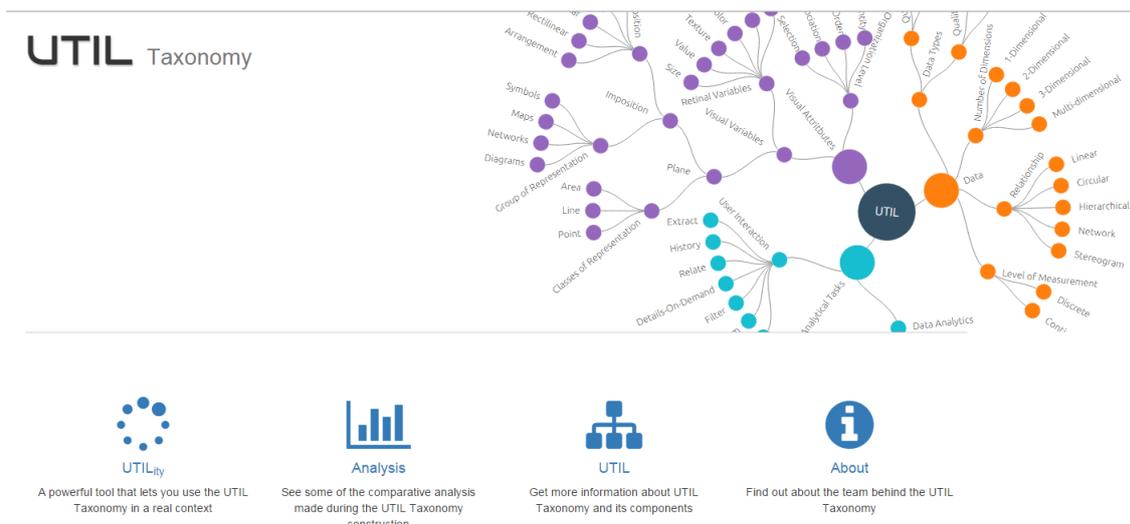


Figura 4.4. Página Inicial do Projeto Taxonomia UTIL

A Figura 4.4 apresenta a página inicial do projeto Taxonomia UTIL⁵ onde podem ser encontradas as visualizações utilizadas nas análises comparativas apresentadas neste trabalho (ver Capítulo 6), uma seção dedicada para a descrição da estrutura da taxonomia e informações sobre a equipe por trás deste trabalho. Além destas informações, através desta página⁶ o usuário pode ter acesso a ferramenta UTILity ao clicar na primeira opção do menu **UTILity** que abrirá a página da ferramenta (Figura 4.5).

Através do menu hierárquico localizado na barra lateral do sistema o usuário pode escolher ao clicar em um dos *checkboxes* que eixos e dimensões representar (Figura 4.5). Ao selecionar uma dimensão, ela será visualizada, assim como todas as dimensões que a antecedem na hierarquia. Por exemplo, a Figura 4.6 apresenta um mapeamento da Taxonomia de Tarefa por Tipo de Dados (TTT) proposta por Shneiderman [1996], feito com a UTILity. Observe que, além de poder escolher cada um dos componentes no menu hierárquico, o usuário consegue através do recurso de detalhes sob demanda implementado através do *Tooltip*, obter a descrição de cada item da UTIL ao passar o mouse sobre cada um dos nós da árvore, quer estejam ativados ou não.

Com isso, vemos que a ferramenta UTILity operacionaliza o objetivo proposto pela taxonomia UTIL de ser um modelo de classificação geral unificado, pois com ela o usuário consegue facilmente obter um mapeamento visual dos esquemas de classificação existentes. Assim, permite a análise da representação na UTIL de diferentes modelos e, conseqüentemente sua comparação. No próximo capítulo apresentaremos as análises feitas com a ferramenta UTILity, com o objetivo de verificar o potencial de uso da taxonomia UTIL em representar os modelos de classificação, permitindo assim sua comparação.

⁵Disponível em <http://homepages.dcc.ufmg.br/~diego.barros/research/util>

⁶Disponível em <http://homepages.dcc.ufmg.br/~diego.barros/research/util/utility.html>



Figura 4.5. Ferramenta UTILITY



Figura 4.6. Exemplo de Mapeamento com a Ferramenta UTILITY

Capítulo 5

Análises Usando a UTIL

Uma vez finalizada a proposta da taxonomia, o próximo passo feito foi a análise do seu potencial de uso, a fim de verificar se alcançamos o objetivo principal deste trabalho de propor uma taxonomia que possa ser usada para a discussão e caracterização dos modelos de classificação propostos. Para tal, alguns dos modelos existentes na área foram avaliados sobre a perspectiva da UTIL com o auxílio da ferramenta UTILity. A comparação através da UTIL possibilita a obtenção de uma visão geral dos modelos propostos na área de Visualização de Informação, assim como, as suas características e pontos em comum. Nas próximas seções, apresentaremos os resultados alcançados com a avaliação do estado da arte e comparação dos modelos a fim de demonstrar o potencial de uso da taxonomia.

5.1 Análise do Estado da Arte de Visualização de Informação

Nesta seção analisaremos o estado da arte da área de Visualização de Informação através da taxonomia UTIL. Para isso, analisamos o uso de cada uma das dimensões da UTIL nos conjunto de 28 trabalhos considerados para sua formação. A visualização gerada (Figura 5.1) representa não somente os eixos e dimensões com suas respectivas cores: *Dados* [Laranja], *Tarefas Analíticas* [Azul] e *Roxo* [Atributos Visuais]; mas também quão frequentemente cada um deles é mencionado nos estudos relevantes recuperados, através do tamanho proporcional dos círculos. A partir desta análise teremos uma visão geral de como os conceitos presentes nos componentes da taxonomia são apresentados nos modelos de classificação propostos nos trabalhos analisados.

Olhando a Figura 5.1 é possível ver que os eixos **Dados** e **Tarefas Analíticas** são representados e discutidos mais frequentemente nos estudos analisados do que os **Atributos Visuais**. Acreditamos que isso ocorra porque os dois primeiros eixos auxiliam diretamente no

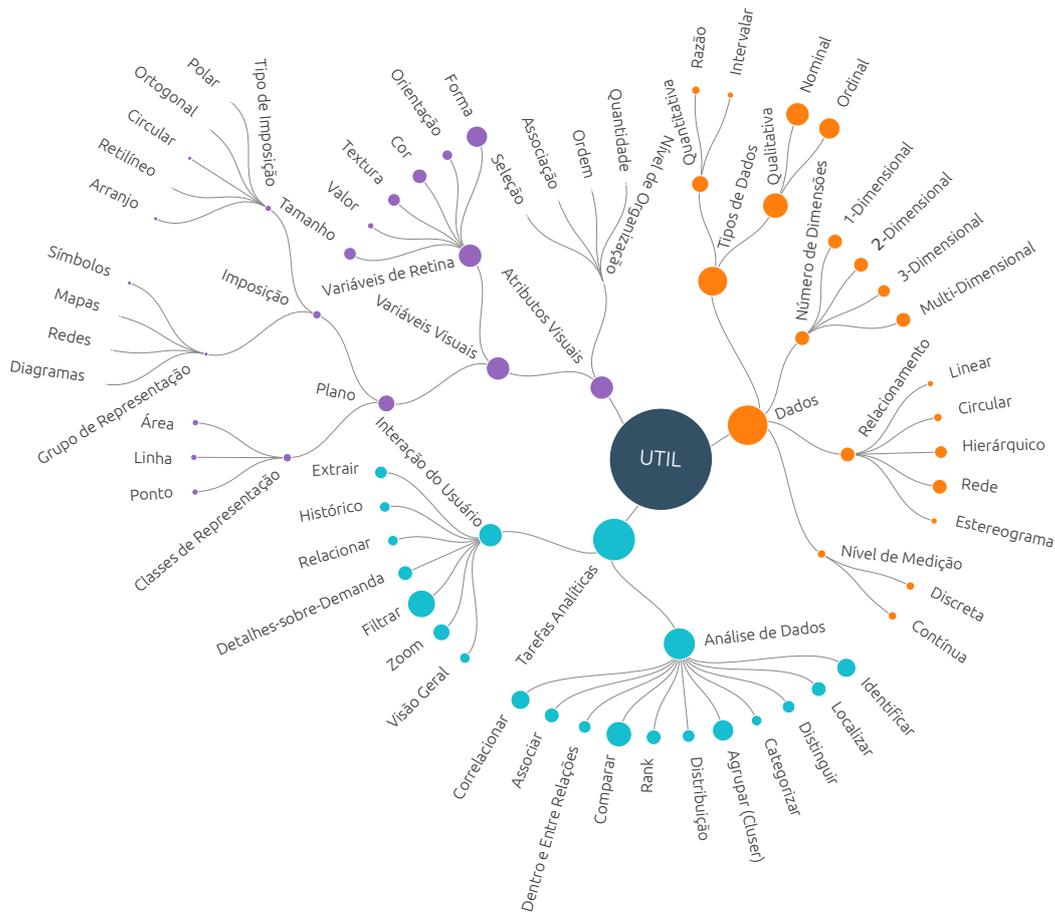


Figura 5.1. Estrutura da Taxonomia UTIL Ponderada

entendimento da capacidade e aplicabilidade das visualizações durante os processos de análise dos dados, enquanto os **Atributos Visuais** podem ser vistos apenas como um descritivo das técnicas de visualização de dados e como apoio aos projetistas de técnicas e sistemas de visualização.

Sobre as **Tarefas Analíticas** é possível observar que a dimensão **Filtrar** é abordada com maior frequência nos trabalhos analisados quando comparada com as outras que fazem parte da dimensão **Interação do Usuário**. Já em **Análise de Dados** há um destaque maior para a dimensão **comparar** seguidas das dimensões **agrupar (cluster)**, **identificar** e **correlacionar**. Sendo assim, é levantada a hipótese de que tais dimensões possam formar um conjunto básico de tarefas necessárias para análise dos dados.

A respeito do eixo **Dados**, é importante mencionar que em **Tipos de Dados**, as dimensões *Qualitativas* são mencionadas mais frequentemente do que as dimensões relacionadas ao ramo *Quantitativo*. Tal fato é curioso, pois acreditamos que a maioria das técnicas de visualização são apropriadas para dados quantitativos e existem poucos métodos que focam em dados puramente qualitativos. Contudo, é claro a partir de nosso estudo que as dimensões *Ordinal* e *Nominal* são muito mais mencionadas nos trabalhos recuperados pela SLR do que

Razão e Intervalar. Neste caso, isso não significa que haja mais trabalhos que focam nos dados *Qualitativos*, mas aponta para uma preocupação maior por parte da comunidade em detalhar e explicitar as dimensões que lidam com este tipo de dados qualitativos. No entanto, levantamos a hipótese de que talvez os modelos tenham como premissa que eles são para dados quantitativos, e não é relevante detalhar a diferença entre razão e intervalar.

A dimensão **Relacionamento** cujo objetivo é apresentar as estruturas que descrevem as formas como os dados podem ser arranjados obteve mais trabalhos que especificam em seus modelos os relacionamentos *hierárquicos* e em *redes* do que as outras dimensões. Tal resultado revela uma preocupação por parte dos autores em caracterizar as técnicas de visualização que lidam com tais tipos de relacionamento de dados em seus modelos. Provavelmente isso ocorra pois visualizações que lidam com dados em rede e/ou hierárquicos são aplicáveis em diferentes contextos comparado as outras as outras dimensões de *relacionamento* que são mais específicas.

Nível de Medição é a dimensão do eixo **Dados** que foi menos mencionada, provavelmente porque nos modelos analisados ela não é discriminatória em apresentar opções de escolha de alguma técnica de visualização, uma vez que a maioria das técnicas que são apropriadas para dados quantitativos podem ser aplicadas tanto para dados discretos quanto contínuos. A análise deste eixo **Dados** nos leva a levantar a hipótese de que os esquemas de classificação propostos focam principalmente nas dimensões discriminativas em termos de técnicas de visualização.

A respeito dos **Atributos Visuais**, a maioria dos estudos analisados envolvem propor em seus modelos as **Variáveis Visuais**. Acreditamos que a dimensão **Plano** tende a ser mais referenciada devido ao fato de ela ser um elemento básico para a construção das visualizações e conseqüentemente sua presença é maior nos modelos de classificação. Além da dimensão *plano* os componentes *Forma*, *Cor*, *Textura* e *Tamanho* da dimensão **Variáveis de Retina** são também amplamente citados na literatura, provavelmente devido ao fato delas serem os atributos visuais mais populares para a construção das visualizações. Além disso, é possível observar que algumas dimensões não foram utilizadas nos modelos avaliados, por exemplo: *Mapas*, *Redes* e *Diagramas*. Tal fato aponta para possíveis pontos de ajustes na taxonomia, pois vemos que em **Atributos Visuais** ela é mais aprofundada, logo mais representativa. No entanto, os trabalhos analisados não chegaram neste nível de caracterização, o que indica a possibilidade de tal detalhamento ser desnecessário. Sendo assim, este seria um ponto a ser observado e que, com o uso, poderia apontar para futuros ajustes na própria UTIL.

Com o objetivo de obtermos uma visão geral da presença das dimensões nos modelos propostos pelos autores ao longo dos anos, foi gerada uma visualização temporal¹ (Figura 5.2) considerando as dimensões de cada eixo da UTIL, onde, as colunas representam o período em anos dos trabalhos recuperados pela Revisão Sistemática feita neste estudo, e as linhas

¹Versão interativa gerada com D3js (<http://d3js.org/>) e disponível em: http://homepages.dcc.ufmg.br/~diego.barros/research/util/dimension_along_time.html

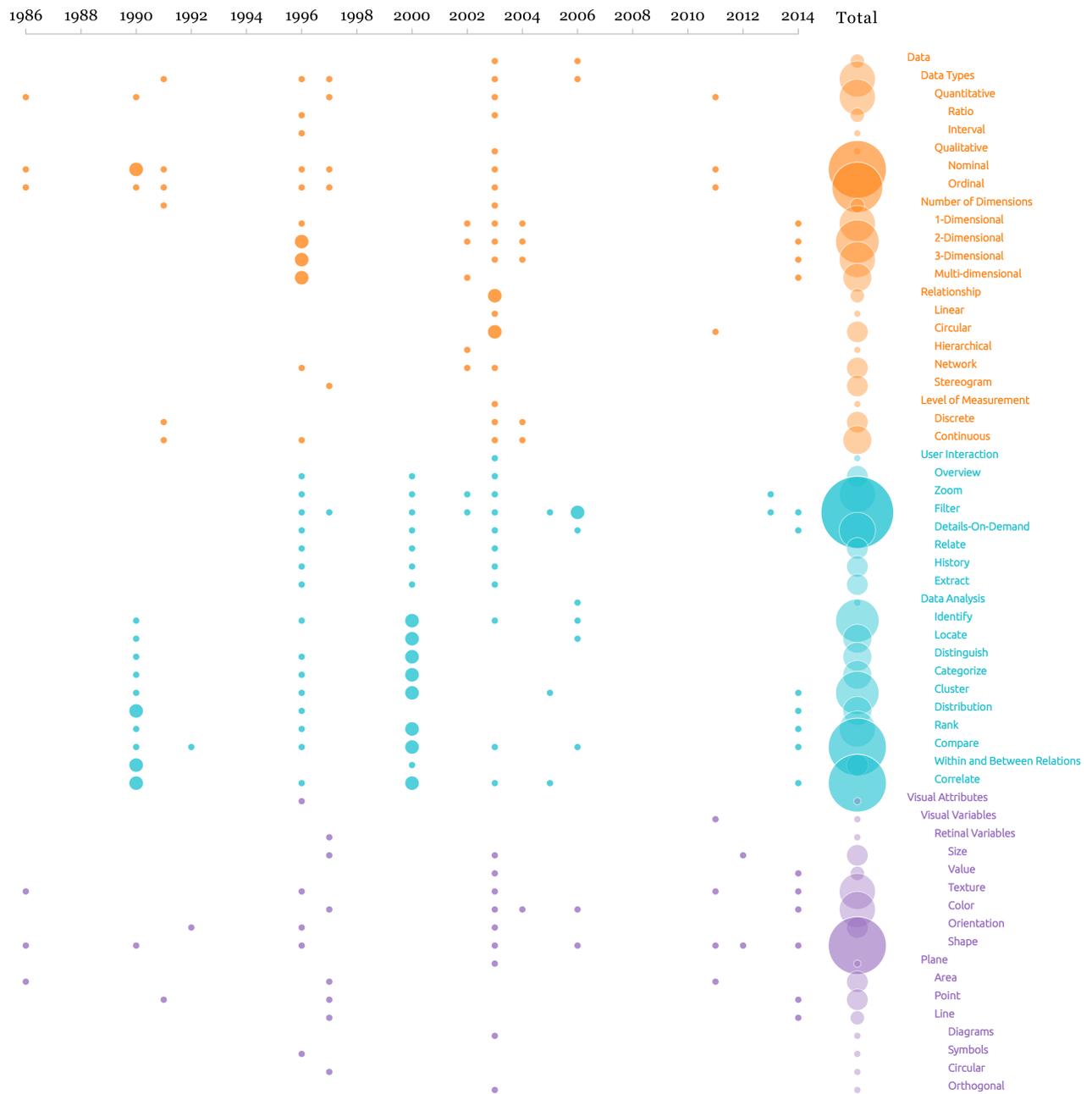


Figura 5.2. Evolução das Dimensões ao Longo dos Anos - 1986 a 2014

os nomes das dimensões da UTIL aninhadas conforme a estrutura hierárquica da taxonomia, cuja cobertura foi **Total**² pelos trabalhos recuperados pela SLR. Alinhada aos nomes das dimensões temos a coluna *Total*, onde cada círculo colorido com as respectivas cores dos eixos a que pertence, tem o seu tamanho proporcional ao valor total de citações das dimensões ao longo dos anos pelos autores. Os círculos menores nas áreas de interseção entre os eixos,

²As dimensões cuja cobertura foi total correspondem àquelas que fazem parte da estrutura da taxonomia proposta e emergiram a partir da análise realizada nos trabalhos onde a partir da análise de cada um dos eixos identificados foram consideradas as mais comuns.

cujos tamanhos são proporcionais também ao número de citações, representam a referência a uma dimensão em um trabalho publicado naquele respectivo ano.

A partir de uma análise geral da visualização vemos que ao considerarmos o tamanho dos círculos, há uma preocupação maior por parte da comunidade durante os anos em propor modelos voltados para a caracterização de *Tarefas Analíticas* e *Dados* mais do que *Atributos Visuais*, que possui todos os círculos com tamanho homogêneo. Acreditamos que isso ocorra devido ao fato dos componentes do eixo *Atributos Visuais* serem parte das propriedades do sistema gráfico apresentado por Bertin & Berg [2010]³, o que o aponta como um modelo já consolidado e usado por parte dos pesquisadores para a caracterização das propriedades visuais presentes nas técnicas de visualização de dados.

No período de 2007 a 2010 não houve propostas de esquemas de classificação para a área de Visualização de Informação. Já entre os anos de 1996 a 2006, observa-se que há uma agregação maior dos círculos, o que indica uma forte presença de trabalhos que propõem modelos para esta área. Especificamente no ano 2000 é possível ver claramente a presença de trabalhos que tratam exclusivamente de dimensões relacionadas às tarefas realizadas pelos usuários durante um processo de análise.

A análise do estado da arte a partir da taxonomia UTIL revelou características relacionadas ao foco de cada um dos modelos propostos nos trabalhos recuperados pela SLR. Através da análise foi possível observar pontos específicos que surgiram ao longo dos anos nas propostas de modelos e a partir deles foram levantadas as seguintes hipóteses e propostas de trabalhos:

- **filtrar, comparar, agrupar, identificar e correlacionar** são mencionadas mais frequentemente nos trabalhos analisados

Hipótese: tais dimensões formem um conjunto básico de tarefas necessárias para análise dos dados;

Proposta: conduzir uma análise cuidadosa em trabalhos com foco nas tarefas analíticas feitas pelos usuários, a fim de avaliar a hipótese levantada.

- **ordinal e nominal** são muito mais mencionadas do que **razão** e **intervalar**

Hipótese: premissa que eles são para dados quantitativos, e não seja relevante detalhar a diferença;

Proposta: realizar um estudo aprofundado nos trabalhos que apresentam modelos com foco na caracterização dos dados visualizados, com o objetivo verificar a necessidade de detalhar os dados quantitativos como **razão** e **intervalar**.

- **atributos visuais** é mais aprofundado, logo mais descritivo

³Originalmente publicado em 1967.

Hipótese: possibilidade de tal detalhamento ser desnecessário, pois os trabalhos analisados não abordaram todos os níveis de caracterização

Proposta: fazer uma avaliação de uso da taxonomia, a fim de levantar indicadores que apontem para futuros ajustes na própria UTIL

Sendo assim, o modelo permite identificar questões que talvez sejam de interesse e que poderiam dar início a uma investigação aprofundada que permita comprovar (ou não) as hipóteses levantadas. Além disso, vemos que o mapeamento feito através da UTIL funciona como um meio de padronizar os diferentes tipos de propostas de modelos de classificação apresentadas na literatura permitindo a sua análise e comparação.

5.2 Comparação dos Diferentes Esquemas de Classificação

A taxonomia UTIL foi usada também para analisar comparativamente alguns dos diferentes esquemas de classificação identificados em nossa SLR. Para tal, foi feito o mapeamento dos modelos através da estrutura da taxonomia o que permitiu esta análise. A comparação de modelos através da UTIL possibilita a visualização dos diferentes focos e abordagens apresentada por cada um deles, assim como, uma forma de apoio na tomada de decisão durante a escolha daquele que melhor se aplica a determinado contexto de uso.

Para a avaliação proposta nesta seção foram escolhidos 3 contextos diferentes de comparação entre 2 modelos com diferentes relações entre si, com o objetivo de coletar indicadores de como a UTIL poderia auxiliar na comparação entre eles. Os contextos escolhidos foram:

1. Dois modelos com focos distintos;
2. Dois modelos similares, em que um se baseia no outro;
3. Dois modelos que, assim como a UTIL, propõem classificações unificadas.

Logo, foram escolhidos 6 trabalhos da SLR inseridos nestes contextos com o objetivo de obter indicadores de como seria comparar trabalhos que fossem diferentes de acordo com tais critérios. Sendo assim, foram selecionados os seguintes trabalhos: Mackinlay [1986]; Fujishiro et al. [2000]; Wenzel et al. [2003]; Pfitzner et al. [2003]; Nazemi et al. [2011]; Franciscani Jr. et al. [2014]. Estes autores foram escolhidos pois sabíamos previamente através das análises feitas que eles representavam tais casos. Logo, baseado neste conjunto de trabalhos, foram feitas as seguinte comparações:

1. **Wenzel et al. [2003] X Fujishiro et al. [2000]:** Trabalhos que abordam respectivamente sobre *Dados e Tarefas Analíticas* que foram selecionados com o objetivo de comparar autores com focos distintos para vermos como seria representado pela UTIL.

2. **Nazemi et al. [2011] X Mackinlay [1986]**: Trabalhos voltados para *Dados e Atributos Visuais* onde Nazemi et al. [2011] tem seu modelo fundamentado no trabalho de Mackinlay [1986]. O objetivo desta comparação era ver as diferenças entre os dois modelos através da UTIL, sendo assim, foi escolhido um que era uma extensão de outro.
3. **Franciscani Jr. et al. [2014] X Pfitzner et al. [2003]**: Trabalhos que propõem uma abordagem unificada de classificação em Visualização de Informação. O objetivo era comparar trabalhos que assim como a UTIL propõem taxonomias unificadas, o que possibilitaria gerar também indicadores da diferença da UTIL em relação a eles.

A primeira taxonomia representada é a proposta por Wenzel et al. [2003], que descreve as técnicas de visualização com foco na área de simulação em produção e logística e esboça como sua taxonomia pode ser usada como base no apoio à decisão para a seleção da melhor técnica de visualização para grupos específicos. Conforme demonstrado na Figura 5.3, a taxonomia de técnicas de visualização do ponto de vista relacionado a informação foca nos dados e nas tarefas analíticas. Em comparação com a taxonomia UTIL, quase todas as dimensões do eixo **Dados** são incluídas, exceto as dimensões: *Linear e Estereograma*. Em relação às **Tarefas Analíticas**, cinco delas são cobertas pela dimensão **Análise de Dados**.

Fujishiro et al. [2000], com foco nas *tarefas analíticas*, propõem uma taxonomia orientada aos objetivos dos usuários durante a interação com alguma visualização de dados, combinando a taxonomia de Shneiderman [1996] com a matriz de Wehrend & Lewis [1990]. Ao comparar as representações através da UTIL com as taxonomias propostas por Fujishiro et al. [2000] e Wenzel et al. [2003] é fácil perceber através da Figura 5.4 suas diferenças e focos. Wenzel et al. [2003], em sua taxonomia enfoca mais nos **Dados** deixando apenas as dimensões *Linear e Estereograma*. Fujishiro et al. [2000], por sua vez, apresenta um modelo específico para as **Tarefas Analíticas**, que cobre todas as dimensões propostas para este eixo na taxonomia UTIL. Assim, a partir desta visualização uma pessoa poderia escolher um modelo sem ter que estudá-los, podendo focar somente no de maior interesse.

A seguir, compararemos os trabalhos de Mackinlay [1986] e Nazemi et al. [2011], que têm focos muito similares, uma vez que o trabalho de Nazemi et al. [2011] na verdade se baseia na proposta de Mackinlay [1986]. Mackinlay [1986] (Figura 5.5) apresenta um ranking de tarefas perceptivas que relaciona os tipos de dados com os elementos gráficos percebidos pelos usuários. Nazemi et al. [2011], por sua vez, propôs uma taxonomia orientada aos usuários de visualizações de grafos cujo objetivo está na classificação de técnicas de visualização conforme as características visuais comumente suportadas.

As similaridades entre estes modelos são visíveis através das visualizações geradas com a UTILity. Conforme esperado, a análise das figuras revela que Nazemi et al. [2011] (Figura 5.6) usou a caracterização de dados proposta por Mackinlay [1986]. Não houve alterações na representação de **Dados**, no entanto, em relação aos **Atributos Visuais** Nazemi et al. [2011] adicionou as dimensões *Orientação e Tamanho* às **Variáveis de Retina** e a respeito da

dimensão **Plano** removeu *Área* e incluiu *Circular*. Provavelmente, essas mudanças foram feitas para dar suporte a visualização em grafos, pois pelo trabalho sabe-se que seu objetivo era apresentar uma nova taxonomia baseada em técnicas de visualização de grafos, que as classifica conforme características visuais suportadas. Logo, a visualização deixa claro este objetivo uma vez que as dimensões *circular* e *tamanho* são necessárias para a representação, por exemplo, dos nós de um grafo.

Finalmente foi feita uma análise com os modelos dos trabalhos propostos por Pfitzner et al. [2003] e Franciscani Jr. et al. [2014] que propõem uma abordagem de classificação para Visualização de Informação mais ampla. Pfitzner et al. [2003] em seu estudo propõe uma taxonomia unificada para Visualização de Informação que busca caracterizar a área em termos de dados, tarefas, habilidade e contexto, número de dimensões que estão relacionadas aos dispositivos de entrada e saída, ferramentas de software, interações do usuário e habilidades perceptuais humanas. Franciscani Jr. et al. [2014], por sua vez, propõem um processo de anotação unificado que permite que a comunidade anote ou associe termos para as tradicionais técnicas de visualização de dados, assim como, as novas técnicas sendo desenvolvidas.

Ao contrastar a árvore gerada da taxonomia de Pfitzner et al. [2003] (Figura 5.7) com a proposta de Franciscani Jr. et al. [2014] (Figura 5.8) é possível perceber que embora ambos os modelos contemplem os 3 eixos da UTIL, há diferenças significativas em como fazem isso. A respeito do eixo **Dados**, os autores diferem um pouco em seus focos, pois Franciscani Jr. et al. [2014] propõem uma caracterização de dados voltada apenas para os *Números de Dimensões*, diferentemente de Pfitzner et al. [2003] que não abordam este tipo de classificação, porém, tratam os *Tipos de Dados* em um alto nível de abstração juntamente com as estruturas apresentadas na dimensão *Relacionamento*.

Sobre as **Tarefas Analíticas**, vemos que Franciscani Jr. et al. [2014] apresentam tarefas tanto de mais alto nível, quanto de mais baixo nível de abstração, já que incluem alguns dos termos de classificação das dimensões *Interação do Usuário* e *Análise de Dados*, diferentemente de Pfitzner et al. [2003], que focam exclusivamente nas tarefas relacionadas à *Interação do Usuário*. Para os **Atributos Visuais** ambos autores focam nas *Variáveis Visuais* ao apresentarem todos os componentes das *Variáveis de Retina* e a dimensão *Plano*. Franciscani Jr. et al. [2014] no entanto permite um detalhamento maior da dimensão *Plano* e propõem as dimensões *Linha* e *Ponto* não apresentadas na taxonomia de Pfitzner et al. [2003].

Franciscani Jr. et al. [2014] comparado a Pfitzner et al. [2003] traz o seu foco mais para tarefas e atributos visuais. Em contrapartida, Pfitzner et al. [2003] apresenta uma caracterização maior de dados. Essas diferenças apontam que cada um dos modelos pode ser mais adequado a contextos distintos. Por exemplo, caso a necessidade seja caracterizar as tarefas de interação do usuário, a taxonomia de Pfitzner et al. [2003] seria a mais indicada. Por outro lado, caso o contexto exija a representação das tarefas de interação do usuário juntamente com a análise de dados o modelo de Franciscani Jr. et al. [2014] se aplicaria

melhor comparado a Pfitzner et al. [2003]. Finalmente, vale notar que nenhum dos dois modelos, embora proponham uma taxonomia unificada, sobrem todas as dimensões propostas na UTIL. Este é um indicador que a representatividade da UTIL é mais ampla que as destes modelos.

A análise comparativa possibilitou a obtenção de diversas visões dos modelos, por exemplo, na primeira análise onde foram comparados os trabalhos de Wenzel et al. [2003] e Fujishiro et al. [2000] foi possível visualizar os focos principais de cada um dos modelos. No caso de Mackinlay [1986] e Nazemi et al. [2011] foi possível observar as semelhanças e diferenças entre os modelos já a comparação entre Franciscani Jr. et al. [2014] e Pfitzner et al. [2003] revelou pontos específicos de modelos com o mesmo propósito.

A partir das análises realizadas foi possível observar o papel da UTIL como meta-modelo, ao permitir a comparação e análise de diferentes propostas de modelos de classificação. Apesar dos indicadores gerados pelas análises sobre a UTIL, eles têm um viés, uma vez que foram usados trabalhos que foram considerados na proposta da UTIL. Assim, embora os indicadores mostrem que a UTIL possa apontar diferenças interessantes sobre eles, não coletamos dados sobre a expressividade da UTIL. Para isso, seria necessário um conjunto de esquemas de classificação independentes dos que foram utilizados na pesquisa.

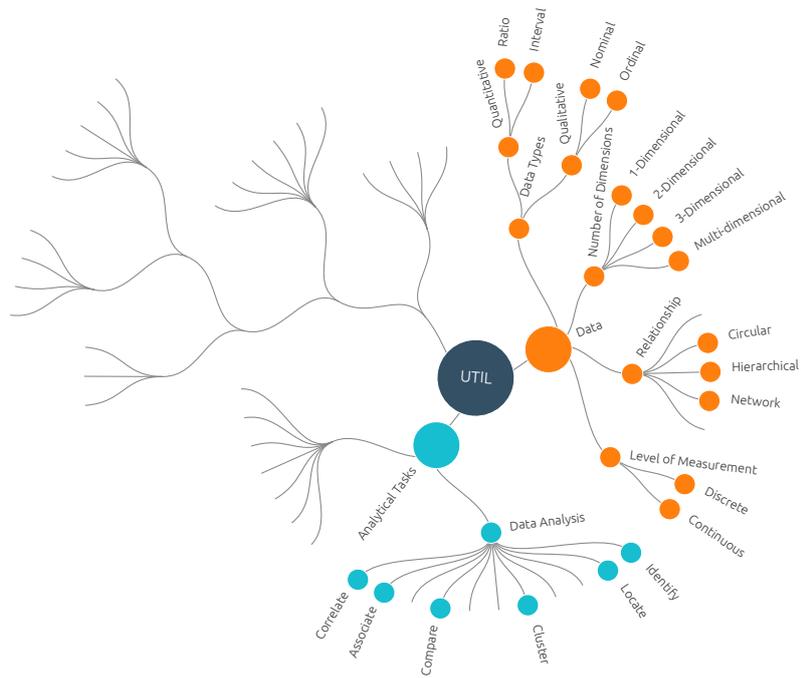


Figura 5.3. Mapeamento do Trabalho de Wenzel et al. [2003]

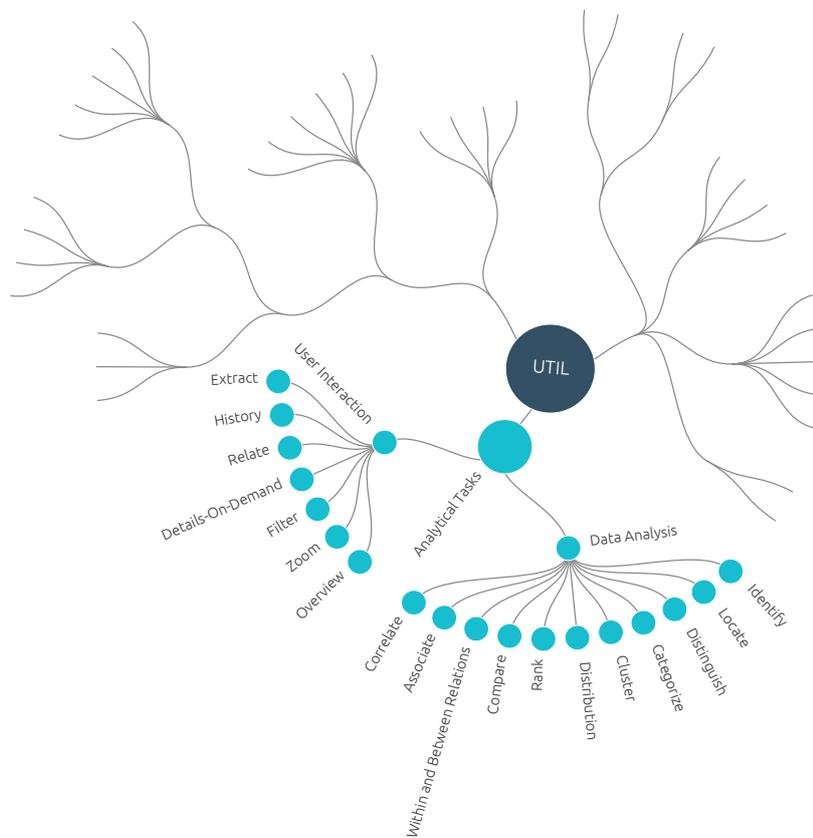


Figura 5.4. Mapeamento do Trabalho de Fujishiro et al. [2000]

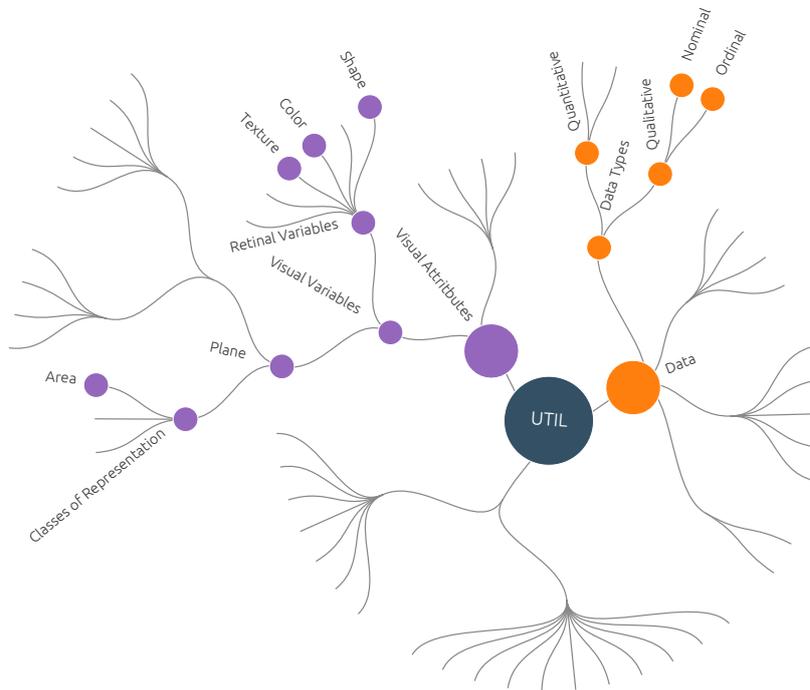


Figura 5.5. Mapeamento do Trabalho de Mackinlay [1986]

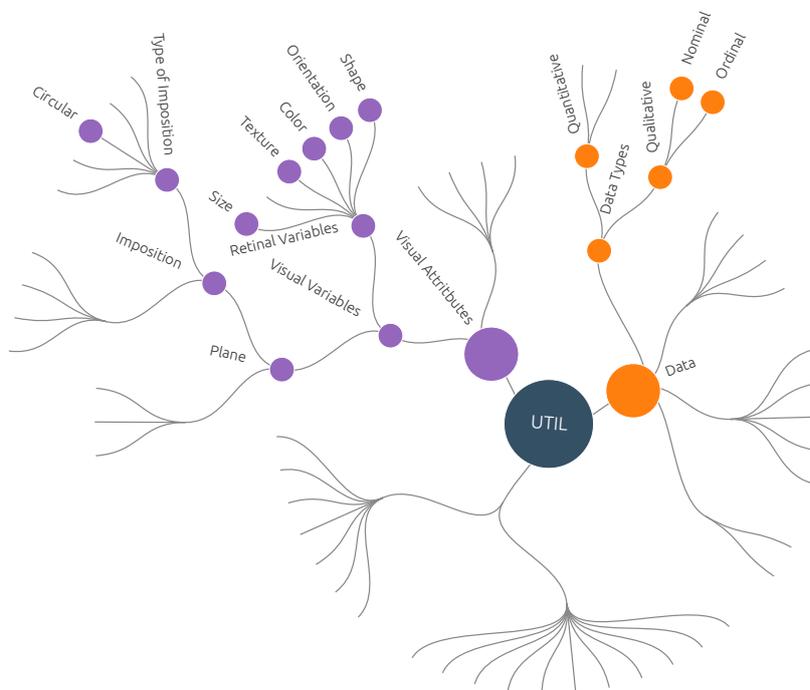


Figura 5.6. Mapeamento do Trabalho de Nazemi et al. [2011]

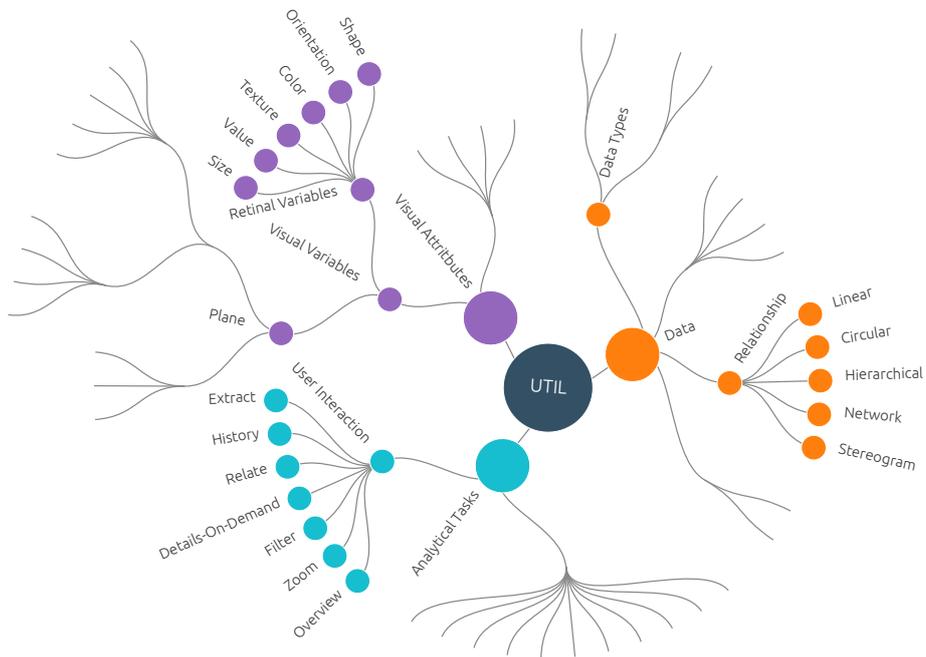


Figura 5.7. Mapeamento do Trabalho de Pfitzner et al. [2003]

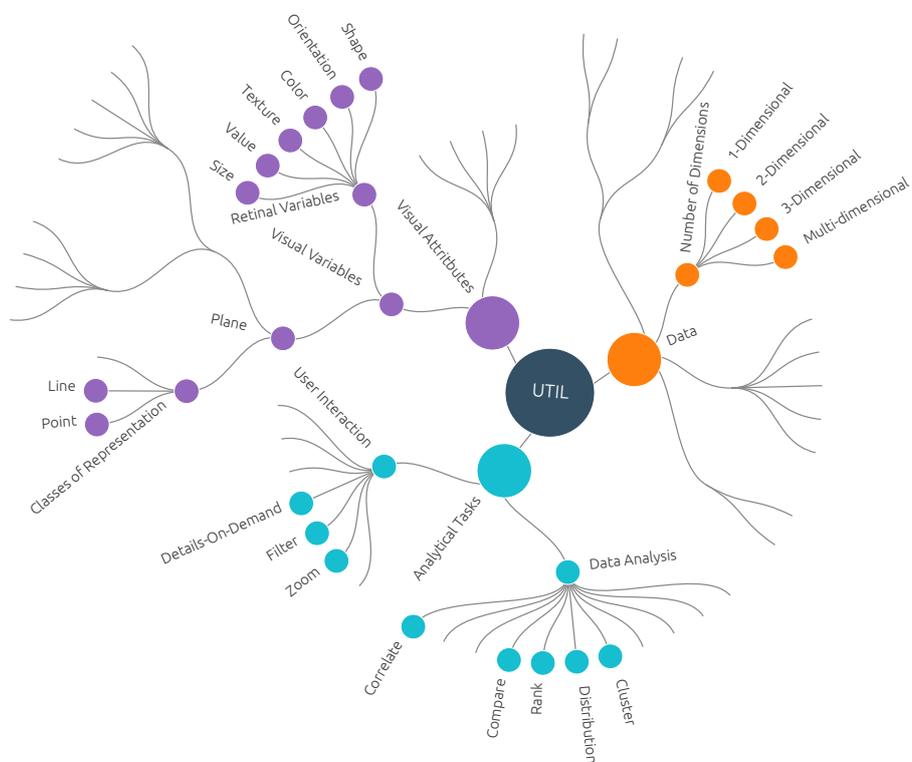


Figura 5.8. Mapeamento do Trabalho de Franciscani Jr. et al. [2014]

Capítulo 6

Conclusão

Neste trabalho foi apresentada a UTIL (Unified Taxonomy for Information Visualization), uma taxonomia unificada para Visualização de Informação. A taxonomia foi proposta baseada em uma análise extensiva da literatura de Visualização de Informação que descreve os modelos propostos para classificar e descrever visualizações. Para tal, foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) com o objetivo de coletar e analisar as publicações relevantes da área. A SLR cobriu os trabalhos publicados no período de 1986 a 2014 disponíveis nos repositórios de publicações científicas relevantes (ACM Digital Library, IEEE Xplore, Science Direct, Scopus e HCI Bibliography) e reuniu 28 trabalhos que propõem diferentes esquemas de classificação para Visualização de Informação.

A taxonomia está fundamentada sobre a caracterização dos *dados* que serão visualizados, as *tarefas analíticas* feitas pelos usuários e os *atributos visuais* das técnicas de visualização. Os eixos são independentes entre si e possuem um conjunto de dimensões localizadas sobre um e somente um deles. O objetivo da taxonomia é ser uma classificação geral unificada que pode ser usada para descrever, caracterizar e discutir os modelos de classificação apresentados pela literatura. A partir de uma análise feita a fim de demonstrar o seu potencial de uso, foi possível verificar sua capacidade de comparação e descrição dos modelos existentes na área.

Este trabalho traz uma contribuição para a área de Visualização de Informação através da proposta da UTIL como uma taxonomia unificada que exerce o papel de um meta-modelo ao possibilitar a comparação e descrição dos modelos existentes na área de Visualização de Informação. Além disso, foi desenvolvida a UTILity, uma ferramenta online que possibilita o mapeamento dos modelos de classificação sob a perspectiva da estrutura da UTIL, facilitando assim, o processo de análise com a taxonomia.

A análise do potencial de uso da taxonomia foi feita com artigos que deram origem a sua estrutura e conseqüentemente a mesma será expressiva para tais trabalhos. Neste sentido, uma avaliação mais ampla da taxonomia proposta requer que seja feita a análise com

a UTIL em outros modelos diferentes dos que foram recuperados pela SLR a fim de avaliar a sua expressividade. Além disso, foi verificada a sua capacidade de comparação e descrição dos modelos existentes, porém, uma comparação interessante seria verificar o potencial da UTIL em descrever e diferenciar as técnicas de visualização de dados existentes. Finalmente, considerando a capacidade de comparação da taxonomia outro trabalho futuro proposto seria associar os eixos ou dimensões com diferentes técnicas ou propósitos e investigar se seria possível gerar diretrizes ou recomendações que pudessem ajudar as pessoas a selecionar os modelos ou técnicas que atendessem aos seus objetivos.

A UTIL foi proposta como uma taxonomia geral, mas vários trabalhos analisados apresentavam conceitos específicos a um domínio. Assim, é interessante investigar se seria viável incluir na UTIL um quarto eixo que pudesse representar diferentes domínios. Neste caso, seria interessante que houvesse também critérios que definissem como novos domínios poderiam ser acrescentados a este eixo. Em relação à ferramenta, ela hoje só representa a taxonomia UTIL. Para fins de avaliação e mesmo para um uso mais amplo, talvez valesse a pena possibilitar a representação de dimensões que não fazem parte da UTIL. Desta forma, para avaliação teríamos indicadores tanto do que ela representa, quanto do que não representa. Para o uso da UTILity isso permitiria aos usuários representar aspectos como dimensões de domínio que não fazem parte da taxonomia. Por último, é importante lembrar que as análises foram feitas pelos proponentes da UTIL, que logo tem um conhecimento aprofundado. Outro passo necessário para avaliação da UTIL e da UTILity seria uma avaliação com outros pesquisadores da área de Visualização da Informação.

Referências Bibliográficas

- Adnan, W. A. W.; Daud, N. G. N. & Noor, N. L. M. (2008). Expressive Information Visualization Taxonomy for Decision Support Environment. Em *2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, volume 1, pp. 88--93. IEEE.
- Ahn, J.-w.; Plaisant, C. & Shneiderman, B. (2014). A task taxonomy for network evolution analysis. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20(3):365--76. ISSN 1941-0506.
- Amar, R.; Eagan, J. & Stasko, J. (2005). Low-level components of analytic activity in information visualization. Em *IEEE Symposium on Information Visualization, 2005. INFOVIS 2005.*, pp. 111--117. IEEE.
- Azzam, T.; Evergreen, S.; Germuth, A. A. & Kistler, S. J. (2013). Data visualization and evaluation. *New Directions for Evaluation*, 2013(139):7--32. ISSN 1534-875X.
- Becks, A.; Seeling, C. & Birlinghoven, S. (2001). A task-model for text corpus analysis in knowledge management. Em *Proceedings of UM-2001 Workshop on User Modeling, Machine Learning and Information Retrieval, 8th International Conference on User Modeling, Sonthofen (Germany)*.
- Bertin, J. & Berg, W. (2010). *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. ESRI Press. ISBN 9781589482616.
- Bhowmick, T. (2006). Building an exploratory visual analysis tool for qualitative researchers. Em *AutoCarto International Symposium on Automated Cartography*, pp. 1--13, Vancouver.
- Bugajska, M. (2005). Framework for spatial visual design of abstract information. Em *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, volume 2005, pp. 713--723.
- Card, S. & Mackinlay, J. (1997). The structure of the information visualization design space. Em *Proceedings of VIZ '97: Visualization Conference, Information Visualization Symposium and Parallel Rendering Symposium*, pp. 92--99,. IEEE Comput. Soc.

- Chi, E. H. (2000). A Taxonomy of Visualization Techniques Using the Data State Reference Model. Em *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000*, INFOVIS '00, pp. 69---, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Chuah, M. C. & Roth, S. F. (1996). On the Semantics of Interactive Visualizations. Em *Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS '96)*, INFOVIS '96, pp. 29---, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Cohen, M. & Brodlie, K. (2004). Focus and context for volume visualization. Em *Proceedings Theory and Practice of Computer Graphics, 2004.*, pp. 32--39. IEEE.
- Cottam, J. A.; Lumsdaine, A. & Weaver, C. (2012). Watch this: A taxonomy for dynamic data visualization. Em *2012 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, pp. 193--202. IEEE.
- de Sousa, T. A. F. & Barbosa, S. D. J. (2013). Sistema de recomendação para apoiar a construção de gráficos com dados estatísticos. pp. 168--177.
- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (2011). Introduction: The Discipline and Practice of Qualitative Research. Em *The SAGE Handbook of Qualitative Research*, capítulo 1, p. 784. SAGE Publications, Inc, fourth edição.
- Draper, G.; Livnat, Y. & Riesenfeld, R. F. (2009). A Survey of Radial Methods for Information Visualization. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 15(5):759--776. ISSN 1077-2626.
- Elias, M.; Elson, J.; Fisher, D. & Howell, J. (2008). "Do i live in a flood basin?"Synthesizing ten thousand maps. Em *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, pp. 255--264.
- Ellis, G. & Dix, A. (2007). A taxonomy of clutter reduction for information visualisation. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 13(6):1216--23. ISSN 1077-2626.
- Elmqvist, N. & Fekete, J.-D. (2010). Hierarchical aggregation for information visualization: Overview, techniques, and design guidelines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3):439--454.
- Eppler, M. (2006). Toward a Pragmatic Taxonomy of Knowledge Maps: Classification Principles, Sample Typologies, and Application Examples. Em *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)*, pp. 195--204. IEEE. ISSN 1550-6037.
- Eppler, M. J. & Platts, K. (2007). An Empirical Classification of Visual Methods for Management: Results of Picture Sorting Experiments with Managers and Students. Em *2007 11th International Conference Information Visualization (IV '07)*, pp. 335--341. IEEE. ISSN 1550-6037.

- Fekete, J.-D. & Plaisant, C. (1999). Excentric labeling: Dynamic neighborhood labeling for data visualization. Em *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, pp. 512--519.
- Forbes, A. G.; Höllerer, T. & Legrady, G. (2010). behaviorism: a framework for dynamic data visualization. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 16(6):1164--71. ISSN 1077-2626.
- Franciscani Jr., G.; Santos, R. L. T.; Ottoni, R.; Pesce, J. A. P.; Meira Jr., W. & Melo-Minardi, R. (2014). An annotation process for data visualization techniques. Em *Proceedings of the 3rd International Conference on Data Analytics*, Rome, Italy. IARIA.
- Fujishiro, I.; Furuhashi, R.; Ichikawa, Y. & Takeshima, Y. (2000). GADGET/IV: A Taxonomic Approach to Semi-Automatic Design of Information Visualization Applications Using Modular Visualization Environment. Em *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000, INFOVIS '00*, pp. 77---, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Heer, J. & Shneiderman, B. (2012). Interactive Dynamics for Visual Analysis. *Queue*, 10(2):30. ISSN 15427730.
- Henderson, S. & Segal, E. H. (2013). Visualizing Qualitative Data in Evaluation Research. *New Directions for Evaluation*, 2013(139):53--71. ISSN 1534-875X.
- Hervás, R. & Bravo, J. (2011). Towards the ubiquitous visualization: Adaptive user-interfaces based on the Semantic Web. *Interacting with Computers*, 23(1):40--56. ISSN 0953-5438.
- Keim, D. b. c. (2002). Information visualization and visual data mining. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 8(1):1--8.
- Kennedy, J. B.; Mitchell, K. J. & Barclay, P. J. (1996). A framework for information visualisation. *ACM SIGMOD Record*, 25(4):30--34. ISSN 01635808.
- Kitchenham, B.; Charters, S.; Budgen, D.; Brereton, P.; Turner, M.; Linkman, S.; Jørgensen, M.; Mendes, E. & Visaggio, G. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Relatório técnico, Keele University and University of Durham.
- Lee, B.; Plaisant, C.; Parr, C. S.; Fekete, J.-D. & Henry, N. (2006). Task taxonomy for graph visualization. pp. 12--15.
- Mackinlay, J. (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics*, 5(2):110--141. ISSN 07300301.

- Maletic, J.; Marcus, A. & Collard, M. (2002). A task oriented view of software visualization. Em *Proceedings First International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis*, pp. 32--40. IEEE Comput. Soc.
- Morse, E. b.; Lewis, M. & Olsen, K. (2000). Evaluating visualizations: Using a taxonomic guide. *International Journal of Human Computer Studies*, 53(5):637--662.
- Muller, W. & Schumann, H. (2003). Visualization methods for time-dependent data - an overview. Em *Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.03EX693)*, volume 1, pp. 737--745. IEEE.
- Nazemi, K.; Breyer, M. & Kuijper, A. (2011). User-Oriented Graph Visualization Taxonomy: A Data-Oriented Examination of Visual Features. pp. 576--585.
- Nesbitt, K. V. (2005). Using guidelines to assist in the visualisation design process. Em *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, volume 45, pp. 115--123.
- Octavia Juarez Espinosa, C. H. & Jr., J. H. G. (1999). Domain Analysis: A Technique to Design a User-Centered Visualization Framework. Em *Proceedings of the 1999 IEEE Symposium on Information Visualization, INFOVIS '99*, pp. 44---, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Pfiftzner, D.; Hobbs, V. & Powers, D. (2003). A Unified Taxonomic Framework for Information Visualization. Em *Proceedings of the Asia-Pacific Symposium on Information Visualisation - Volume 24, APVis '03*, pp. 57--66, Darlinghurst, Australia, Australia. Australian Computer Society, Inc.
- Polowinski, J. & Voigt, M. (2013). {VISO}: a shared, formal knowledge base as a foundation for semi-automatic infovis systems. volume 2, pp. 1791--1796.
- Price, B.; Small, I. & Baecker, R. (1992). A taxonomy of software visualization. Em *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, volume ii, pp. 597--606 vol.2. IEEE.
- Ren, L.; Cui, J.; Du, Y. & Dai, G. (2013). Multilevel interaction model for hierarchical tasks in information visualization. Em *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 11--16.
- Ribeiro, F. C.; Costa, L.; de Paula, M. & de Souza, J. M. (2014). Uma proposta para classificação baseada em contexto para técnicas de visualização. Em *Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pp. 401--404. Sociedade Brasileira de Computação.

- Robertson, P. K. (1991). A methodology for choosing data representations. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 11(3):56--67. ISSN 0272-1716.
- Rodrigues, J.; Traina, A.; de Oliveira, M. & Traina, C. (2006). Reviewing Data Visualization: an Analytical Taxonomical Study. Em *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)*, pp. 713--720. IEEE.
- Roman, G.-C. & Cox, K. (1993). A taxonomy of program visualization systems. *Computer*, 26(12):11--24. ISSN 0018-9162.
- Roth, R. E. (2013). An Empirically-Derived Taxonomy of Interaction Primitives for Interactive Cartography and Geovisualization. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 19(12):2356--2365. ISSN 1077-2626.
- Roth, S. F. & Mattis, J. (1990). Data Characterization for Intelligent Graphics Presentation. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '90*, pp. 193--200, New York, NY, USA. ACM.
- Sanver, M. & Yang, L. (2009). A Linking Mechanism to Integrate Components of a Visualization Framework. Em *2009 13th International Conference Information Visualisation*, pp. 92--97. IEEE. ISSN 1550-6037.
- Schulz, H.-J.; Nocke, T.; Heitzler, M. & Schumann, H. (2013). A design space of visualization tasks. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12):2366--75. ISSN 1941-0506.
- Schulz, H.-J. & Schumann, H. (2006). Visualizing Graphs - A Generalized View. Em *Information Visualization, 2006. IV 2006. Tenth International Conference on*, pp. 166--173. ISSN 1550-6037.
- Sedlmair, M.; Tatu, A.; Munzner, T. & Tory, M. (2012). A taxonomy of visual cluster separation factors. *Computer Graphics Forum*, 31(3 PART 4):1335--1344.
- Shneiderman, B. (1996). The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. Em *Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages, VL '96*, pp. 336---, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Shu, G.; Avis, N. J. & Rana, O. F. (2008). Bringing semantics to visualization services. *Advances in Engineering Software*, 39(6):514--520. ISSN 0965-9978.
- Springmeyer, R. R.; Blattner, M. M. & Max, N. L. (1992). A Characterization of the Scientific Data Analysis Process. Em *Proceedings of the 3rd Conference on Visualization '92, VIS '92*, pp. 235--242, Los Alamitos, CA, USA. IEEE Computer Society Press.
- Stevens, S. S. (1946). On the Theory of Scales of Measurement. *Science*, 103:677--680.

- Tory, M. & Moller, T. (2004). Rethinking Visualization: A High-Level Taxonomy. Em *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, INFOVIS '04*, pp. 151-158, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Tweedie, L. (1997). Characterizing Interactive Externalizations. volume 1, pp. 375--382.
- Valiati, E. R. A.; Pimenta, M. S. & Freitas, C. M. D. S. (2006). A taxonomy of tasks for guiding the evaluation of multidimensional visualizations. pp. 15--16.
- Wehrend, S. & Lewis, C. (1990). A Problem-oriented Classification of Visualization Techniques. Em *Proceedings of the 1st Conference on Visualization '90, VIS '90*, pp. 139--143, Los Alamitos, CA, USA. IEEE Computer Society Press.
- Wenzel, S.; Bernhard, J. & Jessen, U. (2003). A taxonomy of visualization techniques for simulation in production and logistics. Em *Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.03EX693)*, volume 1, pp. 729--736. IEEE.
- White, D. & Sundaram, D. (2011). Purposeful Visualization. Em *2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1--10. IEEE. ISSN 1530-1605.
- Winckler, M.; Palanque, P. & Freitas, C. (2004). Tasks and scenario-based evaluation of information visualization techniques. Em *ACM International Conference Proceeding Series*, volume 86, pp. 165--172.
- Wong, P.; Chin, G.; Foote, H.; Mackey, P. & Thomas, J. (2006). Have Green ι A Visual Analytics Framework for Large Semantic Graphs. Em *2006 IEEE Symposium On Visual Analytics And Technology*, pp. 67--74. IEEE.
- Xu, S. (2009). Classifying software visualization tools using the Bloom's taxonomy of cognitive domain. Em *2009 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 13--18. IEEE. ISSN 0840-7789.
- Zhang, J. (1996). A Representational Analysis of Relational Information Displays. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 45(1):59--74. ISSN 1071-5819.
- Zhang, J.; Johnson, K. A.; Malin, J. T. & Smith, J. W. (2002). Human-centered information visualization. *International workshop on dynamic visualizations and learning, Tubingen, Germany*.
- Zhou, M. & Feiner, S. (1996). Data characterization for automatically visualizing heterogeneous information. Em *Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization '96*, pp. 13--20,. IEEE Comput. Soc. Press.

Apêndice A

Análise das Dimensões dos Esquemas de Classificação

Neste apêndice serão apresentadas as análises feitas nos componentes dos modelos presentes nos trabalhos recuperados pela SLR que fundamentaram a proposta das dimensões da taxonomia UTIL.

A.1 Dimensões da Taxonomia UTIL

A partir da leitura e análise dos trabalhos foram identificados três focos ou eixos principais relacionados à caracterização da visualização dos dados. Logo, considerando as propostas de trabalhos as dimensões mais populares, emergiram a partir da análise de cada trabalho sobre a perspectiva de cada eixo.

A Figura A.1 apresenta a planilha contendo as dimensões analisadas dos trabalhos da SLR e sua relação com as dimensões da UTIL. A coluna *id obra* que apresenta o identificador do estudo recuperado pela SLR seguida das colunas *autor*, *nome do modelo* e *ano* do trabalho. A coluna *termo* contém os componentes dos modelos propostos pelos autores seguida da *descrição* ou definição apresentada por eles quando presente no estudo. Finalmente, a coluna *cobertura* apresenta análise feita em cada um dos componentes que foram inspecionados e classificados da seguinte maneira:

1. **Total**: Dimensões incluídas na UTIL;
2. **Parcial**: Dimensões que podem ser representadas pelas dimensões da UTIL;
3. **Nenhuma**: Dimensões não incluídas na UTIL.

Das 831 dimensões avaliadas, 219 tiveram cobertura **Total**, 172 **Parcial** e 440 **Nenhuma**. As dimensões cuja cobertura foi total correspondem àquelas que, fazem parte da

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	id obr	Autor	nome modelo	Ano	termo	descricao	dimensao util	Cobertura
4	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	1-D		1-Dimensional	Total
5	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	2-D		2-Dimensional	Total
6	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	2-D		2-Dimensional	Total
7	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	3-D		3-Dimensional	Total
8	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	3-D		3-Dimensional	Total
10	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Colour		Color	Total
11	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Continuous	Continuous Models assume that data can be interpolated.	Continuous	Total
12	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Data Structure		Relationship	Parcial
13	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Data Values		Data	Parcial
14	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Discrete	Discrete Models assume data cannot be interpolated.	Discrete	Total
15	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Display Attributes		Visual Attributes	Parcial
16	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Graph		Network	Parcial
20	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Number of Variables	Number of Independent and Dependent Variables	Number of Dimensions	Parcial
26	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Tree Visualization		Hierarchical	Parcial
32	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Continuous		Continuous	Total
33	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Data Types		Data Types	Total
34	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Data Variables	We can treat a data variable lying within a multidimension:	Multidimensional	Parcial
35	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Dimensions		Number of Dimensions	Total
36	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Discrete		Discrete	Total
37	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Global	Global distribution of values, such as trends and structure		Parcial
39	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Local	Local distribution of values, such as gradients and features		Parcial
41	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Nominal	Classification	Nominal	Total
42	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Ordinal	Intrinsic progressive relationship between successive values	Ordinal	Total
43	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Point	Values at a point	Point	Total
45	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Spatial		Quantitative / Number of Dimensions	Parcial
47	REM004	Robertson	A Methodology for Choosing Data Representations:	1991	Temporal		Ratio / Ordinal	Parcial
48	REM003	Wehrend & Lewis	A Problem-oriented Classification of Visualization Taxonomy	1990	Associate		Associate	Total

Figura A.1. Planilha de Análise das Dimensões da UTIL

estrutura da taxonomia proposta e emergiram a partir da análise realizada nos trabalhos. As dimensões classificadas como *parcial* são aquelas que através de uma justificativa, podem ser representadas pelas dimensões que fazem parte da taxonomia UTIL, ou seja, a dimensão está representada mas com outro nome ou pode ser representada através de uma combinação de dimensões da UTIL. Por exemplo, na planilha ¹ da Figura A.1, o termo **Data Structure** adotado pelos autores Tory & Moller [2004] e fundamentado na taxonomia de Tweedie [1997] tem o mesmo significado de **Relationship**, que é descrever as formas pelas quais os itens de um conjunto de dados possam ser arranjados. O termo **Temporal** proposto no modelo de Robertson [1991] pode ser representado pelas dimensões **Razão** quando os dados são provenientes de uma medição (ex.: tempos obtidos em uma corrida), ou **Ordinal** quando relacionados a intervalos cronológicos de tempo (ex.: linha do tempo). Franciscani Jr. et al. [2014] propõem o termo **Ranking items by similarity** que pode ser representado por **Rank** da UTIL, Zhou & Feiner [1996] chamaram de **Ordering** o que adotamos como **Data Types**, que é a classificação dos dados como **Quantitativo** e **Qualitativo**, Card & Mackinlay [1997] por sua vez usaram o nome **Retinal Properties** para descrever as **Variáveis de Retina** presentes na UTIL. Na próxima seção apresentaremos a análise realizada nas dimensões que não fizeram parte da taxonomia.

¹<https://docs.google.com/spreadsheets/d/169swxo78ZuSu3HRCwUfSz9VAgMLJMIJ4ke-ksQ2sJE/edit?usp=sharing>

A.2 Dimensões não Incluídas na Taxonomia

As dimensões classificadas como **Nenhuma** não foram adicionadas na estrutura da taxonomia UTIL pois nosso objetivo é propor um modelo genérico voltado para o domínio de Visualização de Informação capaz de representar todos os outros. Portanto, a partir de uma análise cuidadosa das dimensões que não fizeram parte da taxonomia, foram extraídas as seguintes categorias: dimensões que não fazem parte do domínio de Visualização de Informação, dimensões específicas para o esquema de classificação proposto e dimensões apresentadas por alguns autores como sem classificação, em um contexto de neutralidade ou indefinição.

A Figura A.2, apresenta a planilha² utilizada durante o processo de análise das dimensões que não fizeram parte da estrutura da UTIL. A coluna *id obra* apresenta o identificador do estudo recuperado pela SLR seguidos novamente das colunas *autor*, *nome do modelo* e *ano* do trabalho. A coluna *termo* contém os componentes dos modelos propostos pelos autores, seguida da *descrição* ou definição apresentada por eles quando presente no estudo. Finalmente, a coluna *justificativa* apresenta a explicação do motivo pelo qual a dimensão não foi incluída e sobre qual *categoria* ela foi classificada.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	id_obra	autor	nome_modelo	ano	termo	descrição	justificativa	categoria
2	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	1 Dep. + 1 Indep. variable		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
3	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	1 Dep. + 2 Indep. or vice versa		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
4	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Any number of Dep. and Indep. variables		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
5	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Multivariate		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
6	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	N-D		Sem Classificação	Sem Classificação
7	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	N-D		Sem Classificação	Sem Classificação
8	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Scalar		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
9	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Spatialization		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
10	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Tensor		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
11	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Timing		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
12	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Transparency		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
13	IEE137	Tory & Möller	A High-Level Taxonomy	2004	Variable Types		Dimensões voltada para o objetivo da taxonomi: Logo, são classificações voltadas especificame visa classificar os algoritmos ao inves dos dado	Específico para o domínio do esquema de classificação
	+  Dimensões Não Incluídas na UTIL							

Figura A.2. Planilha de análise das dimensões da UTIL

Por exemplo, a dimensão **Cardinalidade** presente no trabalho de Roth & Mattis [1990] é específica para o domínio de Banco de Dados, já **Etnografia** proposta por Bhowmick [2006] é voltada para o domínio de Metodologia de Pesquisa Qualitativa, ou seja, ambas são exemplos de componentes que não fazem parte do domínio de Visualização de Informação. A dimensão **Centroid** presente no modelo de Sedlmair et al. [2012] é específica para visualização de

²https://docs.google.com/spreadsheets/d/1fPYsTWSaUtN8XH_p0o1LgUW1PTrqHelh-slkhIbJw2s/edit?usp=sharing

clusters, **On the Nodes** proposto por Lee et al. [2006] e **Links** por Nazemi et al. [2011], são específicas para a caracterização de visualizações de grafos. Nestes casos apesar de ter relação com Visualização de Informação, são dimensões específicas para determinados assuntos da área, ou seja, estão em uma granularidade mais baixa. Finalmente, Wenzel et al. [2003] utiliza a dimensão **None** para indicar a inexistência de sistemas de referência geométrica disponíveis ou nenhuma projeção planar geométrica é necessária.