

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA**

Sérgio Izack Vieira Filho

**CONEM: UM MODELO PARA REPRESENTAÇÃO E
ANÁLISE DE INFORMAÇÃO DE REDES ESPACIAIS
EM DATA WAREHOUSES**

Florianópolis

2011

Sérgio Izack Vieira Filho

**CONEM: UM MODELO PARA REPRESENTAÇÃO E
ANÁLISE DE INFORMAÇÃO DE REDES ESPACIAIS
EM DATA WAREHOUSES**

Dissertação submetida ao PPGCC -
Programa de Pós-Graduação em Ciência
da Computação para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciência da Com-
putação.

Orientador: Prof. Dr. Renato Fileto

Florianópolis

2011

Sérgio Izack Vieira Filho

**CONEM: UM MODELO PARA REPRESENTAÇÃO E
ANÁLISE DE INFORMAÇÃO DE REDES ESPACIAIS
EM DATA WAREHOUSES**

Esta Dissertação foi julgada aprovada para a obtenção do Título de “Mestre em Ciência da Computação”, e aprovada em sua forma final pelo PPGCC - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Florianópolis, 22 de agosto 2011.

Prof. Chefe, Dr. Mario Antonio Ribeiro Dantas
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Fileto
Universidade Federal de Santa Catarina
Presidente

Prof. Dr. Robson do Nascimento Fidalgo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Leomar Todesco
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dra. Vania Bogorny
Universidade Federal de Santa Catarina

A minha esposa, por todo seu amor,
compreensão e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial a minha esposa, por sua incansável compreensão, determinação e apoio, sendo fundamental para a conclusão desta dissertação.

Ao meu orientado Renato Fileto, por ter me concedido a oportunidade de ampliar meu conhecimento. Por sua paciência, apoio, dedicação e acima de tudo, exigência.

Aos meus pais, pelo carinho e por terem incentivado os meus estudos.

Ao meu irmão, pelo apoio, incentivo e irreverência sempre presentes.

Aos meus familiares, em especial, minha sogra, sogro e cunhados, que sempre torceram por mim.

À Celesc Distribuição S.A. por possibilitar a elaboração desta dissertação, em especial ao José Luis Sardá, chefe da Divisão de Sistemas da Informação por sua paciência e compreensão, ao engenheiro Ricardo Haus Guembarovski pela contribuição e a equipe GeneSis pelo apoio.

À todos que direta e indiretamente ajudaram na construção desta dissertação.

O conhecimento é o processo de acumular dados; a sabedoria reside na sua simplificação.

Martin H. Fischer

RESUMO

Um Data Warehouse Espaço-Temporal (DWET) manipula concomitantemente dados convencionais, espaciais e temporais. Uma necessidade ainda não atendida pela tecnologia de DWET é o suporte à análise de informação de redes complexas de elementos espaciais. Neste sentido, este trabalho propõe um modelo para a análise de redes complexas em DWET. Inspirado em ideias da Geografia, este modelo tem por objetivo representar a estrutura da rede e os estados dos elementos que a compõem, para suportar a análise da evolução do estado de diferentes porções da rede ao longo do tempo. O modelo proposto utiliza ontologias para descrever hierarquias de tipos de elementos da rede, baseadas em conceitualizações específicas do domínio de aplicação, além de ontologias sobre partições do espaço e do tempo. Dimensões de *datamarts* podem ser geradas a partir de visões dessas ontologias, para contemplar necessidades de análise específicas. O modelo proposto estende um modelo dimensional espaço-temporal para suportar OLAP espacial (SO-LAP) com os elementos da rede, usando dimensões de análise definidas de acordo com hierarquias contidas nas ontologias. Ele também define um operador denominado *Trace* para permitir a análise da evolução do estado dos componentes de porções da rede, selecionadas de acordo com as dimensões de análise definidas para o datamart. O modelo proposto foi implementado em um protótipo. A interface gráfica, baseada em tabelas e mapas, está integrada ao módulo SOLAP. Ao navegar pelos mapas e tabelas apresentando resultados de operações SOLAP, outras operações SOLAP podem ser invocadas e os resultados apresentados em novos gráficos e tabelas. Um *slider* permite a análise da evolução temporal do estado de porções da rede. Por fim, a modelo é avaliado em um estudo de caso do setor elétrico, o qual possibilita a investigação de padrões e tendências espaço-temporais em diferentes porções de uma rede de distribuição de energia elétrica.

Palavras-chave: Data Warehouses Espaço-Temporais. Redes Complexas. Redes espaciais. Ontologias. SOLAP.

ABSTRACT

A Spatial-Temporal Data Warehouse (STDW) simultaneously handles conventional, spatial and temporal data. The STDW technology has not yet been able to give support to the analysis of information from complex spatial elements networks. This research proposes a model for the analysis of information from complex spatial networks in STDW. Inspired by ideas from the Geography, this model objective is to represent the network structure and the state of the its spatial elements, in order to support information analysis of different portions of of the network over time. The proposed model makes use of ontologies to describe hierarchies of types of network elements, which are based on specific conceptualizations from the application's domain, in addition to ontologies about spatial and temporal partitions. Datamart's dimensions can be generated from views of such ontologies in order to contemplate specific analysis needs. The proposed model extends a spatio-temporal dimension model to support Spatial OLAP (SOLAP) with elements from the network, by using analysis dimensions defined in accordance with hierarchies which are present in ontologies. It also defines an operator named *Trace* which allows the analysis of the evolution of the state of elements in specific portions of the network, selected by applying SOLAP on measures and dimensions defined for the datamart. The proposed model was implemented in a prototype. The graphical interface, based on tables and maps, is directly integrated to the SOLAP module. When navigating through the maps and tables containing the results of SOLAP operations, other SOLAP operations can be invoked, and the results presented in new graphs and tables. A slider enables the analysis of the temporal evolution of portions of the network. Finally, the model is evaluated in a case study of the electrical sector, investigating spatio-temporal patterns and tendencies in different portions of a electrical energy distribution network.

Keywords: Spatial-Temporal Data Warehouses. Complex Network. Spatial Networks. Ontology. SOLAP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo estrela de um datamart sobre vendas	31
Figura 2	Exemplo de data mart e operações OLAP	33
Figura 3	Legenda do modelo dimensional	35
Figura 4	Modelo dimensional com extensões espaciais	36
Figura 5	Representação de uma rede de trânsito	38
Figura 6	Rede de distribuição de energia elétrica	39
Figura 7	Representação de elementos espaciais de redes complexas como objetos	45
Figura 8	Atributos de objeto representando elemento de uma rede complexa	46
Figura 9	Ontologia de partições do espaço para o setor elétrico ..	48
Figura 10	Ontologia de períodos de tempo	49
Figura 11	Arquitetura do CoNeM	51
Figura 12	Processo SOLAP	52
Figura 13	<i>Drill-down</i> para análise do nível de carregamento de partições do espaço	53
Figura 14	Visualização de uma rede complexa e a evolução do processo	56
Figura 15	Ontologia de equipamentos de distribuição de energia elétrica	58
Figura 16	Modelo lógico do DWET desenvolvido	59
Figura 17	Mapa do carregamento dos municípios para os meses de abril e junho de 2010	63
Figura 18	Operação de <i>drill-down</i> no mapa	64
Figura 19	Operação de <i>Trace</i> e a dinâmica do processo	65
Figura 20	Operação de <i>Trace</i> e a evolução da rede	66
Figura 21	Arquitetura de software do protótipo do CoNeM	67
Figura 22	Esquema físico do DWET desenvolvido	69
Figura 23	Consumo de memória de processos de carga de dados espaciais ao longo do tempo	72
Figura 24	Consumo de memória do processo de carga de dados tabulares ao longo do tempo	73
Figura 25	Consumo de memória das operações de <i>slice</i> ao longo do	

tempo.....	74
Figura 26 Consumo de memória ao longo do tempo para execução de <i>drill-down</i>	75
Figura 27 Consumo de memória ao longo do tempo para executar <i>Trace</i>	77
Figura 28 Tempo de resposta dos experimentos	78
Figura 29 Comparação do consumo de memória entre as funcionalidades	78
Figura 30 Visualização das linhas com o fluxo de energia e a área de atuação das usinas	81
Figura 31 Visualização dos contornos das linhas.....	82
Figura 32 Visualização das linhas com formas 3D	82
Figura 33 Visualização de dados agregados e formas 3D	83
Figura 34 Visualização da rede em grafos	84
Figura 35 Modelo <i>star schema</i> para armazenar trajetórias.....	85
Figura 36 Arquitetura e modelo <i>star schema</i>	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Quantidade de memória consumida pelo slice	74
Tabela 2	Quantidade de memória consumida pelo experimento <i>Trace</i>	76
Tabela 3	Comparação entre os trabalhos relacionados	89
Tabela 4	Ontologia de Associações	108
Tabela 5	Ontologia de Geometrias	110
Tabela 6	Ontologia de Partições do Espaço	112
Tabela 7	Ontologia de Elementos Espaciais	114
Tabela 8	Ontologia de Períodos de Tempo	116
Tabela 9	Ontologia de Períodos de Tempo	117
Tabela 10	Ontologia de Períodos de Tempo	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DW	Data Warehouse	23
OLAP	On-Line Analytical Processing	23
DWE	Data Warehouses Espaciais	23
BDG	Banco de Dados Geográficos	23
DWET	Data Warehouse Espaço-Temporal	23
SOLAP	Spatial On-Line Analytical Processing.....	26
SIG	Sistema de Informação Geográfica.....	32
ETC	Extração, Transformação e Carga	41
CoNeM	Complex Network Model.....	50
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	57
MT	Média Tensão.....	58
V	Volt	58
BT	Baixa Tensão	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 MOTIVAÇÃO	24
1.2 OBJETIVOS	25
1.2.1 Objetivos específicos	26
1.3 JUSTIFICATIVA	26
1.4 METODOLOGIA	27
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	28
2 FUNDAMENTOS	29
2.1 DATA WAREHOUSES	29
2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	32
2.3 DATA WAREHOUSES ESPAÇO-TEMPORAIS	34
2.4 REDES COMPLEXAS	37
2.5 REPRESENTAÇÃO DE ELEMENTOS ESPACIAIS	39
2.6 SEMÂNTICA EM DATA WAREHOUSES ESPACIAIS	40
3 MODELO DIMENSIONAL PARA A ANÁLISE DE REDES ESPACIAIS	43
3.1 REDES COMPLEXAS DE ELEMENTOS ESPACIAIS	43
3.2 INTERFACE PARA MANIPULAÇÃO DE ELEMENTOS ESPACIAIS	44
3.3 ONTOLOGIAS	46
3.3.1 Partições do espaço	47
3.3.2 Períodos de tempo	47
3.4 DIMENSÕES COMO VISÕES DE ONTOLOGIAS	49
3.5 ANÁLISE DE INFORMAÇÃO NO CONEM	50
3.5.1 OLAP espacial	51
3.5.2 <i>Trace</i>	53
4 ESTUDO DE CASO	57
4.1 ONTOLOGIA DE ELEMENTOS DA REDE DE ENERGIA ELÉTRICA	57
4.2 UM DWET PARA O SETOR ELÉTRICO	58
4.3 CARGA DAS MEDIDAS	60
4.3.1 Cálculo das medidas para transformador	61
4.3.2 Cálculo das medidas para trecho MT	62
4.4 ANÁLISE DE INFORMAÇÃO	63
4.4.1 Análise espaço-temporal do estado da rede (<i>Trace</i>)	65
5 EXPERIMENTOS	67
5.1 IMPLEMENTAÇÃO	67

5.2	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	70
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	71
	Experimento 1	71
	Experimento 2	72
	Experimento 3	73
	Experimento 4	74
	Experimento 5	75
5.4	DISCUSSÃO	77
5.4.1	Desempenho computacional	77
5.4.2	Desempenho institucional	78
6	TRABALHOS RELACIONADOS	81
6.1	VISUALIZAÇÃO DE REDES COMPLEXAS	81
6.2	DATA WAREHOUSE ESPAÇO-TEMPORAL EM ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS	85
6.3	USO DE SEMÂNTICA EM DATA WAREHOUSES	87
6.4	COMPARAÇÕES COM O CONEM	87
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	91
7.1	CONTRIBUIÇÕES	91
7.2	TRABALHOS FUTUROS	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A – Descrição das Ontologias	107

1 INTRODUÇÃO

A utilização de Data Warehouses (DW) (KIMBALL; ROSS, 2002), (INMON, 2005) já está consolidada como um importante recurso no auxílio à tomada de decisão. Um DW permite o armazenamento e a análise de dados orientados a assunto, integrados, não voláteis e variáveis no tempo (INMON, 2005). Isso auxilia os gerentes das empresas a tomarem decisões.

DWs são normalmente baseados no modelo dimensional (KIMBALL; ROSS, 2002). Este modelo visa facilitar o entendimento da organização dos dados e agilizar consultas analíticas complexas. O modelo dimensional é composto de tabelas de dimensões e tabelas fatos. Uma tabela fatos armazena as medidas do negócio (e.g., número de vendas, valor das vendas, número de equipamentos, nível de carga sobre esses equipamentos). Já as dimensões descrevem hierarquias com informações sobre categorias, frequentemente específicas do domínio e negócio analisados. Cada dimensão permite filtrar e agregar os dados em diversos focos e níveis de abstração de uma hierarquia de categorias (e.g., partições do espaço, períodos de tempo, tipos de produtos, categorias de equipamentos).

Aplicações baseadas em On-Line Analytical Processing (OLAP) (KIMBALL; ROSS, 2002) sobre *data warehouses* tradicionais são usualmente focadas em dimensões textuais e medidas numéricas. Todavia estudos indicam que 80% dos dados mantidos em DWs convencionais estão relacionados a alguma informação espacial ou de localização (FERRI et al., 2000). Data Warehouses Espaciais (DWE) conciliam duas tecnologias já consagradas, DW, que suportam a análise de grandes volumes de dados, e Banco de Dados Geográficos (BDG), que contemplam a localização espacial (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2004), (RUIZ; TIMES, 2009). Um DWE inclui extensões espaciais no modelo dimensional, tais como: representações de entidades geográficas e recursos para processar informações espaciais (BIMONTE et al., 2006).

Ferramentas OLAP também necessitam de extensões temporais para representar e manipular adequadamente informações sobre os diferentes estados dos objetos e fenômenos analisados ao longo do tempo (MENDELZON; VAISMAN, 2000). A utilização de extensões espaciais e temporais em um DW fornece suporte para a análise de séries temporais de dados espaciais, caracterizando um Data Warehouse Espaço-Temporal (DWET).

Muitas pesquisas têm sido realizadas atualmente em extensões

espaciais (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2004), (BÉRDARD et al., 2006), (BIMONTE et al., 2006), (ESCRIBANO et al., 2007), (KOUBA; MATOUSEK; MIKSOVSKÝ, 2000), (SAMPAIO; SOUSA; BAPTISTA, 2006), (SILVA, 2008), temporais (CHAMONI; STOCK, 1999), (GOLFARELLI; RIZZI, 2009), (MENDELZON; VAISMAN, 2000), (MORENO; ARANGO; FILETO, 2009) e espaço-temporais (RUIZ; TIMES, 2009), (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2008), (LEONARDI et al., 2010), (PAPADIAS et al., 2002), (BERTINO; CAMOSI; BERTOLOTTO, 2010), (RIVEST et al., 2005), (SAVARY; WAN; ZEITOUNI, 2004). Entretanto, embora muitas aplicações de DWs envolvam informação geográfica e temporal, os DWs atuais raramente têm capacidades para tratar esses dois aspectos da informação de maneira adequada concomitantemente (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2008).

Outra necessidade ainda não atendida pela tecnologia atual de DW é o suporte à análise de informação de redes complexas de elementos espaciais. Uma rede complexa é caracterizada por elementos conectados segundo uma topologia (HONG et al., 2009). Cada elemento de uma rede complexa pode ser um sistema complexo não linear, isto é, a variação de seu estado e de suas interações com outros elementos ao longo do tempo pode não seguir equações lineares (LATORA; MARCHIORI, 2004). Porém, certos fenômenos (e.g., tráfego, consumo de energia elétrica) apresentam padrões de distribuição espaço-temporais e tendências. Assim, a análise de informação de tais redes complexas pode se beneficiar de mecanismos para suportar a análise de suas informações em DW espaço-temporais.

1.1 MOTIVAÇÃO

As redes complexas são utilizadas para modelar uma série de fenômenos, incluindo redes de abastecimento (LI et al., 2010a), redes de trânsito (LI et al., 2010b), tráfego em redes de computadores (XIA et al., 2006), (WU et al., 2009), (SVENSON, 2006), simulação de propagação de vírus de computadores (SONG; JIANG; GU, 2008), (CHEN; CHEN, 2010), robótica (ALLEN; FALOUTSOS, 2009) e dinâmica do fluxo de energia elétrica em uma rede de distribuição (WEI; LIU, 2010). Contudo, existe a necessidade de analisar a evolução do estado de diferentes porções dessas redes ao longo do tempo, para investigar possíveis padrões ou tendências.

As redes de energia elétrica apresentam evolução de topologia e mudança de estados não lineares (WEI; LIU, 2010). Vários estudos utilizam redes complexas na representação de redes de energia elétrica

com foco na análise e prevenção de falhas (YU; DWIVEDI; SOKOLOWSKI, 2009), (ZHAO; ZHANG; REN, 2008), (ALBERT; ALBERT; NAKARADO, 2004). Outra aplicação para redes complexas é o monitoramento em tempo real das redes (água, energia, tráfego aéreo, etc.), já que a grande diversidade de elementos torna difícil, para um ser humano, decidir sobre situações adversas sem o auxílio de ferramentas computacionais (YURCIK; SU, 2005).

As empresas de distribuição de energia elétrica¹ atuam de forma direta ao consumidor, prestando serviço de fornecimento de energia elétrica residencial, comercial, industrial e rural. A agência reguladora do setor elétrico, a ANEEL, por exemplo, impõe certos níveis de qualidade na prestação dos serviços, o que leva as empresas a desenvolverem soluções para que a qualidade dos serviços seja a melhor possível. O processo de gerência da rede de distribuição envolve diversas variáveis, que vão desde características elétricas, como nível de carregamento do circuito, até fatos relacionados à rede, como ocorrência de falhas nos circuitos.

Diante deste cenário, observa-se uma grande necessidade de integração de dados históricos espaciais e análise de informações sobre evolução de redes espaciais, e em particular redes de energia elétrica (SHI et al., 2001). O armazenamento do histórico de variáveis, como reclamações de nível de tensão, energia consumida (kWh), demanda (kVA) e interrupções de energia, é imprescindível, pois o entendimento dos problemas técnicos requer análise dos fatos relativos aos aspectos sazonais e geográficos simultaneamente. Dessa forma, o especialista em planejamento, munido de recursos para analisar em diferentes porções de uma rede ao longo do tempo essas variáveis, tem condições de tomar decisões eficazes.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo para representar informações a respeito de elementos espaciais de redes complexas em *data warehouses* espaço-temporais. Tal modelo estende o modelo dimensional espaço-temporal de Malinowski e Zimanyi (2008), utiliza ontologias para definir dimensões de análise e é inspirado em fundamentos da Geografia, particularmente nos conceitos propostos por Santos (2008). Este modelo visa suportar a manipulação e a análise de

¹Para citar um exemplo, a empresa de distribuição de energia elétrica de Santa Catarina (Celesc) teve um faturamento de R\$ 6 bilhões em 2010.

informações de redes complexas. A proposta é avaliada através de um estudo de caso do setor elétrico.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Definir um modelo dimensional para representação de informação de redes complexas em *data warehouses* espaço-temporais.
2. Modelar o conhecimento referente a partições do espaço, períodos de tempo e categorias de elementos de redes complexas e suas características, visando amparar a especificação de dimensões de análise de informação.
3. Desenvolver um sistema que utilize o modelo proposto e dimensões de análise especificadas a partir de ontologias para efetuar *Spatial On-Line Analytical Processing* (SOLAP) sobre a rede espacial complexa e analisar a evolução temporal de porções de interesse (e.g., problemáticas) da rede identificadas via SOLAP.
4. Avaliar o modelo proposto e o sistema desenvolvido em um estudo de caso do setor elétrico.

1.3 JUSTIFICATIVA

A análise de informação de redes complexas ainda é um problema em aberto. Vários estudos (LI et al., 2010a), (LI et al., 2010b), (SVENSON, 2006), (CHEN; CHEN, 2010), (ALLEN; FALOUTSOS, 2009), (WEI; LIU, 2010) definem formas para a análise das mesmas. Entretanto, essas abordagens ainda carecem de mecanismos que permitam a seleção, o agrupamento e a análise de informação, tais como operadores OLAP, para permitir a exploração gradual da estrutura e da dinâmica da rede ao longo do tempo, de modo a possibilitar estudos de comportamento e análise de padrões de tendências.

As redes de distribuição de energia elétrica são típicas redes complexas espaciais, pela diversidade de nós, arestas e evolução não linear que apresentam (SUN, 2005). Neste contexto, a posição geográfica dos elementos tem grande relevância, pois, dependendo da disposição geográfica dos elementos, a rede pode se comportar de maneira diferente (CHENG, 2009). Assim, redes de distribuição de energia elétrica constituem um bom estudo de caso para a pesquisa de métodos para a manipulação e análise de informação sobre redes complexas espaciais.

Alguns estudos, notadamente em disciplinas como a Geografia e ramos das ciências naturais, propõem formas de representar e analisar o espaço, os objetos nele localizados e os fenômenos que nele ocorrem, usando redes de elementos espaciais. Santos (2008) elenca quatro conceitos para esta finalidade: i) forma - aspecto visível do elemento; ii) função - ação que o elemento executa; iii) estrutura - interligação entre os elementos; e, iv) processo - interação contínua entre os elementos, influenciando mutuamente seus estados ao longo do tempo. Esta abordagem pode ser utilizada na representação de redes complexas de elementos espaciais como proposto em Vieira et al. (2010).

Com o objetivo de nortear a pesquisa e o trabalho proposto é elaborada a seguinte pergunta: “Como representar os elementos espaço-temporais presentes em redes complexas de maneira a apoiar a análise e a tomada de decisão?”

1.4 METODOLOGIA

Pesquisa científica é a realização concreta de uma investigação planejada, desenvolvida de acordo com as normas da metodologia consagradas pela ciência (RUIZ, 1996). O método de abordagem de um problema em estudo caracteriza o aspecto científico de uma pesquisa.

Existem vários tipos de pesquisas, entre elas, a pesquisa exploratória, que tem o objetivo de descrever algum problema ou comprovar alguma hipótese. Neste tipo de pesquisa é possível a utilização de muitos dispositivos para sua execução, tais como (GIL, 2010):

- pesquisa bibliográfica: que é desenvolvida através da análise de material já publicado em livros, periódicos e artigos científicos;
- estudo de caso: que visa, por meio de procedimentos definidos, comprovar uma hipótese específica.

Este trabalho, acerca do problema da representação e análise de informações de redes complexas em DWET, define como hipótese a necessidade e a viabilidade de uso de um modelo dimensional espaço-temporal para a representação e análise das mesmas. Por meio de uma extensa pesquisa bibliográfica, o trabalho define meios para a realização da implementação e a partir de um estudo de caso visa avaliar a eficácia do modelo proposto.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O capítulo 2 apresenta a pesquisa bibliográfica de todos os assuntos trabalhados. O capítulo 3 descreve o modelo proposto. O capítulo 4 descreve o estudo de caso. O capítulo 5 relata os resultados dos experimentos realizados sobre o estudo de caso do setor elétrico. Já o capítulo 6 discute os trabalhos relacionados. Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS

Este capítulo apresenta a base teórica utilizada no presente trabalho. Ele se inicia com fundamentos de Data Warehouses, Sistemas de Informação Geográfica, Data Warehouses Espaciais e Espaço-Temporais. Posteriormente, apresenta conceitos de Redes Complexas e uma breve contextualização sobre a representação de objetos espaciais, sob a ótica da Geografia. Por fim, analisa o uso de semântica na construção e uso de DWET.

2.1 DATA WAREHOUSES

O Data warehouse (INMON, 2005) é considerado o componente principal de um sistema de apoio a decisão e tem quatro características fundamentais.

- **Orientado a assunto:** os DWs são elaborados com o objetivo de armazenar e analisar os dados conforme as áreas de negócio das empresas. Diferentemente dos sistemas operacionais que armazenam os valores individuais de cada transação, os DWs armazenam informação globais referentes aos negócios da empresa. Por exemplo: sistemas transacionais armazenam pedidos, notas fiscais, etc; DW armazenam volume de vendas, faturamento, etc.
- **Integrado:** a característica mais importante de um DW é a integração. Um DW é carregado de diversas fontes de dados e a integração e a padronização das informações são fundamentais para o seu funcionamento. Sem isso, seria impossível a consolidação dos dados de diversos sistemas.
- **Variável no tempo:** os DWs têm a característica de armazenar um *snapshot* das informações em um determinado instante de tempo. Através deste processo é possível manter um banco de dados histórico das informações da empresa.
- **Não volátil:** a não volatilidade garante que os dados inseridos no DW não possam ser alterados. Em comparação com os sistemas transacionais que executam as operações de inserir, alterar, deletar e consultar; no DW só é possível a realização das operações de inserir e consultar.

O DW tem o objetivo de consolidar todas as informações da empresa em um único repositório. Para que seja possível acessar todos os dados de forma fácil e ágil. Um DW pode ser dividido em vários data marts com o objetivo de facilitar a implementação (KIMBALL; ROSS, 2002).

Os data marts são responsáveis por agrupar informações de um determinado departamento ou área de negócio da empresa, enquanto o DW está relacionado com toda a empresa. Os vários data marts da empresa podem ser integrados para compor o DW (INMON, 1998).

Os DWs são baseados no modelo dimensional, este modelo consiste em visualizar as informações na forma de um cubo de dados, sendo os cubos compostos por dimensões e tabelas fatos (HAN; KAMBER, 2006).

- A tabela fato é um importante componente do modelo dimensional, sendo responsável por armazenar as medidas do negócio (KIMBALL; ROSS, 2002). Neste modelo, a tabela fato é organizada sobre a ótica de um tema central (por exemplo, vendas). Neste caso, as medidas armazenam a quantidade e o valor das vendas. As tabelas fatos são compostas de dois grupos de colunas: as chaves estrangeiras das dimensões; e, as colunas que armazenam os valores das medidas (HAN; KAMBER, 2006).
- As dimensões são formas de visualizar as informações em diferentes perspectivas, elas contêm as descrições textuais do negócio (KIMBALL; ROSS, 2002) e são compostas de uma chave primária e várias colunas, chamadas de atributos. A partir das dimensões podem ser formadas hierarquias de dimensões (HAN; KAMBER, 2006). Elas são definidas com base nos valores dos atributos das dimensões, do nível mais baixo para o mais alto. Por exemplo, as cidades de Florianópolis e São José compõe o Estado de Santa Catarina que faz parte do país Brasil. Cada valor dos atributos das dimensões são definidos como membros das dimensões (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2008).

A figura 1 apresenta um exemplo de um modelo dimensional para a área de vendas e é composta de 1 tabela fato e 4 tabelas de dimensões. A tabela fato é composta pelas chaves estrangeiras das dimensões e por duas medidas convencionais, quantidade de vendas e valor das vendas. As dimensões são descritas abaixo:

- **Tempo:** A dimensão tempo é composta dos atributos: dia, dia da semana, mês, trimestre e ano. Nessa dimensão é possível definir

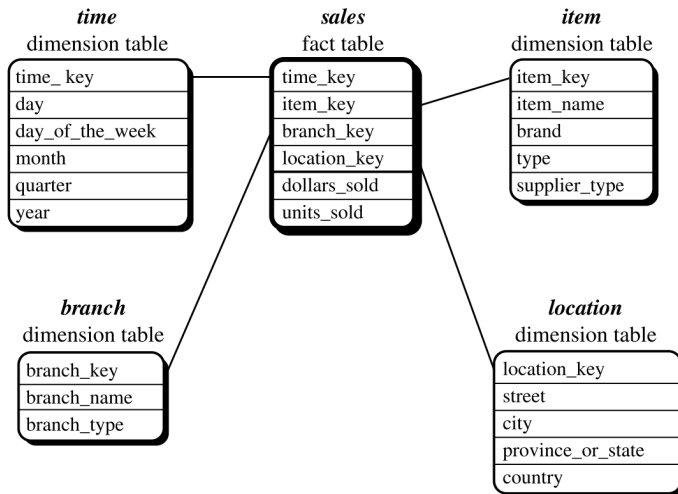


Figura 1 – Modelo estrela de um datamart sobre vendas

Fonte: Han e Kamber (2006)

uma hierarquia de tempo. Por exemplo: iniciando pelo atributo dia, que compõe o mês, que formam o trimestre, que define o ano.

- **Localização:** Esta dimensão é formada pelo rua, cidade, estado e o país. Da mesma forma, esta dimensão também pode formar uma hierarquia.
- **Produtos:** A dimensão produto é composto por: nome do produto, marca, tipo e tipo de fabricante.
- **Ramo de Atividade:** Esta dimensão é composta dos seguintes atributos: nome e tipo do ramo de atividade.

Os sistemas OLAP são a ligação entre os DWs e/ou data marts e os usuários. A utilização de OLAP possibilita uma variedade de consultas e visões dos dados que estão armazenados no DW. A manipulação dos dados através do OLAP é realizada através de várias operações, neste sentido, são detalhadas as operações mais tradicionais (HAN; KAMBER, 2006).

A figura 2 apresenta o data mart da figura 1 e o resultado de cada operação OLAP:

- A operação de **roll-up** consiste em executar a agregação dos dados ao navegar de um nível de dimensão mais baixo para o mais alto. Por exemplo, todas as vendas agregadas por país.
- A operação de **drill-down** realiza a operação inversa ao roll-up, vai do nível mais alto para o mais baixo. Ou seja, os dados são visualizados em uma granularidade menor (e.g., os dados estão visualizados por trimestre e deseja-se analisar as informações por mês).
- A operação de **slice** consiste na definição de uma dimensão como filtro dos dados e são disponibilizadas as informações das outras dimensões para análise.
- Já o **dice** é definido através da seleção de mais de uma dimensão para uma análise mais restrita.
- Por fim, a operação de **pivot** é responsável por mudar a forma como os dados são visualizados. Nesta operação as informações são rotacionadas com o objetivo de apresentar os dados a partir de outra perspectiva.

2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Antes de falarmos sobre Data Warehouses Espaciais e Espaço-Temporais é necessário descrever o que são sistemas de informações geográficas e como as informações geográficas são armazenadas nos bancos de dados. Segundo Malczewski (1999), Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de ferramentas para armazenar, recuperar e manipular dados espaciais, sendo responsável por integrar dados de diversas tecnologias, como: sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (GPS), desenhos CAD etc. Neste sentido, o SIG é utilizado em uma gama de aplicações, incluindo o suporte à tomada de decisão.

Uma possível abordagem dos SIG é a baseada em objetos, segundo a qual o espaço é decomposto em objetos identificados e suas formas são descritas (RIGAUX; SCHOLL; VOISARD, 2002). Por exemplo: Uma rodovia pode ser representada por uma linha, uma casa, por um ponto, as fronteiras de um país, por um polígono. Câmara et al. (1996) ratifica este conceito e define que é a representação de um elemento geográfico sobre um mapa pode ser chamada de feição geográfica.

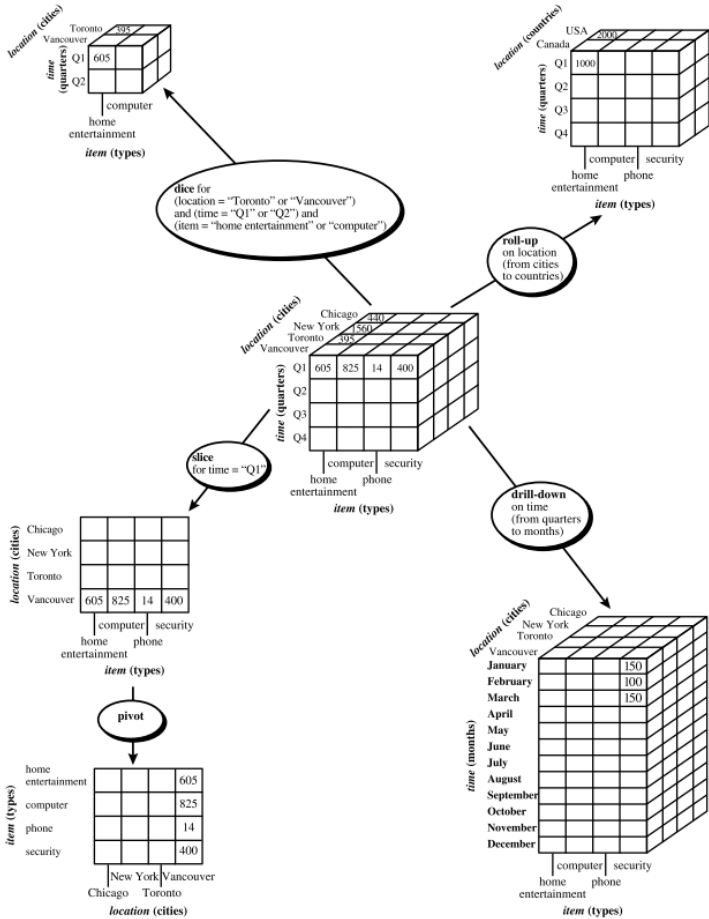


Figura 2 – Exemplo de data mart e operações OLAP
 Fonte: Han e Kamber (2006)

Os SIG são basicamente sistemas transacionais (OLTP), sendo assim, a realização de sumarização de dados, referência cruzada e exploração de dados não é eficiente. A manipulação de dados temporais e de múltiplas granularidades também não são características dos SIG. Com o objetivo de unir SIG e DW, foram desenvolvidos os DWE, que basicamente unem as características das duas tecnologias provendo acesso rápido e fácil aos dados espaciais, tendo vários níveis de granularidade, muitos temas e várias formas de visualização: mapas, gráficos, tabelas etc. (BÉRDARD et al., 2006). Estima-se que 80% dos DWs, atualmente, contêm algum componente espacial (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2004). Nesse sentido, os DWE são caracterizados por manipular dados espaciais tanto nas tabelas de fatos quanto nas tabelas de dimensões (RIVEST et al., 2005) .

2.3 DATA WAREHOUSES ESPAÇO-TEMPORAIS

Data Warehouse Espacial é a combinação entre DW e SIG, em que são mantidas as características de um DW com a capacidade de armazenar e manipular os dados espaciais. DWE e SIG manipulam elementos espaciais com objetivos diferentes. O SIG é utilizado para consultas que manipulam a localização espacial do elemento. Por exemplo, qual é o supermercado mais próximo da minha casa, ou qual é a rodovia que devo utilizar para ir de Florianópolis até Curitiba. Já o DWE é utilizado no processo de tomada de decisão, por exemplo, qual é o melhor local para instalar um novo supermercado ou quais são as rotas alternativas que devo utilizar em momentos de congestionamento (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2007).

DWE são implementados por meio da extensão do modelo dimensional, possibilitando a manipulação de dados espaciais. Sendo assim, essa abordagem facilita a integração com sistemas SOLAP, *Data Mining* e análises estatísticas (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2004). Por meio do DWE, é possível realizar análises multidimensionais de objetos geográficos (como apresentados no lado esquerdo da Figura 3), fazendo o uso de operadores geográficos (como apresentados no lado direito da Figura 3).

Os operadores espaciais são responsáveis por definir as relações entre dois elementos espaciais e são utilizados para definir as relações entre a tabela fato e suas dimensões. Em seguida, são definidos os principais operadores.

- ***Touches***: acontece quando dois elementos tocam um no outro

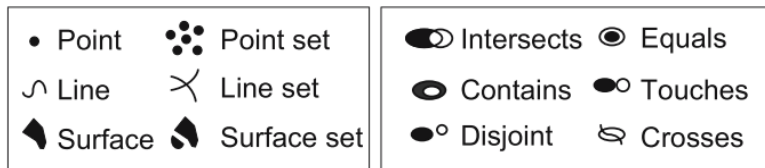


Figura 3 – Legenda do modelo dimensional

Fonte: Malinowski e Zimanyi (2007)

sem haver interseção do seu interior, ou seja, somente ocorre quando as extremidade, se tocam.

- **Contains:** definido quando um elemento está totalmente dentro de outro elemento sem que as bordas interceptam.
- **Covers:** um elemento está dentro de outro, e ocorre a intersecção das bordas.
- **Disjoint:** estabelecido pela não intersecção dos elementos.
- **Intersects:** definido pela intersecção entre os elementos, de qualquer operação anterior, exceto o *disjoint*.
- **Equals:** quando dois elementos são exatamente iguais.

A Figura 4 apresenta um esquema de DWE que analisa os custos de manutenção das rodovias. Nele, as rodovias são divididas em seções que, por sua vez, são divididas em segmentos. A responsabilidade pela manutenção das rodovias é dos municípios. Diante desse cenário, são possíveis análises dos custos de manutenção das rodovias agregadas por municípios, estados e, também, por tipo de pavimentação.

Conforme pode ser visto na Figura 4, um nível espacial é definido por conter características espaciais. No exemplo apresentado, são definidos cinco níveis espaciais: *County*, *State*, *Highway Segment*, *Highway Section* e *Highway*. Os níveis não espaciais são chamados de convencionais, como *Road coating* e *Time*.

Uma hierarquia espacial é definida por conter pelo menos um nível espacial. No exemplo citado é possível identificar duas hierarquias espaciais: Rodovias (*Highway*) e Localização (*Geo location*). Hierarquias espaciais podem conter tanto níveis espaciais quanto níveis convencionais. Neste sentido, uma dimensão espacial é aquela que contém, pelo menos, uma hierarquia espacial. Dimensões e hierarquias não espaciais são chamadas de convencionais.

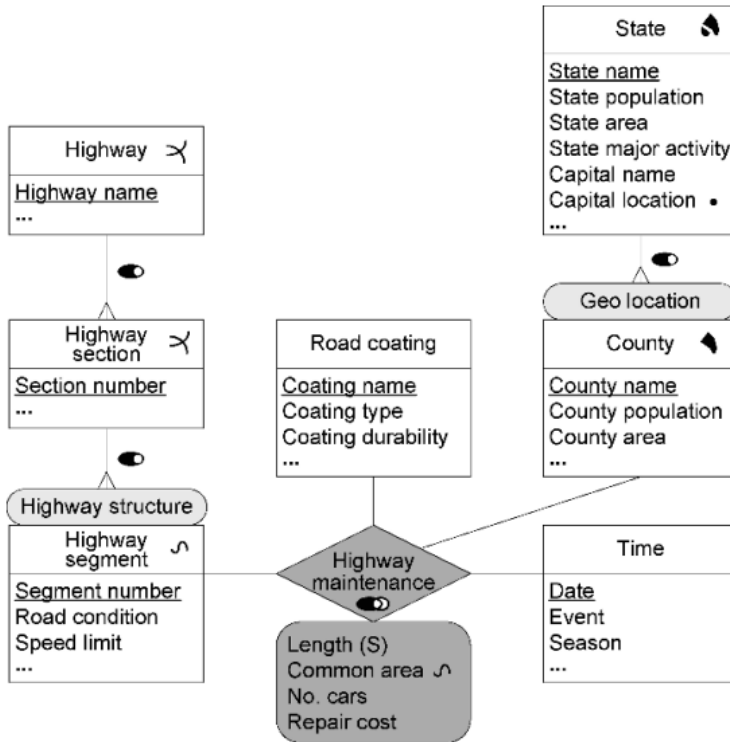


Figura 4 – Modelo dimensional com extensões espaciais
 Fonte: Malinowski e Zimanyi (2008)

A tabela fato é responsável por armazenar as medidas do negócio. Num DW convencional, a tabela fato é o cruzamento das dimensões, já em um DWE, ela é o resultado de relações espaciais entre as dimensões. Ou seja, no exemplo citado, a tabela fato é a intersecção entre os segmentos das rodovias com as cidades. Nela, podem ser armazenadas medidas convencionais ou espaciais. As medidas convencionais podem ser originadas de operações espaciais, por exemplo, o campo tamanho (*length*) é originado através do somatório dos tamanhos dos segmentos das rodovias que estão dentro de uma determinada cidade.

Uma importante característica dos DWs é a agregação das medidas da tabela fato, sendo necessário definir qual a função de agregação mais adequada. Neste caso, conforme são realizadas análises, a partir

dos níveis das dimensões, as medidas são agregadas. Para as medidas convencionais, existem várias funções de agregações já definidas na literatura (KIMBALL; ROSS, 2002), (INMON, 2005). Em relação às funções espaciais, o trabalho proposto por Ruiz e Times (2009) define uma taxonomia para a formalização de tais funções. Seguem alguns exemplos:

- distributivas: operações de união e intersecção espacial;
- algébricas: descobrir o centro de gravidade;
- holísticas: equipartição e indexação de vizinhança.

Os Data Warehouses Espaço-Temporais são a união dos Data Warehouses Espaciais com os Temporais. Atualmente, existem várias tecnologias que podem se beneficiar do uso dos DWET (e.g., GPS, telefonia celular, dispositivos móveis etc.) (MALINOWSKI; ZIMANYI, 2008). Através da coleta de informações como, por exemplo, da localização das pessoas através de um GPS, é possível realizar análise de trajetórias e de comportamentos das pessoas. Nesse sentido, os DWET são muito úteis ao disponibilizar um modelo dimensional espaço-temporal que possibilite essas análises (SAVARY; WAN; ZEITOUNI, 2004).

2.4 REDES COMPLEXAS

Existem várias definições sobre sistemas complexos e redes complexas, entretanto, a definição comumente aceita é a de que sistemas complexos são sistemas que contêm muitos elementos interdependentes que interagem de maneira não linear (LATORA; MARCHIORI, 2004). Redes complexas são redes topológicas de vários sistemas complexos (HONG et al., 2009).

Atualmente, redes estão presentes no dia a dia das pessoas (e.g., internet, redes sociais, redes de trânsito, redes de energia elétrica, entre outros), e, mesmo que inconscientemente, utilizamos algum tipo de rede em nossas vidas (STROGATZ, 2001). Várias pesquisas (YURCIK; SU, 2005), (WEI; LIU, 2010), (LATORA; MARCHIORI, 2004), (ALBERT; ALBERT; NAKARADO, 2004), (HONG et al., 2009) analisam o comportamento e a anatomia dessas redes. Segundo Strogatz (2001), redes complexas são dotadas das seguintes características:

- devido a variedade de elementos, as redes apresentam uma **estrutura complexa**, como demonstra a Figura 5;

- a **evolução da rede** acontece muito rapidamente, por exemplo, na internet, várias páginas e links são criados e destruídos quase que instantaneamente;
- existe uma grande **diversidade nas conexões** entre os nós, diferentes pesos, direções e sinais;
- as redes complexas podem ser compostas por uma **variedade de nós**;
- normalmente, os nós são compostos por um **sistema dinâmico não linear**;
- várias características tem **influência umas nas outras**, por exemplo, a evolução da rede influencia na topologia.



Figura 5 – Representação de uma rede de trânsito
 Fonte: Lima (2011)

Muitos estudos (ZHAO; ZHANG; REN, 2008), (YU; DWIVEDI; SO-KOLOWSKI, 2009), (WEI; LIU, 2010), (ALBERT; ALBERT; NAKARADO, 2004) têm aplicado a teoria de redes complexas na análise de falhas em redes de energia elétrica. Segundo Sun (2005), as redes de energia elétrica têm se tornado uma das maiores redes complexas artificiais desta era. Embora pesquisas já tenham descoberto alguns padrões e

tendências das redes complexas, ainda não existe uma forma sistemática de analisar a estrutura das redes. A Figura 6 apresenta um exemplo de rede de energia elétrica e é composta pelos seguintes elementos:

- O ponto em azul representa a raiz da rede (ponto inicial de alimentador).
- As linhas apresentam os segmentos da rede.
- Os elementos em vermelho representam as cargas da rede.
- Os elementos em verde apresentam as chaves que possibilitam a reconfiguração da rede.

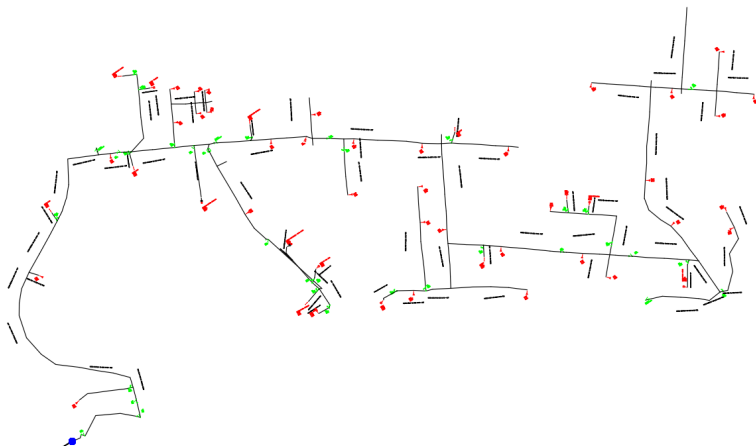


Figura 6 – Rede de distribuição de energia elétrica

2.5 REPRESENTAÇÃO DE ELEMENTOS ESPACIAIS

O espaço geográfico, devido à sua complexidade, necessita de um modelo analítico que fragmente, na sua totalidade, os objetos e fenômenos (SANTOS, 2006). Desse modo, Santos (2008) define quatro aspectos para a representação do espaço geográfico, os quais se descrevem a seguir.

- A **forma** é o aspecto visível do elemento espacial em determinado instante e pode ser influenciada, ainda de forma imperfeita, pela função que o elemento vai desempenhar.

- A **função** é a ação que é executada pelo elemento espacial. Um elemento de uma determinada forma pode executar mais de uma função de acordo com o contexto, espaço e tempo em que o elemento está inserido.
- O relacionamento entre os elementos espaciais caracteriza a **estrutura**.
- O **processo** é a ação contínua em direção a um resultado, podendo ser apreendido de uma visão espaço-temporal. Analisar o processo possibilita o entendimento de padrões e tendências na evolução da estrutura e das interações entre os elementos espaciais.

2.6 SEMÂNTICA EM DATA WAREHOUSES ESPACIAIS

Para a utilização de semântica é necessário inicialmente à definição de ontologia e como ela se classifica. O primeiro autor a citar a ontologia¹ associado a ciência da computação foi Gruber (1993), onde define: que ontologia é uma especificação explícita sobre uma conceitualização. Já Borst (1997), estende o conceito definido que ontologia é uma especificação explícita sobre uma conceitualização compartilhada. Por fim, Guarino (1997b) formaliza a ontologia como uma teoria lógica que relaciona o significado pretendido de um vocabulário à sua conceitualização particular no mundo.

Neste contexto, Guarino (1997a) classifica as ontologias em quatro grupos:

- Alto Nível: descrevem as ontologias de conceitos gerais, como conceitos sobre o espaço ou tempo;
- Domínio: descrevem vocabulários sobre domínios genéricos, como medicina ou automobilismo;
- Tarefas: descreve uma tarefa ou atividade;
- Aplicação: descrevem conceitos que dependem tanto do domínio, quando da tarefa a ser executada e são definidas como uma especialização de ambas.

¹Ontologia pode ser definida também como uma disciplina da filosofia, definida por Aristóteles.

A utilização de semântica está presente em várias fases de um DW, como na fase de Extração, Transformação e Carga (ETC) (SKOUTAS; SIMITSIS, 2006), (ZHANG; WANG, 2008), (SKOUTAS; SIMITSIS; SELIS, 2009), na descrição e construção do modelo dimensional (XIE et al., 2007), (SBOUI et al., 2007), (NEBOT et al., 2009), (NIINIMAKI; NIEMI, 2009), (SHAH et al., 2010) e na visualização dos dados (SELL et al., 2008), (SPAHN et al., 2008).

No processo de ETC, Skoutas e Simitsis (2006) ressaltam a importância da utilização de semântica com o objetivo de facilitar a seleção de informações relevantes provenientes das fontes de dados. Nesse sentido, a aplicação de ontologias auxilia na criação dos processos de ETC, pois fornece uma descrição semântica das fontes de dados.

Durante a construção convencional de um DW, as relações entre as fontes de dados e os *data marts* estão somente na mente dos desenvolvedores (XIE et al., 2007). A utilização de semântica visa abstrair esse conhecimento em um modelo formal. Sendo assim, a descrição semântica dos elementos de um DW (dimensões, medidas, tabela fatos) auxilia na elaboração de análises por parte do usuário. O trabalho proposto por Deggau (2010) utiliza os conceitos definidos por Xie et al. (2007) estendendo-o para Data Warehouses Espaciais.

O trabalho de Nebot et al. (2009) propõe um modelo de Data Warehouse Semântico, no qual toda a modelagem de um DW é realizada através de ontologias, sendo possível a geração automática de cubos OLAP.

O próximo capítulo apresenta a proposta deste trabalho, através da extensão do modelo dimensional proposto por Malinowski e Zimanyi (2008) para o suporte de redes complexas em data warehouses espaço-temporais.

3 MODELO DIMENSIONAL PARA A ANÁLISE DE REDES ESPACIAIS

Este trabalho apresenta a proposta de um modelo dimensional com extensões espaço-temporais para a manipulação e a análise de redes complexas de elementos espaciais. Utiliza como base o modelo dimensional espaço-temporal proposto por Malinowski e Zimanyi (2008), os fundamentos propostos por Santos (2008) para representação de informação sobre os elementos espaciais ligados em rede e o apoio de instâncias de conceitos de ontologias para a especificação das dimensões de análise de informação.

A definição de espaço geográfico e de sua representação através de sistemas computacionais evoluiu nos últimos 30 anos (CÂMARA et al., 2001). A partir da definição inicial proposta por Hartshorne, várias propostas sugeriram com o objetivo de melhorar a representação do espaço geográfico em sistemas computacionais. A definição de Santos (2008), apresentada na seção 2.5, representa com completude o espaço de elementos espaciais em rede segundo 4 aspectos fundamentais: formas dos elementos, funções dos elementos, estrutura de conexão entre esses elementos e processo que ocorre sobre tal estrutura. Esta proposta utiliza tais conceitos com o objetivo de analisar a dinâmica de redes complexas em DWET.

3.1 REDES COMPLEXAS DE ELEMENTOS ESPACIAIS

Uma rede complexa em nosso modelo é definida por um grafo direcionado $G(V, E)$. Cada vértice $v \in V$ representa um elemento espacial. Cada aresta direcionada $e \in E$ representa a conexão de um elemento v a um elemento v' ($v, v' \in V$). Cada vértice $v \in V$ tem a seguinte forma:

$$v = (\Gamma, \Phi, P(v, t), N(v, t), S(v, t))$$

Onde:

- Γ é o conjunto de formas de v (incluindo a localização espacial em algum sistema de coordenadas);
- Φ é o conjunto de funções de v - as funções podem ser definidas por conceitos de uma ontologia, ou seja, os papéis que v desempenha. (E.g., um equipamento transformador que nas redes de média tensão é um consumidor de energia, nas redes de baixa tensão é

um fornecedor de energia);

- $P(v, t) : V \times T \rightarrow 2^{\{V-v\}}$ é a função que retorna os elementos anteriores a v em uma rede complexa, por um determinado período de tempo $t \in T$ (e.g., ao selecionar um determinado transformador é retornado o segmento ao qual o transformador está conectado);
- $N(v, t) : V \times T \rightarrow 2^{\{V-v\}}$ é a função que retorna os elementos posteriores a v em uma rede complexa, por um determinado período de tempo $t \in T$ (e.g., ao selecionar um determinado transformador é retornado as unidades consumidoras às quais estão conectadas ao transformador);
- $S(v, t) : V \times T \rightarrow \mathbb{R}^n (n \in \mathbb{N}, n > 0)$ é a função que retorna o conjunto de valores $[val_1, \dots, val_n]$ das variáveis do elemento espacial¹ v , por exemplo, ao analisar o carregamento dos segmentos de uma rede é visualizado o processo sobre a rede.

O tempo T representa as sequências dos períodos de tempo em alguma granularidade (por exemplo, hora, dia). Uma rede complexa G tem suas conexões $e = (v, v') \in E$, onde v e $v' \in V$ em um determinado período de tempo $t \in T$ e somente se $v \in P(v', t)$ e $v' \in N(v, t)$.

3.2 INTERFACE PARA MANIPULAÇÃO DE ELEMENTOS ESPACIAIS

Para a representação de elementos espaciais em redes complexas foi definida uma interface, como ilustra a Figura 7, as classes ligadas à interface representam as ontologias. Neste modelo foram definidos alguns métodos com o objetivo de aplicar a abordagem proposta por Santos (2008) representando os elementos ligados no espaço geográfico através de quatro características: forma, função, estrutura e processo.

O método *getForm* retorna a(s) forma(s) de um elemento de acordo com um contexto específico. Neste caso, o contexto pode incluir uma região geográfica², um período de tempo³ e uma escala. O conjunto de formas que retornam varia conforme o contexto e o estado do elemento em um determinado período de tempo.

¹Cada elemento espacial pode ser um sistema complexo não linear com n variáveis de estado (STROGATZ, 2001)

²Definida como um conceito de uma ontologia de partições do espaço.

³Definida como um conceito de uma ontologia de períodos de tempo.

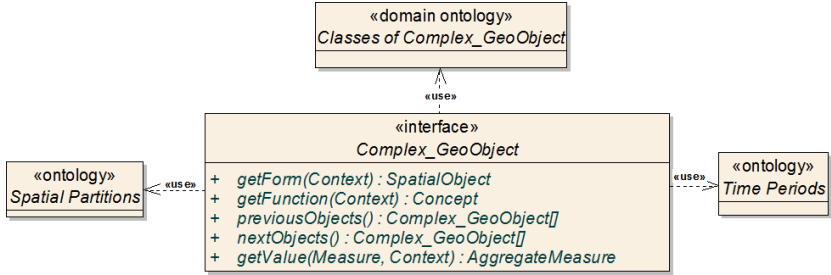


Figura 7 – Representação de elementos espaciais de redes complexas como objetos

O método *getFunction* retorna uma ou mais instâncias de conceitos de uma ontologia de domínio com o objetivo de descrever as funções do elemento.

Os métodos *previousObjects* e *nextObjects* retornam o conjunto de objetos que representam os elementos predecessores e sucessores ao elemento instanciado. Através destes métodos, a partir de uma raiz, é possível realizar uma busca por toda a rede complexa. Este processo é comumente chamado de *Trace*⁴.

Por fim, o método *getValue* retorna o valor de uma medida agregada (por exemplo, máximo, mínimo, média) de uma variável de um elemento espacial em um determinado contexto. Com isso, é possível realizar análises do comportamento das redes complexas. Nesse sentido, é possível acessar a variação dos estados ao longo do tempo de cada elemento espacial de uma rede complexa.

Com o objetivo de operacionalizar os métodos mencionados acima, são necessários alguns atributos para armazenar o estado do objeto. A Figura 8 apresenta os atributos através do exemplo do estudo de caso.

O atributo `geom[]` é responsável por armazenar as formas do elemento instanciado, bem como a sua localização espacial. Os atributos `function[]` e `idEquipment` fornecem a função do elemento. O atributo `idEquipment` é um identificador do elemento conforme o estudo de caso. Já os atributos `previousObjects` e `nextObjects` formam a estrutura da rede complexa e são responsáveis pela conectividade dos elementos. Por fim, os atributos `loadingPercentual`, `energyAmount` e `numberOfConsumers` são as medidas individuais e utilizadas na função *getValue* para analisar o processo. Esses atributos variam conforme o

⁴A função de *Trace* é uma função tradicional dos SIGs e consiste em percorrer a rede a partir de um elemento inicial

```

public class EDEquipment implements class Complex_GeoObject {
    private GeoFeature geom[];
    private Concept function[];
    private Integer idEquipment;
    private Complex_GeoObject[] *previousObjects;
    private Complex_GeoObject[] *nextObjects;
    private Double loadingPercentual;
    private Double energyAmount;
    private Integer numberOfConsumers;
};

```

→ Forma
 → Função
 → Estrutura
 Medidas do Processo

Figura 8 – Atributos de objeto representando elemento de uma rede complexa

domínio em que o modelo é aplicado.

3.3 ONTOLOGIAS

As ontologias são utilizadas para descrever os elementos espaciais mencionados na seção 3.1 e para suportar análises consolidadas dos estados de partes das redes complexas ao longo do tempo. Por exemplo, realizar análises das informações em um determinado dia (tempo absoluto) ou verificar a média de carga de uma rede nos últimos 3 verões (tempo cíclico). Como apresentado na seção 2.6, o uso de semântica é utilizada nas várias etapas de um DW. Nesse sentido, são utilizadas ontologias para auxiliar na elaboração das dimensões e na execução das análises.

O modelo é composto por 3 ontologias⁵: partições do espaço e períodos de tempo classificadas como ontologias de alto nível e a ontologia dos elementos da rede definida como ontologia de aplicação. As ontologias de partições do espaço e de períodos de tempo são ontologias mais estáticas que a ontologia de aplicação. Esta última visa descrever os conceitos do negócio, conforme a área de atuação. Entretanto, o modelo permite a adição de novas ontologias e novos conceitos.

⁵As ontologias fazem parte da contribuição deste trabalho e estão detalhadas no apêndice.

3.3.1 Partições do espaço

Análises de informações espaciais requerem vários conhecimentos sobre o espaço e suas vertentes, como:

- o relacionamento entre as partições do espaço e seus componentes; os estados, por exemplo, são compostos por cidades;
- homônimos: diferentes entidades sendo referenciadas pelo mesmo nome; São Paulo, por exemplo, é utilizado para a cidade e para o estado;
- sinônimos: diferentes nomes utilizados para a mesma entidade, por exemplo, Florianópolis, Floripa, Ilha da Magia.

A ontologia de partições do espaço contempla todos os itens mencionados acima. Descreve uma hierarquia de partições do espaço que é muito útil na análise da informação. Venâncio, Fileto e Medeiros (2003) relatam o uso de ontologia de partições do espaço como forma de auxiliar o usuário na navegação dos mapas, como um *gazetteer*. As partições do espaço podem ser elaboradas conforme o domínio de aplicação e podem levar em consideração vários fatores, como relevo, vegetação, questões econômicas, demográficas, entre outras.

Na Figura 9 é apresentada a ontologia das partições do espaço utilizada no estudo de caso, em que todos os conceitos são subclasses de *PartiçãoEspaço* e existe uma relação de contenção entre os conceitos. Neste sentido, é possível verificar que o *Estado* é composto por *Municípios* através da relação *municípiosDoEstado*, e os *Municípios* são agrupados em *Regionais*. Por fim, os *Municípios* podem conter *ÁreaUrbana*.

3.3.2 Períodos de tempo

A análise da dinâmica de redes complexas em DWET necessita de um suporte temporal, conforme descrito abaixo:

- **Tempo linear:** também chamado de tempo absoluto, que está relacionado a um determinado instante de tempo, como um dia específico, uma semana, um mês, um ano etc.
- **Tempo cíclico:** é representado por períodos de tempo que acontecem repetidamente, por exemplo, períodos do dia (manhãs, tar-

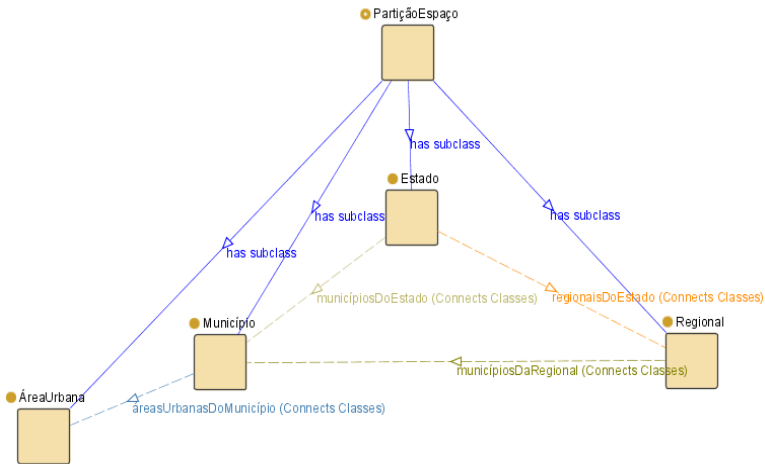


Figura 9 – Ontologia de partições do espaço para o setor elétrico

des e noites) e períodos do ano (estações do ano, trimestres, semestres).

A ontologia de períodos de tempo classifica e descreve diferentes tipos de tempos lineares e cíclicos usados nas análises das informações. Na Figura 10 é apresentada a ontologia de períodos de tempo com sua hierarquia e relações. A ontologia de períodos de tempo pode conter características que variam conforme a localização, por exemplo, as estações do ano são diferentes nos hemisférios sul e norte. O usuário pode utilizar o tempo linear para realizar análises de partes de uma rede complexa, como a evolução de uma variável ao longo do tempo. Pode realizar também análises utilizando o tempo cíclico, verificando padrões de variação de certa variável ao longo de certos períodos repetitivos, por exemplo, o estado da variável em todas as manhãs dos dias da semana, ou o comportamento ao longo do primeiro trimestre dos últimos 10 anos.

São utilizadas as hierarquias de classes (relações IS_A) e de composições de instâncias (relações PART_OF) das ontologias de partições do espaço, períodos de tempo e aplicação para definir dimensões de análise de dados. Extratos de cada uma dessas ontologias podem ser definidos para especificar diferentes dimensões de *data marts* voltados para atender necessidades específicas de análise de informação, como descrito a seguir.

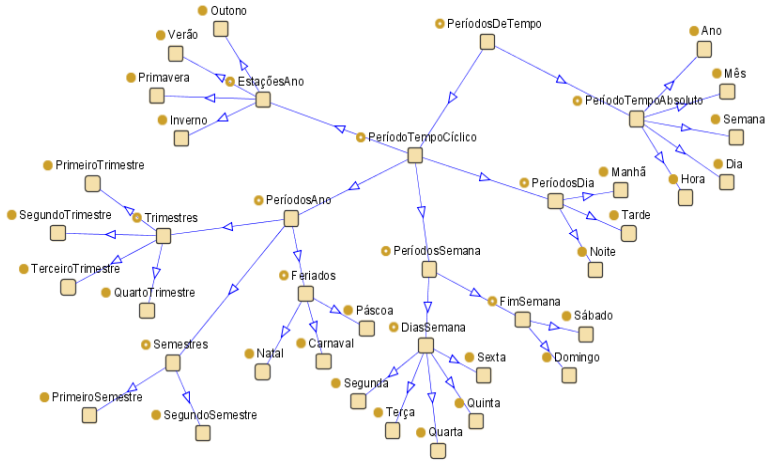


Figura 10 – Ontologia de períodos de tempo

3.4 DIMENSÕES COMO VISÕES DE ONTOLOGIAS

A implementação de DWETs nos diversos domínios de aplicação pode requerer adaptações quanto às medidas armazenadas e às dimensões usadas nas análises dessas medidas. Ontologias permitem armazenar e organizar conceitualizações, instâncias e associações entre elas (vide ontologias de espaço, tempo e domínio apresentadas nas seções anteriores), que podem ser utilizadas na especificação de dimensões para análise de informação (UCEDA-SOSA; CHEN; CLAYPOOL, 2004). A possibilidade de reutilizar conceitos já definidos anteriormente agiliza o processo de modelagem e possibilita a integração de informações com outros *data marts* (NOY; MUSEN, 2004).

Tendo como base um repositório de ontologias, é possível a utilização de técnicas para extração de visões das ontologias no intuito de definir as dimensões de data warehouses ou *data marts* voltados ao atendimento de necessidades específicas de análise de informação. Ou seja, a partir das ontologias gerais é possível definir quais os conceitos, instâncias e relações serão utilizados para formar as dimensões para análises específicas. Neste sentido, é possível citar alguns trabalhos que definem formas para a extração de visões das ontologias:

- Uceda-Sosa, Chen e Claypool (2004) apresentam uma linguagem de restrições que estende as restrições do padrão OWL (W3C,

2011). Com esta linguagem, uma visão de uma ontologia é definida através de um conjunto de cláusulas de assuntos, objetos e variáveis.

- Noy e Musen (2004) destacam a criação de visões de ontologias através da seleção de conceitos e suas relações ligados através de um percurso. O trabalho foi desenvolvido como um *plugin* do Protégé (RESEARCH, 2011), que permite ao usuário selecionar os tipos de conceitos e relações que deseja extrair, e o sistema monta a visão percorrendo percursos na ontologia segundo o que foi especificado.

3.5 ANÁLISE DE INFORMAÇÃO NO CONEM

O CoNeM (*Complex Network Model*) é o modelo para a análise de informações de redes complexas em DWET. A Figura 11 apresenta a arquitetura conceitual do CoNeM. Os módulos destacados são os que foram adaptados ou desenvolvidos neste trabalho. Os módulos não destacados fazem parte da proposta, mas fogem ao escopo deste trabalho por limitação de tempo.

As **Fontes de Dados** são a origem da informação. É delas que são extraídos os dados a serem carregados no *data warehouse* espaço-temporal. O processo responsável por extrair as informações das fontes de dados é o **ETC**. Este processo tem o objetivo de realizar a extração, transformação e carga do dados no Data Warehouse Espaço-Temporal.

Outro componente do CoNeM é a **Base de Conhecimento** onde são armazenadas as ontologias e suas instâncias utilizadas para definir as dimensões dos datamarts. O **Gerador de Cubos** visa auxiliar na extração de visões das ontologias para compor as dimensões de análise de informação a serem armazenadas no **Repositório de Especificações de Cubos**.

O **Data Warehouse Espaço-Temporal** (DWET) armazena vários componentes, como: base de conhecimento; repositório de especificações de cubos; e, os *datamarts* e as suas informações. O **Servidor SOLAP** é responsável por manipular dados convencionais (tabulares) e espaciais, em resposta a solicitações de execução de operações SOLAP oriundas da **Interface Integrada**. O **Servidor de Mapas** apoia a Interface Integrada, gerando visualizações de resultados de operações SOLAP em mapas, sempre que solicitado por ela. As operações analíticas suportadas pelo Servidor SOLAP são: *drill-down*, *roll-up*, *slice* e *dice*. Nas consultas envolvendo dados espaciais são suportados os operado-

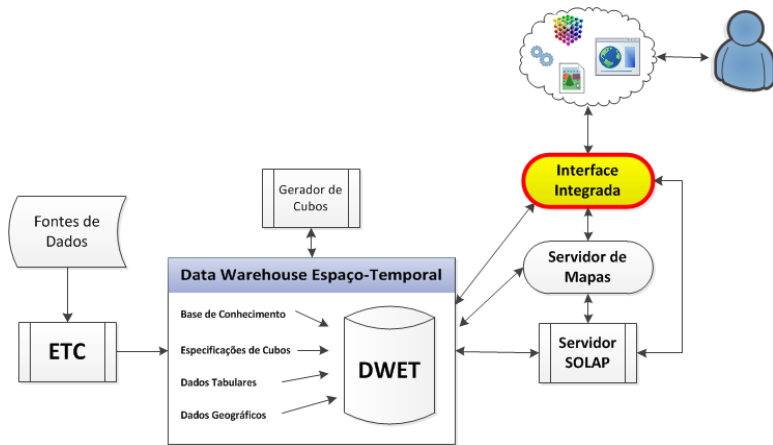


Figura 11 – Arquitetura do CoNeM

res geográficos: *Intersects*, *Contains*, *Covers*, *Disjoint* e *Touches*, além da funcionalidade de *Trace*. As consultas SOLAP podem ter como resultado apenas dados tabulares, dados espaciais ou dados tabulares e espaciais em conjunto.

A **Interface Integrada** coordena a interação do usuário com o sistema, permitindo-o executar operações SOLAP e visualizar resultados em mapas, gráficos e tabelas, com os quais podem ocorrer interações adicionais para a submissão de novas consultas.

O Servidor SOLAP, o Servidor de Mapas e a Interface Integrada são complementares e interdependentes. À medida que o usuário interage com a interface, solicitações são enviadas ao Servidor de Mapas e ao Servidor SOLAP com o objetivo de gerar novos resultados de análises. Por exemplo, ao executar um *zoom in* ou um *zoom out* na interface, o Servidor SOLAP executa a operação *drill-down* ou *roll-up*, respectivamente. O resultado é enviado à Interface Integrada, que pode ou não repassa-lo ao Servidor de Mapas para gerar novos mapas, dependendo da indicação do usuário ou estado da configuração da Interface Integrada.

3.5.1 OLAP espacial

As análises sobre o modelo do CoNeM são executadas através da utilização de operadores SOLAP. Sendo assim, o modelo possibilita

várias combinações quanto à presença de elementos espaciais na sua arquitetura: dimensões, medidas e relacionamento da tabela fato.

A Figura 12 ilustra um exemplo de processo de SOLAP. Como **Pré-requisitos** são definidos: i) cubo já está carregado; ii) utilização da operação de *Contains* para selecionar os dados que compõe a tabela fato; e, iii) feições espaciais são armazenadas em uma coleção de elementos na medida da tabela fato. O primeiro passo é a **seleção das dimensões de análise** que se deseja analisar. Após, são **selecionadas as medidas** que se deseja visualizar/agregar. Dependendo do tipo de medida selecionada (convencional ou espacial) são executadas operações de **OLAP** ou **SOLAP**, respectivamente. Por fim, o resultado da consulta é apresentado.

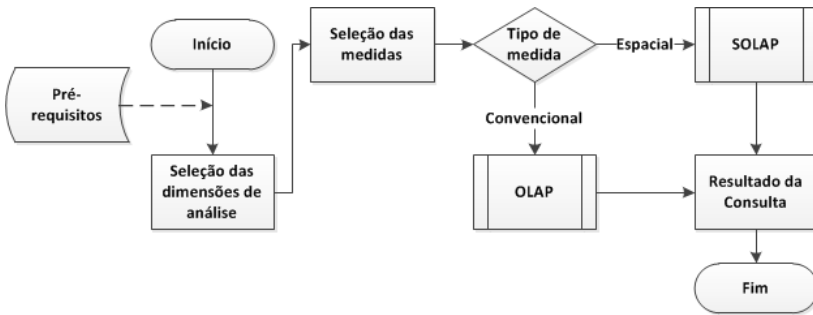


Figura 12 – Processo SOLAP

Coleções de elementos resultantes da aplicação de operações SOLAP podem ser usadas para construir novos elementos espaciais (com novas geometrias) usando funções clássicas (e.g., união, intersecção, etc) ou definidas pelo usuário (por exemplo, centro de massa, MBR, envoltória convexa, diagrama de Voronoi, triangulação de Delaunay dos pontos onde estão centrados os elementos espaciais).

Nos processos de SOLAP devem ser consideradas as funções de cargas utilizadas no processo ETC, ou seja, nos casos onde as medidas foram obtidas através de funções ou métodos interativos, os processos OLAP Espacial devem levar isso em consideração ao realizar as agregações.

A Figura 13 ilustra o resultado de uma sequência de análises com *drill-down* onde os dados são agregados conforme a partição do espaço no nível de detalhamento analisado. À medida que são executados os *drill-downs*, as agregações são realizadas e os dados são apresentados. O menor nível de granularidade é a dos elementos espaciais presentes

na tabela fato. Nesse caso, são apresentados os valores agregados (representados pelas cores das regiões nos mapas à esquerda) de medidas escolhidas do estado dos elementos em cada região, e individualmente de cada elemento em cada região (cores dos triângulos no mapa mais à direita) no nível de menor granularidade.

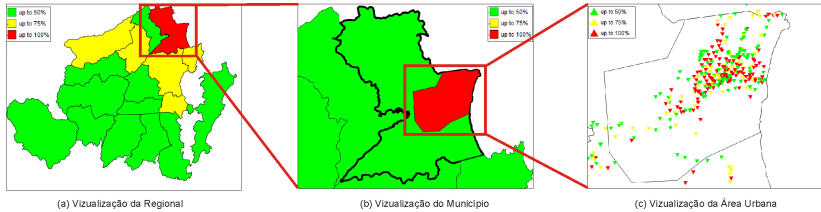


Figura 13 – *Drill-down* para análise do nível de carregamento de partições do espaço

3.5.2 *Trace*

As redes complexas caracterizam-se pela interação mútua entre seus elementos e conexões (STROGATZ, 2001). A análise de informação sobre os estados dos elementos da rede ao longo do tempo possibilita identificar padrões e tendências, tanto na dinâmica dos processos quanto na evolução da topologia das redes.

A análise da rede através da exploração de suas conexões e medidas associadas aos elementos (chamada comumente de *Trace*) é realizada com o objetivo de verificar a dinâmica do processo (e.g., variabilidade do fluxo de energia) que ocorre através dos elementos conectados ao longo do tempo. A função *Trace* consiste em percorrer a rede a partir de um elemento raiz do processo até as folhas, ou, inversamente, das folhas até as raízes. Algumas características das redes complexas devem ser consideradas para a implementação da função de *Trace*, como grafos cíclicos ou com múltiplas raízes.

Redes de distribuição de energia elétrica, por exemplo, são organizadas em alimentadores. Cada alimentador é uma coleção de equipamentos conectados, cuja única raiz é o ponto inicial (saída de um transformador de alta para média tensão) e cujas folhas são as unidades consumidoras. Entre a raiz e cada unidade consumidora existe uma sequência de equipamentos conectados, tais como cabos de distribuição, transformadores e chaves. Tais equipamentos são considerados

elementos espaciais em nosso modelo e representados da forma descrita na seção 3.1. Cada elemento tem elementos anteriores e posteriores, além de diversas medidas do seu estado (e.g., fluxo de energia em amperes, voltagem) que variam ao longo do tempo. O objetivo do *trace* é analisar a variação dessas medidas ao longo do tempo, as quais muitas vezes são estimadas para equipamentos intermediários entre o ponto inicial e as unidades consumidoras.

O algoritmo 1 apresenta a função *Trace* e tem os seguintes parâmetros de entrada:

- elemento, elemento espacial utilizado com elemento inicial da busca;
- direção, sentido que a função deve executar, caso a variável seja inicializada com o valor 1 são retornados os elementos sucessores ao elemento espacial utilizado como início. Caso contrário, são retornados os elementos predecessores.

Complex_GeoObject[] Trace (elemento Complex_GeoObject, direcao int)

Algoritmo 1: Função *Trace*

```

Data: conjuntoElementosEspaciais Complex_GeoObject[]
begin
  // 0 parametro direcao indica a direção do Trace
  // - 1 sucessores - 2 predecessores
  if (direcao == 1) then
    | retNext(elemento, conjuntoElementosEspaciais) ;
  else
    | retPrev(elemento, conjuntoElementosEspaciais) ;
  | return conjuntoElementosEspaciais;

```

O algoritmo 2 apresenta a função que percorre todos os elementos sucessores ao elemento selecionado como inicial. A função é recursiva e percorre todos os elementos até não encontrar mais elementos sucessores. O algoritmo também verifica se os elementos já foram percorridos anteriormente.

```

void retNext(elemento Complex_GeoObject,
             conjuntoElementosEspaciais Complex_GeoObject[])

```

Algoritmo 2: Função que retorna os elementos sucessores

```

Data: elementosSucessores Complex_GeoObject[],
         umElemento Complex_GeoObject

begin
  elementosSucessores ← elemento.nextObjects ();
  for (int i = 0; i < elementosSucessores.length(); i++)
  do
    umElemento ← elementosSucessores[i];
    if umElemento ∉ conjuntoElementosEspaciais then
      conjuntoElementosEspaciais.add(umElemento) ;
      retNext(umElemento,
             conjuntoElementosEspaciais) ;
  
```

A função que percorre os elementos predecessores é análoga à função dos sucessores. O retorno das funções é o conjunto dos elementos que estão conectados ao elemento inicial. Usando esses algoritmos elementares como base é possível a construção de mapas e apresentá-los através de interfaces gráficas que permitem analisar a variação das medidas associadas aos elementos ao longo do tempo, com o intuito de realizar análises da dinâmica e do processo de redes complexas.

A Figura 14 ilustra a utilização da função *Trace*. A partir da seleção de um elemento inicial (muitas vezes um *Feeder Start Point*), percorre-se todos os elementos sucessores dele, em torno do foco escolhido pela prévia aplicação de funções SOLAP⁶. Após a obtenção do alimentador ou sub-rede conectados ao ponto inicial, podem ser analisadas as medidas individuais desses elementos em grafos apresentado suas conexões, localização no espaço geográfico e faixas de medidas (coletadas, calculadas ou estimadas), que são representadas nos mapas (lado esquerdo da figura 14), através das cores associadas aos elementos da rede. As cores representam o índice da carregamento da rede (azul - 0% à 25%; roxo - 25% à 50%; laranja - 50% à 75%; vermelho - 75% à 100%). Com o passar do tempo, é possível verificar que partes da rede estão mais sobrecarregadas.

O gráfico à direita da figura 14 permite ao usuário visualizar a evolução temporal de valores agregados (e.g., máximo, mínimo, média) da medida analisada nos elementos da sub-rede sendo considerada. A

⁶Iniciando com o slice, seleciona-se a área de se deseja analisar. Executa-se operações de drill-down até identificar o elemento que se deseja averiguar. Após a identificação do elemento, executa-se a operações de *Trace* a partir do elemento para analisar a rede conectada a ele

categoria de tempo e a granularidade da análise temporal podem ser escolhidas sobre a ontologia de períodos tempo, no momento da criação do cubo de análise usado (o que transcende o escopo deste trabalho).

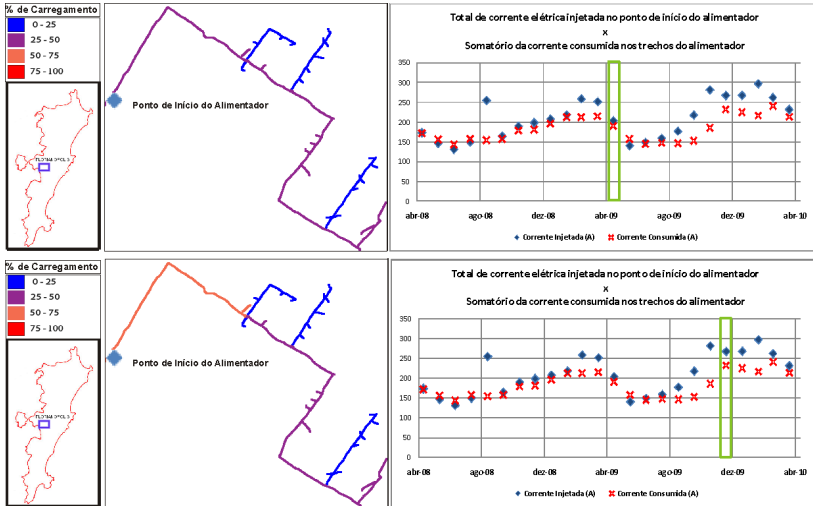


Figura 14 – Visualização de uma rede complexa e a evolução do processo

A Figura 14 ilustra a evolução do processo apresentado em dois períodos distintos. Conforme a seleção do período, o mapa e o gráfico são alterados.

4 ESTUDO DE CASO

Empresas de distribuição de energia elétrica são responsáveis por fornecer energia a várias categorias de clientes: residenciais, comerciais, industriais e rurais. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) impõe níveis de qualidade na prestação dos serviços, levando as empresas a desenvolverem soluções que otimizem suas operações e atendam a essas exigências.

Tais exigências obrigam as empresas a terem um mapeamento dos processos inerentes a distribuição de energia elétrica. Dessa forma, elas devem controlar suas atividades, gerir um plano de investimentos, manter baixos os níveis de interrupção de energia elétrica, entre outros objetivos. Para isso diversos fatores precisam ser analisados, tendo como base a rede de distribuição de energia elétrica e a sua dinâmica. Redes de distribuição de energia elétrica são consideradas típicas redes complexas espaciais (SUN, 2005) e devido à necessidade de análise da evolução da dinâmica da rede, torna-se imprescindível uma análise espaço-temporal dos dados e da rede.

Especialistas do domínio necessitam de formas sistemáticas para verificar a evolução¹ e o funcionamento das redes ao longo do tempo. São necessárias análises de nível de carregamento, número de falhas e várias outras medidas, segundo a disposição dos equipamentos da rede no espaço geográfico e diversos tipos de ciclos de tempo (dias, anos, etc.). Assim, a proposta de *Data Warehouse* Espaço-Temporal estendida com recursos para representação e análise de redes complexas deve auxiliar gerentes e especialistas do setor de distribuição de energia elétrica (entre vários outros setores onde há necessidade de análise de redes espaciais complexas) a tomar decisões de forma correta e rápida.

4.1 ONTOLOGIA DE ELEMENTOS DA REDE DE ENERGIA ELÉTRICA

Além das ontologias sobre partições do tempo e do espaço, o CoNeM pode utilizar ontologias de aplicação (GUARINO, 1997a) ou domínio para classificar as funcionalidades e outras características relevantes dos elementos espaciais. A ontologia de tipos de equipamento de distribuição de energia elétrica é a ontologia de aplicação que está relacionada ao estudo de caso no setor elétrico. A Figura 15 apresenta um

¹A evolução da rede consiste em analisar o processo que ocorre nos elementos da rede e nas suas conexões.

pequeno extrato da hierarquia de classes dessa ontologia. Os conceitos desta ontologia referem-se a diferentes categorias de equipamentos que são classificados pela sua função e seu nível de tensão. Propriedades desses conceitos definem a forma como elementos de diferentes categorias podem ser conectados e interagem entre si.

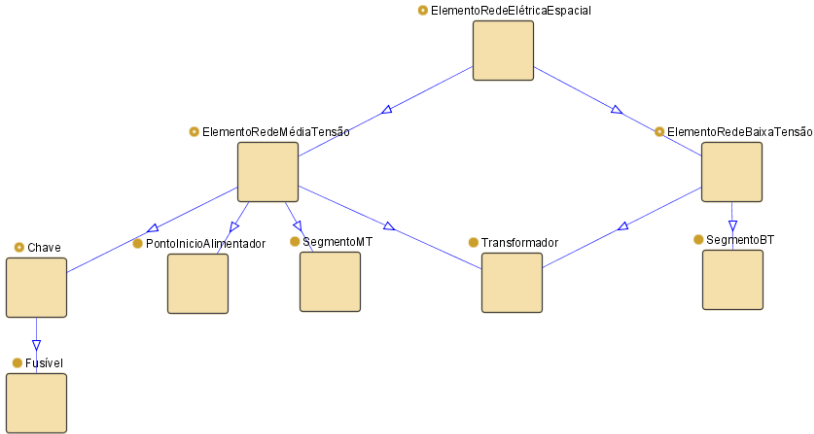


Figura 15 – Ontologia de equipamentos de distribuição de energia elétrica

4.2 UM DWET PARA O SETOR ELÉTRICO

As redes de energia elétrica são compostas de vários elementos, porém, neste trabalho, estão sendo analisados os elementos que trabalham na Média Tensão (MT), i.e., equipamentos ou grupos de equipamentos que operam em um nível de tensão entre 1kV e 69kV, tais como os das categorias descritas abaixo.

- **Alimentador:** representa o conjunto de todos os trechos de MT da rede de distribuição. Sua referência geográfica está no ponto de início do alimentador que é o ponto onde é injetada a energia elétrica.
- **Trecho MT:** definido pelo condutor por meio do qual a energia elétrica é transportada de um ponto a outro.
- **Transformador:** equipamento responsável por fazer o rebaixa-

mento da tensão de Média para Baixa Tensão (BT). Esta tensão é a utilizada nas residências.

- **Chave:** equipamento que realiza a proteção e a reconfiguração da rede.

Para a aplicação da proposta apresentada no capítulo 3 foi desenvolvido um *Data Warehouse* Espaço-Temporal para análise de informação da rede de distribuição de energia da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina). A Figura 16 apresenta o modelo lógico do Data Warehouse Espaço-Temporal desenvolvido, sendo ele composto por uma tabela fato e três dimensões.

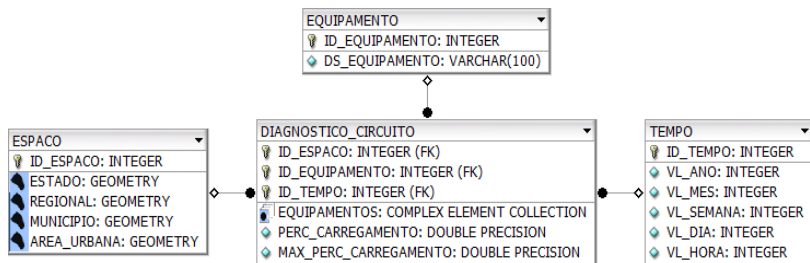


Figura 16 – Modelo lógico do DWET desenvolvido

As dimensões foram manualmente elaboradas com o auxílio das ontologias apresentadas na seção 3.3. Essas dimensões e a relação com as ontologias são descritas a seguir.

- **Equipamento:** esta dimensão contém a os tipos de equipamentos da rede de distribuição e seus membros são instâncias dos conceitos concretos da ontologia de equipamentos de rede.
- **Tempo:** contém os níveis necessários para analisar a dinâmica da rede, sendo possível também a análise do tempo cíclico, verificando padrões no comportamento das redes. São utilizados os níveis: ano, mês, semana, dia e hora.
- **Espaço:** contém os níveis de partições de espaço para a realização das análises. Cada nível representa uma feição espacial, e a relação entre eles é caracterizada por “fazer parte de”, ou seja, cada membro de nível mais baixo está contido em um membro de nível superior. Por exemplo, uma área urbana faz parte de um

município, que, por sua vez, faz parte de uma regional, e assim por diante.

A tabela fato contém as chaves estrangeiras (FKs), relacionadas às dimensões, e três medidas, sendo duas numéricas e uma que é uma coleção de objetos que representa os elementos espaciais (i.e., a coleção de todos os transformadores de uma porção do espaço, em um determinado período de tempo) definidos na seção 3.2, como segue.

- **PERC_CARREGAMENTO**: corresponde ao percentual de carregamento de todos os equipamentos de um certo tipo, que estão contidos em uma determinada região do espaço e em um determinado instante de tempo.
- **MAX_PERC_CARREGAMENTO**: é o máximo percentual de carregamento de um determinado equipamento, que está contido em uma determinada região do espaço e em um determinado instante de tempo;
- **EQUIPAMENTOS**: representa todos os equipamentos de um determinado tipo, em um instante de tempo, que estão dentro de uma região do espaço. Por esta medida conter também a feição espacial de cada equipamento, nesse caso, é utilizado o operador de união (U). Através desta medida, é possível analisar o estado de todos os equipamentos contidos em uma célula do Data Warehouse Espaço-Temporal.

4.3 CARGA DAS MEDIDAS

Esta seção descreve como é realizado o carregamento dos valores das medidas da tabela fato. Dependendo do tipo de equipamento, uma mesma medida poderá ser calculada de formas diferentes. Neste estudo de caso existem duas medidas convencionais (tabulares) na tabela fato, **PERC_CARREGAMENTO** e **MAX_PERC_CARREGAMENTO**. A medida **MAX_PERC_CARREGAMENTO** é o valor máximo da medida **PERC_CARREGAMENTO**.

As empresas de distribuição de energia elétrica têm vários pontos e formas de realizar suas medições. Os principais pontos de medição são os equipamentos das subestações e os medidores das unidades consumidoras. Nos equipamentos das subestações, as medições são eletrônicas e automáticas e têm uma periodicidade de, pelos menos, uma por segundo. Para efeito de análise, os dados são agregados em 15 minutos

e uma hora. Na maioria das unidades consumidoras, as medidas são analógicas e manuais, com periodicidade de uma vez por mês, estando sujeitas a incoerências e erros de leituras.

Devido a essa discrepância entre a periodicidade das medições e ausência de medidores em grande parte dos equipamentos entre o ponto inicial e as unidades consumidores de um alimentador, são necessárias fórmulas que estimem as medidas com o objetivo de verificar o comportamento das redes. Conforme os dados levantados com a equipe técnica da Celesc, uma das formas de obtenção da medida de carregamento é por meio do método estatístico KVAS. A medida PERC_CARREGAMENTO será detalhada para dois tipos de equipamentos da rede elétrica, transformador e trecho MT.

4.3.1 Cálculo das medidas para transformador

Nos transformadores, a medida PERC_CARREGAMENTO é calculada através da relação entre a potência nominal e a máxima potência consumida no período. O cálculo da medida para cada município por um determinado período de tempo segue a fórmula abaixo:

$$PERC_CARREGAMENTO = \frac{\sum_{mes}^{transformador} potcon}{\sum_{mes}^{transformador} pot} \times 100$$

Onde:

PERC_CARREGAMENTO é o valor da medida;

potcon corresponde a potência consumida de cada equipamento transformador que está dentro do município;

pot está relacionado a potência nominal de cada transformador pertencente ao município.

Para obter a potência consumida de cada transformador é necessário utilizar a seguinte fórmula:

$$potcon = (0,0033863 \times \sum_{mes}^{consumo} kwh) + 5,3429$$

Onde:

kwh corresponde ao consumo de cada unidade consumidora ligada ao transformador.

4.3.2 Cálculo das medidas para trecho MT

A análise do carregamento dos trechos é a relação entre a corrente nominal do condutor e a corrente máxima que passa pelo mesmo. Sendo assim, para obter a corrente máxima que passa pelo condutor, utiliza-se a fórmula abaixo:

$$I = \frac{DEM}{V \times \sqrt{3}}$$

Onde:

I é a corrente máxima (A);

DEM é a demanda máxima que atua sobre aquele condutor;

V é a tensão de operação do condutor (V).

A demanda máxima DEM é obtida através da utilização da funcionalidade de *Trace*, a partir de um determinado elemento (neste caso, um trecho) selecionado como raiz é feita uma busca por todos os elementos que estão abaixo da raiz. Soma-se todos os consumos dos equipamentos e, através das fórmulas citadas na seção 4.3.1, é obtida a demanda máxima daquele trecho. Abaixo, é apresentada sinteticamente a fórmula para obtenção da demanda.

$$DEM = \sum((0,0033863 \times \sum kwh) + 5,3429)$$

Onde:

DEM é a demanda máxima;

kwh corresponde ao consumo dos equipamentos.

Por fim, o cálculo da medida é obtida a partir da definição abaixo:

$$PERC_CARREGAMENTO = \frac{I_{nominal}}{I} \times 100$$

Onde:

$PERC_CARREGAMENTO$ é o valor da medida;

$I_{nominal}$ é a corrente nominal do condutor;

I é a corrente máxima do condutor naquele período(A);

4.4 ANÁLISE DE INFORMAÇÃO

Através do CoNeM os usuários podem realizar vários tipos de análises (*slice*, *dice*, *drill-down*, *roll-up*, *Trace*) de informação sobre redes complexas espaciais. Utilizando SOLAP é possível avaliar a dinâmica e os estados de coleções de equipamentos das diferentes categorias, em diferentes regiões e períodos de tempo, provendo formas sistemáticas para a análise das informações para propósitos gerenciais e estratégicos.

As operações básicas de *dice* e *slice* são utilizadas constantemente com o objetivo de analisar os dados de algum nível específico de uma ou mais dimensões. A Figura 17² apresenta um *slice* dos equipamentos do tipo transformador, nos meses de abril e junho de 2010 (abril – lado esquerdo, junho – lado direito) para os municípios da Grande Florianópolis.

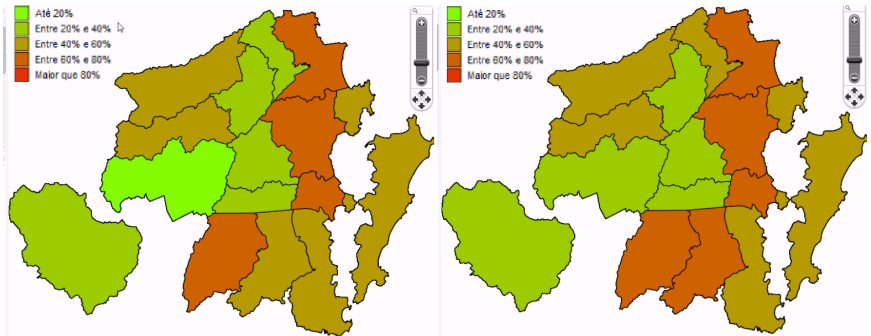


Figura 17 – Mapa do carregamento dos municípios para os meses de abril e junho de 2010

O trecho de código a seguir apresenta a consulta que foi executada ao ser realizada a análise da figura 17.

```
SELECT c.descricao ,
       c.id_municipio ,
       cd.id Equipamento ,
       cd.id_tempo ,
       c.geom ,
       cd.perc_carregamento ,
       cd.max_perc_carregamento
FROM municipio-geom c,
```

²A legenda indica o nível de carregamento, conforme o degrade de cores de verde ao vermelho.

```

    espaco sd,
    diagnostico_circuito cd
WHERE c.id_municipio = sd.id_municipio
    AND sd.id_espaco = cd.id_espaco
    AND id_equipamento = 3 AND id_tempo = 41;

```

O CoNeM também possibilita operações de *drill-down* e *roll-up*, neste caso, as operações são executadas conforme o usuário executa o *zoom* no mapa. Conforme o *zoom* selecionado, o sistema identifica, com o auxílio da ontologia, qual partição do espaço está sendo visualizada e exibe no mapa a partição com os seus respectivos dados. Se ao executar um *zoom*, não existir um nível de visualização para que seja acionado o *drill-down*, apenas a funcionalidade de *zoom* será executada.

Na Figura 18, são apresentados dois níveis de *zoom* de uma mesma análise. Na figura da esquerda, são mostrados os municípios e seus carregamentos. Já na figura à direita, são ilustrados os equipamentos com os carregamentos individuais.

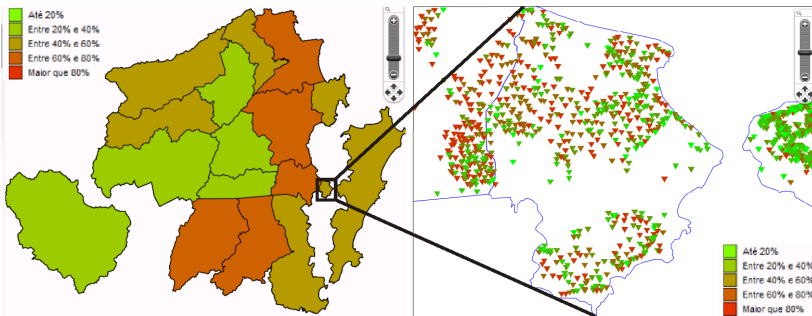


Figura 18 – Operação de *drill-down* no mapa

O código fonte abaixo ilustra a consulta executada no *drill-down*.

```

SELECT oc.id_objeto ,
        dc.perc_carregamento ,
        ocg.geom
FROM diagnostico_circuito dc
        objeto_complexo oc ,
        objeto_complexo_geom ocg
WHERE dc.id_espaco = oc.id_espaco
    AND dc.id_equipamento = oc.id_equipamento
    AND dc.id_tempo = oc.id_tempo
    AND oc.id_objeto = ocg.id_objeto
    AND dc.id_time = 24
    AND dc.id_equipament = 3
    AND dc.id_espaco = 1

```

4.4.1 Análise espaço-temporal do estado da rede (*Trace*)

Outra possibilidade de análise das redes complexas é através do *Trace* da rede, que consiste na análise dos elementos que estão conectados entre si a partir de uma raiz. Este tipo de análise é utilizado para verificar a situação de um trecho da rede, focado usando SOLAP, durante um determinado período de tempo. A Figura 19 apresenta o carregamento de um alimentador da Grande Florianópolis. À medida que o percentual de carregamento de cada trecho aumenta, o degrade de cor muda, e a espessura da linha aumenta de modo a apresentar a dinâmica do processo ocorrendo na rede. A figura 19 ilustra a dinâmica de carga em um trecho de rede no município de Palhoça, entre os meses de abril (mapa à esquerda) e junho (mapa a direita).

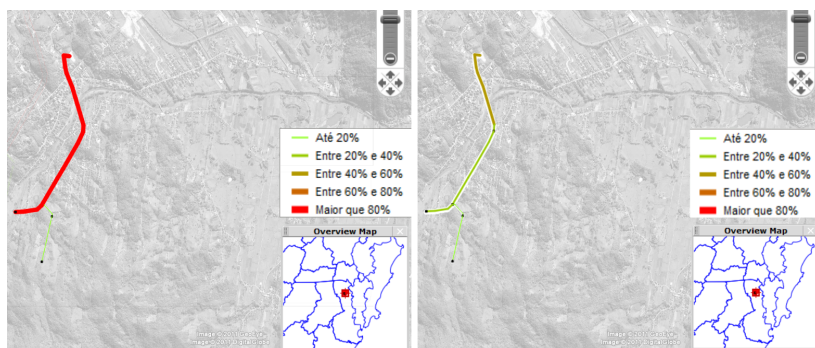


Figura 19 – Operação de *Trace* e a dinâmica do processo

Por meio dessa função, também é possível analisar a evolução da rede. A Figura 20 ilustra uma situação em que vários elementos que pertenciam a uma determinada rede foram transferidos para outra, através da comparação das duas redes em instantes de tempos diferentes. Analisar a rede em dois instantes de tempo diferentes possibilita ao tomador de decisões ter ciência de todos os elementos que estão influenciando a mesma.

Para as análises apresentadas nas figuras 19 e 20 foi executadas consultas semelhante à consulta abaixo.

```
SELECT oc.id_objeto ,
       dc.perc_carregamento ,
       oc.geom
FROM diagnostico_circuito dc
     objeto_complexo oc ,
```

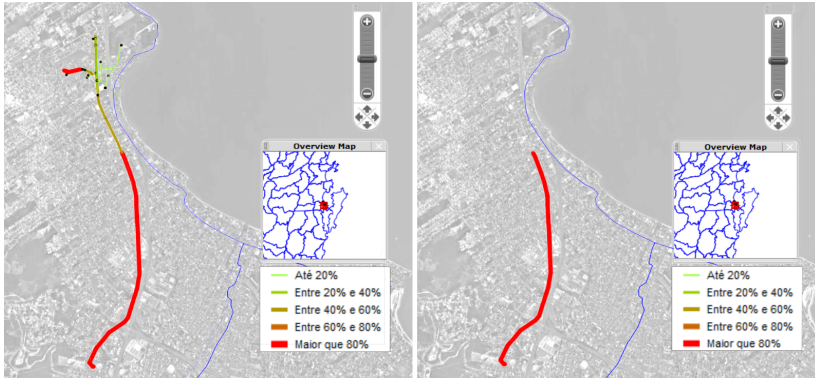


Figura 20 – Operação de *Trace* e a evolução da rede

```

objeto_complexo_geom ocg ,
(SELECT id_objeto ,
FROM conexao_objeto_complexo coc
START WITH id_objeto = 802936937
CONNECT BY nocycle prior conexao_final =
conexao_inicial
) con
WHERE dc.id_espaco = oc.id_espaco
AND dc.id_equipamento = oc.id_equipamento
AND dc.id_tempo = oc.id_tempo
AND oc.id_objeto = ocg.id_objeto
AND ocg.id_objeto = con.id_objeto
AND dc.id_time = 41
AND dc.id_espaco = 1;

```


5 EXPERIMENTOS

5.1 IMPLEMENTAÇÃO

A Figura 21 apresenta a arquitetura de software com as tecnologias usadas. Com o objetivo de minimizar esforços, buscou-se concentrar o uso de ferramentas em um menor número possível de fornecedores para minimizar impactos de integração.

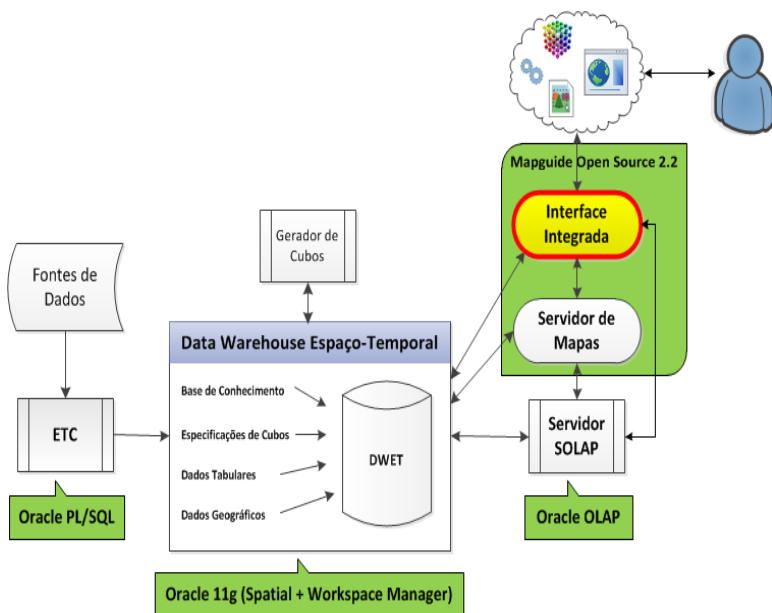


Figura 21 – Arquitetura de software do protótipo do CoNeM

As ontologias da base de conhecimento foram elaboradas usando o Protégé versão 3.4.6, e utilizou-se o padrão RDF. As ontologias servem de base para a definição das dimensões e para auxiliar na execução das análises SOLAP, fornecendo suporte semântico ao usuário. As visões das ontologias¹ foram definidas manualmente.

- Para a dimensão equipamentos, foram utilizados apenas as instâncias dos conceitos concretos da ontologia de elementos da rede.

¹Definido como extrações de partes de ontologias baseadas em regras específicas.

- A dimensão tempo ficou restrita aos conceitos do tipo *PeríodoTempoAbsoluto*. Por meio desses conceitos, é possível realizar vários tipos de análise de tempo cíclico (e.g., trimestre, estações do ano, feriados).
- A dimensão espaço foi construída através das relações de contenção entre os conceitos referentes a parcelas de terra.

As fontes de dados usadas no estudo de caso estavam armazenadas em um banco de dados Oracle 8i não espacial. O processo de ETC foi todo desenvolvido por meio da tecnologia PL/SQL da Oracle. Nesse caso, os dados foram importados para a área de estagiamento e o e foi necessário converter os dados espaciais para o modelo da Oracle (SDO²). A escolha da linguagem para o processo de ETC foi motivada pelo conhecimento prévio da tecnologia, visando agilizar o tempo de desenvolvimento.

Para a implementação do modelo, foram utilizados os bancos de dados Oracle 11g Enterprise Edition Release 11.1.0.7.0, e cada banco de dados utiliza funcionalidades específicas, como:

- a área de estagiamento utiliza as funcionalidades padrão do Oracle mais a funcionalidade Spatial;
- o banco de dados do DWET utiliza as funcionalidades Spatial, OLAP e Workspace Manager.

O servidor SOLAP foi implementado através da integração entre o servidor de mapas e as funcionalidades OLAP e Spatial do Oracle. Neste sentido, as operações de *zoom in* e *zoom out* são convertidas em *drill-down* e *roll-up* para serem processadas pelas funcionalidades OLAP do Oracle. A funcionalidade de *Trace* foi implementada como uma rotina PL/SQL do Oracle para ser executada sobre o modelo proposto do CoNeM.

O servidor de mapas foi implementado utilizando a ferramenta Mapguide Open Source 2.2 Beta 1, e foram elaborados alguns protótipos das interfaces com o objetivo de avaliar a proposta.

A Figura 22 apresenta o esquema físico do DWET utilizado no estudo de caso. Devido a algumas restrições do componente de interface e do banco de dados utilizado, foi necessário realizar algumas adaptações em relação ao modelo lógico (Figura 16).

A dimensão EQUIPAMENTO contém a chave primária e a descrição dos tipos de elementos. A dimensão TEMPO é composta pelos campos: ANO, MÊS, SEMANA, DIA, HORA e a chave primária.

²Modelo de dados da Oracle para elementos espaciais.

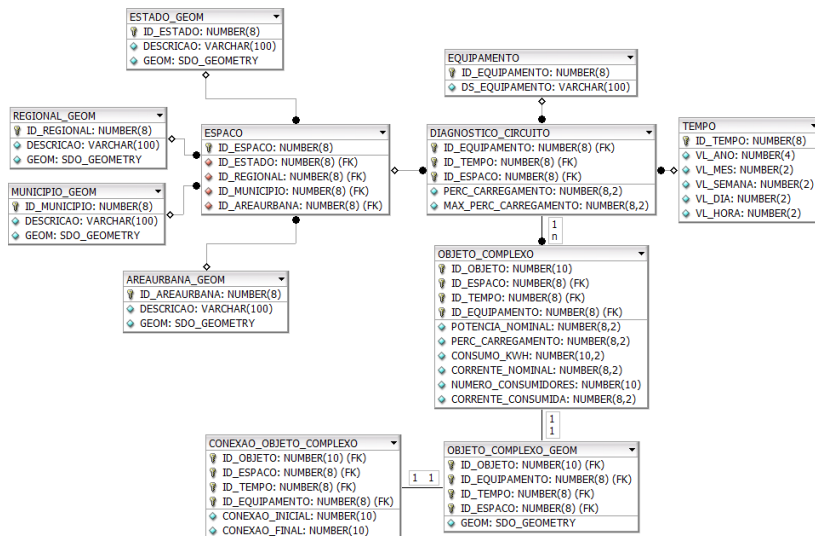


Figura 22 – Esquema físico do DWET desenvolvido

Inicialmente, foi necessária uma adaptação na dimensão com as feições espaciais, sendo necessária a criação de uma tabela para cada feição (estado, cidade, etc.) e uma tabela de relacionamento para a junção das feições. Este detalhe está relacionado a uma restrição do banco de dados relacionado a agregação de tipo de dados complexos, nesse caso, de feições espaciais (SDO_GEOMETRY).

A tabela fato (DIAGNOSTICO_CIRCUITO) contém duas medidas numéricas, percentual de carregamento e percentual máximo de carregamento, além das chaves estrangeiras das dimensões. Para o armazenamento da medida que representa o conjunto dos Objetos Complexos, foi necessário também a realização de algumas adaptações, como:

- a tabela OBJETO_COMPLEXO representa os atributos não espaciais do objeto complexo;
- a tabela OBJETO_COMPLEXO_GEOM armazena a geometria dos elementos espaciais;
- a tabela CONEXAO_OBJETO_COMPLEXO armazena as conexões dos elementos espaciais.

Para a implementação da evolução da rede é utilizada a funcionalidade de Workspace Manager do Oracle, neste caso as tabelas

OBJETO_COMPLEXO_GEOM e CONEXAO_OBJETO_COMPLEXO são versionadas. Ou seja, a evolução da rede é analisada e armazenada através de cada versão do banco de dados. Por exemplo, a cada carga dos dados, é armazenada uma versão das conexões da rede e da feição espacial relacionada à medida da tabela fato, isso só ocorre se houver modificação nos valores.

A estrutura física para a implementação do protótipo é composta de duas máquinas, um servidor e uma estação de trabalho.

- O servidor usa o sistema operacional Windows 2008 Server 64 bits e o Banco de dados Oracle 11g, e é composto pelo seguinte hardware: Processador Intel QuadCore 2.4 GHz, 2 GB de memória RAM e um HD de 500 GB.
- A estação de trabalho é baseada no Windows Vista 32 bits, e nela encontra-se instalado o servidor de visualização de mapas do Mapguide Open Source. O hardware é composto por: Processador Intel Core 2 Duo 2.0 GHz, 3 GB de memória RAM e um HD de 100 GB.

5.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos têm o objetivo de avaliar o desempenho do CoNeM em comparação a outras formas de análise da informação em redes espaciais no estudo de caso. Sendo assim, os experimentos têm os seguintes objetivos específicos:

- avaliar o desempenho computacional do CoNeM;
- analisar o desempenho humano e institucional do CoNeM, na execução das análises e no emprego dos resultados na tomada de decisão.

Em todos os experimentos, são analisados o tempo de resposta e a quantidade de memória RAM utilizada no servidor de banco de dados e no servidor de mapas. As tarefas experimentais realizadas são enumeradas a seguir.

1. Processos de ETC dos dados espaciais de dois *snapshots* das fontes de dados correspondentes aos meses de abril e junho de 2010.
2. Processos de ETC de dados apenas tabulares do período de maio de 2008 à maio de 2010.

3. Execução de um *slice* (vide Figura 17) do carregamento dos equipamentos do tipo transformador nos municípios, variando mês a mês.
4. Execução de um *drill-down* (vide Figura 18) do carregamento dos equipamentos do tipo transformador de um determinado município até o nível de carregamento individual dos equipamentos.
5. Execução da funcionalidade de *Trace* (descrita na seção 4.4.1) em dois meses do mesmo alimentador.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a execução dos experimentos, foram coletados dados³ de tempo de execução e consumo de memória em cada um dos casos. Com relação à variável memória do banco de dados, foi coletado apenas o consumo realizado pela sessão em questão; não está sendo levado em consideração o consumo de memória dos processos inerentes ao SGBD.

EXPERIMENTO 1

Esse experimento visa medir o tempo de carregamento dos dados espaciais com dados de dois meses distintos e verificar o consumo de memória. O experimento consiste em realizar a carga dos dados espaciais das fontes de dados para o DWET. O tempo de processamento da primeira massa de dados⁴ foi de 21 minutos e 56 segundos, e o processo chegou a alocar 9,79 MB de memória com um consumo médio de 7,82 MB. Já o tempo de execução da segunda massa de dados⁵ foi de 24 minutos e 24 segundos, com uma alocação máxima de 18,30 MB e uma alocação média de 12,25 MB. A Figura 23 apresenta o consumo de memória em relação ao tempo.

Nesse experimento, verifica-se que o consumo de memória da carga dos dados de junho foi bem maior que do mês de abril. No primeiro processo, com o banco de dados vazio, os dados foram simplesmente inseridos. Já, no segundo processo, ao inserir um elemento

³No banco de dados, a coleta foi realizada através de uma consulta que mede o consumo de memória de cada sessão. Para o servidor de mapas, foi utilizada a ferramenta “Monitor de Desempenho” da Microsoft.

⁴Neste processo foram analisados 216921 elementos espaciais.

⁵Neste processo foram analisados 217488 elementos espaciais.

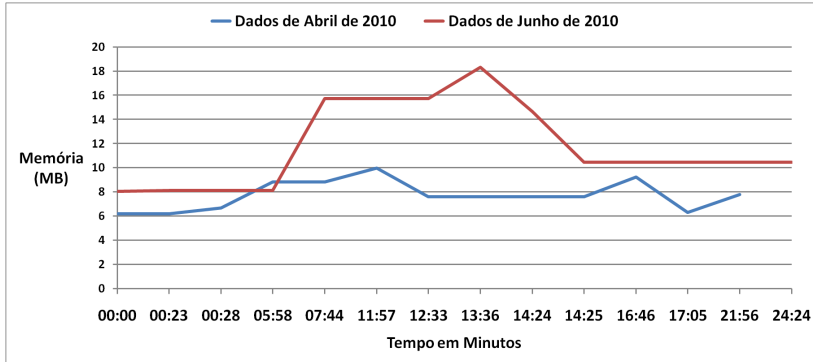


Figura 23 – Consumo de memória de processos de carga de dados espaciais ao longo do tempo

espacial, o banco de dados compara com valores já existentes e apenas os novos elementos são inseridos.

EXPERIMENTO 2

O experimento tem o objetivo de medir o tempo de execução do processo de ETC apenas dos dados tabulares para uma massa de dados de 24 meses. Todo o processo foi executado com um tempo de 5 horas e 31 minutos e um tempo médio de 15 minutos para cada mês. O maior tempo de carga foi de 18 minutos e 5 segundos, e o menor, de 13 minutos e 19 segundos. Em relação à memória consumida, foram obtidos os seguintes valores: i) valor máximo consumido: 10,43 MB; ii) valor médio consumido: 7,54 KB; iii) valor mínimo consumido: 2631,59 KB; e, iv) valor acumulado de memória consumida: 934122,7 KB. A Figura 24 apresenta o consumo de memória em relação ao tempo, para a realização da carga de um mês vários procedimentos são executados. O banco de dados, após cada procedimento, executa o processo de limpeza da memória. Com isso, é possível verificar a grande variação do consumo de memória durante todo o processo.

Os próximos experimentos estão relacionados à utilização do protótipo das interfaces, a partir da qual foram coletadas três medidas: tempo de execução, memória do banco de dados e memória do servidor de mapas.

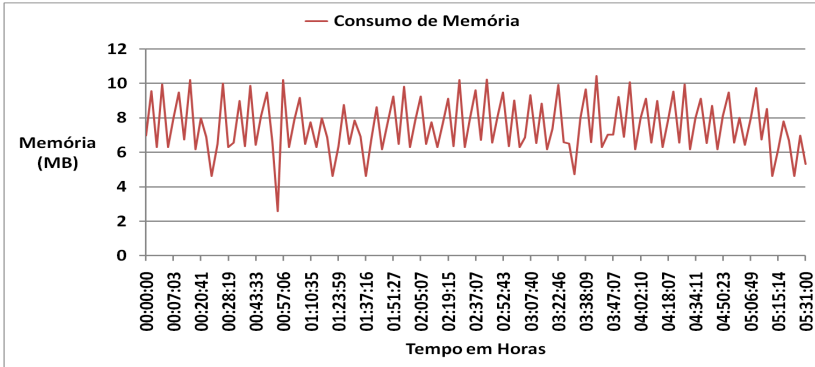


Figura 24 – Consumo de memória do processo de carga de dados tabulares ao longo do tempo

EXPERIMENTO 3

O experimento avalia a execução de *slice* sobre o modelo proposto. Nesse caso, são selecionados os dados dos municípios (membro da dimensão espaço), os transformadores (membro da dimensão equipamento) e o instante de tempo. São executados vários *slices* consecutivos mudando apenas a variável tempo, para um período de 23 meses. O código abaixo apresenta a consulta utilizada no experimento.

```

SELECT c.descricao ,
       c.id_municipio ,
       cd.id Equipamento ,
       cd.id Tempo ,
       c.geom ,
       cd.perc_carregamento ,
       cd.max_perc_carregamento
FROM municipio_geom c,
     espaco sd,
     diagnostico_circuito cd
WHERE c.id_municipio = sd.id_municipio
      AND sd.id_espaco = cd.id_espaco
      AND id Equipamento = ? — Identificador Dimensão
      Equipamento
      AND id Tempo = ?; — Identificador Dimensão Tempo

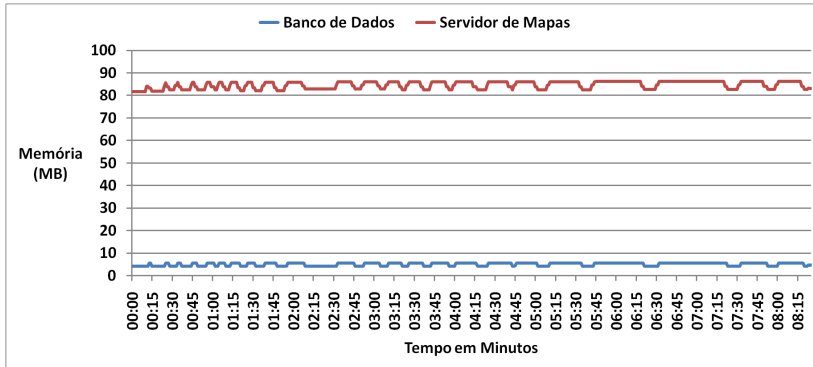
```

Nesse caso, o tempo médio de execução de cada *slice* é de 13,78 segundos, variando entre um máximo de 51 segundos e um mínimo de 2 segundos. Com relação à memória consumida, os valores são apresentados na tabela 1.

Memória (em MB)			
Tipo	Médio	Mínimo	Máximo
Banco de Dados	5,18	4,30	5,69
Servidor de Mapas	79,50	77,34	80,55

Tabela 1 – Quantidade de memória consumida pelo slice

A Figura 25 apresenta o uso de memória da execução da operação de *slice*, para os 23 meses, ao longo do tempo. Ao comparar os consumos de memória dos vários *slices* executados, constata-se que o consumo de memória é semelhante. Todavia, houve variação no tempo de resposta.

Figura 25 – Consumo de memória das operações de *slice* ao longo do tempo

EXPERIMENTO 4

O experimento tem o objetivo de demonstrar o funcionamento de uma análise de um *drill-down*. A partir de um *slice*, é executado o *drill-down* de uma determinada área. Para este experimento, os tempos de execução para cada operação (*slice* e *drill-down*) foram de 2 e 3 segundos, respectivamente. Para a execução do *drill-down* foi executado a consulta abaixo.

```
SELECT oc.id_objeto ,
       dc.perc_carregamento ,
       ocg.geom
FROM diagnostico_circuito dc
```



```

objeto_complexo oc,
objeto_complexo-geom ocg
WHERE dc.id_espaco = oc.id_espaco
AND dc.id_equipamento = oc.id_equipamento
AND dc.id_tempo = oc.id_tempo
AND oc.id_objeto = ocg.id_objeto
AND dc.id_time = ? — Identificador Dimensão Tempo
AND dc.id_equipment = ? — Identificador Dimensão
Equipamento
AND dc.id_espaco = ? — Identificador Dimensão Espaço

```

Os consumos de memória para o banco de dados são de 4,83 MB para a média, 10,51 MB para o máximo e 4,36 MB para o mínimo. Já, para o servidor de mapas, os valores encontrados são: 82,72 MB para a média, 84,52 MB para o máximo e 82,60 MB para o mínimo. A Figura 26 apresenta os valores em forma de gráfico, nesse experimento o consumo de memória do servidor de mapas foi praticamente estável, devido à pré-alocação inicial de memória. Já, no banco de dados, ao executar o *drill-down*, houve uma variação considerável, devido a seleção dos elementos espaciais contidos na tabela fato.

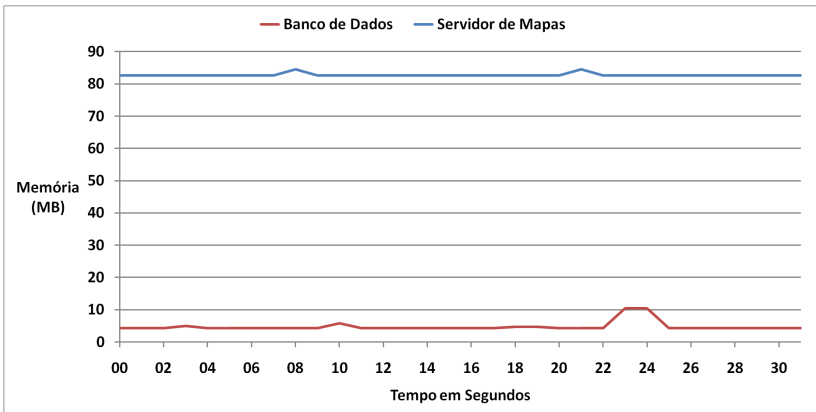


Figura 26 – Consumo de memória ao longo do tempo para execução de *drill-down*

EXPERIMENTO 5

Esse experimento descreve o processo de *Trace*. Após uma análise *top-down* inicial, são encontrados os elementos os quais necessitam de

uma análise individual. Sendo assim, é selecionado um determinado elemento e executada a função *Trace*. O código abaixo apresenta a consulta executada pelo operador *Trace*.

```

SELECT oc.id_objeto ,
        dc.perc_carregamento ,
        ocg.geom
FROM diagnostico_circuito dc
        objeto_complexo oc ,
        objeto_complexo.geom ocg ,
        ( SELECT id_objeto ,
          FROM conexao_objeto_complexo coc
          START WITH id_objeto = ? — Elemento Raiz
          CONNECT BY nocycle prior conexao_final =
                    conexao_inicial
        ) con
WHERE dc.id_espaco = oc.id_espaco
        AND dc.id_equipamento = oc.id_equipamento
        AND dc.id_tempo = oc.id_tempo
        AND oc.id_objeto = ocg.id_objeto
        AND ocg.id_objeto = con.id_objeto
        AND dc.id_time = ? — Identificador Dimensão Tempo
        AND dc.id_espaco = ?; — Identificador Dimensão Espaço

```

No experimento, foi executada a função *Trace* para o mesmo elemento em dois instantes de tempo diferentes, e foram obtidos os tempos de execução de 12 e 5 segundos, respectivamente. Os dados coletados de memória são demonstrados na Tabela 2.

Memória (em MB)			
Tipo	Médio	Mínimo	Máximo
Banco de Dados	9,42	3,19	30,36
Servidor de Mapas	71,54	66,83	77,49

Tabela 2 – Quantidade de memória consumida pelo experimento *Trace*

A Figura 27 ilustra a relação entre a memória consumida e o tempo decorrido. Nesse experimento, a curva de memória do banco de dados apresenta duas variações. Na segunda, a variação foi menor, devido uma variação no número de elementos selecionados.

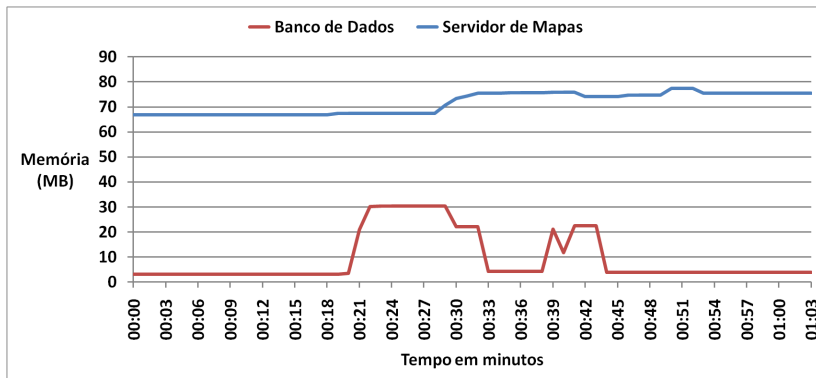


Figura 27 – Consumo de memória ao longo do tempo para executar *Trace*

5.4 DISCUSSÃO

5.4.1 Desempenho computacional

Por meio da análise dos experimentos, foi verificado que, no tempo de resposta entre as funcionalidades de *slice*, *drill-down* e *Trace*, houve uma variação considerável. O processo mais rápido foi o de *drill-down*, com um tempo médio de 2,5 segundos. Já o processo de *Trace* obteve um tempo médio de 8,5 segundos, e o processo mais lento foi o *slice*, com um tempo médio de 13,78 segundos.

Com relação aos experimentos de ETC, os processos de carga relacionados aos elementos espaciais levaram um tempo médio de 23 minutos e 10 segundos. Já os processos de carga de dados tabulares tiveram um tempo médio de 15 minutos, enquanto que o consumo médio de memória entre os dois experimentos foi semelhante, com uma diferença de apenas 292 KB para o processo dos elementos espaciais.

A Figura 28 apresenta os gráficos dos tempos de resposta de todos os experimentos. As comparações foram divididas em duas: processos de ETC (lado esquerdo da figura) e utilização da interface (lado direito da figura).

Para comparar a eficiência dos experimentos relacionados a quantidade de memória consumida, foram analisados dois parâmetros, consumo médio e consumo máximo. Com o objetivo de conseguir comparar os consumos sobre a mesma base, foi utilizada a diferença entre os

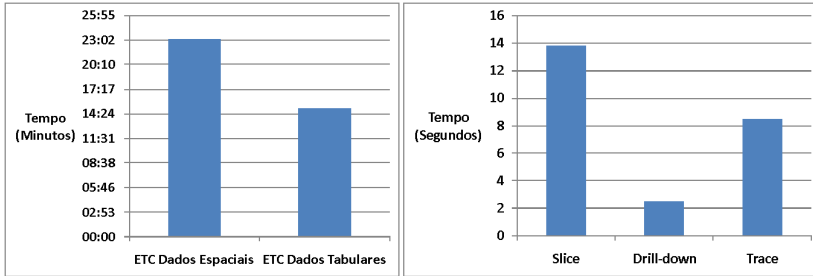


Figura 28 – Tempo de resposta dos experimentos

consumos analisados e o consumo mínimo. Admite-se que o consumo mínimo é o consumo quando os processos estão inativos. A Figura 29 apresenta o gráfico com os consumos de cada função. Considerando o consumo médio, o processo de *drill-down* foi o mais eficiente, seguido por *slice* e por *Trace*.

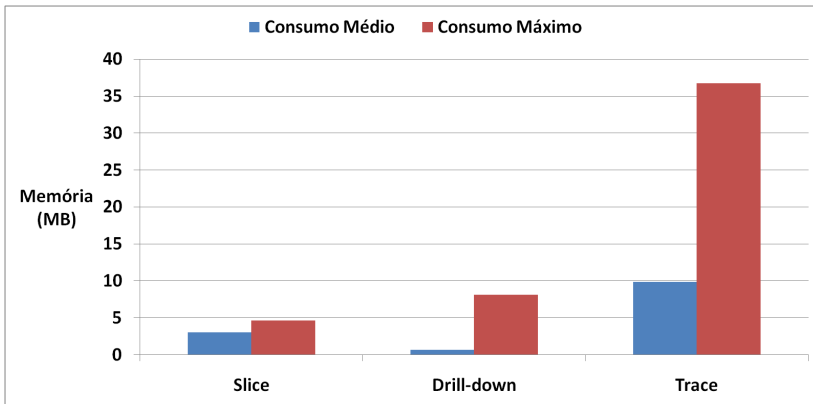


Figura 29 – Comparação do consumo de memória entre as funcionalidades

5.4.2 Desempenho institucional

Nas empresas de energia elétrica, o processo regulatório estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), fortemente baseado na regulação pelo incentivo, vem impondo cada vez

mais eficiência ao setor elétrico. O equilíbrio econômico-financeiro das concessões e a modicidade tarifária são diretrizes fundamentais a serem consideradas pelas empresas distribuidoras de energia elétrica.

Segundo o engenheiro Ricardo Haus Guembarovski⁶, a utilização de *data warehouses* espaço-temporais pelas empresas representa um avanço significativo para sua eficiência. Alguns benefícios podem ser enumerados.

- No planejamento do sistema elétrico, são possíveis análises de tendências de crescimento de consumo de energia e de demandas, que, quando dispostas cronologicamente por município, bairro ou quadrícula, possibilitam aos especialistas diagnosticarem problemas com maior precisão e permitem a construção de conhecimento.
- A gestão do sistema elétrico também será beneficiada com essa nova ferramenta, possibilitando um melhor entendimento do comportamento da rede elétrica com relação às causas de interrupções predominantes, demandas industriais excepcionais, consumos residuais, entre outros. Estas variáveis, agora avaliadas numa perspectiva sazonal, trimestral ou mensal, propiciam novos conhecimentos, e problemas, antes considerados complexos, passam a ter maior clareza e compreensão.
- Do ponto de vista de operação, estudos operacionais de manobras, avaliação de alívio de carga em regime normal ou de contingência, previsão de problemas de carregamento elétrico e nível de tensão são facilitados com o modelo proposto. A avaliação espaço-temporal dos elementos elétricos possibilita a operação do sistema com menor risco, pois o acesso aos registros de ocorrências históricas dos elementos que constituem a rede elétrica possibilita um controle efetivo da operação do sistema. Através da interface proposta, os especialistas poderão identificar épocas do ano e locais mais suscetíveis a esses tipos de eventos e, previamente, mitigar os danos das interrupções provenientes de acidentes.
- Outro fator importante está relacionado à perda técnica efetiva. O ganho em eficiência obtido por meio da gestão do sistema elétrico resulta em receita líquida às concessionárias. No ano de 2009, a Celesc Distribuição S.A teve uma despesa anual referente

⁶Engenheiro do Departamento de Planejamento do Setor Elétrico da Celesc Distribuição S.A. e doutorando do programa de pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da UFSC, que também contribui com este trabalho.

a perdas técnicas de R\$ 148.205.770,72. Através do modelo proposto, é possível analisar os carregamentos elétricos dos equipamentos, possibilitando aos especialistas do domínio a formulação de ações de engenharia e políticas de investimento otimizadas.

6 TRABALHOS RELACIONADOS

Após um extensa pesquisa bibliográfica, não foi possível obter nenhum artigo que abordasse completamente as propostas do CoNeM. Neste capítulo, são descritos artigos que abordam sobre: i) a visualização das redes complexas, mais precisamente de redes de energia elétrica; ii) análise de trajetórias de objetos móveis; e iii) uso de semântica em *data warehouses*.

6.1 VISUALIZAÇÃO DE REDES COMPLEXAS

Overbye e Weber (2000) elencam no seu trabalho várias formas de visualização dos dados de redes de transmissão de energia elétrica. O trabalho foi motivado pela necessidade de análise do fluxo de energia após a abertura do mercado de transmissão e distribuição de energia elétrica nos Estados Unidos em 1992.

A proposta apresenta 5 formas de visualização dos dados das redes de transmissão de energia elétrica. A primeira forma consiste na representação das linhas de transmissão através de uma única linha e representa o fluxo da energia através delas (Figura 30 – lado esquerdo). A segunda forma demonstra as usinas e a área de atuação em um degrade de cores, demonstrando o custo de transmissão de cada área (Figura 30 – lado direito).

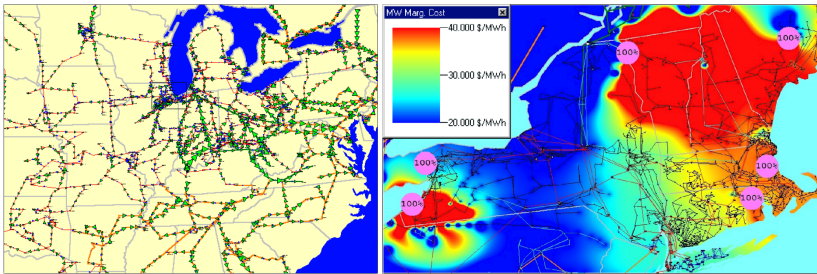


Figura 30 – Visualização das linhas com o fluxo de energia e a área de atuação das usinas

Fonte: Overbye e Weber (2000, p.3,5)

Outras formas de visualização são proporcionadas pela utilização de contornos sobre as linhas de transmissão. São apresentadas as li-

nas, que, conforme as características de tensão, potência, entre outros, são coloridas em escala, conforme demonstrado na Figura 31 – lado esquerdo. Outra possibilidade da utilização dos contornos é a agregação dos dados, ou seja, por meio das conexões das linhas é possível definir a influência das linhas em outras, sendo possível a agregação de valores como carregamento e consumo de energia. A Figura 31 – lado direito - apresenta a possibilidade de transferência de carga agregada entre as linhas.

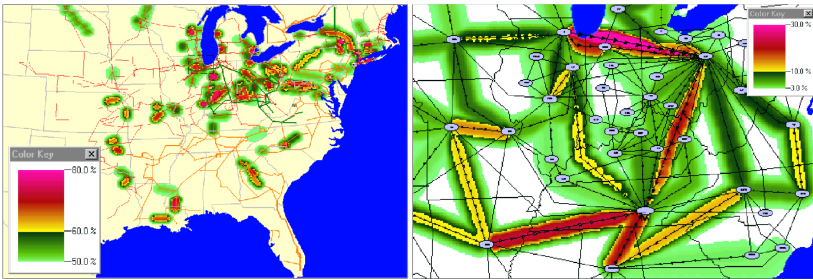


Figura 31 – Visualização dos contornos das linhas

Fonte: Overbye e Weber (2000, p.5,6)

Na última forma de visualização de rede, são utilizadas formas 3D em conjunto com os mapas como meio de facilitar a identificação de alertas por parte do usuário. A Figura 32 demonstra a aplicação de formas 3D em conjunto com outras técnicas.

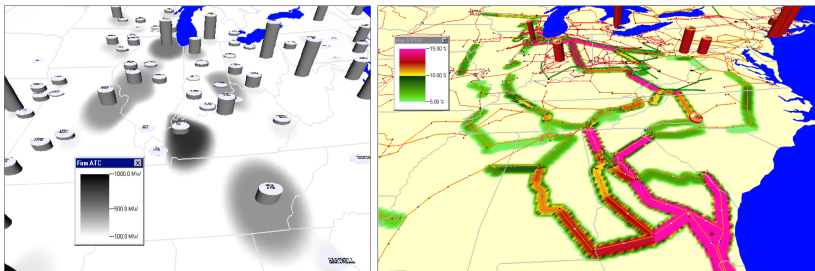


Figura 32 – Visualização das linhas com formas 3D

Fonte: Overbye e Weber (2000, p.8)

Overbye ainda participa de outras propostas (OVERBYE et al., 2002), (OVERBYE; WIEGMANN, 2005), (OVERBYE; RANTANEN; JUDD, 2007) sobre outras formas de visualizar as redes de transmissão de

energia elétrica.

Klump, Wu e Dooley (2003) descrevem um *survey* sobre várias formas de visualização de dados em redes de transmissão de energia elétrica. Segundo os autores, essas formas de visualização auxiliam o usuário na detecção de problemas e na tomada de decisão. O trabalho enfatiza a utilização de dados espaciais e agregações de medidas de acordo com as conexões e a composição de dados espaciais com formas 3D. A Figura 33 apresenta duas formas de visualização, dados agregados e dados espaciais com formas 3D.

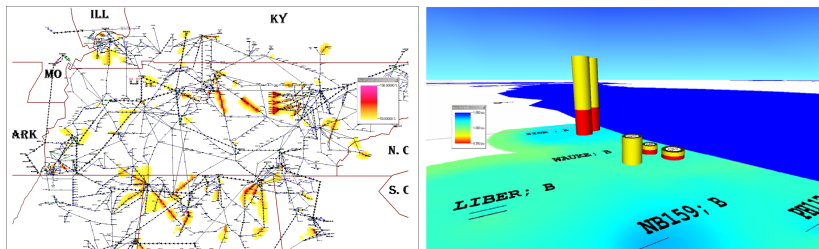


Figura 33 – Visualização de dados agregados e formas 3D

Fonte: Klump, Wu e Dooley (2003, p.6,9)

Wong et al. (2009) definem, em seu trabalho, uma forma de visualizar as redes de transmissão de energia elétrica na qual, por meio de dados espaciais, forma-se um grafo semântico direcionado, sendo que a composição e estrutura do grafo varia conforme a medida que se deseja analisar. Já Quan e Huang (2005) descrevem uma proposta de visualização integrada de dados espaciais e de grafos para a representação de redes. A abordagem visa auxiliar o usuário na análise das informações. Por meio de um mapa o usuário seleciona, no exemplo, uma partição do espaço, e os dados são apresentados em forma de grafo da rede. A Figura 34 apresenta um exemplo dos dois trabalhos acima mencionados. Do lado direito, a proposta de Wong et al. (2009), e do lado esquerdo a de Quan e Huang (2005).

Moreno-Munoz et al. (2009) defendem, em seu trabalho, que a utilização de dados espaciais como forma de representação de elementos em rede, no caso, de transmissão de energia elétrica, são formas que auxiliam os usuários na identificação de problemas e na tomada de decisão. Recomendam que a ergonomia dos sistemas que analisam redes de transmissão de energia elétrica deva levar em consideração a questão do uso de dados espaciais.

O trabalho de Xu (2006) descreve a análise de dispositivos de

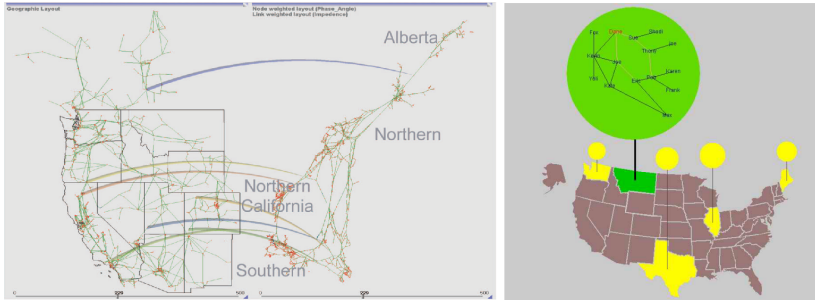


Figura 34 – Visualização da rede em grafos

Fonte: Wong et al. (2009, p.415); Quan e Huang (2005, p.643)

monitoramento de subestações e de redes de transmissão de energia elétrica. Relata a possibilidade da utilização de um *Trace* por meio dos elementos interconectados para verificar a influência entre eles e define uma interface gráfica que apresenta os resultados das análises no mapa. Cheng (2009) descreve uma proposta de *Trace* para verificar a influência de vários fatores (climáticos e atmosféricos, tempo de vida útil, condições de operação etc.) sobre os equipamentos da rede e para analisar quais são os impactos em situações de falhas. Entretanto, as propostas operam apenas sobre os dados dos sistemas transacionais e em tempo real, não sendo possível realizar análises históricas.

Meliopoulos, Cokkinides e Overbye (2004) e Meliopoulos et al. (2005) relatam, nos trabalhos, formas de analisar os dados das subestações das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica. Ressaltam que os dados, muitas vezes, representam agregações de todas as redes pelas quais estas subestações são responsáveis e que uma visualização correta das informações é muito útil na identificação de possíveis erros de leituras e na tomada de decisão.

Outros trabalhos (ABED et al., 2006), (OH; JANG; MOON, 2009), (RUDKEVICH et al., 2007), (VENKATESH; COKKINIDES; MELIOPOULOS, 2009) citam a necessidade de coletar, armazenar e analisar os dados relacionados às redes de transmissão de energia elétrica em sistemas de tempo real. Destacam a necessidade de coletar corretamente os dados e as formas de visualização dos dados para auxiliar o usuário na tomada de decisão.

6.2 DATA WAREHOUSE ESPAÇO-TEMPORAL EM ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS

Braz et al. (2007) e Orlando et al. (2007) descrevem uma proposta de implementação de um *data warehouse* espaço-temporal para análises e mineração de trajetórias de objetos móveis. O presente trabalho define um modelo para o armazenamento dos dados agregados de trajetórias no *data warehouse* com o objetivo de realizar análises OLAP. Este trabalho consiste em analisar as trajetórias em determinadas partições do espaço. Nesse caso, o espaço é dividido em quadrículas.

É definido um modelo *star schema* apresentado na Figura 35. O modelo é inicialmente composto por 3 dimensões (X,Y e T) e uma tabela fato. As dimensões X e Y são dimensões espaciais e a dimensão T é a dimensão temporal. Na tabela fato são armazenadas as medidas agregadas das trajetórias.

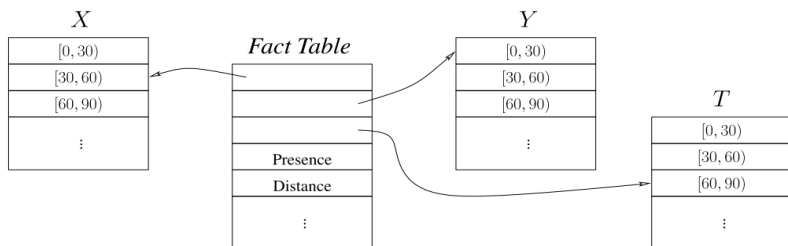


Figura 35 – Modelo *star schema* para armazenar trajetórias

Fonte: Braz et al. (2007, p.4)

O trabalho define, ainda, uma nova função de agregação definida como “Presença”, ou seja, a função pretende determinar quais trajetórias permaneceram em uma partição do espaço, durante um determinado período de tempo.

Já o trabalho proposto por Leonardi et al. (2010) utiliza as definições da abordagem acima com o objetivo de demonstrar a utilização do mesmo como um Data Warehouse de Trajetórias. Para isso, faz uso dos dados de dispositivos móveis para analisar o trânsito da cidade de Milão.

A proposta define um *framework* para a análise de trajetórias em DW, sendo assim, define os seguintes processos: definição do modelo, processo de ETC, processo de reconstrução das trajetórias e análise e visualização dos dados. A Figura 36 apresenta a arquitetura e o modelo

de dados implementado no trabalho.

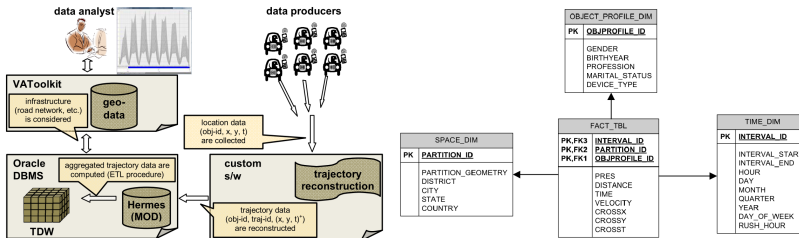


Figura 36 – Arquitetura e modelo *star schema*

Fonte: Leonardi et al. (2010, p.1142)

As principais contribuições relacionadas à proposta são:

- um processo de reconstrução das trajetórias por meio dos dados coletados;
- a implementação de um processo eficiente de ETC para trajetórias;
- o desenvolvimento de uma interface gráfica que permita análises interativas e multidimensionais;
- por fim, o funcionamento harmônico de todo o *framework* validado através de um estudo de caso.

O trabalho proposto por Marketos e Theodoridis (2009) estende a proposta de Orlando et al. (2007) com o objetivo de possibilitar o uso de medidas mais complexas e definir um fluxo completo dos processos de um *data warehouse* de trajetórias.

Campora, Macedo e Spinsanti (2011), definem em seu trabalho, um *framework* para o projeto e implementação de *data warehouse* de trajetórias que possibilita a análise de dados de trânsito por meio de operações OLAP, SOLAP e STOLAP. Entre as principais contribuições, estão: a utilização de semântica na análise das trajetórias, do próprio *framework* para suportar toda a implementação, bem como das análises. O *framework* tem a característica de permitir, por meio de consultas simples, a análise de trajetórias via plataforma genérica e de um banco de dados relacional.

6.3 USO DE SEMÂNTICA EM DATA WAREHOUSES

Xie et al. (2007) descrevem uma abordagem para definir semanticamente os elementos de uma arquitetura de um *data warehouse*. Essa abordagem tem o objetivo de minimizar esforços ao realizar uma alteração em um DW. Por meio da linguagem OWL, é realizado o mapeamento entre os elementos do DW e os conceitos utilizados pelos usuários do domínio, com o objetivo de permitir aos usuários especificar as necessidades de análises e possibilitar a geração automática dos *datamarts*.

A abordagem proposta por Napoli et al. (2006) define um *framework* semântico sobre os elementos dos DWs e das fontes de dados, com o objetivo de prover um ambiente simples e amigável para os usuários do domínio realizarem suas análises.

Os trabalhos de Sell et al. (2005), (SELL et al., 2008) descrevem uma arquitetura para análise de informação por meio de conceitos semânticos, sendo possível realizar pesquisas às fontes de dados com o objetivo de adquirir informação.

Spahn et al. (2008) definem, em sua abordagem, um *framework* para análise de informações através de ontologias, com o objetivo de realizar as análises dos usuários, manipulando ontologias por meio de conceitos do domínio. Para realizar uma consulta, com o auxílio de uma interface gráfica, o usuário seleciona os conceitos e as relações que deseja, e o *framework* transforma a solicitação em uma consulta por meio de um motor de regras.

6.4 COMPARAÇÕES COM O CONEM

Os trabalhos sobre a visualização de redes complexas definem formas de representar a rede e suas medidas, porém em nenhum deles é possível a realização de análises históricas, haja vista que, em todos os trabalhos listados, as fontes de dados são os sistemas transacionais, não mencionando sobre a possibilidade de uso de um DW. Todavia, no CoNeM, as análises históricas são possíveis devido ao suporte fornecido pelo DWET.

Ainda sobre a visualização de redes complexas, os trabalhos não contemplam uma interação semântica com o mapa, ou seja, a medida que os dados são manipulados não é apresentado nenhuma informação de contexto. Entretanto, no CoNeM à medida que funções de *zoom in* ou *zoom out* são executadas, o contexto é identificado (partições do

espaço e instantes de tempo) e operações de *drill-down* e *roll-up* alteram os dados apresentados, permitindo, assim, uma análise *top-down* por parte do usuário (vide Figura 13).

Nos trabalhos relacionados à manipulação de dados em redes, apenas duas propostas apresentaram uma funcionalidade semelhante à função *Trace*, no entanto, elas operam somente sobre os dados transacionais, não sendo possíveis análises históricas.

As propostas sobre análise de dados espaço-temporais e de trajetórias trabalham sobre partições do espaço. Ao definir qual partição do espaço se deseja analisar, é possível averiguar quais e quantas trajetórias foram interceptadas por uma determinada partição, e é apresentada, ainda, uma medida definida como presença, que consiste no tempo em que determinada trajetória permaneceu na partição. Mencionam, também, a possibilidade de análise do tráfego viário pela abstração das rodovias em partições do espaço. No CoNeM, a partir dos elementos contidos na tabela fato, é possível analisar cada trecho de uma rodovia individualmente e como um trecho influencia no outro, por meio da modelagem de rede.

Outro diferencial do CoNeM está relacionado à facilidade de manipulação dos dados, já que, a partir de um *slider*¹ (vide Figura 14), é possível selecionar o instante de tempo que se deseja analisar. Sendo assim, à medida que o usuário altera o slider, a interface gráfica apresenta as informações correspondentes. O trabalho permite também analisar os dados por meio de períodos de tempo, por exemplo, verificar a situação da rede durante todos os verões, analisar a configuração da rede no dia 31 de dezembro nos últimos dez anos, entre outros.

Na tabela 3, é possível visualizar a comparação entre as diversas propostas apresentadas e o CoNeM.

¹O slider é definido por um ponteiro onde é possível a seleção de uma variável.

Autor	Análise de dados espaço-temporais	Análises de dados de redes e sistemas complexos	Visualização dos dados da rede	Zoom inter-grado a SO-LAP	Funcionalidade de <i>Trace</i>	<i>Slider</i> para análises de evolução temporal	Ontologias para apoiar construção e uso de DWs
Overbye		X	X				
Klump		X	X				
Wong		X	X				
Quan		X	X	X			
Moreno			X				
Xu		X	X		X		
Cheng		X	X		X		
Meliopoulos		X					
Abed		X					
Braz	X	X					
Orlando	X	X					
Marketos	X	X					
Campora	X	X					
Leonardi	X	X		X			
Xie							X
Napoli							X
Sell							X
Spahn							X
CoNeM	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 3 – Comparação entre os trabalhos relacionados

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta a proposta da extensão de um modelo dimensional para a manipulação e análise de informação sobre redes espaciais complexas em Data Warehouses Espaço-Temporais. Este modelo suporta a análise espaço-temporal do estado de porções da rede utilizando SOLAP. Ele foi implementado em um protótipo que permite a visualização dos resultados em mapas. A utilização de ontologias auxilia na especificação de dimensões de análise de informação de cubos para atender necessidades específicas e serve de base para enriquecer semanticamente as interações com o mapa. Vieira et al. (2010) apresenta a proposta inicial deste trabalho.

7.1 CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições deste trabalho são:

1. uma extensão de modelo dimensional espaço-temporal para representar informações de elementos espaciais de redes complexas e analisar tais informações com SOLAP;
2. a definição do operador *Trace* integrada a SOLAP para permitir a visualização espacial de trechos da rede e a análise da dinâmica dos estados dos elementos espaciais contidos em tais trechos, usando o *slider* de tempo;
3. a avaliação da proposta em um estudo de caso no setor elétrico;
4. a definição das ontologias de partições do espaço, períodos de tempo e categorias de equipamentos de distribuição de energia elétrica, para apoiar a especificação de dimensões de análise de dados.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, destacam-se:

- a implementação do Gerador de Datamarts e do Repositório de Especificações de Datamarts com o intuito da criação de *datamart* pelo usuário;

- definição do processo de extração das visões das ontologias;
- o desenvolvimento de interfaces gráficas integradas, que possibilite ao usuário a manipulação das informações de maneira intuitiva;
- a validação do CoNeM em outros domínios de aplicação como em redes de trânsito ou redes sociais;
- verificar a possibilidade de melhorar o desempenho dos processos de ETC, por meio de ferramentas de ETC;
- a otimização do operador SOLAP *Trace* desenvolvido;
- analisar formas eficientes para o armazenamento dos históricos das conexões e elementos espaciais.

REFERÊNCIAS

- ABED, E.; NAMACHCHIVAYA, N.; OVERBYE, T.; PAI, M.; SAUER, P.; SUSSMAN, A. Data-driven power system operations. In: ALEXANDROV, V.; ALBADA, G. van; SLOOT, P.; DONGARRA, J. (Ed.). *Computational Science – ICCS 2006*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2006, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3993). p. 448–455.
- ALBERT, R.; ALBERT, I.; NAKARADO, G. L. Structural vulnerability of the north american power grid. *Phys. Rev. E*, American Physical Society, v. 69, n. 2, p. 025103, Feb 2004.
- ALLEN, B.; FALOUTSOS, P. Complex networks of simple neurons for bipedal locomotion. In: *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. St. Louis, MO: IEEE Computer Society, 2009. p. 4457–4462.
- BÉRDARD, Y.; PROULX, M.-J.; RIVEST, S.; BADARD, T. Merging hypermedia GIS with spatial on-line analytical processing: Towards hypermedia SOLAP. *LNGC*, v. 1, p. 167–187, 2006.
- BERTINO, E.; CAMOSSÌ, E.; BERTOLOTTO, M. Multi-granular spatio-temporal object models: Concepts and research directions. In: NORRIE, M.; GROSSNIKLAUS, M. (Ed.). *Object Databases*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2010, (Lecture Notes in Computer Science, v. 5936). p. 132–148.
- BIMONTE, S.; WEHRLE, P.; TCHOUNIKINE, A.; MIQUEL, M. Gewolap: A web based spatial olap proposal. In: MEERSMAN, R.; TARI, Z.; HERRERO, P. (Ed.). *On the Move to Meaningful Internet Systems 2006: OTM 2006 Workshops*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2006, (Lecture Notes in Computer Science, v. 4278). p. 1596–1605.
- BORST, W. *Construction of Engineering Ontologies*. Tese (Doutorado) — Institute for Telematica and Information Technology - University of Twente, Enschede, The Netherlands, 1997.
- BRAZ, F.; ORLANDO, S.; ORSINI, R.; RAFFAELA, A.; RONCATO, A.; SILVESTRI, C. Approximate aggregations in trajectory data warehouses. In: *IEEE 23rd Intl. Conf. on Data Engineering (ICDE)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. p. 536–545.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.; MEDEIROS, C. *Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas*. 1. ed. Campinas, SP: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197 p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.; MEDEIROS, J.; DAVIS, C. Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. *Introdução à ciência da geoinformação*. URL: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd> (access May 2010), v. 1, p. 16, 2001.

CAMPORA, S.; MACEDO, J. A. F. de; SPINSANTI, L. St-toolkit: A framework for trajectory data warehousing. In: *The 14th AGILE International Conference on Geographic Information Science*. Utrecht, The Netherlands: Springer Berlin / Heidelberg, 2011. p. 12.

CHAMONI, P.; STOCK, S. Temporal structures in data warehousing. *Data Warehousing and Knowledge Discovery*, Springer, v. 1, p. 802–802, 1999.

CHEN, P.-Y.; CHEN, K.-C. Information epidemics in complex networks with opportunistic links and dynamic topology. In: *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010. p. 1–6.

CHENG, D. *Integrated System Model Reliability Evaluation and Prediction for Electrical Power Systems: Graph Trace Analysis Based Solutions*. Tese (Doutorado) — Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, EUA, setembro 2009.

DEGGAU, R. *Uma Interface Baseada Em Conhecimento Para Interação Com Data Warehouses Espaciais*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2010.

ESCRIBANO, A.; GÓMEZ, L. I.; KUIJPERS, B.; VAISMAN, A. A. Piet: a GIS-OLAP implementation. In: *DOLAP*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 73–80.

FERRI, F.; POURABBAS, E.; RAFANELLI, M.; RICCI, F. L. Extending geographic databases for a query language to support queries involving statistical data. In: *Proc. 12th Intl. Conf. on Scientific and Statistical Database Management*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2000. p. 220–230.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

GOLFARELLI, M.; RIZZI, S. A Survey on Temporal Data Warehousing. *Database Technologies: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, Information Science Reference, v. 5, p. 1–17, 2009.

GRUBER, T. R. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: GUARINO, N.; POLI, R. (Ed.). *Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Deventer, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.

GUARINO, N. Semantic matching: Formal ontological distinctions for information organization, extraction, and integration. In: *International Summer School on Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology*. London, UK: Springer-Verlag, 1997. p. 139–170. ISBN 3-540-63438-X.

GUARINO, N. Understanding, building, and using ontologies. In: *International Journal of Human Computer Studies*. Duluth: Academic Press, Inc., 1997. (2-3, v. 46), p. 293–310.

HAN, J.; KAMBER, M. *Data Mining: Concepts and Techniques*. 2nd. ed. 500 Sansome Street, Suite 400, San Francisco, CA 94111: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 772 p.

HONG, W.; ZHAO-WEN, W.; JIAN-BO, L.; WEI, Q.-H. Criminal behavior analysis based on complex networks theory. In: *IEEE International Symposium on IT in Medicine Education (ITIME)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009. v. 1, p. 951–955.

INMON, B. Data mart does not equal data warehouse. *DM Review*, v. 17, p. 74, 1998.

INMON, B. *Building the Data Warehouse*. 4th. ed. New York, NY: Wiley, 2005.

KIMBALL, R.; ROSS, M. *The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling*. 2nd. ed. New York, NY: Wiley, 2002.

KLUMP, R.; WU, W.; DOOLEY, G. Displaying aggregate data, interrelated quantities, and data trends in electric power systems. In: *Proc. 36th Hawaii Intl. Conf. on System Sciences (HICSS)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2003.

KOUBA, Z.; MATOUSEK, K.; MIKSOVSKÝ, P. On data warehouse and gis integration. In: IBRAHIM, M.; KÜNG, J.; REVELL, N. (Ed.). *Database and Expert Systems Applications*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2000, (Lecture Notes in Computer Science, v. 1873). p. 604–613.

LATORA, V.; MARCHIORI, M. The architecture of complex systems. *Nonextensive entropy: interdisciplinary applications*, Oxford University Press, USA, v. 1, p. 377, 2004.

LEONARDI, L.; MARKETOS, G.; FRENTZOS, E.; GIATRAKOS, N.; ORLANDO, S.; PELEKIS, N.; RAFFAETA, A.; RONCATO, A.; SILVESTRI, C.; THEODORIDIS, Y. T-warehouse: Visual OLAP analysis on trajectory data. In: *ICDE Conference*. Long Beach, CA: IEEE Computer Society, 2010. p. 1141–1144.

LI, G.; XUAN, Q.; SONG, Z.; JIN, X. Complex supply networks evolving model: Complex networks perspective. In: *International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010. p. 511–516.

LI, W.; SHIYIN, P.; YONGZHONG, Z.; ZHENGXI, L. Urban traffic complex network hub node analysis and signal control optimization strategy research. In: *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010. p. 4172–4175.

LIMA, M. *Traffic conditions on Google Maps*. Londres, jul 2011. [www.visualcomplexity.com/vc/project_details.cfm?id=697&index=697&domain=.](http://www.visualcomplexity.com/vc/project_details.cfm?id=697&index=697&domain=)

MALCZEWSKI, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York, NY: Wiley, 1999.

MALINOWSKI, E.; ZIMANYI, E. Representing spatiality in a conceptual multidimensional model. In: *Proceedings of the 12th annual ACM international workshop on Geographic information systems*. New York, NY, USA: ACM, 2004. p. 12–22.

MALINOWSKI, E.; ZIMANYI, E. Logical representation of a conceptual model for spatial data warehouses. *GeoInformatica*, v. 11, n. 4, p. 431–457, 2007.

MALINOWSKI, E.; ZIMANYI, E. *Advanced Data Warehouse Design: From Conventional to Spatial and Temporal Applications*. Berlin: Springer, 2008.

MARKETOS, G.; THEODORIDIS, Y. Mobility data warehousing and mining. *VLDB - PhD Workshop*, v. 1, p. 6, 2009.

MELIOPOULOS, A. P. S.; COKKINIDES, G. J.; INGRAM, M.; BELL, S.; MATHEWS, S. Visualization and animation of state estimation performance. *Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 2, p. 55b, 2005.

MELIOPOULOS, A. P. S.; COKKINIDES, G. J.; OVERBYE, T. J. Component monitoring and dynamic loading visualization from real time power flow model data. *Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 2, p. 20058b, 2004.

MENDELZON, A. O.; VAISMAN, A. A. Temporal queries in olap. In: *Proceedings of the 26th International Conference on Very Large Data Bases*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2000. (VLDB '00), p. 242–253.

MORENO, F.; ARANGO, F.; FILETO, R. A multigranular temporal multidimensional model. In: *MiproBIS Conf. on Business Intelligence Systems*. Opatija, Croatia: IEEE Computer Society, 2009.

MORENO-MUNOZ, A.; CASTRO, A. Gil-de; FLORES, J.; ROSA, J. de la. Hypermedia user interface integration in distribution management systems. In: *4th IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009. p. 3482–3487.

NAPOLI, M.; SELL, D.; LIDUÁRIO, L.; BORGES, R.; TODESCO, J.; PACHECO, R. dos S. Um framework para concepção de ferramentas de apoio à decisão baseadas em ontologias. *Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*, v. 21, p. 280–294, 2006.

NEBOT, V.; BERLANGA, R.; PÉREZ, J.; ARAMBURU, M.; PEDERSEN, T. Multidimensional integrated ontologies: a framework for designing semantic data warehouses. *Journal on Data Semantics XIII*, Springer, v. 5530, p. 1–36, 2009.

- NIINIMAKI, M.; NIEMI, T. An etl process for olap using rdf/owl ontologies. *Journal on Data Semantics XIII*, Springer, v. 5530, p. 97–119, 2009.
- NOY, N.; MUSEN, M. Specifying ontology views by traversal. In: MCILRAITH, S.; PLEXOUSAKIS, D.; HARMELEN, F. van (Ed.). *The Semantic Web – ISWC*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2004, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3298). p. 713–725.
- OH, S.; JANG, G.; MOON, S.-I. Commercial off-the-shelf-based development of a power system data visualisation service platform. *Generation, Transmission & Distribution, IET*, v. 3, n. 3, p. 307–314, março 2009.
- ORLANDO, S.; ORSINI, R.; RAFFAETÀ, A.; RONCATO, A.; SILVESTRI, C. Trajectory data warehouses: Design and implementation issues. *Journal of Computing Science and Engineering*, Citeseer, v. 1, n. 2, p. 240–261, 2007.
- OVERBYE, T.; RANTANEN, E.; JUDD, S. Electric power control center visualization using geographic data views. In: *Bulk Power System Dynamics and Control, iREP Symposium*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. p. 1–8.
- OVERBYE, T.; WIEGMANN, D. Reducing the risk of major blackouts through improved power system visualization. In: PSCC. *Power Systems Computational Conference (PSCC)*. Liege, Belgium, 2005.
- OVERBYE, T. J.; WEBER, J. D. New methods for the visualization of electric power system information. In: *Proc. IEEE Symp. Information Visualization (InfoVis)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2000. p. 131–16.
- OVERBYE, T. J.; WIEGMANN, D. A.; RICH, A. M.; SUN, Y. Human factors aspects of power system voltage contour visualizations. v. 22, n. 11, p. 76–82, 2002.
- PAPADIAS, D.; TAO, Y.; KALNIS, P.; ZHANG, J. Indexing spatio-temporal data warehouses. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering (ICDE)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002. p. 166.
- QUAN, W.; HUANG, M. Dynamic visualization of spatially referenced information. In: BEBIS, G.; BOYLE, R.; KORACIN, D.; PARVIN,

B. (Ed.). *Advances in Visual Computing*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2005, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3804). p. 642–646.

RESEARCH, S. C. for B. I. *Protégé*. 2011.
<<http://protege.stanford.edu/>>.

RIGAUX, P.; SCHOLL, M.; VOISARD, A. *Introduction to spatial databases: with application to GIS*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2002.

RIVEST, S.; BEDARD, Y.; PROULX, M.; NADEAU, M.; HUBERT, F.; PASTOR, J. SOLAP technology: Merging business intelligence with geospatial technology for interactive spatio-temporal exploration and analysis of data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, v. 60, n. 1, p. 17–33, December 2005.

RUDKEVICH, A.; EGILMEZ, K.; LIU, M.; MURTI, P.; VISUDHIPHAN, P.; TABORS, R.; OVERBYE, T. Identification and congestion analysis of transmission corridors of the eastern interconnection. In: IEEE. *40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. p. 124–124.

RUIZ, C. V.; TIMES, V. C. A taxonomy of SOLAP operators. In: *Brazilian Symposium on Databases (SBB D)*. Campinas, São Paulo: SBC, 2009. p. 151–165.

RUIZ, J. *Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos*. São Paulo, SP: Atlas, 1996.

SAMPAIO, M. C.; SOUSA, A. G. de; BAPTISTA, C. d. S. Towards a logical multidimensional model for spatial data warehousing and OLAP. In: *Proceedings of the 9th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP (DOLAP)*. New York, NY, USA: ACM, 2006. p. 83–90.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. 4. ed. São Paulo, SP: Edusp, 2006.

SANTOS, M. *Espaço e Método*. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

SAVARY, L.; WAN, T.; ZEITOUNI, K. Spatio-temporal data warehouse design for human activity pattern analysis. In: *15th Conf. on Database and Expert Systems Applications (DEXA)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004. p. 814–818.

SBOUI, T.; BÉDARD, Y.; BRODEUR, J.; BADARD, T. A conceptual framework to support semantic interoperability of geospatial datacubes. In: HAINAUT, J.-L.; RUNDENSTEINER, E.; KIRCHBERG, M.; BERTOLOTTI, M.; BROCHHAUSEN, M.; CHEN, Y.-P.; CHERFI, S.; DOERR, M.; HAN, H.; HARTMANN, S.; PARSONS, J.; POELS, G.; ROLLAND, C.; TRUJILLO, J.; YU, E.; ZIMÁNYIE, E. (Ed.). *Advances in Conceptual Modeling – Foundations and Applications*. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2007, (Lecture Notes in Computer Science, v. 4802). p. 378–387.

SELL, D.; CABRAL, L.; MOTTA, E.; DOMINGUE, J.; HAKIMPOUR, F.; PACHECO, R. A semantic web based architecture for analytical tools. In: IEEE. *Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology (CEC)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 347–354.

SELL, D.; SILVA, D. C. da; BEPPLER, F. D.; NAPOLI, M.; GHISI, F. B.; PACHECO, R. C. S.; TODESCO, J. L. Sbi: a semantic framework to support business intelligence. In: *Proceedings of the first international workshop on Ontology-supported business intelligence*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (OBI '08), p. 11:1–11:11.

SHAH, N.; TSAI, C.; MARINOV, M.; COOPER, J.; VITLIEMOV, P.; CHAO, K. Ontological On-line Analytical Processing for Integrating Energy Sensor Data. *IETE Technical Review*, Medknow Publications, v. 26, n. 5, p. 375, 2010.

SHI, D.; LEE, Y.; DUAN, X.; WU, Q. Power system data warehouses. *Computer Applications in Power, IEEE*, v. 14, n. 3, p. 49–55, jul. 2001.

SILVA, J. *GeoMDQL: Uma Linguagem de Consulta Geográfica e Multidimensional*. Tese (Doutorado) — Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

SKOUTAS, D.; SIMITSIS, A. Designing etl processes using semantic web technologies. In: *Proceedings of the 9th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP*. New York, NY, USA: ACM, 2006. (DOLAP '06), p. 67–74.

SKOUTAS, D.; SIMITSIS, A.; SELLIS, T. Ontology-driven conceptual design of ETL processes using graph transformations. *Journal on Data Semantics XIII*, Springer, v. 5530, p. 120–146, 2009.

SONG, Y.; JIANG, G.-P.; GU, Y. Modeling malware propagation in complex networks based on cellular automata. In: *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2008. p. 259–263.

SPAHN, M.; KLEB, J.; GRIMM, S.; SCHEIDL, S. Supporting business intelligence by providing ontology-based end-user information self-service. In: *Proceedings of the first international workshop on Ontology-supported business intelligence*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (OBI '08), p. 10:1–10:12.

STROGATZ, S. H. Exploring complex networks. *Nature*, v. 410, p. 268–276, 2001.

SUN, K. Complex networks theory: A new method of research in power grid. In: *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 1–6.

SVENSON, P. Complex networks and social network analysis in information fusion. In: *9th International Conference on Information Fusion*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2006. p. 1–7.

UCEDA-SOSA, R.; CHEN, C.; CLAYPOOL, K. Clove: a framework to design ontology views. *Conceptual Modeling–ER*, Springer, v. 3288, p. 844–849, 2004.

VENÂNCIO, L. R.; FILETO, R.; MEDEIROS, C. B. Aplicando ontologias de objetos geográficos para facilitar navegação em GIS. In: *GeoInfo*. São José dos Campos, SP: INPE, 2003.

VENKATESH, A.; COKKINIDES, G.; MELIOPOULOS, A. P. S. 3d-visualization of power system data using triangulation and subdivision techniques. In: *Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009. p. 1–8.

VIEIRA, S.; FILETO, R.; FURTADO, A.; GUEMBAROVSKI, R. Towards intelligent analysis of complex networks in spatial data warehouses. In: *XI Brazilian Symposium on Geoinformatics*. São José dos Campos, SP: MCT/INPE, 2010.

W3C. *OWL Web Ontology Language*. 2011.
<<http://www.w3.org/standards/techs/owl>>.

WEI, Z.; LIU, J. Research on the electric power grid vulnerability under the directed-weighted topological model based on complex network theory. In: *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010. p. 3927–3930.

WONG, P. C.; SCHNEIDER, K.; MACKEY, P.; FOOTE, H.; JR., G. C.; GUTTROMSON, R.; THOMAS, J. A novel visualization technique for electric power grid analytics. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, v. 15, p. 410–423, 2009.

WU, P.; CHEN, Y.; MENG, Q.; LIU, Z. Small-time scale network traffic prediction using complex network models. In: *Fifth International Conference on Natural Computation (ICNC)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009. v. 3, p. 303–307.

XIA, Y.; TSE, C.; LAU, F.; TAM, W. M.; SHAN, X. Traffic congestion analysis in complex networks. In: *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2006. p. 4 pp.

XIE, G.; YANG, Y.; LIU, S.; QIU, Z.; PAN, Y.; ZHOU, X. Eiauw: towards a business-friendly data warehouse using semantic web technologies. In: *Proceedings of the 6th international The semantic web and 2nd Asian conference on Asian semantic web conference*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. (ISWC'07/ASWC'07), p. 857–870.

XU, B. *OPTIMAL MONITORING AND VISUALIZATION OF STEADY STATE POWER SYSTEM OPERATION*. Tese (Doutorado) — Office of Graduate Studies of Texas A&M University, Texas, EUA, agosto 2006.

YU, X.; DWIVEDI, A.; SOKOLOWSKI, P. On complex network approach for fault detection in power grids. In: *IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009. p. 13–16.

YURCIK, W.; SU, R. *A Survey and Comparison of Human Monitoring of Complex Networks*. Champaign, IL: Citeseer, 2005. Citeseer.

ZHANG, Z.; WANG, S. A framework model study for ontology-driven etl processes. In: *4th International Conference on Wireless*

Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM). Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2008. p. 1 –4.

ZHAO, H.; ZHANG, C.; REN, H. Power transmission network vulnerable region identifying based on complex network theory. In: *Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2008. p. 1082 –1085.

APÊNDICE A - Descrição das Ontologias

A.1 DETALHAMENTO DA ONTOLOGIA ASSOCIAÇÃO

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrições
Associação	Classe Concreta	elementoFilho THING elementoPai THING	subclasse de THING	0:* 1:0
AssociaçãoTemporal	Classe Concreta	dataFinal Dia dataInicial Dia	subclasse de Associação	1:1 1:1

Tabela 4 – Ontologia de Associações

A.2 DETALHAMENTO DA ONTOLOGIA GEOMETRIA

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrições
Geometria	Classe Abstrata		subclasse de THING	
Curva	Classe Abstrata		subclasse de Geometria	
Linha	Classe Concreta		subclasse de Curva	
Ponto	Classe Concreta		subclasse de Geometria	
Superfície	Classe Abstrata		subclasse de Geometria	
Polígono	Classe Concreta		subclasse de Superfície	

Tabela 5 – Ontologia de Geometrias

A.3 DETALHAMENTO DA ONTOLOGIA DE PARTIÇÕES DO ESPAÇO

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrição
ElementoEspacial	Classe Abstrata	elementoAssociação Geometria	subclasse de THING	0:* 1:*
PartiçãoEspaço	Classe Abstrata		subclasse de ElementoEspacial	
Estado	Classe Concreta	municípiosDoEstado Regional	subclasse de PartiçãoEspaço	0:* 0:*
Regional	Classe Concreta	estadoDaRegional Estado municípiosDaRegional Município	subclasse de PartiçãoEspaço	0:1 0:*
Município	Classe Concreta	estadoDoMunicípio Estado regionalDoMunicípio Regional áreasUrbanasDoMunicípio Área Urbana	subclasse de PartiçãoEspaço	0:1 0:1 0:*
ÁreaUrbana	Classe Concreta	municípioDaÁreaUrbana Município	subclasse de PartiçãoEspaço	1:1

Tabela 6 – Ontologia de Partições do Espaço

A.4 DETALHAMENTO DA ONTOLOGIA DE ELEMENTOS ESPA- CIAIS

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações
ElementoEspacial	Classe Abstrata	elemAssoc Associação geom Geometria	subclasse de THING
	ElementoRedeEspacial		subclasse de ElementoEspacial
ElementoRedeElétricaEspacial	Classe Abstrata		subclasse de ElementoRedeEspacial
ElementoRedeBaixaTensão	Classe Abstrata		subclasse de ElementoRedeElétricaEspacial
SegmentoBT	Classe Concreta		subclasse de ElementoRedeBaixaTensão
Transformador	Classe Concreta	potNominal Float	subclasse de ElementoRedeBaixaTensão
SegmentoMT	Classe Concreta		subclasse de ElementoRedeMédiaTensão
PontoInicioAlimentador	Classe Concreta		subclasse de ElementoRedeMédiaTensão
Chave	Classe Concreta		subclasse de ElementoRedeMédiaTensão
Fusível	Classe Concreta		subclasse de Chave

Tabela 7 – Ontologia de Elementos Espaciais

A.5 DETALHAMENTO DA ONTOLOGIA DE PERÍODOS DE TEMPO

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrição
PeríodosDeTempo	Classe Abstrata		subclasse de THING	
PeríodoTempoAbsoluto	Classe Abstrata		subclasse de PeríodosDeTempo	
Ano	Classe Concreta	valorAno Integer		1:1
		semannaAno Semanna		0:5:4
		semestreAno Semestres trimestreAno Trimestres		0:2
Dia	Classe Concreta	mesesAno Mês		0:4
		valorDia Integer	subclasse de PeríodoTempoAbsoluto	0:1:2
		horasDoDia Hora éFeriado Feriados mêsDoDia Mês		1:1
Hora	Classe Concreta	pSemanna PeríodosSemanna semannaDia Semanna		1:1
		valorHora Integer	subclasse de PeríodoTempoAbsoluto	0:1
		diaDaHora Dia		1:1
Mês	Classe Concreta	valorMes Integer		1:1
		diasDoMes Dia		1:1
		anoDoMes Ano		1:1
Semana	Classe Concreta	valorSemana Integer		1:1
		diasSemana Dia		0:7
		anoSemana Ano		1:1
PeríodoTempoCíclico	Classe Abstrata		subclasse de PeríodoTempoAbsoluto	
			subclasse de PeríodosDeTempo	

Tabela 8 – Ontologia de Períodos de Tempo

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrições
EstaçõesAno	Classe Abstrata	HemisférioLocal String diaInicio Dia diaFim Dia		0:1 1:1 1:1
	Inverno	Classe Concreta	subclasse de PeríodoTempoCíclico	
	Verão	Classe Concreta	subclasse de EstaçõesAno	
	Primavera	Classe Concreta	subclasse de EstaçõesAno	
	Outono	Classe Concreta	subclasse de EstaçõesAno	
PeríodosAno	Classe Abstrata		subclasse de PeríodoTempoCíclico	
	Classe Abstrata	anoDoSemestre Ano		1:*
Semestres	Classe Abstrata		subclasse de PeríodosAno	
	Classe Concreta		subclasse de Semestres	
PrimeiroSemestre	Classe Concreta		subclasse de Semestres	
SegundoSemestre	Classe Concreta		subclasse de Semestres	
Trimestres	Classe Abstrata	anoDoTrimestre Ano		1:*
	Classe Concreta		subclasse de PeríodosAno	
	Classe Concreta		subclasse de Trimestres	
	Classe Concreta		subclasse de Trimestres	
QuartoTrimestre	Classe Concreta		subclasse de Trimestres	
	Classe Abstrata	diaDoFeriado Dia diaSemFeriado PeríodosSemana		1:*
	Classe Abstrata		subclasse de PeríodosAno	0:1
	Classe Concreta		subclasse de Feriados	
Carnaval	Classe Concreta		subclasse de Feriados	
	Classe Concreta		subclasse de Feriados	
Páscoa	Classe Concreta		subclasse de Feriados	
	Classe Concreta		subclasse de Feriados	117

Tabela 9 – Ontologia de Períodos de Tempo

Conceito	Descrição	Propriedades	Relações	Restrições
PeríodosDia	Classe Abstrata		subclasse de PeríodoTempoCíclico	
Manhã	Classe Concreta		subclasse de PeríodosDia	
Tarde	Classe Concreta		subclasse de PeríodosDia	
Anoitecer	Classe Concreta		subclasse de PeríodosDia	
Noite	Classe Concreta		subclasse de PeríodosDia	
PeríodosSemana	Classe Abstrata	diaSemana Dia	subclasse de PeríodoTempoCíclico	1:*
DiasSemana	Classe Abstrata		subclasse de PeríodosSemana	
Segunda	Classe Abstrata		subclasse de DiasSemana	
Terça	Classe Abstrata		subclasse de DiasSemana	
Quarta	Classe Abstrata		subclasse de DiasSemana	
Quinta	Classe Abstrata		subclasse de DiasSemana	
Sexta	Classe Abstrata		subclasse de DiasSemana	
FimSemana	Classe Abstrata		subclasse de PeríodosSemana	
Sábado	Classe Abstrata		subclasse de FimSemana	
Domingo	Classe Abstrata		subclasse de FimSemana	

Tabela 10 – Ontologia de Períodos de Tempo