

OD4CoT: um dataset baseado em ontologia para o Contexto das Coisas

Henrique de S. Santana¹, João Gabriel A. Bradachi^{1,3}, Maria Eduarda O. G. Andrade^{1,3},
Aléxia K. A. G. Silva¹, Thais R. M. B. Silva^{1,3}, Fabrício A. Silva^{1,3}, Linnyer B. R. Aylon^{2,3}

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV) / Campus Florestal – MG

²Universidade Estadual de Maringá (UEM) – PR

³Manna Team

{henrique.s.santana, joao.bradachi, maria.e.andrade, alexia.karoline,
thais.braga, fabricio.asilva}@ufv.br, lbruiz@uem.br

Abstract. *Internet of Things (IoT) applications depend on environments composed of smart objects, whose diverse characteristics are called Context of Things in this study. With the goal of sharing to the academia and to the related industry a structured listing of smart objects, contexts of things and the mapping between them, we present the OD4CoT dataset. We discussed its development process, as well as its ontological representation, covering 408 real instances of smart objects. A data analysis revealed that primary features and descriptions about the objects represent 24,2% of context instances, while 13,5% of context categories are found in only one object.*

Resumo. *As aplicações de Internet das Coisas (IoT) dependem de ambientes compostos por objetos inteligentes, cujas variadas características chamamos neste trabalho de Contexto das Coisas. Com o objetivo de disponibilizar à academia e à indústria relacionada um levantamento estruturado de objetos inteligentes, contextos das coisas e a relação entre eles, apresentamos o dataset OD4CoT. Foi discutido seu processo de construção, bem como sua representação ontológica, cobrindo 408 instâncias de objetos inteligentes reais. Uma análise dos dados revelou que funcionalidades e descrições mais básicas sobre os objetos representam 24,2% das instâncias de contexto, enquanto que 13,5% das categorias de contexto são encontradas em apenas um objeto.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (IoT) pode ser vista como um conceito que representa a interligação entre dispositivos do mundo real, equipados com, no mínimo, capacidade de processamento e comunicação [Atzori et al. 2017], os quais chamamos de Objetos Inteligentes [Kortuem et al. 2009], com o objetivo de possibilitar a oferta de diferentes tipos de serviços em um grande número de categorias de aplicações, tais como cidades e casas inteligentes, bem como campo e indústria 4.0 [Perwej et al. 2019].

Os objetos inteligentes utilizados por aplicações IoT frequentemente coletam dados contextuais sobre pessoas, lugares e objetos do ambiente, os quais são utilizados na personalização dos serviços oferecidos, tornando-os assim sensíveis ao contexto [Perera et al. 2013]. Entretanto, os próprios objetos inteligentes possuem características e estados, os quais são também importantes de serem coletados, representados,

armazenados e compartilhados, uma vez que é a partir dessas informações que se pode saber sobre as condições atuais do Ambiente Inteligente formado por esses dispositivos. Os dados contextuais sobre objetos inteligentes são, neste trabalho, chamados de Contexto das Coisas [He et al. 2012, Souki et al. 2022].

Até onde os autores puderam pesquisar, não foram encontrados na literatura trabalhos que realizassem o mapeamento e a organização de categorias e instâncias de objetos inteligentes e, em particular, de Contextos das Coisas, de forma abrangente e sistematizada, disponibilizando-os como uma base de dados.

Neste trabalho, apresentamos o dataset OD4CoT (*Ontology-based Dataset for the Context of Things*), construído a partir do mapeamento dos tipos de contexto mais relevantes para diversos objetos inteligentes encontrados na literatura e no mercado e passíveis de serem utilizados em variadas configurações de ambientes inteligentes. Para tornar os dados do OD4CoT ainda mais acessíveis e úteis, uma modelagem baseada em ontologia foi criada como forma de representá-los.

A partir do dataset apresentado neste trabalho, pesquisadores terão acesso a uma ampla lista de objetos inteligentes, uma gama de possibilidades de contextos das coisas e, por fim, a descrição da relação entre os objetos e seus contextos. A expectativa é que o uso do dataset facilite a construção de ambientes inteligentes melhores para a avaliação de soluções IoT, seja em experimentos, simulações ou emulações.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 estão apresentados os principais trabalhos relacionados encontrados na literatura. As seções 3 e 4, apresentam, respectivamente, o dataset OD4CoT, descrevendo a forma como seus dados foram obtidos e processados, e sua modelagem como uma ontologia. Por fim, as conclusões e alguns possíveis trabalhos futuros podem ser encontrados na seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura sobre IoT, já existem datasets voltados para diferentes propósitos, porém com conteúdo diferente deste trabalho. Em [De Keersmaeker et al. 2023], os autores apresentam uma revisão sobre 74 datasets públicos que registram tráfego de rede de dispositivos IoT, com foco em pesquisa sobre segurança. Logo, tais bases possuem foco nos dados coletados e trafegados pelos objetos inteligentes, e não numa descrição detalhada desses objetos. De forma semelhante, trabalhos como [Neto et al. 2023], [Dadkhah et al. 2022] e [Alsaedi et al. 2020] também apresentam datasets coletados a partir do tráfego de rede, contando com uma diversidade de objetos inteligentes descritos nesses estudos. Porém a descrição desses objetos é limitada a alguns metadados como categoria do objeto e marca do fabricante, ou informações referentes às suas interfaces de rede.

Por outro lado, considerando a representação do dataset deste trabalho como ontologia, também existem estudos que propõem ontologias para contexto. Um trabalho de destaque é a ontologia SSN (*Semantic Sensor Network*) [Compton et al. 2012], que propõe um vocabulário geral para descrever sensores, observações, e o contexto resultante do sensoriamento. Estudos posteriores propuseram extensões à SSN [Xue et al. 2015, Bermudez-Edo et al. 2016], que incrementam suas respectivas ontologias com mais classes e propriedades para descrever sensores, suas categorias, e os tipos de dados que coletam. No entanto, esses trabalhos têm como objetivo fornecer apenas a terminologia para que outros sistemas ou aplicações utilizem para registrar suas instâncias de dados.

Até onde sabemos, este trabalho é o primeiro a disponibilizar um dataset abrangente quanto a instâncias de objetos inteligentes de diversos tipos e finalidades, além de contar com uma descrição detalhada de suas características, isto é, do contexto das coisas.

3. OD4CoT: Ontology-based Dataset for the Context of Things

O OD4CoT é um dataset que reúne informações sobre uma variedade de objetos inteligentes encontrados tanto na literatura como no mercado, junto de uma extensa lista de contextos associados aos mesmos, isto é, o contexto das coisas. Para cada contexto mapeado, são apresentados seus atributos, tal como sua natureza estática ou dinâmica, e ainda quais são seus valores possíveis.

O processo de ETL – extração, transformação e carga de dados – para a construção deste dataset, em particular, não envolveu a coleta massificada de dados, mas sim um levantamento e análise manual cuidadosa oriunda de artigos científicos e produtos de empresas especializadas. A Figura 1 ilustra a visão geral desse processo.

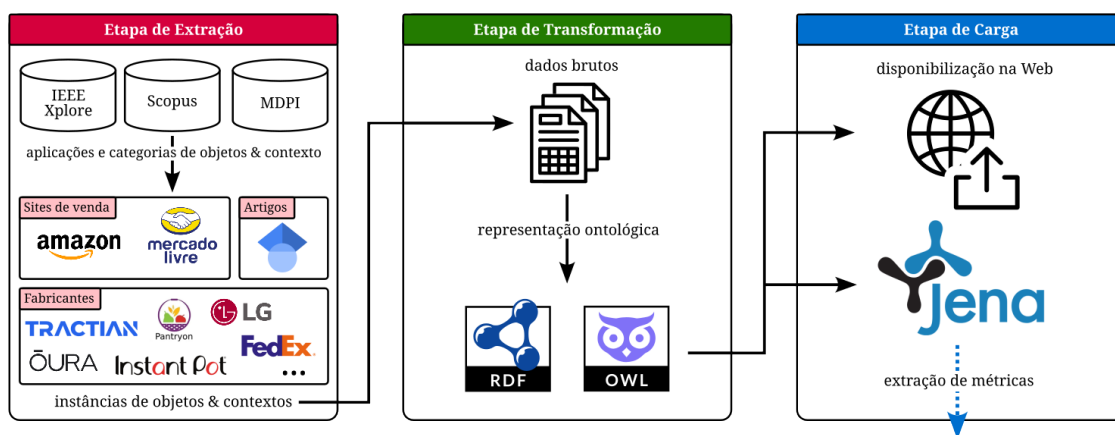


Figura 1. Visão geral das etapas de ETL.

3.1. Extração de Dados

A primeira parte construída para o dataset OD4CoT foi a dos objetos inteligentes. Com o objetivo de torná-la o mais ampla possível, inicialmente foram levantados, na literatura, os domínios de aplicações IoT mais comumente considerados, para que em seguida pudesse ser realizado um mapeamento de aplicações específicas de cada domínio.

Esse processo de mapeamento da literatura foi feito através da construção e refinamento de strings de busca com base na coerência dos resultados, acrescentando e removendo sinônimos de termos-chave. As bases acadêmicas utilizadas foram IEEE Xplore¹, Scopus (Elsevier)² e MDPI³. A Tabela 1 exemplifica as strings de busca utilizadas no mapeamento, cujos termos numa mesma célula foram combinados com o operador “OR” e termos em linhas diferentes, com o operador “AND”.

Os domínios de aplicação identificados como recorrentes na literatura [Kassab and Darabkh 2020, Lohiya and Thakkar 2021, Perwej et al. 2019]

¹<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

²<https://www.scopus.com/>

³<https://www.mdpi.com/>

Tópico	Termos chave
Internet das Coisas	“internet of things”, “iot”
Aplicações	“application”, “use case”, “deployment”, “case studies”, “implementation”
Revisões	“systematic literature review”, “systematic review”, “literature review”, “systematic mapping”, “systematic map”, “survey”, “comprehensive review”, “state of the art review”, “recent advances”, “current trends”, “research trends”, “emerging trends”, “critical review”
Tendências	“challenges”, “trends”, “future directions”, “opportunities”

Tabela 1. Termos das strings de busca.

e considerados neste trabalho foram: *Smart Home* [Williams et al. 2019], *Smart Health* [Haghi Kashani et al. 2021], *Smart Farm* [Friha et al. 2021], *Smart City* [Ketu and Mishra 2022], *Smart Industry* (Indústria 4.0) [Xu et al. 2014] e *Smart Campus* [de Moura Filho et al. 2022]. Para esses domínios, um total de 36 aplicações descritas em artigos científicos foram encontradas, a partir das quais foi realizada uma triagem manual dos ambientes e objetos inteligentes mencionados em cada uma delas. Neste levantamento, foi possível encontrar 150 categorias de objetos inteligentes ao todo.

Em seguida, utilizando os mesmos trabalhos a partir dos quais as categorias de objeto foram obtidas, foi feita também uma triagem manual com o objetivo de identificar a descrição de suas características, direta ou indiretamente. Nesse segundo caso, foi observada a forma de utilização de cada objeto inteligente, de maneira a inferir características que os mesmos deveriam possuir. Por exemplo, o nível de água em uma máquina de lavar, ou a pressão do pneu de um carro inteligente. Todas essas características foram registradas como categorias de contextos das coisas, anotando-se a relação destas com as categorias de objetos inteligentes da base. Sempre que possível, também foram registrados, para cada categoria, o tipo de dados associado e sua natureza estática ou dinâmica. Ao final deste processo, foram encontradas 148 categorias de contexto. Os tipos de dados encontrados foram: booleano, numérico, categórico, localização, data e textual.

Finalizando a etapa de extração, a partir das categorias de objetos foi realizado um levantamento em sites de busca, sistemas de vendas online, bases de artigos acadêmicos e, especificamente, em sites dos fabricantes de objetos inteligentes, para obter instâncias reais dessas categorias, totalizando 408 instâncias de objetos encontradas. Ao encontrar tais instâncias, extraímos, a partir da descrição de suas características fornecidas pela loja e/ou fabricante, as instâncias de contexto das coisas, associando-as às categorias já mapeadas, ou a novas categorias conforme necessário.

3.2. Transformação dos Dados

Todos os dados encontrados ao longo do processo de extração passaram, em seguida, por uma etapa de avaliação criteriosa com o objetivo de serem identificadas categorias de objetos e/ou contexto duplicadas ou com alto grau de similaridade. Estes dados foram considerados redundantes, tendo sido mantido apenas um registro para cada um deles. Objetos e/ou contextos para os quais não foram encontrados registros no mercado ou na literatura, ou que apresentaram características muito experimentais, ou ainda muito específicas para particularidades de uma única aplicação também foram removidos. Vale ressaltar que esta análise também foi realizada de forma manual e por todo o grupo de pesquisadores envolvidos com este trabalho, os quais precisavam estar em concordância para que as ações pudessem ser efetuadas.

Nesta etapa, as descrições brutas das instâncias de contexto foram transformadas para uma representação uniforme, considerando sua natureza estática ou dinâmica, tipo de dados, valores, e unidade de medida, com base em sua respectiva categoria. Sempre que aplicável, os valores brutos foram ajustados para o Sistema Internacional de Unidades (SI), com exceção de informações que são convencionalmente representadas com outras unidades, como é o caso, por exemplo, do tamanho de telas descrito em polegadas.

Inicialmente, os dados levantados para o dataset OD4CoT foram registrados em um formato tabular para posteriormente serem transformados no formato CSV. Entretanto, dada a natureza complexa dos dados, em particular das relações entre contextos e objetos inteligentes, ficou clara a necessidade de utilização de um outro formato.

Assim, todos os dados foram adequados ao padrão RDF (*Resource Description Framework*) [Wood et al. 2014], um modelo de dados baseado em estrutura de grafo para representar fatos e conhecimentos sobre entidades de interesse arbitrárias, e utilizando a sintaxe Turtle (*Terse RDF Triple Language*) [Beckett et al. 2014]. Além disso, foi utilizada a OWL 2 (*Web Ontology Language*) [Consortium et al. 2012], de forma a modelar o dataset como uma ontologia. Os detalhes dessa modelagem são descritos na Seção 4.

3.3. Carga dos Dados

Concluída a transformação dos dados, o dataset OD4CoT foi carregado publicamente na Web⁴ para que pudesse ser consultado por softwares de visualização e edição de ontologia. Em especial, durante a elaboração deste estudo, foi utilizado o Apache Jena⁵, permitindo o armazenamento e consulta dos dados com o objetivo de extrair métricas sobre o dataset.

4. Ontologia

Para manter o escopo da modelagem restrito aos dados levantados ao longo do trabalho, tomamos a decisão de não estender diretamente uma ontologia já existente, mas construir uma própria. No entanto, ontologias relacionadas serviram de referência para a elaboração da hierarquia de classes, com destaque para a SSN [Compton et al. 2012], cujo módulo de unidades de medida foi reaproveitado.

A ontologia do dataset OD4CoT é dividida conceitualmente em quatro módulos principais: definições gerais, contextos, objetos inteligentes, e aplicações. A Figura 2 apresenta uma visão geral da ontologia, que corresponde ao conteúdo do módulo de definições gerais, no qual são introduzidas as classes e propriedades de maior abstração e instanciadas ou especializadas nos demais módulos. Contextos (*Context*) e objetos inteligentes (*SmartObject*) herdam de uma mesma classe, *Resource*, representando tanto recursos de informação, quanto recursos materiais. Com isso, foi possível criar uma mesma propriedade, *hasContext*, capaz de associar contextos a instâncias de qualquer uma dessas classes, como é descrito adiante.

No módulo dos contextos, são descritas as categorias de contexto e suas especificações. Suas principais subclasses, *StaticContext* e *DynamicContext*, são utilizadas para demarcar, respectivamente, contextos estáticos e contextos dinâmicos, mostradas na Figura 2. Além dessas subclasses, para cada categoria de contexto também

⁴<http://nesped1.caf.ufv.br/od4cot>

⁵<https://jena.apache.org/>

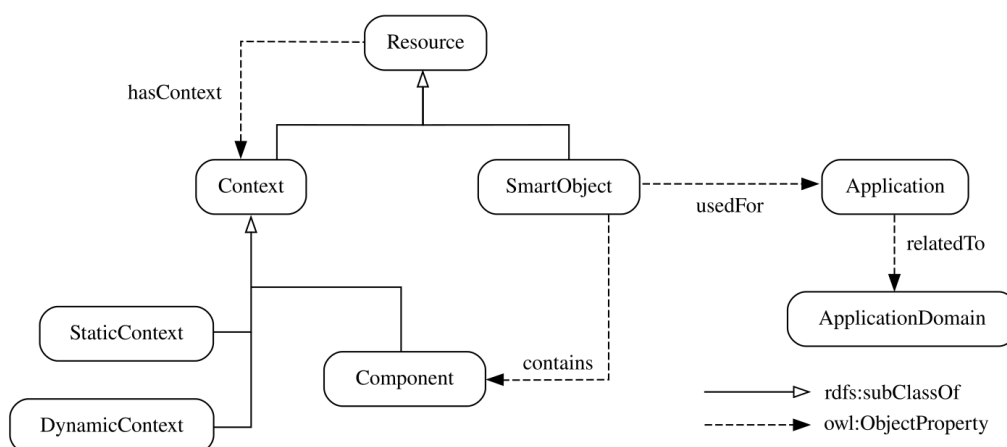


Figura 2. Visão geral da ontologia. As arestas anotadas com `owl:ObjectProperty` indicam o domínio (`rdfs:domain`) e a imagem (`rdfs:range`) das propriedades.

foram criadas subclasses específicas, de tal forma que foi possível definir apenas uma categoria para uma mesma informação que se difere apenas por sua natureza estática ou dinâmica. Por exemplo, a subclasse *Shape* e suas descendentes descrevem o formato e dimensões dos objetos, cujas instâncias geralmente são estáticas. Já a subclasse *Storage* e suas descendentes descrevem diferentes tipos de capacidade de armazenamento, cujas instâncias geralmente são dinâmicas. A Figura 3 exemplifica uma instância de objeto inteligente associada a contextos dessas categorias.

Dentre as instâncias das classes de contexto, existem as que são definidas diretamente pelo seu tipo, valores e unidade de medida (lado esquerdo da Figura 3). A figura também mostra o uso da propriedade `qu:unit`, importada da ontologia SSN, e a propriedade `value`, que indica um valor fixo. Além disso, as propriedades `minInclusive` e `maxInclusive` são uma possibilidade de especificação de intervalo de valores.

No entanto, vários contextos requerem especificações mais detalhadas. Por esta razão, a propriedade `hasContext` foi definida de forma mais generalizada, podendo associar contextos a outros contextos. Ainda na Figura 3, ao lado direito, as propriedades `width`, `height` e `length` são subpropriedades de `hasContext`, indicando a largura, altura e comprimento de um objeto em formato de caixa retangular (*RectBox*). Para cada categoria de contexto que requer especificações mais detalhadas, propriedades derivadas como essas foram criadas, e essas especificações foram contabilizadas como fazendo parte de uma mesma categoria. Por consequência dessa modelagem, tanto em relação à natureza estática ou dinâmica, quanto às especificações dentro de uma mesma categoria de contexto, o total de categorias contabilizadas se reduziu para 96.

Relacionando o módulo dos contextos ao módulo dos objetos inteligentes, a propriedade `hasContext` pode indicar que uma instância de *SmartObject* possui alguma instância de *Context*. Essa propriedade é especificada para cada categoria de contexto associada ao objeto, mas também pode se repetir para uma mesma categoria, indicando alternativas independentes de uma mesma característica. Por exemplo, um mesmo objeto pode ter como fonte de alimentação uma entrada USB, ou um conjunto de baterias, ou possuir múltiplas opções de conectividade de rede, via Wi-Fi ou Bluetooth.

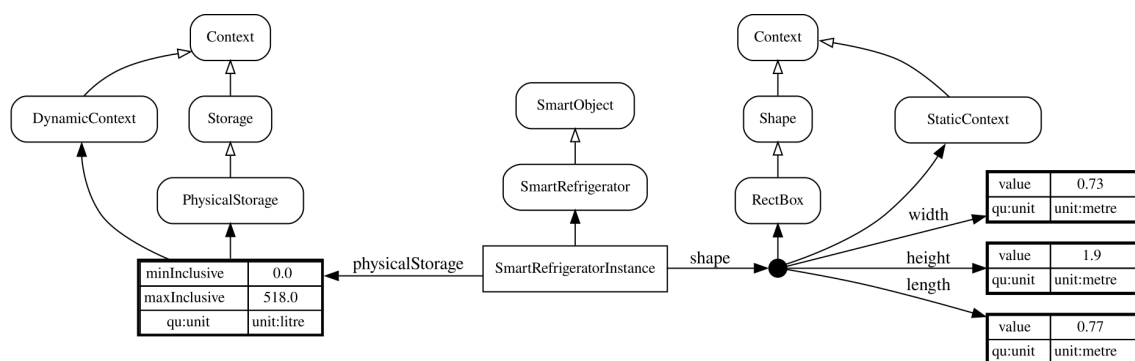


Figura 3. Exemplo de modelagem parcial de um objeto inteligente.

Cada instância de objeto pertence a pelo menos uma classe que indica sua categoria. Ao centro da Figura 3, uma instância da categoria *SmartRefrigerator* é apresentada como exemplo. Além disso, as propriedades *shape* e *physicalStorage* exemplificadas são subpropriedades de *hasContext*, tornando-as mais específicas.

Assim como os contextos podem ser complexos, a descrição dos objetos também fez necessária a associação de componentes pertencentes a um objeto. Retomando a Figura 2, para isso é usada a classe *Component*, que ao mesmo tempo indica a presença desses componentes como um contexto, como também permite associar contextos que se aplicam especificamente a um componente.

Em seguida, a propriedade *usedFor* introduz o módulo das aplicações, indicando que um dado objeto é utilizado em alguma aplicação, instância da classe *Application*. Alguns exemplos incluem comedouros inteligentes (*SmartFeeder*) usados no tratamento de animais (*PetCare*), pisos inteligentes (*SmartFloor*) para a detecção de queda (*FallDetection*), ar condicionado (*SmartAirConditioner*) para controle de temperatura (*TemperatureHumidityControl*), dentre outros. Cada aplicação está associada a uma instância de *ApplicationDomain* através da propriedade *relatedTo*. Seguindo os exemplos, a aplicação *PetCare* está relacionada aos domínios *SmartHome* e *SmartFarm*, enquanto *FallDetection* está relacionada a *SmartHealth* e *SmartHome*.

Finalizada a modelagem ontológica, e feita a carga dos dados como descrito na Seção 3.3, foi possível extrair métricas sobre a distribuição dos dados coletados a partir de consultas SPARQL⁶. A Figura 4a contabiliza quantas categorias de objetos inteligentes estão relacionadas com cada domínio de aplicação, considerando que uma mesma categoria pode estar relacionada a mais de um domínio. A Figura 4b mostra as 10 categorias de contexto mais frequentes, dentre as 96 categorias totais, e a quantidade de instâncias de contexto de cada uma. Complementando essa perspectiva, a Figura 4c mostra a distribuição de instâncias de contexto registradas em cada instância de objeto, considerando apenas as instâncias relacionadas diretamente ao objeto ou a seus componentes.

Assim, vemos que alguns dos contextos das coisas encontrados se mostraram mais populares entre os objetos inteligentes, sendo o formato (*Shape*), a fonte de energia (*PowerSupply*), a interface de controle (*ControlInterface*), e a interface de rede

⁶<https://github.com/NESPEDUFV/od4cot>

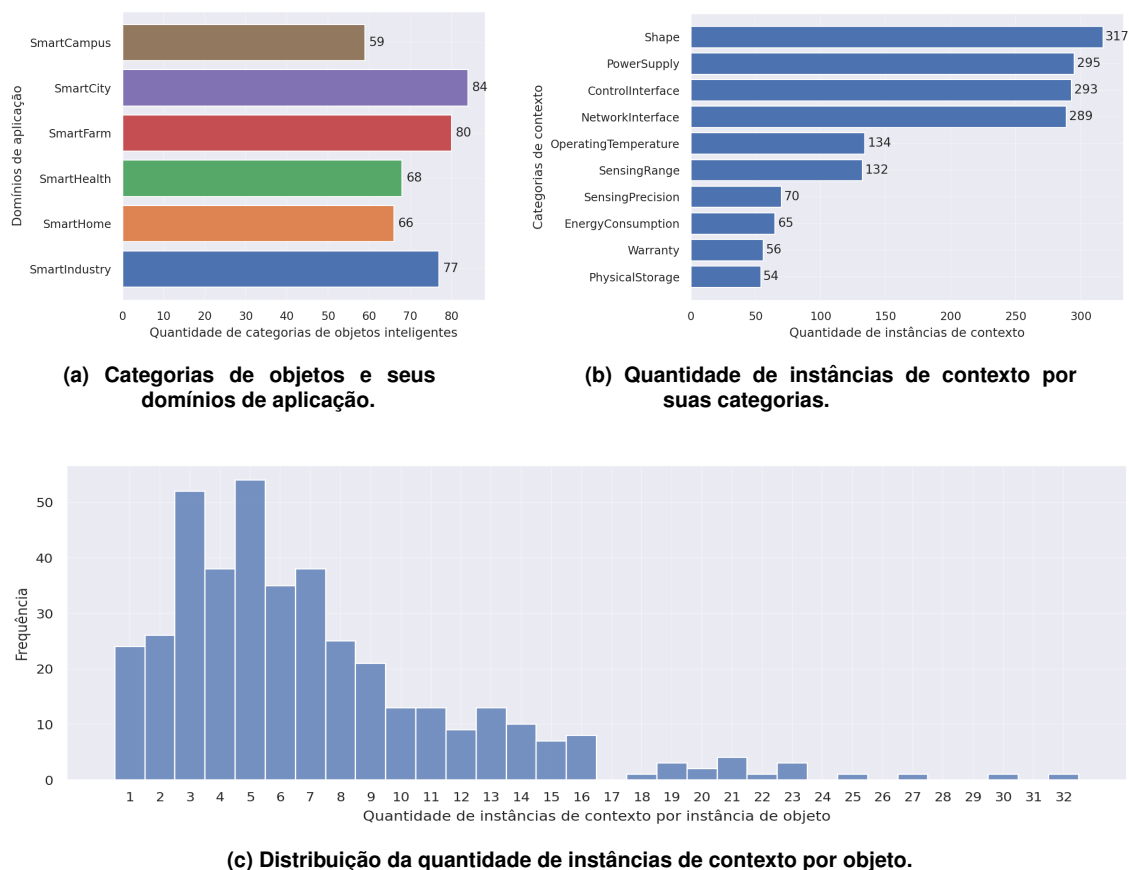


Figura 4. Distribuição de diferentes categorias do dataset.

(NetworkInterface) as categorias de contexto mais presentes. Suas instâncias representam 24,2% do total de 3966 instâncias de contexto.

Em média, as instâncias de objetos inteligentes possuem 7,04 instâncias de contexto mapeados, sendo o máximo encontrado 32. Além disso, cerca de 13,5% das categorias de contextos das coisas foram utilizadas por um único objeto inteligente, uma vez que se tratavam de informações muito específicas.

5. Considerações Finais

Neste trabalho apresentamos o dataset OD4CoT, construído a partir da coleta manual de informações sobre objetos inteligentes, contextos das coisas e o relacionamento entre eles, para variadas categorias de aplicações IoT, a partir de artigos científicos e buscas por produtos de empresas da área. Foram apresentados os detalhes do processo ETL seguido pela construção desta base de dados, bem como a modelagem ontológica realizada com o intuito de disponibilizá-la em um formato de mais fácil compreensão e para melhor processamento automatizado. A partir da ontologia criada, foi possível analisar o dataset e identificar as categorias de contexto mais frequentemente mapeadas em instâncias reais de objeto, bem como as categorias representadas apenas em um objeto.

Algumas direções futuras a ser investigadas incluem ampliar o escopo do dataset tanto em profundidade quanto em largura. Em profundidade, para melhorar a modelagem ontológica de forma a capturar mais informações sobre os objetos, em especial incor-

porando ontologias já existentes. E em largura, no sentido de incluir novas categorias ou instâncias. Em ambos os casos, o uso de ferramentas para extração ou transformação automatizadas também pode ser avaliado. Não obstante, com o dataset apresentado, espera-se que novos estudos possam se beneficiar do acesso a um catálogo amplo de objetos inteligentes para a construção de ambientes IoT em experimentos, simulações ou emulações.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG (Projeto APQ-03126-18), CNPq (Processo 404922/2023-6) e Manna (Manna Team, Fundação Araucária, Softex e CNPq).

Referências

- [Alsaedi et al. 2020] Alsaedi, A., Moustafa, N., Tari, Z., Mahmood, A., and Anwar, A. (2020). Ton.iot telemetry dataset: A new generation dataset of iot and iiot for data-driven intrusion detection systems. *Ieee Access*, 8:165130–165150.
- [Atzori et al. 2017] Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2017). Understanding the internet of things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56:122–140.
- [Beckett et al. 2014] Beckett, D., Berners-Lee, T., Prud’hommeaux, E., and Carothers, G. (2014). Rdf 1.1 turtle. *World Wide Web Consortium*, pages 18–31.
- [Bermudez-Edo et al. 2016] Bermudez-Edo, M., Elsaleh, T., Barnaghi, P., and Taylor, K. (2016). Iot-lite: a lightweight semantic model for the internet of things. In *2016 INTL IEEE conferences on ubiquitous intelligence & computing, advanced and trusted computing, scalable computing and communications, cloud and big data computing, internet of people, and smart world congress (uic/atc/scalcom/cbdcom/iop/smartworld)*, pages 90–97. IEEE.
- [Compton et al. 2012] Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., Garcia-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., Graybeal, J., Hauswirth, M., Henson, C., Herzog, A., et al. (2012). The ssn ontology of the w3c semantic sensor network incubator group. *Journal of Web Semantics*, 17:25–32.
- [Consortium et al. 2012] Consortium, W. W. W. et al. (2012). Owl 2 web ontology language document overview. *W3C Recommendation*.
- [Dadkhah et al. 2022] Dadkhah, S., Mahdikhani, H., Danso, P. K., Zohourian, A., Truong, K. A., and Ghorbani, A. A. (2022). Towards the development of a realistic multidimensional iot profiling dataset. In *2022 19th Annual International Conference on Privacy, Security & Trust (PST)*, pages 1–11. IEEE.
- [De Keersmaecker et al. 2023] De Keersmaecker, F., Cao, Y., Ndonda, G. K., and Sadre, R. (2023). A survey of public iot datasets for network security research. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(3):1808–1840.
- [de Moura Filho et al. 2022] de Moura Filho, H. C., de Souza Matos Júnior, R., and de Ribamar Lima Ribeiro, A. (2022). Iot applications in universities: A systematic mapping. In *Internet of Things – ICIOT 2021*, pages 29–44. Springer International Publishing.
- [Friha et al. 2021] Friha, O., Ferrag, M. A., Shu, L., Maglaras, L., and Wang, X. (2021). Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(4):718–752.

- [Haghi Kashani et al. 2021] Haghi Kashani, M., Madanipour, M., Nikravan, M., Asghari, P., and Mahdipour, E. (2021). A systematic review of iot in healthcare: Applications, techniques, and trends. *Journal of Network and Computer Applications*, 192:103164.
- [He et al. 2012] He, J., Zhang, Y., Huang, G., and Cao, J. (2012). A smart web service based on the context of things. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 11(3):1–23.
- [Kassab and Darabkh 2020] Kassab, W. and Darabkh, K. (2020). A–z survey of internet of things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations. *Journal of Network and Computer Applications*, 163:102663.
- [Ketu and Mishra 2022] Ketu, S. and Mishra, P. (2022). A contemporary survey on iot based smart cities: Architecture, applications, and open issues. *Wireless Personal Communications*, 125:2319—2367.
- [Kortuem et al. 2009] Kortuem, G., Kawsar, F., Sundramoorthy, V., and Fitton, D. (2009). Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE internet computing*, 14(1):44–51.
- [Lohiya and Thakkar 2021] Lohiya, R. and Thakkar, A. (2021). Application domains, evaluation data sets, and research challenges of iot: A systematic review. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11):8774–8798.
- [Neto et al. 2023] Neto, E. C. P., Dadkhah, S., Ferreira, R., Zohourian, A., Lu, R., and Ghorbani, A. A. (2023). Ciciot2023: A real-time dataset and benchmark for large-scale attacks in iot environment. *Sensors*, 23(13):5941.
- [Perera et al. 2013] Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2013). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(1):414–454.
- [Perwej et al. 2019] Perwej, Y., Haq, K., Parwej, F., Mumdouh, M., and Hassan, M. (2019). The internet of things (iot) and its application domains. *International Journal of Computer Applications*, 975(8887):182.
- [Souki et al. 2022] Souki, O., Djemaa, R. B., Amous, I., and Sèdes, F. (2022). A survey of middlewares for self-adaptation and context-aware in cloud of things environment. *Procedia Computer Science*, 207:2804–2813.
- [Williams et al. 2019] Williams, V., Terence J., S., and Immaculate, J. (2019). Survey on internet of things based smart home. In *2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, pages 460–464. IEEE.
- [Wood et al. 2014] Wood, D., Lanthaler, M., and Cyganiak, R. (2014). Rdf 1.1 concepts and abstract syntax. *W3C Recommendation*, W3C.
- [Xu et al. 2014] Xu, L. D., He, W., and Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2233–2243.
- [Xue et al. 2015] Xue, L., Liu, Y., Zeng, P., Yu, H., and Shi, Z. (2015). An ontology based scheme for sensor description in context awareness system. In *2015 IEEE international conference on information and automation*, pages 817–820. IEEE.