

Os Benefícios do Uso de Ontologias em Sistemas Embarcados

Aêda Sousa^{1,2,3}, Timóteo Gomes², Letícia Lima³ and Fernanda Alencar²

¹ Universidade de Pernambuco – UPE, Garanhuns-PE, Brasil

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE, Brasil {aedasousa, fernandaalenc}@gmail.com, tgs@ecomp.poli.br

³ Centro Universitário Unifavip – Caruaru-PE, Brasil {leticialimas_@outlook.com}

Abstract. O desenvolvimento de sistemas embarcados vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Eles são utilizados em diversos domínios (automotiva, aviônica, eletrônica de consumo, entre outras), cada uma com características específicas, e por isso, representam um grande desafio para engenharia de requisitos. A cada dia algumas abordagens para o desenvolvimento de sistemas embarcados são propostas, considerando várias áreas do conhecimento, tais como ontologia e linguagens diagramáticas (UML e SysML). Nos últimos anos, a engenharia de sistemas baseada em ontologias cresceu significativamente. Seu foco é usar ontologias para melhorar o corpo de conhecimento em projetos de sistemas. Elas atuam como facilitadoras de um bom gerenciamento de conhecimento, pois se concentram no estabelecimento de conceitos de domínio bem definidos em termos de terminologias, definições e relacionamentos. Além disso, o uso da semântica formal é essencial para representação explícita, compartilhável e reutilizável. No entanto, existem poucas pesquisas que avaliam os benefícios reais das ontologias para desenvolvimento de sistemas embarcados. Nesse contexto, este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de ontologias no desenvolvimento de sistemas embarcados. O foco é identificar ontologias utilizadas no desenvolvimento desses sistemas, considerando os vários domínios, bem como os benefícios do uso de uma ontologia para esse fim. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão nas fases de condução da revisão, 27 artigos foram selecionados e analisados. As principais evidências positivas encontradas neste estudo estão relacionadas com a fase de requisitos (representação do conhecimento do domínio, facilitar a comunicação entre os Stakeholders e definição dos requisitos).

Keywords: Requisitos, Sistemas Embarcados, Ontologias

1 Introdução

Estamos em um cenário no qual, cada vez mais, a tecnologia é necessária para facilitar o cotidiano das pessoas. Atualmente, é muito raro encontrar qualquer dispositivo eletrônico que não seja controlado por um sistema embarcado. Esses sistemas geralmente recebem dados de entrada a partir de sensores, processam esses dados usando

microcontroladores ou microprocessadores, e enviam os resultados para atuadores e/ou interface com os usuários [1].

Em sistemas embarcados (SE), muitas vezes a engenharia de requisitos é negligenciada em função da simplicidade aparente e da necessidade de agilidade do processo de desenvolvimento, pois o time-to-market (tempo para o mercado) é menor que nos sistemas de modo geral [2], [3]. Os projetos de SE têm aumentado significativamente de tamanho, acompanhando a evolução da complexidade dos componentes eletrônicos que cada vez mais necessitam de um alto grau de confiabilidade, bom desempenho e segurança adequada. Consequentemente, esses aspectos geram novos desafios para a engenharia de requisitos.

Devido às especificidades desses conceitos e suas relações, muitas vezes se torna complexa a compreensão das necessidades que devem ser identificadas e traduzidas em funcionalidades e restrições do sistema pretendido. A complexidade inerente aos diferentes domínios, aliada à necessidade de encontrar defeitos ou faltas de forma rápida e precisa, são fatores importantes a serem considerados no desenvolvimento desses sistemas [4].

A compreensão efetiva do domínio e das necessidades dos stakeholders é fundamental para que se especifique de forma clara, inequívoca e o mais rigorosa possível, em termos de formalidade, as funcionalidades e não funcionalidades do sistema pretendido [5]. A má elicitación e/ou a má especificação podem ser fatores de insucesso dos sistemas em desenvolvimento. A garantia da qualidade e a precisão na definição dos requisitos é essencial para o correto e bom funcionamento dos SEs e para a sua evolução. Isso tem levado a comunidade acadêmica a explorar e estabelecer novas abordagens para o desenvolvimento de SE e integrá-las à diferentes áreas do conhecimento, tais como ontologia.

Ontologia é um componente importante em diversas áreas, fornecendo uniformidade aos conceitos, no que diz respeito à sintaxe e semântica, facilitando a comunicação em diversos domínios [6]. Uma ontologia específica para o domínio de sistemas embarcados pode contribuir para o sucesso do desenvolvimento de tais sistemas, pois apresenta uma formalidade para representar os conceitos internos do domínio e as relações entre eles. Essa formalidade diminui a ambiguidade e inconsistência entre os requisitos [7]. Nesse contexto, buscamos na literatura evidências que o uso de ontologias traz benefícios no desenvolvimento de sistemas embarcados. Portanto, como metodologia de pesquisa, aplicamos uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com objetivo de identificar, interpretar e sintetizar os estudos disponíveis para responder às questões de pesquisa sobre o uso de ontologias no desenvolvimento de sistemas embarcados. Nesse artigo, apresentamos os resultados dos estudos entre 2000 a 2019, realizado de acordo com um protocolo de pesquisa (descrito na seção 3).

Inicialmente identificamos 1734 estudos, após a análise e classificação desses estudos, 27 estudos foram classificados como relevantes para essa pesquisa.

2 Referencial Teórico

Nesta seção, apresentamos o conhecimento de base necessário à compreensão da temática proposta neste trabalho.

2.1 Ontologias e Sistemas Embarcados

Os projetos de sistemas embarcados têm crescido ao longo dos anos, e a produção de hardware e software para esses sistemas exige que o tempo de projeto seja cada vez mais curto [7]. Isso, conseqüentemente, gera novos desafios para engenharia de requisitos. O grande desafio é produzir sistemas embarcados com alto grau de qualidade, que atenda ao mercado antes dele se tornar obsoleto.

Muitas abordagens de engenharia de requisitos não atendem a todas as particularidades de um sistema embarcado. Os SEs são diferentes de sistemas de propósito gerais, pois inúmeras funções a serem implementadas muitas vezes possuem soluções que podem ser programadas por software e por hardware, simultaneamente [3].

Ontologia é uma maneira padrão de representar conceitos e relacionamentos de um domínio específico, ou seja, é uma boa maneira de formalizar o conhecimento. A ontologia é organizada hierarquicamente em um número específico de termos e especificações de seus significados [6]. A criação da ontologia contribui para resolver a heterogeneidade semântica na concepção de sistemas embarcados [7].

A heterogeneidade semântica surge de fontes de dados com diferentes formatos e linguagens de modelagem. Essa heterogeneidade é resultado de fontes de informação sendo construídas por diferentes pessoas com diferentes objetivos em mente [8]. Neste contexto, a ontologia é usada para remover essa heterogeneidade, oferecendo um método para compartilhar um entendimento comum em uma estrutura de informações entre os envolvidos no projeto.

Uma das principais preocupações no desenvolvimento de sistemas embarcados está relacionada à comunicação entre as equipes de hardware e software, que se torna o principal desafio a ser superado neste contexto [8]. A falta de informações e mal-entendidos entre as equipes de hardware e software pode afetar o produto no cronograma e no orçamento, bem como a qualidade geral desse sistema. O uso da ontologia pode facilitar a comunicação entre os engenheiros, pois apresenta um vocabulário comum, claro e compreensível entre as partes interessadas no projeto (Sousa, 2016).

3 Metodologia de Pesquisa

Esta seção apresenta os procedimentos realizados durante o desenvolvimento da revisão sistemática da literatura definido para esse trabalho. Esta revisão é uma extensão de um mapeamento sistemático que foi publicado por [7] que visou traçar um panorama geral sobre ontologias em sistemas embarcados e os problemas em aberto nessa área.

A metodologia pode ser caracterizada por usar métodos sistemáticos e explícitos, que são escolhidos com o objetivo de minimizar erros, possibilitando assim pesquisas mais confiáveis e que possam ser usadas, inclusive, para a tomada de decisões [9].

3.1 Questões de Pesquisa

O principal objetivo dessa revisão sistemática da literatura foi entender o uso de ontologias no domínio de sistemas embarcados. Desta forma, uma questão de pesquisa geral foi definida: “Como as ontologias têm sido utilizadas no domínio de sistemas embarcados?”. Com base nessa questão foram definidas um conjunto de questões. A Tabela 1 apresenta 3 (três) questões de pesquisa utilizadas.

Tabela 1. Questões de Pesquisa.

Questões
Q1 – Quais as etapas no processo de desenvolvimento dos sistemas embarcados foram apoiadas pelo uso da ontologia?
Q2 – Quais os domínios de sistemas embarcados que o estudo suporta?
Q3 – Quais os benefícios relacionados ao uso de ontologias em sistemas embarcados?

3.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

De acordo [9], os critérios de seleção do estudo são usados para identificar estudos primários que fornecem evidências diretas sobre as questões da pesquisa e ajudam a reduzir o viés. Os estudos selecionados para fazer parte dessa revisão sistemática são estudos primários, estudos revisados por pares que discutem o uso de ontologias no desenvolvimento de sistemas embarcados. Os estudos foram publicados de 2000 a 2019. Foram excluídos dessa revisão artigos curtos (≤ 5 páginas), estudo secundário, estudos que não foram revisados por pares, estudos duplicados, artigos não escritos em inglês, artigos não relacionados as questões de pesquisa e artigos que não usavam ontologias no desenvolvimento de sistemas embarcados. Para trabalhos que representam os mesmos resultados de pesquisa, foi aceito o trabalho que apresentou os dados de forma mais completa.

3.3 Fontes de Pesquisa e Seleção

A construção dos termos de busca foi realizada seguindo uma estratégia composta pelos seguintes passos:

- Sinônimos são identificados baseados em artigos conhecidos e relevantes na área de pesquisa
- A *string* de busca é gerada a partir da combinação dessas palavras-chave e sinônimos. São usados os operadores OR (ou) entre os sinônimos identificados e AND (e) entre as palavras-chave

Os termos e sinônimos identificados são apresentados abaixo:

- **Ontologia:** Inglês (*ontology*, *ontologies*).
- **Sistemas embarcados:** Inglês (*embedded systems*, *SafetyCritical Systems*, *Real Time Systems*, *EmbeddedProduct*).

A Tabela 2 apresenta a string de busca utilizada.

Tabela 2. String de Busca.

String de Busca
((<i>ontology</i> OR <i>ontologies</i>) AND (<i>embedded system</i> OR <i>embedded software</i> OR <i>real time system</i> OR <i>safety critical systems</i> OR <i>embedded product</i>))

A busca por trabalhos foi realizada de forma eletrônica, através de mecanismos de busca de *sites web* especializados e de renome científico-acadêmico. Três critérios para a seleção das fontes foram: disponibilidade de consultar os artigos na *web*, presença de mecanismo de busca usando palavras-chave; e importância e relevância das fontes. As fontes foram: IEEE Xplorer¹, Science Direct², Scopus³, ACM Digital Library⁴ e Web of Science⁵.

3.4 Fase de Execução

Para apoiar a extração e registro dos dados e posterior análise, todos os trabalhos encontrados na Etapa I foram exportados para a ferramenta StArt⁶. Em seguida, foi aplicada a Etapa II do protocolo, onde foram lidos os títulos dos trabalhos e resumos e analisados quais estavam disponíveis por completo, dos 1734 estudos resultantes da busca inicial. A Etapa III consistiu em avaliar os resultados por meio da leitura da introdução e conclusão, dos 543 estudos que ficaram da etapa anterior, 33 foram selecionados ao final. Na Etapa IV, os trabalhos aprovados na etapa anterior passaram por uma leitura completa. Por fim, na Etapa V, todos os trabalhos selecionados foram aplicados critérios de qualidade, 27 foram selecionados. Os trabalhos considerados aprovados foram selecionados para compor esse artigo. A Figura. 1 apresenta as etapas para seleção dos trabalhos.

¹<http://ieeexplore.ieee.org>

²<https://www.sciencedirect.com/>

³<http://www.scopus.com>

⁴<https://dl.acm.org/>

⁵<http://apps.webofknowledge.com>

⁶<http://lapes.dc.ufscar.br/software/start-tool>

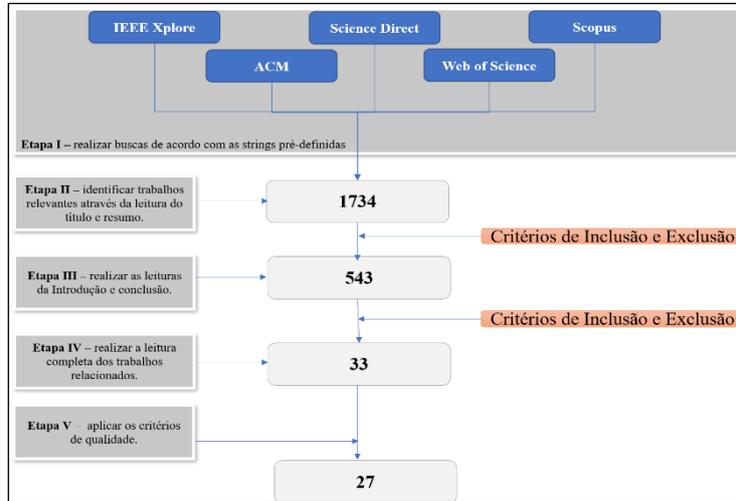


Figura. 1. Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.

3.5 Avaliação da Qualidade

A avaliação da qualidade dos estudos será realizada por meio de uma técnica de pontuação para avaliar a credibilidade, integridade e relevância dos estudos selecionados. Os critérios de avaliação foram adaptados da literatura e proposto pelo autor. As possibilidades de respostas são: 0 (não atende = NA), 1 (atende = A) e 0.5 (atende parcialmente = AP). Os estudos aceitos tiveram uma avaliação acima 60%.

Tabela 3. Critérios de Qualidade.

#	Critério	Respostas
C1	Existe uma justificativa porque o estudo foi realizado?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5
C2	O artigo é baseado em pesquisa (ou apenas um relatório de lições aprendidas com base na opinião de especialistas)?	A = 1, NA = 0
C3	Existe uma afirmação clara sobre os objetivos da pesquisa?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5
C4	A abordagem proposta está claramente descrita?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5
C5	As abordagens suportam mais de um domínio (automotivo, aviônico, médico, outros.)	A = 1, NA = 0
C6	O estudo é suportado por alguma ferramenta?	A = 1, NA = 0
C7	Existe uma discussão sobre os resultados do estudo?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5
C8	A limitação desse estudo é explicitamente discutida?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5
C9	Existe uma descrição clara sobre os problemas em aberto relacionadas ao estudo proposto?	A = 1, NA = 0, AP = 0.5

4 Resultados e Análises

Esta seção exibe os resultados alcançados através da extração dos dados e as respostas às questões de pesquisa. A Tabela 4 apresenta os 27 estudos que foram identificados.

Tabela 4. Estudos Identificados na RSL

Ano	Estudo Primário
2002	EP-05 [10],
2007	EP-04 [11], EP-25 [12]
2010	EP-01 [13], EP-24 [14]
2011	EP-03 [15]
2012	EP-06 [16], EP-13 [17]
2013	EP-15 [18], EP-21 [19], EP-22 [20]
2014	EP-07 [21], EP-11 [22], EP-20 [23], EP-23 [24], EP-19 [25]
2015	EP-10 [26], EP-12 [27]
2016	EP-09 [28], EP-14 [29], EP-17 [30], EP-18 [31]
2017	EP-02 [32], EP-16 [33]
2019	EP-08 [34], EP-26 [35], EP-27 [36]

Ano de Publicação

Os estudos analisados nessa RSL foram publicados entre 2000 a 2019, apresentados no Gráfico 3, sendo o ano de 2014 o que obteve mais resultados, com 19%, seguido pelo ano de 2016, representando 15%, 2010 e 2013 com 11% cada, 2007, 2012 e 2017 com 7% cada e 2002, 2011 e 2015 representaram 4% cada. Mesmo considerando o aumento do número de artigos nos últimos anos, é possível observar que a quantidade de publicações na área cresceu significativamente a partir de 2010, podendo isso representar um aumento no interesse pelo tema de pesquisa. Nos últimos cinco anos teve um aumento significativo na quantidade estudos sobre o tema, destacando o ano de 2014, 2016 e 2019.



Figura. 2. Quantidade de Estudos por Ano

Q1 – Quais as etapas no processo de desenvolvimento dos sistemas embarcados foram apoiadas pelo uso da ontologia?

O objetivo dessa questão é identificar, no desenvolvimento de sistemas embarcados, quais as etapas têm sido utilizadas as ontologias (essas etapas incluem todo o processo de desenvolvimento desses sistemas). O processo de Wolf [5] foi utilizado para classificação dessas etapas. Esse processo propõe cinco etapas em um nível alto de abstração (requisitos, especificação, arquitetura, componentes e integração do sistema). A Figura 3 apresenta as cinco etapas do processo de Wolf e os estudos encontrados para cada etapa. Segundo Wolf (2012), as etapas são:

- **Requisitos** – responsável pelo levantamento dos requisitos. Os requisitos podem ser divididos em requisitos funcionais e não-funcionais.
- **Especificação** – serve como um contrato entre o cliente e os engenheiros de forma mais precisa. Deve ser cuidadosamente escrita, pois reflete com precisão os requisitos do cliente.
- **Arquitetura** – descrever como o sistema implementa as funções é o objetivo dessa etapa. Portanto, essa etapa deve ser concebida para satisfazer os requisitos funcionais e não-funcionais.
- **Componentes** – estruturar os sistemas em componentes de hardware e software. Os componentes são definidos em conformidade com as etapas de especificação e arquitetura.
- **Integração do sistema** – responsável por integrar e testar todas as partes do sistema.

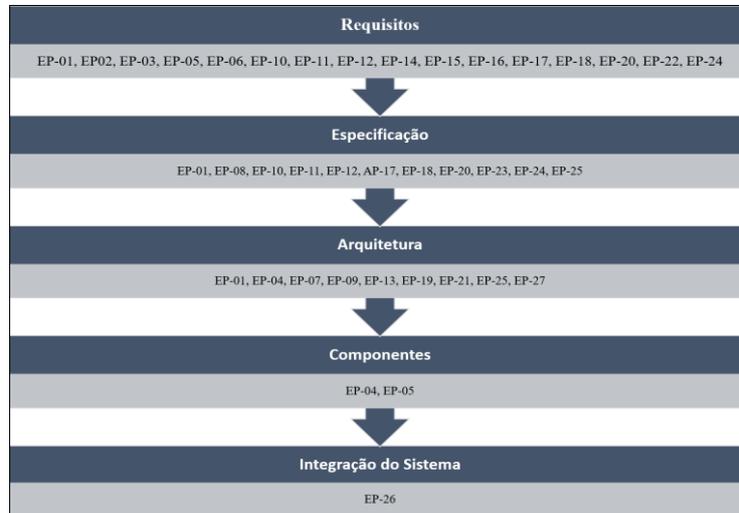


Figura 3. Etapas do Processo de Desenvolvimento Abordados nos Estudos

Analisando a Figura 3, percebemos que os estudos utilizam ontologias em quatro etapas do desenvolvimento de sistemas (requisitos, especificação, arquitetura e componentes). A etapa de requisitos é abordada por 60% dos estudos. Esse resultado era esperado, pois ontologias é uma técnica utilizada para levantamento de requisitos. O uso de ontologias na etapa de requisitos facilita o levantamento, por que possibilita uma descrição exata do conhecimento envolvido na área de sistemas embarcados, evitando que os requisitos sejam interpretados de uma maneira diferentes por diversos stakeholders, o que é muito comum em linguagem natural, onde as palavras tem semântica diferente do contexto do sistema.

A etapa de especificação também é abordada por um grande número de estudos (40%). De fato, até certo ponto, esse resultado era esperado, já que as ontologias podem ser usadas para especificar formalmente os requisitos no desenvolvimento de sistemas embarcados, com o mínimo de interpretações dúbias. A etapa da arquitetura apresentou 33% dos estudos e componentes e integração não é tão representativa, apenas 8% e 4% respectivamente. Isso pode indicar que um pequeno número de artigos está preocupado com o uso de ontologias nessas etapas (**componentes e integração do sistema**), ou outras técnicas têm sido mais precisas para definição dessas etapas.

Q2 – Quais os domínios de Sistemas Embarcados que o estudo suporta?

O objetivo desta pergunta foi identificar os diferentes domínios que os estudos apoiam. Isto pode ajudar a reconhecer quais os domínios precisam de maior atenção, no que diz respeito à ontologia para SE. A pesquisa não se concentrou em um tipo específico de domínio. A tabela 5 apresenta os tipos de domínios explorados pelos

estudos. É importante notar que um estudo poderia ter abordado mais de um domínio do sistema embarcado.

Tabela 5. Domínios dos Sistemas Embarcados

Domínio	Estudo	Quantidade	%
Médico	EP-13 e EP-24	2	8%
Aviônico	EP-09, EP-16 e EP-18	3	12%
Sistemas de Tempo Real	EP-06, EP-15, EP-19 e EP-26	4	15%
Sistemas Críticos	EP-08 e EP-20	2	8%
Nenhum domínio específico	EP-01, EP-02, EP-03, EP-04, EP-05, EP-07, EP-10, EP-11, EP-12, EP-14, EP-17, EP-21, EP-22, EP-23, EP-25 e EP-27	16	60%

O resultado desta questão de pesquisa é importante para identificar os diferentes domínios que são abordados pelos estudos e para quais domínios as ontologias estão sendo propostas. A partir dos resultados da Tabela 5, sistemas aviônicos e sistemas de tempo real foram mais representados (12% e 15% respectivamente), seguido de médico e sistemas críticos (8% cada). A maioria dos estudos não apresentam um domínio específico (60%, 16 estudos primários). Os sistemas embarcados podem ser classificados como automotivos, médicos, eletrônicos de consumo, aviônicos, sistemas críticos, sistemas de tempo real, entre outros. A opção “nenhum domínio específico” foi utilizada para estudos que aborda o uso de ontologias para qualquer tipo de sistemas embarcados. Esses estudos abordam conceitos gerais desses tipos de sistemas, deixando de classificar particularidades específicas de cada domínio.

Q3 – Quais os benefícios relacionados ao uso de ontologias em sistemas embarcados?

O objetivo dessa questão é apresentar os benefícios existentes relacionados ao uso de ontologia no desenvolvimento de sistemas embarcados. É importante porque identifica um conjunto de direções futuras de pesquisa. Os resultados desta questão de pesquisa são importantes para considerar se há evidências para afirmar que o uso de ontologias pode beneficiar positivamente o processo de desenvolvimento de um sistema embarcado. A Tabela 5 apresenta os principais benefícios da utilização de ontologias no desenvolvimento de sistemas embarcados.

Tabela 6. Benefícios do Uso de Ontologias em SE

Benefícios	Estudos	Quantidade	%
Representação do conhecimento do domínio (requisitos)	EP-01, EP-06, EP-12, EP-14, EP-21	5	19%
Facilitar a comunicação entre os	EP-01, EP-08, EP-09, EP-	6	22%

Stakeholders	10, EP-15, EP-25		
Facilitar a etapa de definição de requisitos (diminuição das ambiguidades e inconsistência entre os requisitos)	EP-05, EP-06, EP-07, EP-10, EP-11, EP-13, EP-14, EP-18, EP-20, EP-21	10	38%
Representação dos requisitos não funcionais	EP-03, EP-05, EP-06, EP-13, EP-24	5	19%
Integração entre os requisitos e arquitetura (hardware e software)	EP-04, EP-05, EP-19 e EP-27	4	15%
Não especificou	EP-02, EP-14, EP-16, EP-17, EP-22, EP-23 e EP-26	7	26%

Os resultados mostram que a maioria dos estudos estão utilizando ontologias para auxiliar o processo de desenvolvimento dos sistemas embarcados. É importante destacar que mais de 50% afirmam melhorias relacionadas aos requisitos do sistema. Os principais benefícios encontrados nos artigos foram:

Representação do conhecimento do domínio (19%) – durante o desenvolvimento de um sistema embarcado, há muitos motivos para incluir conceitos do domínio do problema durante todo projeto. Além de tornar o sistema mais compreensível para aqueles com entendimento de domínio, torna-se possível verificar se o sistema está em conformidade com os critérios de correção expressos no domínio de interesse. As ontologias são boas para representar o conhecimento do domínio, facilitando o levantamento de requisitos e, portanto, produzir especificações de requisitos com melhor qualidade.

Facilitar a comunicação entre os Stakeholders (22%) – o uso da ontologia pode facilitar a comunicação entre os engenheiros, pois apresenta um vocabulário comum entre todos os envolvidos no projeto. Esse é um ponto vital no desenvolvimento desses sistemas, pois os envolvidos no projeto (engenheiros de hardware, software, entre outros) precisam de técnicas para facilitar a comunicação entre eles.

Facilitar a etapa de definição dos requisitos (38%) – a etapa de definição de requisitos é considerada a mais crítica no processo de desenvolvimento desses sistemas, ela serve como entrada para as outras etapas. Um erro em um requisito pode comprometer todo o sistema. Portanto, o uso de ontologias é importante para padronizar e entender os requisitos, ajudando a reduzir a ambiguidade. Ontologias também ajudariam na verificação automática de erros.

Representação dos requisitos não-funcionais (19%) – esses requisitos são os principais no domínio dos sistemas embarcados e precisam de uma especificação mais precisa. Contudo, são poucas as técnicas que dão prioridade a esse tipo de requisito. Eles envolvem requisitos de hardware e software. O uso de ontologia facilita a padronização desses requisitos e podem ser reutilizados em outros projetos.

Integração entre os requisitos e arquitetura (15%) – a fase de requisitos diz apenas o que o sistema faz, e a arquitetura diz como o sistema faz. É na fase de arqui-

tetura que descreve como o sistema implementa as funcionalidades. Portanto, o uso de ontologias facilita a integração da fase de requisitos e arquitetura, pois acontece uma formalidade na definição dos requisitos (funcionais e não-funcionais).

5 Conclusões

Podemos perceber que, por se tratar de uma área com vários domínios, cada um com características diferentes, e composta por profissionais com um conhecimento maior de *hardware*, mas com baixo aproveitamento pela área de ER, a engenharia de requisitos para especificação de sistemas embarcados é um campo que precisa de uma atenção maior quando comparado aos sistemas de propósito geral. Isso tem levado a comunidade acadêmica a explorar e estabelecer novas abordagens para o desenvolvimento de SE e integrá-las à diferentes áreas do conhecimento, tais como ontologia.

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura, na qual foi possível identificar trabalhos relevantes que ajudaram a responder às três questões de pesquisa estabelecidas. Dos 1734 estudos primários encontrados, 27 artigos foram selecionados para o grupo final a ser estudado.

A RSL permitiu observar que mais 60% dos artigos tem utilizado ontologias nas fases de requisitos. Observou-se que muitas dessas ontologias foram desenvolvidas para domínios específicos de SE, uma vez que cada área possui características específicas. Além disso, observou-se que o uso de ontologias no desenvolvimento de SE tem alguns benefícios. Os principais benefícios identificados no estudo foram facilitar a representação do conhecimento do domínio, facilitar a comunicação entre os Stakeholders, auxiliar a fase de definição dos requisitos, representar os requisitos não-funcionais e integração entre os requisitos e arquitetura.

Os resultados apresentados nessa RSL podem ser úteis para a comunidade de sistemas embarcados, uma vez que reúne evidências dos estudos, formando um corpo de conhecimento sobre o uso de ontologias no domínio de sistemas embarcados. A relevância de um trabalho também pode ser avaliada pelas oportunidades de trabalhos futuros que ele oferece. Portanto, buscando obter essa importância, a partir deste estudo, identificamos algumas direções para pesquisas futuras na área. O primeiro é apresentar os resultados de outras questões de pesquisas definidas na RSL (levantamento de requisitos funcionais e não-funcionais para esses tipos de sistemas; tipos de ontologias e linguagens utilizadas). O segundo será elaborar uma ontologia específica para o domínio de sistemas embarcados.

Referências

1. M. Broy and T. Stauner, "Requirements engineering for embedded systems," *Informationstechnik und Tech. Inform.*, vol. 41, pp. 7–11, 1999.
2. P. Braun *et al.*, "Guiding requirements engineering for software-intensive embedded systems in the automotive industry," *Comput. Sci. - Res. Dev.*, vol. 29, no. 1, pp. 21–43, Oct. 2010, doi: 10.1007/s00450-010-0136-y.

3. J. Ossada, “GERSE – GUIA DE ELICITAÇÃO DE REQUISITOS PARA SISTEMAS EMBARCADOS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE,” 2010.
4. T. Pereira, A. Sousa, R. Oliveira, D. Albuquerque, F. Alencar, and J. Castro, “A metamodel to guide a requirements elicitation process for embedded systems,” *Proc. - 2018 Int. Conf. Qual. Inf. Commun. Technol. QUATIC 2018*, pp. 101–109, 2018, doi: 10.1109/QUATIC.2018.00023.
5. M. Wolf, *Computers as components: principles of embedded computing system design*. Elsevier, 2012.
6. A. Pease, *Ontology: A practical guide*. Articulate Software Press, 2011.
7. A. Sousa, T. Couto, C. Agra, and F. Alencar, “Use of Ontologies in Embedded Systems: A Systematic Mapping,” in *2016 10th International Conference on the Quality of Information and Communications Technology (QUATIC)*, 2016, pp. 1–8, doi: 10.1109/QUATIC.2016.011.
8. K. Yacout, V. Ebrahimipour, and S. Yacout, “Ontology Based Modeling of a Complex Real Time System,” 2014.
9. B. Kitchenham, “Procedures for performing systematic reviews,” *Keele, UK, Keele Univ.*, vol. 33, no. 2004, pp. 1–26, 2004.
10. I. L. Yen, J. Goluguri, F. Bastani, L. Khan, and J. Linn, “A component-based approach for embedded software development,” *Proc. - 5th IEEE Int. Symp. Object-Oriented Real-Time Distrib. Comput. ISORC 2002*, pp. 402–410, 2002, doi: 10.1109/ISORC.2002.1003805.
11. K. C. Thamboulidis, G. S. Doukas, and G. V. Koumoutsos, “Device modeling for a flexible embedded systems development process,” *Proc. - 10th IEEE Int. Symp. Object Component-Oriented Real-Time Distrib. Comput. ISORC 2007*, pp. 337–342, 2007, doi: 10.1109/ISORC.2007.30.
12. V. Štūkys and R. Damaševičius, “DESIGN OF ONTOLOGY-BASED GENERATIVE COMPONENTS USING ENRICHED FEATURE DIAGRAMS AND METAPROGRAMMING,” *Inf. Technol. Control*, vol. 37, no. 4, 2015.
13. V. Mezhyuev, B. Spath, and E. Verhulst, “Interacting entities modelling methodology for robust systems design,” *Proc. - 2nd Int. Conf. Adv. Syst. Test. Valid. Lifecycle, VALID 2010*, pp. 75–80, 2010, doi: 10.1109/VALID.2010.24.
14. N. Koay, P. Kataria, and R. Juric, “Semantic management of nonfunctional requirements in an e-Health system,” *Telemed. e-Health*, vol. 16, no. 4, pp. 461–471, 2010, doi: 10.1089/tmj.2009.0120.
15. O. Daramola, T. Stålhane, T. Moser, and S. Biffel, “A Conceptual Framework for Semantic Case-based Safety Analysis Flexible Automation Systems,” *Proc. IEEE 16th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom.*, pp. 1–8, 2011.
16. J. Bowen and A. Hinze, “Using ontologies to reason about the usability of interactive medical devices in multiple situations of use,” *EICS’12 - Proc. 2012 ACM SIGCHI Symp. Eng. Interact. Comput. Syst.*, pp. 247–256, 2012, doi: 10.1145/2305484.2305525.
17. E. Prestes *et al.*, “Towards a core ontology for robotics and automation,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 61, no. 11, pp. 1193–1204, 2013, doi: 10.1016/j.robot.2013.04.005.
18. X. Lin, H. Zhang, and M. Gu, “OntCheck: An Ontology-Driven Static Correctness Checking Tool for Component-Based Models,” *J. Appl. Math.*, vol. 2013, 2013.
19. P. P. F. Barcelos, V. A. Dos Santos, F. B. Silva, M. E. Monteiro, and A. S. Garcia, “An automated transformation from OntoUML to OWL and SWRL,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1041, no. September 2014, pp. 130–141, 2013, doi: 10.13140/RG.2.1.1007.5923.
20. S. J. Körner, M. Landhäußer, and W. F. Tichy, “Transferring research into the real world: How to improve RE with AI in the automotive industry,” *2014 IEEE 1st Int. Work. Artif.*

- Intell. Requir. Eng. AIRE 2014 - Proc.*, pp. 13–18, 2014, doi: 10.1109/AIRE.2014.6894851.
21. M. Vasilevskaya, L. A. Gunawan, S. Nadjm-Tehrani, and P. Herrmann, “Integrating security mechanisms into embedded systems by domain-specific modelling,” *Secur. Commun. Networks*, vol. 7, no. 12, pp. 2815–2832, 2013.
 22. A. Venticinque, N. Mazzocca, and S. Venticinque, “A Semantic Support for Testing Activities of Safety-Critical Embedded Systems,” in *Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2014 Eighth International Conference on*, 2014, pp. 576–581.
 23. I. M. Diaconescu and G. Wagner, “Towards a general framework for modeling, simulating and building sensor/actuator systems and robots for the Web of Things,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1319, pp. 30–41, 2014.
 24. O. Hoftberger and R. Obermaisser, “Ontology-based runtime reconfiguration of distributed embedded real-time systems,” in *Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2013 IEEE 16th International Symposium on*, 2013, pp. 1–9.
 25. L. Liu and M. Aoyama, *Requirements Engineering in the Big Data Era*, vol. 558. 2015.
 26. M. Vasilevskaya and S. Nadjm-Tehrani, “Support for cross-domain composition of embedded systems using MARTE models,” *ACM SIGBED Rev.*, vol. 12, no. 1, pp. 37–45, 2015, doi: 10.1145/2752801.2752806.
 27. H. Tan, M. Ismail, V. Tarasov, A. Adlemo, and M. Johansson, “Development and Evaluation of a Software Requirements Ontology,” *SKY 2016 - 7th Int. Work. Softw. Knowledge, Proc. - conjunction with IC3K 2016*, pp. 11–18, 2016, doi: 10.5220/0006079300110018.
 28. E. Negri, L. Fumagalli, M. Garetti, and L. Tanca, “Requirements and languages for the semantic representation of manufacturing systems,” *Comput. Ind.*, vol. 81, pp. 55–66, 2016, doi: 10.1016/j.compind.2015.10.009.
 29. M. Daun, J. Brings, T. Weyer, and B. Tenbergen, “Fostering concurrent engineering of cyber-physical systems: A proposal for an ontological context framework,” *2016 3rd Int. Work. Emerg. Ideas Trends Eng. Cyber-Physical Syst. EITEC 2016*, pp. 5–10, 2016, doi: 10.1109/EITEC.2016.7503689.
 30. M. Schmit, S. Briceno, K. Collins, D. Mavris, K. Lynch, and G. Ball, “Semantic design space refinement for model-based systems engineering,” *10th Annu. Int. Syst. Conf. SysCon 2016 - Proc.*, 2016, doi: 10.1109/SYSCON.2016.7490579.
 31. F. Zeshan *et al.*, “Ontology-based service discovery framework for dynamic environments,” *IET Softw.*, vol. 11, no. 2, pp. 64–74, 2017, doi: 10.1049/iet-sen.2016.0048.
 32. S. Jafer, B. Chhaya, and U. Durak, “OWL ontology to ecore metamodel transformation for designing a domain specific language to develop aviation scenarios,” *Simul. Ser.*, vol. 49, no. 7, pp. 23–33, 2017, doi: 10.22360/springsim.2017.mod4sim.003.
 33. Y. Suryawanshi, H. Qiu, A. Ayara, and B. Glimm, “An ontological model for map data in automotive systems,” *Proc. - IEEE 2nd Int. Conf. Artif. Intell. Knowl. Eng. AIKE 2019*, pp. 140–147, 2019, doi: 10.1109/AIKE.2019.00034.
 34. N. T. M. Saeed, C. Weber, A. Mallak, M. Fathi, R. Obermaisser, and K. D. Kuhnert, “ADISTES ontology for active diagnosis of sensors and actuators in distributed embedded systems,” *IEEE Int. Conf. Electro Inf. Technol.*, vol. 2019-May, pp. 572–577, 2019, doi: 10.1109/EIT.2019.8834013.