

QUALITY OF CONTEXT KNOWLEDGE MODEL BASED ON ONTOLOGY

Débora Cabral Nazário (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, SC, Brasil /
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, SC, Brasil) -
debora.nazario@udesc.br

Madalena Pereira da Silva (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, SC, Brasil) –
Madalena.silva@posgrad.ufsc.br

Mário Antônio Ribeiro Dantas (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, SC,
Brasil) - mario.dantas@ufsc.br

José Leomar Todesco (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, SC, Brasil) -
tite@egc.ufsc.br

Abstract. This paper discusses knowledge representation by proposing a Quality of Context knowledge model based on ontology. An important factor in context-aware computing is the quality of the context information that is made available. One of the main challenges in this area is to address the lack of standardization of nomenclature, definitions, quantification and modeling. Through ontology, the proposed knowledge model organizes, structures and integrates the knowledge found in the literature, enabling knowledge sharing and reuse. It is expected that this structured knowledge will greatly facilitate further research in the area.

Keywords: Knowledge Model, Ontology, Quality of Context, Ubiquitous Computing, Context-aware Computing.

Acknowledgements: This research is supported by the Program: FUMDES - Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior.

MODELO DE CONHECIMENTO DE QUALIDADE DE CONTEXTO BASEADO EM ONTOLOGIA

Resumo. Este artigo aborda a representação de conhecimento, propondo um Modelo de Conhecimento de Qualidade de Contexto, baseado em Ontologia. Um fator importante na computação ciente de contexto é a qualidade das informações de contexto disponibilizadas. Um dos principais desafios desta área é a falta de uniformização de nomenclatura, definições, quantificação e modelagem. O modelo de conhecimento proposto estrutura, organiza e integra o conhecimento encontrado na literatura, através de ontologia, permitindo o compartilhamento e reutilização de conhecimento. Acredita-se que este conhecimento estruturado facilite muito outras pesquisas na área.

Palavras-chave: Modelo de Conhecimento, Ontologia, Qualidade de Contexto, Computação Ubíqua, Computação ciente de contexto.

Agradecimento. Esta pesquisa é apoiada pelo Programa do Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – FUMDES.

1. Introdução

A computação ubíqua é um paradigma que está cada vez mais fazendo parte das atividades diárias das pessoas, através do uso de dispositivos móveis ou portáteis. Este tipo de computação possui forte ligação com as características do mundo físico e dos perfis de seus usuários. Estas informações são chamadas de contextos e representam o elemento de entrada para a computação ciente ou sensível ao contexto.

O contexto é qualquer informação que possa ser utilizada para caracterizar a situação de entidades como: pessoa, lugar ou objeto, que sejam consideradas relevantes para interação entre um usuário e uma aplicação (Dey, 2000).

Para Chen e Kotz(2000) o contexto apresenta quatro dimensões composta por: contexto computacional que lida com os aspectos técnicos, relacionados com capacidades e recursos computacionais; contexto físico que é acessível por meio de sensores e recursos como: localização, condição de tráfego, velocidade, temperatura, iluminação; contexto de tempo que capta informações de tempo, como de um dia, semana, mês, estação do ano, ano; contexto do usuário que está relacionado à dimensão social do usuário, como seu perfil, pessoas nas proximidades, situação social, preferências, condição de saúde, entre outros.

Sistemas computacionais podem utilizar estas informações de contexto relevantes e consequentemente prover serviços mais otimizados e personalizados, aumentando a satisfação dos usuários. Mas as informações de contexto podem não ser confiáveis ou úteis, apresentando um problema de qualidade da informação de contexto.

Qualidade de contexto (QoC) é qualquer informação que descreve a qualidade da informação que é usada como contexto. Assim, QoC refere-se à informação e não ao processo, nem ao componente de *hardware* que fornece as informações(Buchholz, Küpper, & Schiffers, 2003).

A definição de QoC para Krause e Hochstatter(2005) é qualquer informação inerente que descreve informação de contexto e pode ser usada para determinar o valor da informação para uma aplicação específica. Isso inclui informações sobre o processo de provisionamento que a informação foi submetida (“histórico”, “idade”), mas não tratam de estimativas sobre os passos de provisionamentos futuros.

A qualidade das informações de contexto utilizadas na adaptação de serviços tem um impacto significativo sobre as experiências dos usuários com serviços sensíveis ao contexto, que pode ser positivo ou negativo, dependendo da Qualidade de Contexto (QoC). Desta forma, a QoC pode auxiliar o usuário a estimar o comportamento de um serviço sensível ao contexto. A QoC também pode servir como um indicador para a seleção de um provedor de contexto mais adequado.

Uma das questões mais desafiadoras aberta desta área é a padronização de um (ou mais) *framework* de QoC com parâmetros de QoC para os aspectos principais de contexto (computação, tempo, físico e contexto de usuário). Estes parâmetros de QoC podem permitir uma gestão de adaptações mais efetivas e complexas em sistemas sensíveis ao contexto(Bellavista, Corradi, Fanelli, & Foschini, 2012).

Com o estudo da literatura, nota-se uma dificuldade em padronização de nomenclaturas e a construção de modelagens próprias para a QoC, o que dificulta o entendimento e o compartilhamento de informações contextuais entre sistemas. Neste sentido, propõe-seum modelo para representação de conhecimento de QoC que utiliza

ontologia. Com este modelo, pretende-se permitir a exploração, o compartilhamento e reuso do conhecimento neste domínio.

O artigo está organizado da seguinte forma: A seção 2 descreve a metodologia utilizada neste artigo, a seção 3 aborda a evolução da pesquisa até o momento, a seção 4 detalha os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da ontologia, a seção 5 descreve o desenvolvimento do Modelo de Conhecimento e a seção 6 apresenta algumas considerações sobre a pesquisa.

2. Metodologia

Inicialmente é apresentada toda a evolução da pesquisa realizada pelos autores sobre o tema Qualidade de Contexto. A etapa inicial de levantamento bibliográfico gerou uma taxonomia de QoC que serviu como base para o desenvolvimento da ontologia, descrito neste artigo.

Ainda com relação ao andamento da pesquisa, é descrita a arquitetura de gerenciamento de contexto proposta pelos autores e alguns trabalhos publicados que aplicaram esta arquitetura a um cenário *Ambient Assisted Living* (AAL).

Assisted Living (vida assistida) é o termo dado para a prestação de cuidados a pessoas em suas próprias casas ou em centros de acolhimento, apoiada pela tecnologia. Esta prestação de cuidados apoiada pelas tecnologias está crescendo por causa da demanda e também devido ao amadurecimento de muitas das tecnologias que tornam a vida assistida possível, segundo (McNaull, Augusto, Mulvenna, & McCullagh, 2012).

Os estudos bibliográficos e experimentos realizados direcionaram a pesquisa para o desenvolvimento de um modelo de conhecimento de QoC, não existente na literatura e que pudesse trazer contribuições na área científica.

Na sequência, os procedimentos metodológicos adotados na construção da ontologia são descritos, estes são baseados na pesquisa de Rautenberg(2009), através da combinação das melhores práticas de metodologias destinadas a este fim. Este processo é composto de quatro atividades: Especificação, aquisição do conhecimento, implementação e verificação. Sendo que estas quatro atividades são constituídas de várias tarefas.

O modelo de conhecimento foi desenvolvido com base nestes procedimentos metodológicos, sendo as tarefas desempenhadas em cinco ciclos: Propósito e escopo; Levantamento das questões de competência e definição de termos; Refinamento dos termos; Prototipação; Verificação do modelo. Todos os ciclos foram realizados e são detalhados neste artigo. Assim como as ferramentas utilizadas em todo este processo.

3. Evolução da Pesquisa

Na etapa inicial desta pesquisa foi realizada uma detalhada revisão da literatura sobre Qualidade de Contexto, gerando uma taxonomia das publicações que abordam QoC (Nazário, Dantas, & Todesco, 2012b).

Na sequência, outro trabalho abordou a Representação de Conhecimento de Contexto e Qualidade de Contexto, onde foram identificados modelos que utilizam notação gráfica, marcação XML (*Extensible Markup Language*), UML (*Unified Modelling*

Language) e ontologias e OWL (*Ontology Web Language*)(Nazário, Dantas, & Todesco, 2012a).

Destas abordagens para representação de conhecimento destaca-se a ontologia, por permitir o compartilhamento de conhecimento entre humanos e agentes de *software*, além de possibilitar a reutilização de conhecimento entre aplicações e a sua utilização por motores de inferência. Um estudo inicial sobre ontologia de contexto e QoC foi apresentado em (Nazário, Dantas, & Todesco, 2013).

Dando continuidade ao trabalho, foi proposta uma arquitetura de gerenciamento de contexto, representada na Figura 1 e brevemente descrita a seguir(Nazário, Dantas, & Todesco, 2014a).

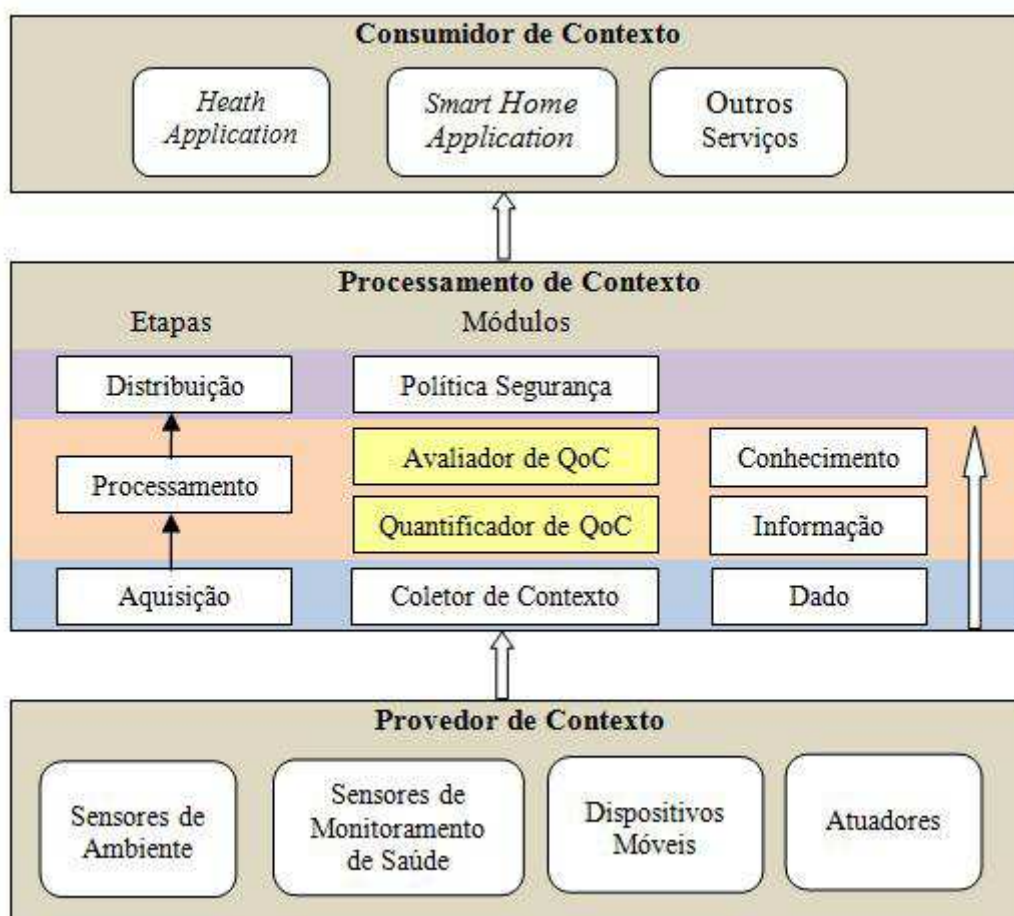


Figura 1. Arquitetura de Gerenciamento de Contexto, adaptado de (Nazário, Dantas, et al., 2014a).

Na camada inferior têm-se os provedores de contexto, que podem ser: sensores em ambientes como temperatura, luminosidade; sensores de monitoramento de saúde como batimentos cardíacos, pressão arterial; sensores em dispositivos móveis como localização, tempo, preferências; ou atuadores, que podem ser utilizados na automação de ambientes inteligentes.

A camada central é a de processamento de contexto, onde ocorrem as etapas de aquisição dos dados de contexto, o processamento e distribuição destas informações. Para a realização das etapas citadas são utilizados alguns módulos:

- 1.Coletor de Contexto: Obtém os dados de contexto dos sensores;

2. Quantificador de QoC: Efetua a quantificação (cálculos) dos parâmetros de QoC e valor geral de QoC, relacionando o contexto, ex. espaço, tempo, usuário, etc.;

3. Avaliador de QoC: Faz a verificação da QoC associado às informações de contexto, através de ontologia;

4. Política de Segurança: Verifica as políticas de segurança adotadas, para a distribuição do conhecimento de contexto e QoC para os consumidores de contexto;

Por fim, na camada superior estão os consumidores de conhecimento de contexto e QoC, como aplicações de saúde, casa ou ambiente inteligente, além de outros tipos de serviços onde o contexto será considerado.

Dentre os possíveis cenários para aplicação do modelo tem-se: lazer, turismo, trânsito, indústria, comércio, saúde, entretenimento, ambiente inteligente, desastre, entre outros.

Esta arquitetura foi aplicada a um cenário *Ambient Assisted Living* (AAL), focado ao monitoramento de pacientes em suas residências. Alguns parâmetros de QoC foram utilizados, demonstrando a relevância desta abordagem, principalmente na área da saúde (Nazário, Dantas, & Todesco, 2014b; Nazário, Tromel, Dantas, & Todesco, 2014). Foi realizado o monitoramento da saúde, através de sensores de batimentos cardíacos, pressão arterial e temperatura corporal. Os resultados obtidos demonstraram que esta abordagem pode apoiar situações que envolvam risco de vida de pessoas doentes, idosas ou com alguma incapacidade.

Como resultados práticos espera-se, através da avaliação da QoC, poder: detectar anomalias ou inconsistências nos sensores, gerar alertas, ativar sensores backup, descartar dados com QoC insuficientes, escolher provedor adequado, entre outras ações.

A utilização de ontologias para modelar conhecimento em domínios específicos se tornou um aspecto a considerar para integração de informação de diferentes origens. Neste sentido, a utilização de ontologias como modelo de conhecimento é encorajada, visto que as ontologias representam conhecimento para a comunicação entre os seres humanos, primam pela estruturação, pela organização e pela integração de conhecimento. Tais assertivas confirmam a utilização de ontologias para formalizar modelos de conhecimento (Rautenberg, 2009).

Sendo assim, o foco do estudo descrito neste artigo é o desenvolvimento de um modelo de conhecimento de qualidade de contexto baseado em ontologia, a partir dos estudos bibliográficos e experimentos realizados.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da ontologia de qualidade de contexto.

4. Procedimentos Metodológicos para a construção da Ontologia

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do modelo de conhecimento proposto está baseada em Rautenberg (2009). Onde o processo para construção de ontologia foi elaborado combinando as melhores práticas das metodologias *On-to-Knowledge*, *Methodology* e do guia *Ontology Development* 101, onde:

- *On-to-Knowledge* - contribui na especificação dos requisitos da ontologia, por meio do emprego de questões de competência como modo simples e direto para

confirmar o propósito e o escopo de uma ontologia. Tal fato permite identificar antecipadamente, conceitos, propriedades, relações e instâncias.

- *Methontology* - por meio de uma rica gama de artefatos, contribui na documentação e na verificação de ontologias.
- *Ontology Development 101* - contribui com uma visão clara de como se dá um processo iterativo para o desenvolvimento de ontologias.

Este processo metodológico está baseado em quatro atividades e suas tarefas, como descrito a seguir:

1) **Especificação:**

- a) Identificar o propósito da ontologia - identificar em que ambiente o modelo se insere, por que o modelo deve ser desenvolvido, entre outros;
- b) Identificar o escopo da ontologia - responder as questões gerais como “quem são os usuários”, “quais são as intenções de uso”, entre outras;
- c) Considerar o reuso de ontologias - verificar a existência de demais ontologias correlacionadas para fazer uso de conceitos já estabelecidos;
- d) Identificar as fontes de conhecimento - procurar por livros, artigos, dicionários, entre outras fontes, das quais pode-se abstrair conceitualizações;

2) **Aquisição do conhecimento:**

- a) Gerar as questões de competência - entrevistar especialistas de domínio na perspectiva que estes elaborem questões que a ontologia deva responder e que relacionem os termos, jargões e relacionamentos presentes no domínio;
- b) Listar os termos da ontologia - a partir das fontes de conhecimento e das questões de competência, enumerar termos comumente utilizados pelos especialistas de domínio;
- c) Agregar os elementos reutilizáveis - uma vez definidas as ontologias que tem aderência ao modelo proposto, capturar delas alguns elementos;
- d) Definir as classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a um conceito geral do domínio;
- e) Definir as propriedades das classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a um dado necessário de algum conceito geral do domínio;
- f) Definir as relações entre classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a uma associação entre dois ou mais conceitos do domínio;
- g) Definir as restrições - para cada propriedade e relação de classes, verificar a existência de alguma regra que possa ser atribuída ao seu valor. Por exemplo, para a propriedade idade, a restrição que esta não pode receber valores negativos;
- h) Criar as instâncias – para cada classe associar os termos tidos como instâncias, que caracterizam-se como exemplos concretos da classe em questão;

3) **Implementação:**

- a) Valorar as propriedades das instâncias - definir os valores para cada propriedade de dados dos elementos da ontologia;
 - b) Valorar as relações das instâncias - definir explicitamente os valores para cada relação entre as instâncias da ontologia;
 - c) Valorar as restrições – para cada instância deve-se valorar as restrições presentes no domínio quanto aos valores possíveis para as suas propriedades de dados e para suas relações admitidas com a classe da ontologia.
- 4) **Verificação:**
- a) Verificação técnica da ontologia perante o domínio - verificar se a ontologia não expressa inconsistências em relação ao entendimento aceito sobre o domínio nas fontes de conhecimento;
 - b) Verificação técnica da ontologia perante o framework de referência - revisar o propósito, o escopo e as questões de competência da ontologia para avaliar a consistência da ontologia frente os requisitos levantados;
 - c) Verificação da ontologia - questionar os possíveis usuários da ontologia, quanto à utilidade, à precisão e a cobertura da ontologia na explicitação do conhecimento modelado.

5. Desenvolvimento do Modelo de Conhecimento

As tarefas anteriormente descritas foram desempenhadas em cinco ciclos de desenvolvimento do modelo, distribuídas de acordo com a representação da Figura 2:

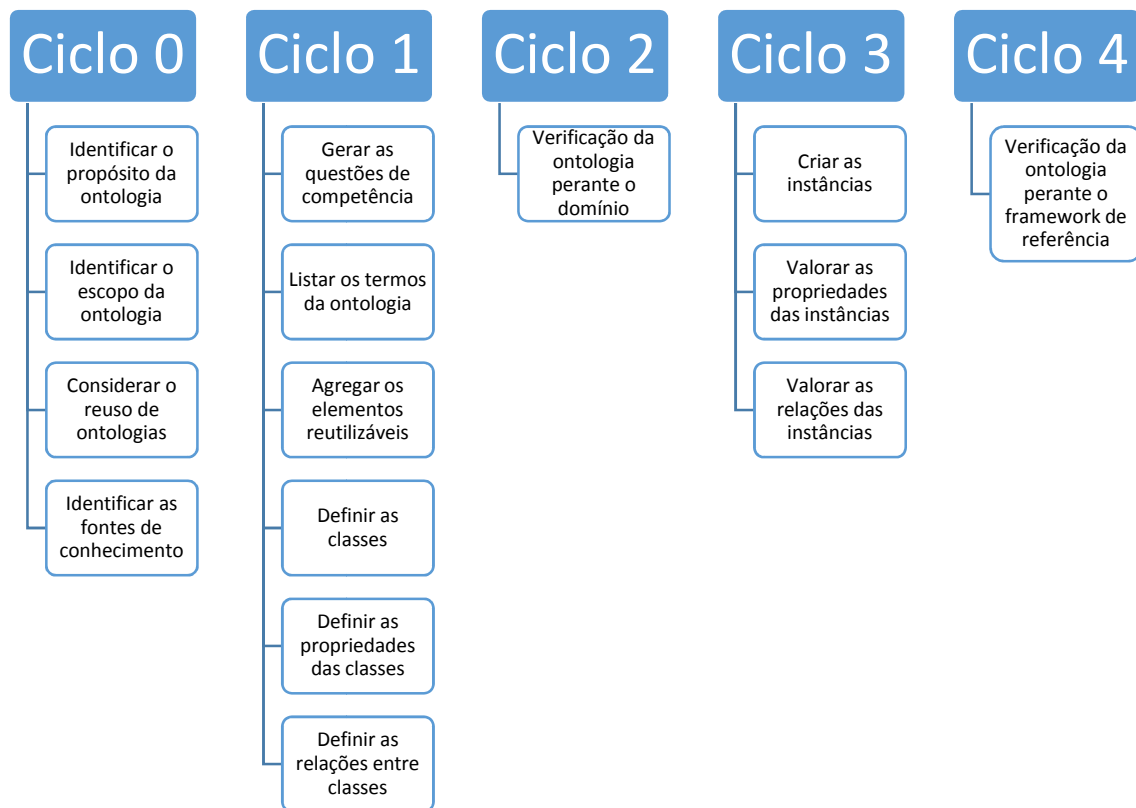


Figura 2. Distribuição de tarefas nos ciclos de desenvolvimento da Ontologia

- Ciclo 0 – Propósito e Escopo;
- Ciclo 1 – Levantamento das questões de competência e definição de termos;
- Ciclo 2 – Refinamento dos termos;
- Ciclo 3 – Prototipação;
- Ciclo 4 – Verificação do modelo.

No processo de construção de ontologias são utilizados ambientes específicos que oferecem uma série de recursos e funcionalidades que auxiliam e facilitam o desenvolvimento do trabalho. Existem inúmeras dessas ferramentas disponíveis que, embora tenham em comum o objetivo de oferecer facilidades para o desenvolvimento de uma ontologia, oferecem diferentes recursos e funções. As ferramentas utilizadas na construção deste modelo foram (Figura 3):

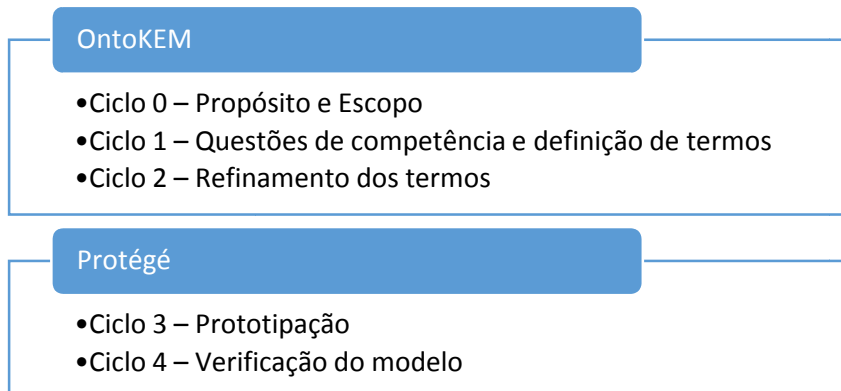


Figura 3. Ferramentas utilizadas X Ciclos de desenvolvimento

- OntoKEM – A ferramenta *Ontology for Knowledge Engineering and Management*, conhecida como ontoKEM, desenvolvida no Laboratório de Engenharia do Conhecimento da UFSC, apoia o processo de construção e documentação de ontologias (LEC-EGC-UFSC, 2009; Todesco, Gauthier, Rautenberg, & Mafiolletti, 2009). A OntoKEM foi utilizada no Ciclo 0, Ciclo 1 e Ciclo 2, gerando artefatos de documentação de ontologias automaticamente.
- Protégé – A ferramenta Protégé suporta a criação, visualização e manipulação de ontologias (Protégé, 2013). Foi utilizada no Ciclo 3 e Ciclo 4, permitindo criar instâncias, valorando as propriedades e as relações, propiciando um ambiente de testes para a verificação.

Os ciclos de desenvolvimento do modelo de conhecimento de qualidade de contexto proposto serão descritos a seguir, com ênfase em aspectos considerados mais relevantes.

5.1 Ciclo 0 – Propósito e Escopo

A identificação do propósito e do escopo da ontologia representa o ponto inicial para o desenvolvimento do modelo de conhecimento proposto. Ainda neste ciclo foram executadas as tarefas: considerar o reuso de ontologias e identificar as fontes de conhecimento. Ou seja, este ciclo caracteriza-se pelas tarefas da atividade de Especificação, descrita nos procedimentos metodológicos.

O **propósito** desta Ontologia é modelar o conhecimento relacionado ao tema Qualidade de Contexto. Na fase inicial deste estudo, a revisão de literatura mostrou que os conceitos não estão consolidados. Um dos principais desafios desta área é a falta de uniformização de nomenclaturas, definições, quantificação e conseqüentemente de modelagem, o que dificulta o compartilhamento de informações de contexto e de QoC pela falta de um vocabulário comum.

Com o levantamento bibliográfico realizado, gerou-se uma taxonomia de QoC para uma organização inicial do conhecimento. Com base nesta taxonomia será modelada a ontologia com o objetivo de uma melhor estruturação, organização e integração de conhecimento neste domínio, baseado na literatura.

Esta ontologia estará relacionada a ontologias de contexto, que podem conter informações de contexto de domínios diversos, como ambientes inteligentes, cuidados com a saúde, entretenimento, entre outros.

O **escopo** da ontologia está voltado a pesquisadores e/ou desenvolvedores do tema qualidade de contexto em diversos cenários da computação ciente de contexto. Onde a ontologia poderá ser utilizada inicialmente para o entendimento deste tema baseado nos trabalhos da literatura, principalmente artigos de conferências e periódicos. Espera-se que este conhecimento estruturado facilite bastante as próximas pesquisas na área.

A ontologia ficará disponível para reuso total ou parcialmente, de acordo com a necessidade do usuário, que inclusive poderá contribuir com a mesma.

A tarefa **considerar o reuso de ontologias** visa verificar a existência de demais ontologias correlacionadas para fazer uso de conceitos já estabelecidos. Considerou-se reuso buscando ontologias de QoC na literatura, que foram consideradas na modelagem. Os trabalhos de GU *et al.* (2004), Preuveneers e Berbers (2006), Tang, Yang e Wu (2007) e Toninelli e Corradi (2009) apresentam alguns parâmetros de QoC. Já o trabalho de Filho *et al.* (2010) detalha um pouco mais, abordando Parâmetros de QoC (QoCP) e Indicadores de QoC (QoCI) modelando a proposta de quantificação de parâmetros dos autores.

As **fontes de conhecimento** foram identificadas a partir do levantamento da literatura sobre o tema qualidade de contexto e posterior classificação dos trabalhos na Taxonomia de QoC proposta (Nazário *et al.*, 2012b). Esta taxonomia servirá de ponto de partida para a modelagem da ontologia, sendo a principal fonte de conhecimento utilizada. Algumas outras fontes de conhecimento também foram consideradas no desenvolvimento da ontologia.

Considerando este ciclo inicial, a identificação do propósito e escopo da ontologia, a identificação de ontologias para reuso de conceitos e a identificação das fontes de conhecimento são resultados importantes para a continuidade dos demais ciclos previstos no processo metodológico adotado.

5.2 Ciclo 1 – Levantamento das questões de competência e definição de termos

O objetivo deste ciclo é elaborar questões pertinentes que o modelo proposto deve atender. Neste ciclo também foram executadas as tarefas: listar os termos da ontologia, agregar os elementos reutilizáveis, definir as classes, definir as propriedades das classes, definir as relações entre classes.

A tarefa de elaboração das **questões de competência** foi executada sem a participação de especialistas externos, as perguntas foram elaboradas com base em todo o estudo realizado sobre este domínio. As perguntas consideradas inicialmente na modelagem estão relacionadas a seguir.

- Qual a definição de QoC?
- Quais são os parâmetros sugeridos para medir QoC (definição X autores)?
- Que parâmetros de QoC são utilizados com mais frequência?
- Que modelos são utilizados na representação de QoC (tipo de representação X autores)?
- Quais são as aplicações de QoC (tema abordado X autores)?
- Como são medidos (quantificados) os parâmetros de QoC (forma X autores)?
- Como avaliar a QoC?
- Em que referência bibliográfica se encontra informações a respeito de QoC?

- Que cenários já foram utilizados com QoC (cenário X autores)?
- Onde se pesquisa a respeito de QoC (Centro de pesquisa, universidade)?
- Quem são os pesquisadores que trabalham com o tema QoC?

Outras perguntas ainda foram elaboradas e podem ser consideradas para a inclusão na modelagem em etapas posteriores.

A partir das fontes de conhecimento identificadas, das questões de competência elaboradas e dos **elementos reutilizáveis** das ontologias encontradas na literatura, obteve-se uma lista de possíveis **termos para a ontologia**.

Na sequência, foi verificado para cada termo, se o seu entendimento remete a um conceito geral do domínio, gerando uma versão inicial de **possíveis classes** e subclasses. Da mesma forma, foram definidas as possíveis relações entre as classes e as possíveis propriedades das classes. A Figura 4 mostra o resultado deste ciclo. No ciclo seguinte é realizado então o refinamento destes termos identificados nesta etapa.

5.3 Ciclo 2 – Refinamento dos termos

Neste ciclo é feita uma verificação técnica da ontologia perante o domínio, na busca por possíveis inconsistências em relação ao domínio nas fontes de conhecimento. Com base nesta revisão, é feito o refinamento dos termos neste ciclo, tanto para classes, como relações entre classes e propriedades das classes.

Com relação às Classes os seguintes ajustes foram realizados:

- Eliminada a classe *Regras*, será propriedade da classe *Avaliação*;
- Eliminada a classe *Utilização*, será uma relação entre as classes *Referência* e *Parâmetro*;
- A classe *Tipo_representação* foi renomeada para *Modelo_representação*;
- Foi incluída a classe *Valor*;
- A classe *Parâmetro* não terá subclasses, os parâmetros serão instâncias desta classe;

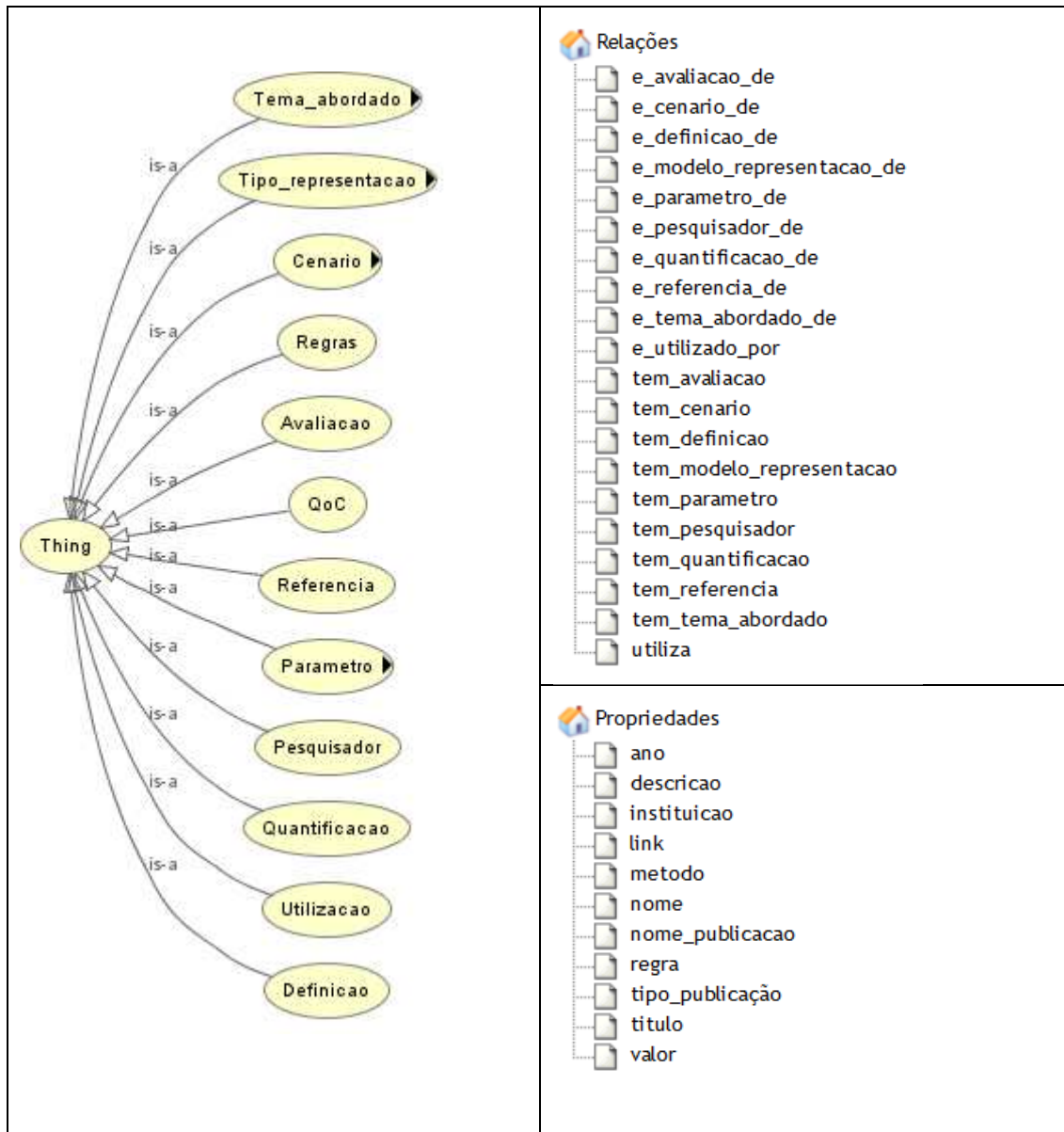


Figura 4. a) Classes, b) Relações entre Classes, c) Propriedades das Classes

Após este ciclo, tem-se as **classes** e as suas subclasses descritas a seguir e representadas na Figura 5:

Avaliação: Classe que representa as instâncias de regras de avaliação de QoC e seus parâmetros.

Cenário: Classe que representa as instâncias de cenários utilizados em trabalhos que tratam QoC.

- **Ambiente_inteligente:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam ambiente inteligente como cenário.
 - **Casa:** Subclasse de Ambiente_inteligente que representa as instâncias de trabalhos que utilizam uma casa como cenário.
 - **Veículo:** Subclasse de Ambiente_inteligente que representa as instâncias de trabalhos que utilizam um veículo como cenário.

- **Desastre:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam cenário de desastre.
- **Localização:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que tratam a localização no cenário abordado.
- **Saúde:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam cenário relacionado à saúde.
- **Sistema_reconhecimento:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam sistema de reconhecimento em seu cenário.

Definição: Classe que representa as instâncias de definições de determinado termo, baseado em algum autor da literatura.

Modelo_representação: Classe que representa as instâncias de modelos de representação utilizados em trabalhos que tratam QoC.

- **Notação_gráfica:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam notação gráfica como modelo de representação.
- **Ontologia:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam ontologia como modelo de representação.
- **UML:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam UML como modelo de representação.
- **XML:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam XML como modelo de representação.

Parâmetro: Classe que representa as instâncias de parâmetros de qualidade de contexto a serem avaliados.

Pesquisador: Classe que representa as instâncias de pesquisadores da área.

QoC: Classe que representa as instâncias de Qualidade de Contexto a serem avaliadas.

Quantificação: Classe que representa as instâncias de métodos de quantificação de parâmetros de QoC.

Referência: Classe que representa as instâncias com as informações de um item bibliográfico.

Tema_abordado: Classe que representa as instâncias de temas abordados em trabalhos que tratam QoC.

- **Agente:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que utilizam agentes.
- **Conflito:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam problemas de conflito.
- **Distribuição_dados:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam a distribuição de dados.
- **Inconsistência:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam problemas de inconsistência.
- **Multi_agente:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que utilizam multiagentes.
- **Segurança:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões de segurança.

- **Confiabilidade:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de confiabilidade.
- **Controle_acesso:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de controle de acesso.
- **Privacidade:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de privacidade.

Valor: Classe que representa as instâncias de valores de QoC e seus parâmetros.

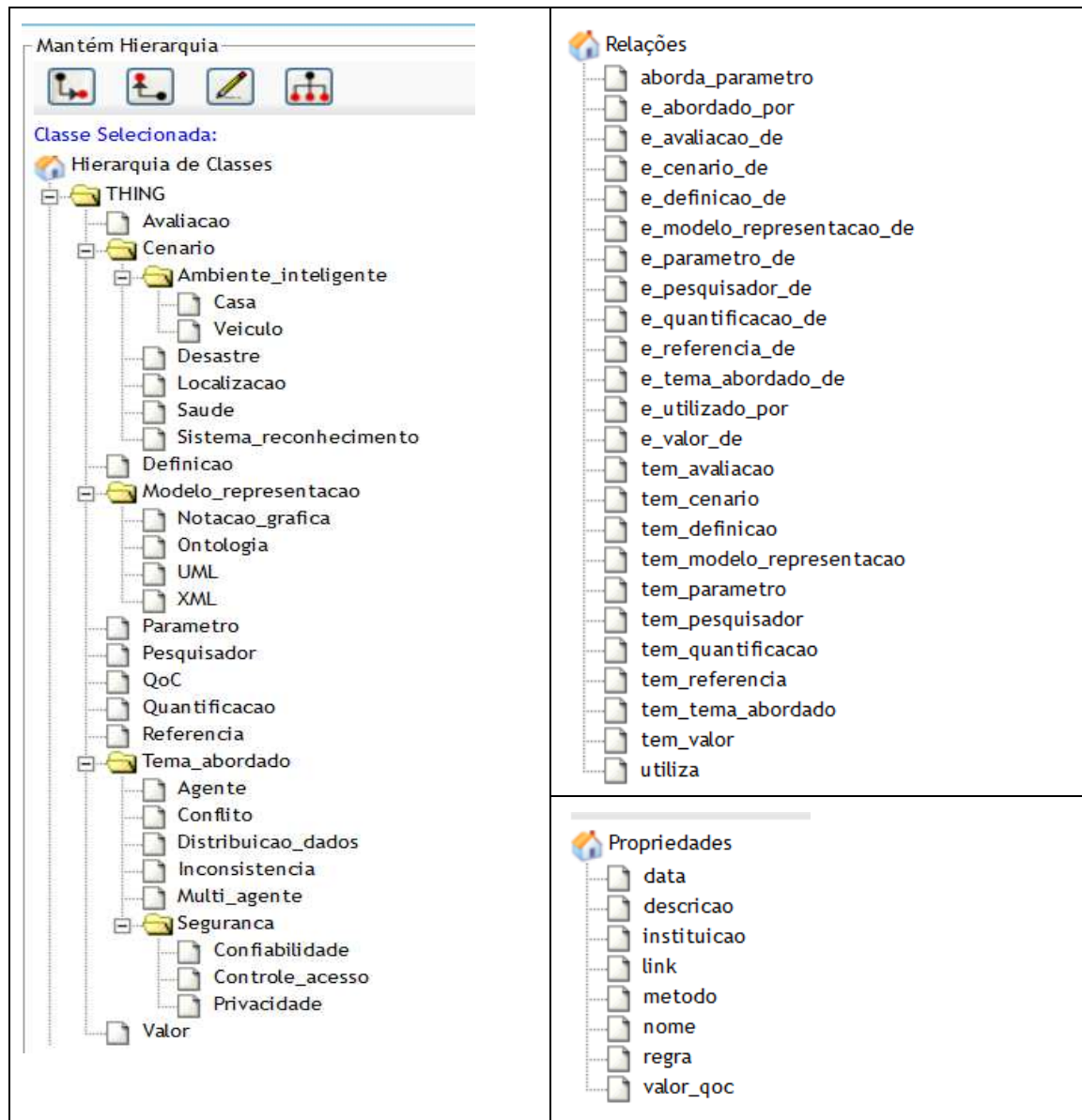


Figura 5. a) Hierarquia de Classes, b) Relações entre Classes, c) Propriedades das Classes

Neste ciclo foram incluídas as relações entre Classes:

- e_valor_de;
- tem_valor;
- aborda_parâmetro;

- e_abordado_por;

Após os ajustes realizados as **relações entre classes** definidas são descritas a seguir, também estão representadas na Figura 5.

Aborda_parametro: Relação que mapeia a classe Referência à classe Parâmetro. Refere-se à abordagem de definição de parâmetro (teoricamente).

E_abordado_por: Relação inversa de aborda_parametro.

E_avaliação_de: Relação inversa de tem_avaliação.

E_cenário_de: Relação inversa de tem_cenário.

E_definição_de: Relação inversa de tem_definição.

E_modelo_representação_de: Relação inversa de tem_modelo_representação.

E_parâmetro_de: Relação inversa de tem_parâmetro.

E_pesquisador_de: Relação inversa de tem_pesquisador.

E_quantificação_de: Relação inversa de tem_quantificação.

E_referência_de: Relação inversa de tem_referência.

E_tema_abordado_de: Relação inversa de tem_tema_abordado.

E_utilizado_por: Relação inversa de utiliza.

E_valor_de: Relação inversa de tem_valor.

Tem_avaliação: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Avaliação.

Tem_cenário: Relação que mapeia a classe QoC à classe Cenário.

Tem_definição: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Definição.

Tem_modelo_representação: Relação que mapeia a classe QoC à classe Modelo_representação.

Tem_parâmetro: Relação que mapeia a classe QoC à classe Parâmetro.

Tem_pesquisador: Relação que mapeia a classe Referência à classe Pesquisador.

Tem_quantificação: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Quantificação.

Tem_referência: Relação que mapeia as classes: Definição, Quantificação, Cenário, Modelo_representação e Tema_abordado à classe Referência.

Tem_tema_abordado: Relação que mapeia a classe QoC à classe Tema_abordado.

Tem_valor: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Valor.

Utiliza: Relação que mapeia a classe Referência à classe Parâmetro. A referência utiliza determinado parâmetro de QoC em experimento ou estudo de caso (prático).

Com relação às propriedades das classes, as seguintes alterações foram realizadas neste ciclo de desenvolvimento:

- Eliminadas as propriedades: *ano*, *nome_publicacao*, *tipo_publicacao*, *título*. Todas estas informações ficarão na *descrição* da classe *Referência*;
- Incluída a propriedade *data*, relacionada a classe *Valor*;

- Renomeada a propriedade valor para *valor_qoc*, diferenciando assim da classe *Valor*;

Após os ajustes realizados, as **propriedades das classes** são descritas a seguir, também estão representadas na Figura 5.

Data: Propriedade de Dados que armazena a data de inserção de informação para a classe Valor.

Descrição: Propriedade de Dados que armazena a descrição de determinada classe.

Instituição: Propriedade de Dados que armazena a instituição para a classe Pesquisador.

Link: Propriedade de Dados que armazena link para a classe Referência.

Método: Propriedade de Dados que armazena o método ou forma utilizada para quantificar um parâmetro ou QoC geral para a classe Quantificação.

Nome: Propriedade de Dados que armazena o nome para a classe Pesquisador.

Regra: Propriedade de Dados que armazena a regra de avaliação de QoC para a classe Avaliação.

Valor_qoc: Propriedade de Dados que armazena o valor de QoC para a classe Parâmetro e QoC.

Após este ciclo, foi gerada a documentação na ferramenta OntoKEM que inclui os documentos:

- Escopo do projeto;
- Perguntas de Competência;
- Definição de Classes;
- Propriedades de Tipos de Dados;
- Relações entre Classes;
- Vocabulário Completo;
- Hierarquia de Classes;
- Dicionário de Classes.

5.4 Ciclo 3 – Prototipação

O objetivo deste ciclo é a atividade de prototipação da ontologia. De acordo com o processo metodológico adotado, foram executadas as tarefas: criar as instâncias, valorar as propriedades das instâncias, valorar as relações das instâncias.

Neste ciclo foi utilizada a ferramenta Protégé. O código OWL gerado pela ferramenta OntoKEM foi importado no Protégé. Foi feita uma revisão e alguns ajustes foram necessários antes de continuar o processo, por exemplo, as relações inversas não foram importadas, entre outros detalhes.

Mais de trezentas instâncias foram criadas nesta etapa, sendo valoradas suas propriedades e relações entre as instâncias, visando responder as questões de competência escolhidas. As quantidades de instâncias de algumas classes estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de instância por classe da ontologia

Classe	Quantidade
Cenário	18
Definição	56
Modelo_representação	10
Parâmetro	43
Pesquisador	135
Quantificação	21
Referência	64
Tema_abordado	17

Na Figura 6 pode-se ver uma parte das instâncias da classe Parâmetro.

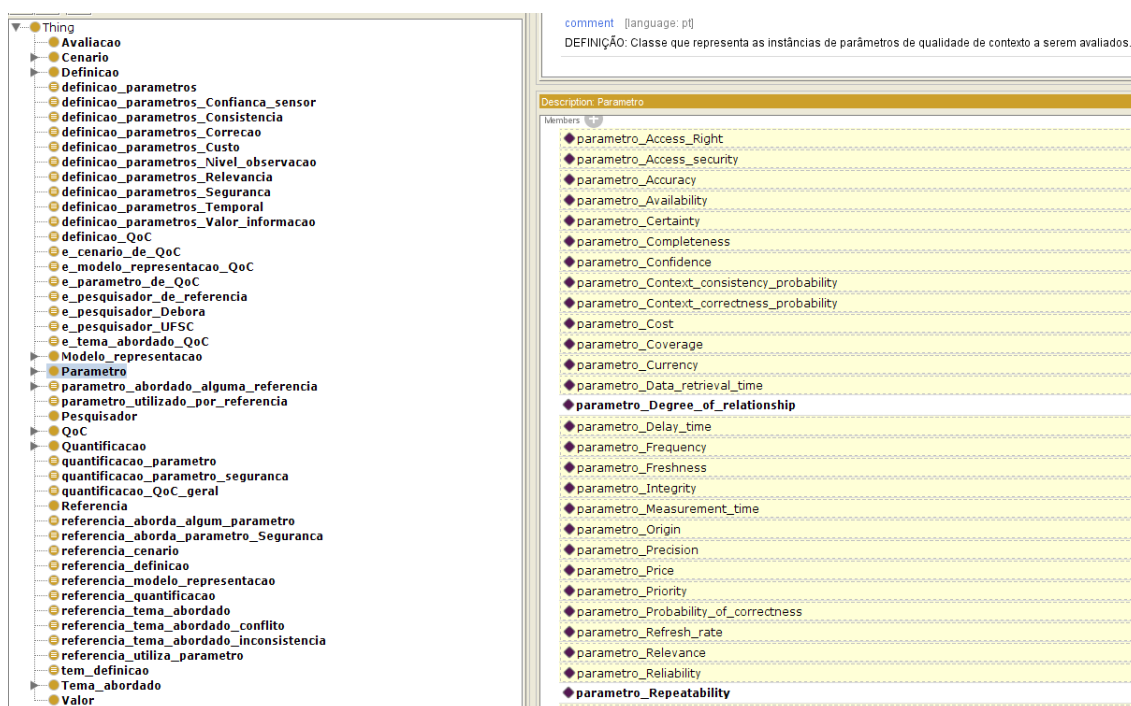


Figura 6. Instâncias da classe Parâmetro.

Já a Figura 7 detalha a instância da classe Parâmetro *Up-to-dateness*, onde pode-se perceber todas as relações valoradas para esta instância e a propriedade valorada 'descrição'.

Cada relação entre instâncias pode ser explorada. Como exemplo, a relação 'tem_definição' da Figura 7, relaciona as instâncias 'parametro_Up-to-dateness' e 'definição_Up-to-dateness', que é detalhada na Figura 8. A definição deste parâmetro está descrita na propriedade 'descrição' de acordo com a referência indicada na relação 'tem_referência' com a instância '(BUCHHOLZ; KÜPPER; SCHIFFERS, 2003)'.

Ainda na Figura 8, pode-se observar na parte superior algumas definições equivalentes à do parâmetro *Up-to-dateness*, a saber parâmetros *Freshness* e *Timeliness*. Explorando estas definições, a Figura 9 mostra a propriedade 'descrição' e referência relacionada a estas duas definições equivalentes à definição do parâmetro *Up-to-dateness*.

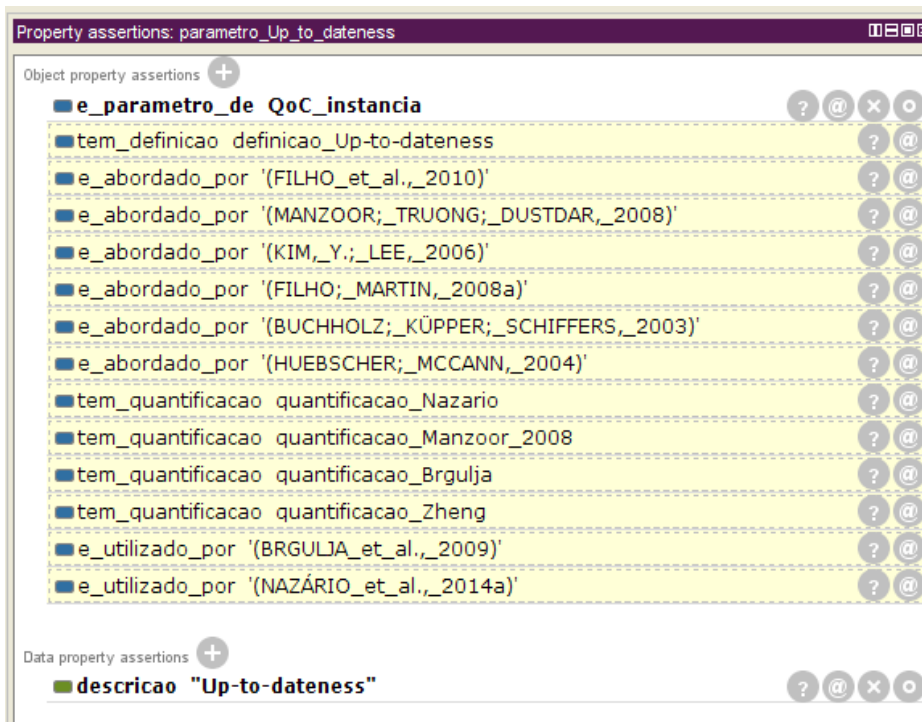


Figura 7. Detalhe do Parâmetro Up-to-dateness



Figura 8. Definição do Parâmetro Up-to-dateness

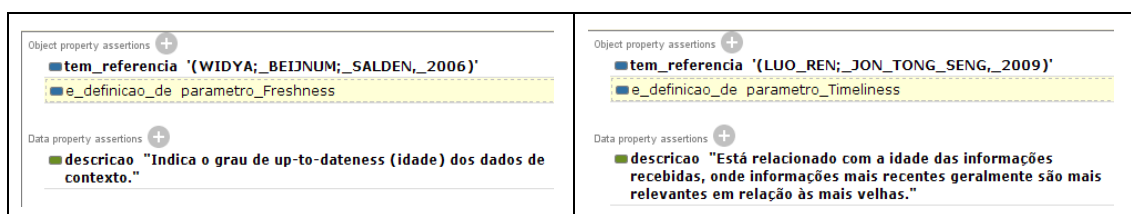


Figura 9. Definições equivalentes ao Parâmetro Up-to-dateness

Cada instância criada na ontologia pode ser examinada, assim como suas relações e propriedades.

5.5 Ciclo 4 – Verificação do modelo

Neste ciclo foi realizada a verificação técnica da ontologia perante o *framework* de referência, onde é revisitado o propósito, o escopo e as questões de competência da ontologia, permitindo uma avaliação da consistência da ontologia frente aos requisitos levantados.

Todas as questões de competência consideradas nesta etapa puderam ser respondidas através de buscas na ontologia desenvolvida. Como exemplo, pode-se citar a questão inicial: “Qual a definição de QoC?”. Executando a query: ‘e_definicao_de some QoC’, pode-se visualizar as instâncias encontradas. Para cada instância, pode-se acessar suas propriedades e relações, como representado na Figura 10, para uma instância selecionada.

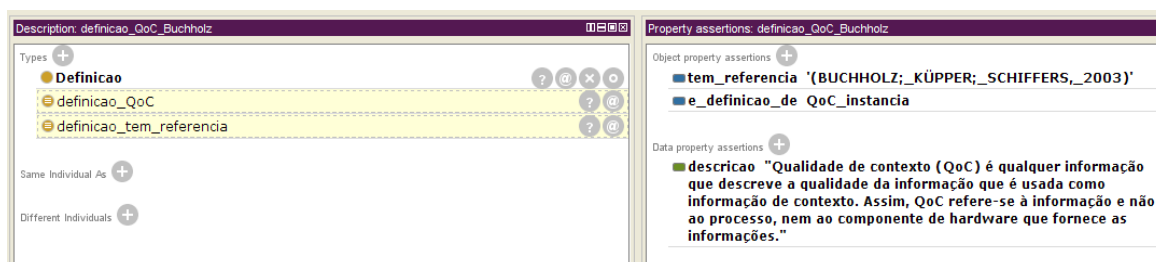


Figura 10. Instância de definição de QoC na ontologia proposta.

Outros exemplos de consultas são mostrados na Figura 11.

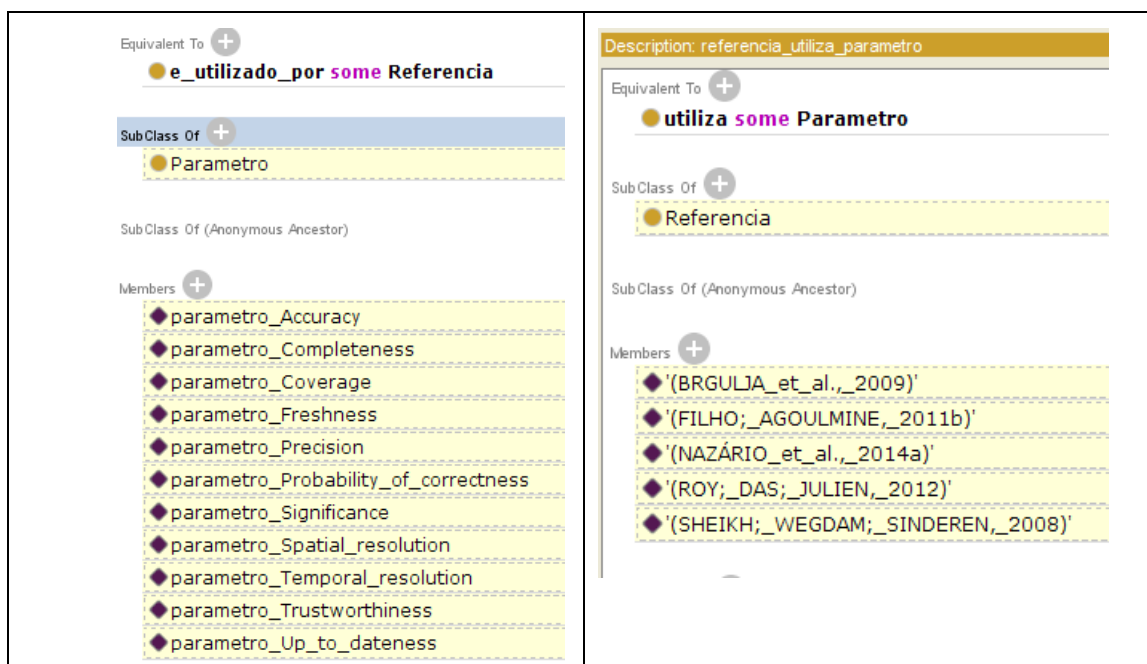


Figura 11a, 11b. Exemplos de consultas na ontologia de QoC

A consulta da Figura 11a responde a questão: “Que parâmetros de QoC são utilizados com mais frequência?”. Com a query ‘e_utilizado_por some Referencia’ são listados os parâmetros utilizados em estudos de casos (práticos). Já na Figura 11b, tem-se a relação inversa sendo explorada ‘utiliza some Parametro’. Sendo assim, são listadas as referências da literatura que utilizam determinado parâmetro de QoC em seus experimentos. Podemos perceber que das 64 instâncias de referências inseridas na

ontologia, apenas 5 utilizam avaliação de parâmetros de QoC em experimentos. Muitas outras informações podem ser exploradas na ontologia com maior agilidade.

A resposta da questão de competência “Como são medidos (quantificados) os parâmetros de QoC?” está representada na Figura 12. Neste caso, são as próprias instâncias da classe Quantificação.

The image shows a screenshot of an ontology editor interface. At the top, there is a yellow header bar labeled 'Annotations: Quantificacao'. Below it, a section titled 'Annotations' with a plus icon contains a 'comment' property with the value 'DEFINIÇÃO: Classe que representa as instâncias de métodos de quantificação de parâmetros de QoC.' Below this is another yellow header bar labeled 'Description: Quantificacao'. Underneath, it says 'SubClass Of (Anonymous Ancestor)'. A section titled 'Members' with a plus icon lists 20 instances of the class, each preceded by a diamond icon. The instances are: quantificacao_Abid, quantificacao_Becker, quantificacao_Brgulja, quantificacao_Filho, quantificacao_Filho_QACBAC, quantificacao_Giaffreda, quantificacao_Grossmann, quantificacao_Hossain, quantificacao_Kim, quantificacao_Klein, quantificacao_Manzoor_2008, quantificacao_Manzoor_2010, quantificacao_Manzoor_confidence, quantificacao_Nazario, quantificacao_Neisse, quantificacao_Sheikh, quantificacao_Vanrompay, quantificacao_Widya, quantificacao_Yasar, quantificacao_Zheng, and quantificacao_Zimmer. The instances 'quantificacao_Giaffreda' and 'quantificacao_Manzoor_confidence' are highlighted with a yellow background.

Figura 12. Instâncias da Classe Quantificação

Cada instância pode ser visualizada em detalhes, como mostra a Figura 13 a instância ‘quantificação_Nazario’. Pode-se observar na Figura 13 na propriedade ‘descrição’ uma explicação sobre a quantificação proposta, já nas relações tem-se os links para os parâmetros que são quantificados (*Significance*, *Up-to-dateness*, *Coverage*, *Precision*, *Completeness*) pela referência ‘(NAZARIO et al., 2014a)’, além da proposta de uma quantificação geral de QoC.

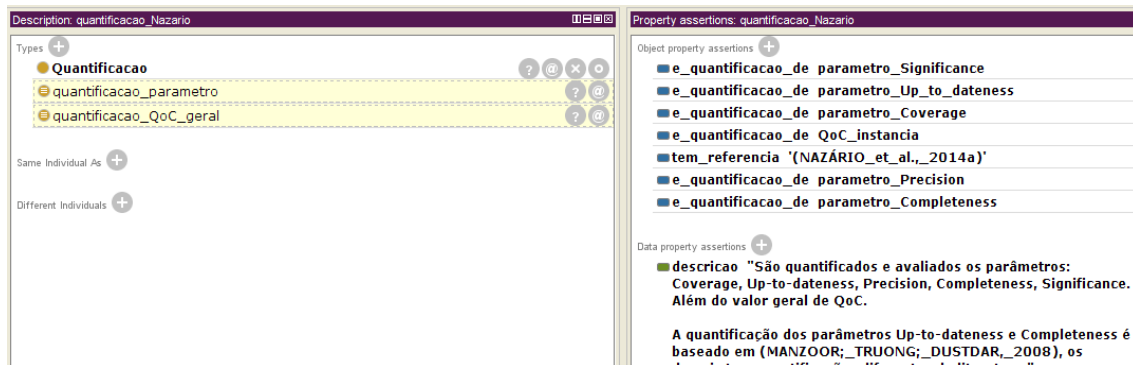


Figura 13. Detalhe da instância ‘quantificação_Nazario’

A mesma referência ‘(NAZARIO et al., 2014a)’ aparece na Figura 7 do ‘parametro_Up-to-dateness’ na relação ‘e_utilizado_por’. Pois a proposta desta referência utiliza o parâmetro *Up-to-dateness* em seus experimentos. Da mesma forma aparece na Figura 11b, onde lista as referências que utilizam algum parâmetro de QoC em seus experimentos.

Com as relações entre instâncias valoradas, diversas formas de consultas podem ser realizadas, de acordo com a necessidade do usuário. Tendo em vista que o *link* entre instâncias, relações e propriedades facilitam a obtenção de conhecimento, de forma simplificada.

6. Considerações Finais

A abordagem ontologia vem se destacando como representação de conhecimento, especialmente quando se trata do tema contexto e QoC. Embora algumas ontologias de QoC já existam na literatura, estas são bastante superficiais, abordando com mais detalhes as questões de contexto e pouco a QoC.

Neste sentido, este trabalho de pesquisa contribuiu com um Modelo de Conhecimento de QoC baseado em ontologia, melhorando assim a representação de conhecimento neste domínio para a comunicação entre pesquisadores e desenvolvedores de computação ciente de contexto.

Foram modelados os principais aspectos identificados na taxonomia de QoC a partir de uma revisão detalhada da literatura, assim como a avaliação de QoC proposta em (Nazário, Tromel, et al., 2014), entre várias outras.

Os procedimentos metodológicos adotados são interessantes para o desenvolvimento de outras ontologias, independentemente de seu domínio. Assim como a utilização de ferramentas como o OntoKEM, que permite a geração de uma documentação detalhada e completa das etapas iniciais de desenvolvimento da ontologia automaticamente.

Já em ferramentas semelhantes ao Protégé, com a ontologia desenvolvida (OWL), os usuários podem visualizar a hierarquia e descrição das classes, relações entre classes e propriedades das classes da ontologia, todas as instâncias criadas com suas propriedades e relações, inclusive acessando os links das propriedades, relações entre instâncias e instâncias relacionadas. Alguns gráficos também podem ser gerados, facilitando a

visualização. Outra funcionalidade muito relevante é a realização de buscas na ontologia, de acordo com a necessidade do usuário. Diversas pesquisas relacionadas as questões de competência já estão prontas na ontologia.

Mas além do modelo responder uma lista de perguntas mais relevantes que foram elaboradas, muitas outras buscas podem ser realizadas na ontologia, facilitando o entendimento e acesso aos conceitos relacionados. A estruturação, organização e integração de conhecimento facilitará o compartilhamento e reutilização do modelo proposto.

Como trabalhos futuros pretende-se integrar a ontologia de QoC em experimentos que tratam qualidade de contexto em ambientes de monitoramento de saúde. O objetivo é a identificação de possíveis problemas de saúde mais graves precocemente, com o auxílio também de ontologias da área da saúde.

Referências

- Bellavista, P., Corradi, A., Fanelli, M., & Foschini, L. (2012). A Survey of Context Data Distribution for Mobile Ubiquitous Systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4), 1–45.
- Buchholz, T., Küpper, A., & Schiffers, M. (2003). Quality of Context : What It Is And Why We Need It. In *10th International Workshop of the HP OpenView University Association(HPOVUA)* (pp. 1–14).
- Chen, G., & Kotz, D. (2000). *A survey of context-aware mobile computing research* (pp. 1–16). Hanover, NH, USA.
- Dey, A. K. (2000). *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*. Georgia Institute of Technology.
- Filho, J. B., Miron, A. D., Satoh, I., Gensel, J., & Martin, H. (2010). Modeling and Measuring Quality of Context Information in Pervasive Environments. In *24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications* (pp. 690–697).
- Gu, T., Wang, X. H., Pung, H. K., & Zhang, D. Q. (2004). An Ontology-based Context Model in Intelligent Environments. In *Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference* (pp. 1–6). San Diego, CA, USA.
- Krause, M., & Hochstatter, I. (2005). Challenges in Modelling and Using Quality of Context (QoC). *Mobility Aware Technologies and Applications: LNCS*, 3744, 324–333.
- LEC-EGC-UFSC. (2009). OntoKEM - Ontology for Knowledge Engineering and Management. Retrieved from <http://ontokem.egc.ufsc.br/ProjetoOntologias/index.html>
- McNaull, J., Augusto, J. C., Mulvenna, M., & McCullagh, P. (2012). Data and Information Quality Issues in Ambient Assisted Living Systems. *Journal of Data and Information Quality*, 4(1), 1–15.
- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2012a). Representação de Conhecimento de Contexto e Qualidade de Contexto. In *Jornada Iberoamericana de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento - IIISIC 2012* (pp. 95–102). Lima, Peru.
- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2012b). Taxonomia das publicações sobre Qualidade de Contexto. *Sustainable Business International Journal*, 20, 1–28.
- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2013). Ontologia de Contexto e Qualidade de Contexto. In *Ontobras - VI Seminar on Ontology Research in Brazil* (pp. 179–184). Belo Horizonte, MG.

- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2014a). Context Management by Evaluating Quality of Context. In *International Conference on Information Systems and Technology Management - CONTECSI 2014* (pp. 1724–1738). Sao Paulo.
- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2014b). Context Management: Toward assessing Quality of Context parameters in a ubiquitous ambient assisted living environment. *JISTEM . Journal of Information Systems and Technology Management*, *11*(3), 569–590.
- Nazário, D. C., Tromel, I. V. B., Dantas, M. A. R., & Todesco, J. L. (2014). Toward Assessing Quality of Context Parameters in a Ubiquitous Assisted Environment. In *IEEE Symposium on Computers and Communications - ISCC 2014*. Madeira, Portugal.
- Preuveneers, D., & Berbers, Y. (2006). Quality extensions and uncertainty handling for context ontologies. *Contexts and Ontologies: Theory, Practice and Applications C&O-2006*, 62–64.
- Protégé. (2013). The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. Retrieved from <http://protege.stanford.edu/>
- Rautenberg, S. (2009). *Modelo de conhecimento para mapeamento de instrumentos da gestão do conhecimento e de agentes computacionais da engenharia do conhecimento baseado em ontologias*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Tang, S., Yang, J., & Wu, Z. (2007). A Context Quality Model for Ubiquitous Applications. In *2007 IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Workshops (NPC 2007)* (pp. 282–287).
- Todesco, J. L., Gauthier, F. A. O., Rautenberg, S., & Mafiolletti, F. (2009). Laboratório de Engenharia do Conhecimento: desenvolvendo ontologias para a Gestão do Conhecimento. In *II Seminário de Pesquisa em Ontologia no Brasil*. Rio de Janeiro.
- Toninelli, A., & Corradi, A. (2009). A Quality of Context-Aware Approach to Access Control in Pervasive Environments. *MobileWireless Middleware, Operating Systems, and Applications: LNCS*, *7*, 236–251.