



GUSTAVO TSUYOSHI ARIGA

## **WotPy: Solução de Problemas e Exemplo de Uso**

São Paulo, SP

2023



GUSTAVO TSUYOSHI ARIGA

## **WOTPY: SOLUÇÃO DE PROBLEMAS E EXEMPLO DE USO**

Plano de atividades apresentado como parte dos requisitos necessários para cumprimento da disciplina ACH2017 ou ACH2018 - Projeto Supervisionado ou de Graduação I ou II.

Orientador: Professores Fábio Nakano e José de Jesús Pérez-Alcázar

São Paulo, SP

2023

# 1 RESUMO

À medida que a Internet das Coisas (IoT) se populariza, cresce também a demanda por sistemas capazes de integrar dispositivos de várias marcas em uma aplicação unificada. No entanto, as restrições atuais da IoT tornam difícil a interoperabilidade entre esses dispositivos. Para contornar esse problema, o consórcio World Wide Web (W3C) (W3C, 2022a) sugeriu a Web das Coisas (WoT) (GROUP, 2015a) como uma solução arquitetônica que utiliza a Web para promover a comunicação eficiente entre dispositivos IoT.

Dentro desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo implantar e aprimorar o WoTPy (García Mangas; Suárez Alonso, 2019), um gateway experimental baseado no W3C-WoT (LAGALLY et al., 2023), compatível com protocolos como HTTP, Websockets, MQTT e CoAP. O plano de atividades abrange a solução dos problemas de instalação do WoTPy <<https://github.com/agmangas/wot-py>>, a documentação do processo e a elaboração de exemplo prático de uso. Adicionalmente, caso tudo ocorra como planejado, no próximo semestre (segundo semestre de 2023), será abordada a integração do WoTPy com grafos de conhecimento, visando melhorar a interoperabilidade dos dispositivos IoT e possibilitar a divulgação das capacidades dos sensores e suas observações através de um endpoint SPARQL <<https://sparqlwrapper.readthedocs.io/en/latest/>>.

Ao longo do projeto, serão investigados os materiais e métodos necessários para alcançar os objetivos estabelecidos, como a seleção de bibliotecas adequadas e das dependências. O resultado esperado é um gateway WoTPy funcional, que possa ser facilmente instalado e utilizado para aprimorar a integração e comunicação entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes.

## 2 PALAVRAS CHAVES

Internet das Coisas (IoT), Web das Coisas (WoT), World Wide Web Consortium (W3C), WoTPy

### 3 MODALIDADE

- ( ) Trabalho de Graduação Curto – 1 semestre - individual
- (X) Trabalho de Graduação Longo (parte 1) – 1 ano – individual
- ( ) Trabalho de Graduação Longo (parte 2) – 1 ano - individual
- ( ) Trabalho de Graduação Curto – 1 semestre – grupo
- ( ) Trabalho de Graduação Longo (parte 1) – 1 ano – grupo
- ( ) Trabalho de Graduação Longo (parte 2) – 1 ano - grupo

## 4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Há alguns anos os orientadores colaboram, atuando com dispositivos (computacionais) físicos, Internet e Web Semântica, tendo orientado trabalhos de Iniciação Científica e de Conclusão de Curso. Do ponto de vista dos orientadores, que receberam um orientando interessado em desenvolver trabalho neste assunto, o ponto passa a ser *onde aplicar a capacidade de trabalho do orientando em assuntos de interesse dos orientadores de maneira a dar alguma contribuição no assunto*.

Com a intenção de fornecer referências fixas para elaboração deste plano de atividades, algumas escolhas de termos e conceitos serão feitas sem considerações detalhadas que, acredita-se, não são pertinentes ao escopo deste plano de atividades.

Web das Coisas (*Web of Things*) é um termo criado por volta de 2007 e tem várias interpretações. Atualmente é definido pelo World Wide Web Consortium (W3C) como:

*The Web of Things includes sensors and actuators, physical objects and locations, and even people. The Web of Things is essentially about the role of Web technologies to facilitate the development of applications and services for things and their virtual representation. Some relevant Web technologies include HTTP for accessing RESTful services, and for naming objects as a basis for linked data and rich descriptions, and JavaScript APIs for virtual objects acting as proxies for real-world objects. Key benefits for doing this work at W3C include the W3C emphasis on ensuring that W3C standards can be implemented royalty free, thereby encouraging innovation, and the availability of the large community of web developers. Standards are needed to realize the economic and human potential, and to avoid the risk of fragmentation caused by a plethora of non-interoperable proprietary solutions.* (GROUP, 2015b), (GROUP, 2015a)

Em tradução livre, a *Web das Coisas* inclui sensores e atuadores, objetos físicos e locais e mesmo pessoas. A *Web das Coisas* é essencialmente sobre o papel das tecnologias Web na facilitação do desenvolvimento de aplicações e serviços para coisas e sua representação (no ambiente) virtual. Algumas tecnologias Web relevantes incluem HTTP para acessar serviços RESTful e para nomear objetos, como uma base para dados ligados e descrições (semanticamente) ricas e interfaces JavaScript para objetos virtuais que agem como representações de objetos do mundo real. Os benefícios deste trabalho realizado pela W3C incluem a ênfase que as normas possam ser implementadas sem necessidade de pagamento de royalties, portanto, encorajando inovação, e a disponibilidade de uma grande comunidade de desenvolvedores web. Normas são necessárias para viabilizar o potencial econômico e humano e evitar o risco de fragmentação causado pela proliferação de soluções proprietárias não interoperáveis.

A escolha dessa definição para Web das Coisas tem como consequência a adesão, no mínimo parcial, a um conjunto de padrões criados pelo W3C, então cabe analisar se esta escolha é conveniente.

Nessa definição está implícito o desejo de interconectar sensores, atuadores, objetos físicos, locais e pessoas através de uma rede (um sistema de informação). É possível especular sobre consequências da implantação da tal rede, por exemplo seu impacto econômico, como fez a consultoria McKinsey em 2015 (MANYIKA et al., 2015).

Considerando os desafios técnicos e os interesses econômicos, é de se esperar que, em contraposição à formação de um consórcio para chegar a uma solução (tecnológica) consensual, diferentes organizações criarão (como criaram) suas próprias redes, abordando casos (exemplos, testes) que têm especificidades, propondo soluções particulares a problemas. Fazer essas redes interoperar, em diversos níveis, como

compartilhar observações de sensores, compartilhar sensores, séries históricas de dados, análises de séries históricas, ... é um grande desafio que é citado em (STIRBU, 2008) (GYRARD et al., 2017). (García Mangas; Suárez Alonso, 2019), (TZAVARAS et al., 2021). A persistência desse desafio ao longo do tempo indica que, apesar das várias propostas de soluções e “normas”, não há consenso em todos os aspectos.

Neste cenário, nota-se que o W3C declara ser uma comunidade internacional de organizações-membro. A missão do W3C é desenvolver o potencial da World Wide Web (WWW) através da criação de normas através de um processo baseado em consenso e alimentado pelas contribuições de seus membros. (Composição da informação em (W3C, 2022a), (W3C, 2022b), (W3C, 2022c)). Várias empresas e pesquisadores (citados nos artigos acima) contribuem ou contribuíram para o W3C.

É possível confiar que as propostas, recomendações e normas do W3C contenham elementos que já estão em uso, tenham boa abrangência, devido ao processo de criação, e que persistam com o passar do tempo, apesar da certeza que as tecnologias, como HTTP, REST, JavaScript, tornar-se-ão obsoletas em algum momento.

As atividades do W3C em torno da Web das Coisas definem, até certo ponto, a arquitetura para a Web das Coisas (MATSUKURA et al., 2023) e já conta com ferramentas que usam e implementam essa arquitetura (W3C, 2022d).

Considerando que o argumento acima indique grande uso, abrangência, persistência, informação, documentação e quantidade de ferramentas disponíveis, conclui-se que convém seguir, mesmo que parcialmente, o conceito de Web das Coisas proposto pelo W3C.<sup>1 2</sup> Cabe agora estreitar o escopo do trabalho para chegar ao objetivo.

A arquitetura para Web das Coisas (MATSUKURA et al., 2023) destaca os elementos que fazem parte da rede, e sua interconexão. Tal arquitetura pode ser detalhada em vários sentidos, por exemplo, definindo como esses elementos são organizados e, caso sejam dispositivos computacionais, o que é executado neles. Entretanto, aparentemente, o foco do W3C, está no (re)uso da infraestrutura e dos protocolos criados para Internet. Consequentemente, a coleção de exemplos de aplicação da Web das Coisas, apresentada na seção 4 e os padrões (*pattern*) usados para implantação trazem poucos detalhes, mas o protocolo de comunicação entre os dispositivos é detalhado até o conteúdo, codificado no protocolo JSON, da requisição POST, codificada no protocolo HTTP, trocada entre dispositivos (MCCOOL; KORKAN; KÄBISCH, 2023).

Nota-se que, exceto em aplicações muito simples, a arquitetura prevê a existência de dispositivos na fronteira entre a rede interna e a rede externa (Internet), região frequentemente referenciada como borda (*edge*) (SATYANARAYANAN, 2017). A computação realizada em dispositivos de borda frequentemente é denominada *fog computing* (BONOMI et al., 2012). Pela proximidade com os sensores e atuadores, que frequentemente são limitados em capacidade de computação, disponibilidade de energia, tamanho, acesso físico direto, entre outras, a maioria das propostas e implementações, quando preocupam-se com interoperabilidade entre dispositivos, implementam esta característica no dispositivo de borda (STIRBU, 2008) (GYRARD et al., 2017). (García Mangas; Suárez Alonso, 2019) que frequentemente é denominado *gateway*.

Por sua posição na rede, o *gateway* é o dispositivo onde a maioria dos desenvolvedores implementa, além da interoperabilidade entre dispositivos, privacidade e segurança de dados, descoberta de dispositivos, interfaces (básicas) com o usuário. Desta forma, o *gateway* é uma plataforma necessária, talvez essencial,

<sup>1</sup> Neste ponto do texto, acredita-se que esteja claro que interoperabilidade entre redes IoT ainda é um desafio, que interoperabilidade pode se dar em vários níveis e que é conveniente seguir as recomendações do W3C.

<sup>2</sup> Interoperabilidade, como tema amplo, é citado como um dos grandes desafios na área de Sistemas de Informação (BOSCARIOLI; ARAÚJO; MACIEL, 2017)

para a construção de serviços baseados em dispositivos e nos dados gerados por estes.

Resultados preliminares do projeto de Iniciação Científica voluntária “Uma avaliação sobre gateways IoT e sua integração com Web Semântica”, de Daniel Macris, em desenvolvimento na EACH, atraíram atenção para um arcabouço para desenvolvimento de objetos na Web das Coisas, um desses objetos são *gateways*, chamado WotPy (García Mangas; Suárez Alonso, 2019). Este arcabouço foi criado no ambiente acadêmico (em contraposição a grandes comunidades ou empresas), com a intenção declarada de implementar as recomendações W3C (em contraposição a atender um determinado nicho, como domótica), implementa vários protocolos de comunicação com dispositivos como HTTP, MQTT, CoAP, é codificado em Python, encapsulado com Docker, aparentemente, não é muito extenso, e é citada na lista de aplicações para Web das Coisas da W3C (W3C, 2022d). Entretanto, há dificuldade para instalação e operação na plataforma testada por Daniel.

Gustavo Ariga desenvolveu, como projeto na disciplina ACH2157-Computação Física, o projeto Protetor Solar (ARIGA; MARUYAMA, 2022), onde ganhou familiaridade com dispositivos baseados no microcontrolador ESP32 e programados em MicroPython e com comunicação baseada no protocolo HTTP, tem experiência com Docker.

Há um bom ajuste entre as habilidade de Gustavo Ariga com as necessidades para criar uma nova versão de WotPy, resolvendo as dificuldades levantadas por Daniel. WotPy contém um conjunto de testes, então o indicador de sucesso é passar nos testes. Acredito que isso seja feito em um ou dois meses. No restante do semestre, gostaria que Gustavo ajustasse a comunicação do dispositivo Protetor Solar (ou similar) para que a comunicação (handshake de publicação de capacidades e transmissão de observações) fosse feita dentro da recomendação W3C-WoT.

Supondo que este TCC atinja completo sucesso, no semestre seguinte (2023-2), Gustavo explorará a integração de WotPy com grafos de conhecimento em uma área denominada *Semantic Web of Things* - *SWoT* (SCIOSCIA; RUTA, 2009) (JARA et al., 2014). Os conceitos em que se baseia essa área e a justificativa para o trabalho serão detalhados no plano de atividades do próximo semestre. Nesta ocasião os resultados das atividades propostas no presente plano estarão determinados o que permitirá detalhar os passos do plano do próximo semestre com melhor qualidade. Neste momento, o que se antevê é:

- Capacitação do aluno para o ferramental de grafos de conhecimento;
- escolha de uma plataforma para armazenamento de grafos de conhecimento;
- armazenamento das capacidades do sensor codificadas em SSN e das observações em SOSA (JANOWICZ et al., 2019), (JANOWICZ et al., 2017)
- publicização desses grafos através de um endpoint SPARQL;
- definição e implementação de casos de teste da integração.

Neste momento, acredita-se que as bibliotecas RDFLib (<https://rdflib.readthedocs.io/en/stable/>), OWLReady (<https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/>), Flask (<https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>), Django (<https://www.djangoproject.com/>), SPARQLWrapper (<https://sparqlwrapper.readthedocs.io/en/latest/>) e o projeto rdflib-endpoint (<https://github.com/vemonet/rdflib-endpoint>) sejam subsídios para as atividades do segundo semestre.



## 5 OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento do WoTPy <<https://github.com/agmangas/wot-py>>, um *gateway* experimental baseado no W3C-WoT, que melhora a interoperabilidade entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes, facilitando a comunicação e integração em uma única aplicação ou sistema.

### 5.2 Objetivo Específico

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

1. Analisar as especificações do W3C-WoT (LAGALLY et al., 2023) e compreender os principais conceitos e requisitos para a implementação do WoTPy;
2. Selecionar e estudar as bibliotecas e ferramentas das dependências do WoTPy;
3. Resolver problemas de instalação, garantindo que o WoTPy possa ser facilmente implantado e configurado em diferentes ambientes e sistemas;
4. Testar e validar as contribuições feitas;
5. Desenvolver exemplo de uso e documentação detalhada para auxiliar desenvolvedores e usuários na implementação do WoTPy em seus projetos IoT;

Caso esses objetivos específicos sejam cumpridos no primeiro semestre de 2023, o objetivo para o próximo semestre (segundo semestre de 2023) é abordar a integração do WoTPy com grafos de conhecimento. Essa integração visa melhorar ainda mais a interoperabilidade dos dispositivos IoT e possibilitar a divulgação das capacidades dos sensores e suas observações através de um endpoint SPARQL.

## 6 RELEVÂNCIA OU JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho é de grande relevância devido à crescente demanda por soluções que facilitem a integração e interoperabilidade entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes. À medida que a Internet das Coisas se expande e se torna cada vez mais comum, é fundamental abordar as dificuldades e limitações atuais de comunicação e integração entre dispositivos IoT como citado em (STIRBU, 2008) (GYRARD et al., 2017). (García Mangas; Suárez Alonso, 2019), (TZAVARAS et al., 2021).

Ao fazer a contribuição para WoTPy, é possível oferecer um potencial de solução arquitetônica eficiente e padronizada para conectar dispositivos IoT, independentemente do fabricante, o que facilita a criação de aplicações e sistemas unificados. Essa padronização promovida pela Web das Coisas (WoT) também contribui para a democratização do acesso à tecnologia IoT, permitindo que desenvolvedores e usuários finais possam explorar e implementar soluções IoT de maneira mais eficiente e acessível.

Os benefícios esperados deste trabalho incluem:

- Facilitar a instalação do WoTPy, tornando-o mais acessível para desenvolvedores e usuários finais;
- Fornecer documentação detalhada e exemplo prático para apoiar a adoção do WoTPy em projetos IoT.

Os possíveis beneficiários dos resultados deste projeto abrangem uma ampla gama de setores e atores, incluindo:

- Fabricantes de dispositivos IoT que buscam simplificar a integração de seus produtos com outros dispositivos e sistemas;
- Desenvolvedores de software e engenheiros de sistemas interessados em construir soluções IoT eficientes e interoperáveis;
- Empresas e organizações que buscam implementar soluções IoT em seus processos e infraestruturas;
- Pesquisadores e acadêmicos que estudam e desenvolvem novas abordagens para a Internet das Coisas e a Web das Coisas.

A integração do WoTPy com grafos de conhecimento tem como objetivo melhorar ainda mais a interoperabilidade entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes, permitindo uma comunicação e integração mais eficiente e semântica entre eles.

A área da SWOT (SCIOSCIA; RUTA, 2009) (JARA et al., 2014) é baseada em conceitos que visam aproveitar o potencial da Web Semântica para melhorar a interação entre dispositivos IoT. Ao adotar os princípios e tecnologias da Web Semântica, é possível criar uma camada de conhecimento compartilhado e representações semânticas das informações dos dispositivos IoT (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Essa abordagem facilita a busca, integração e análise de dados, permitindo a criação de aplicações e serviços mais inteligentes e personalizados.

## 7 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados para alcançar os objetivos do trabalho, incluindo a seleção das bibliotecas e ferramentas, o estudo das especificações do W3C-WoT, a resolução de problemas de instalação do WoTPy e o desenvolvimento de exemplos de uso e documentação.

### 7.1 Estudo das Especificações do W3C-WoT

Inicialmente, será realizada uma análise detalhada das especificações do W3C-WoT (LAGALLY et al., 2023), com foco nos principais conceitos e requisitos para a implementação do WoTPy. O estudo abrangerá os principais componentes do W3C-WoT, como Thing Descriptions (MCCOOL; KORKAN; KÄBISCH, 2023), Binding Templates (KOSTER; KORKAN, 2020) e Scripting API (KIS et al., 2020), bem como os protocolos de comunicação suportados, como HTTP, Websockets, MQTT e CoAP.

### 7.2 Seleção e Estudo das Bibliotecas e Ferramentas

Serão selecionadas e estudadas diversas bibliotecas e ferramentas relacionadas às dependências do WoTPy. Alguns exemplos são:

- Flask <<https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>>: um microframework para desenvolvimento de aplicações Web em Python;
- Requests <<https://docs.python-requests.org/en/latest/>>: uma biblioteca para realizar requisições HTTP em Python;
- Paho MQTT <<https://www.eclipse.org/paho/clients/python/>>: uma biblioteca cliente MQTT para Python;
- Aiocoap <<https://aiocoap.readthedocs.io/en/latest/>>: uma biblioteca para implementação do protocolo CoAP em Python;
- Websockets <<https://websockets.readthedocs.io/en/stable/>>: uma biblioteca para trabalhar com Websockets em Python.

### 7.3 Resolução de Problemas de Instalação

Para garantir a fácil implantação e configuração do WoTPy em diferentes ambientes e sistemas, serão identificados e resolvidos problemas de instalação do projeto, ou seja, questões relacionadas a dependências e Docker.

### 7.4 Testes e Validação

Para garantir a qualidade e a funcionalidade das contribuições feitas, será realizado um conjunto de testes do próprio WoTPy <<https://github.com/agmangas/wot-py>>.

## 7.5 Desenvolvimento de Exemplos de Uso e Documentação

Com o objetivo de auxiliar desenvolvedores e usuários na implementação do WoTPy em seus projetos IoT, será elaborado um exemplo prático de uso e uma documentação detalhada do projeto. O exemplo inclui o ajuste na comunicação do dispositivo Protetor Solar ([ARIGA; MARUYAMA, 2022](#)) (ou similar).

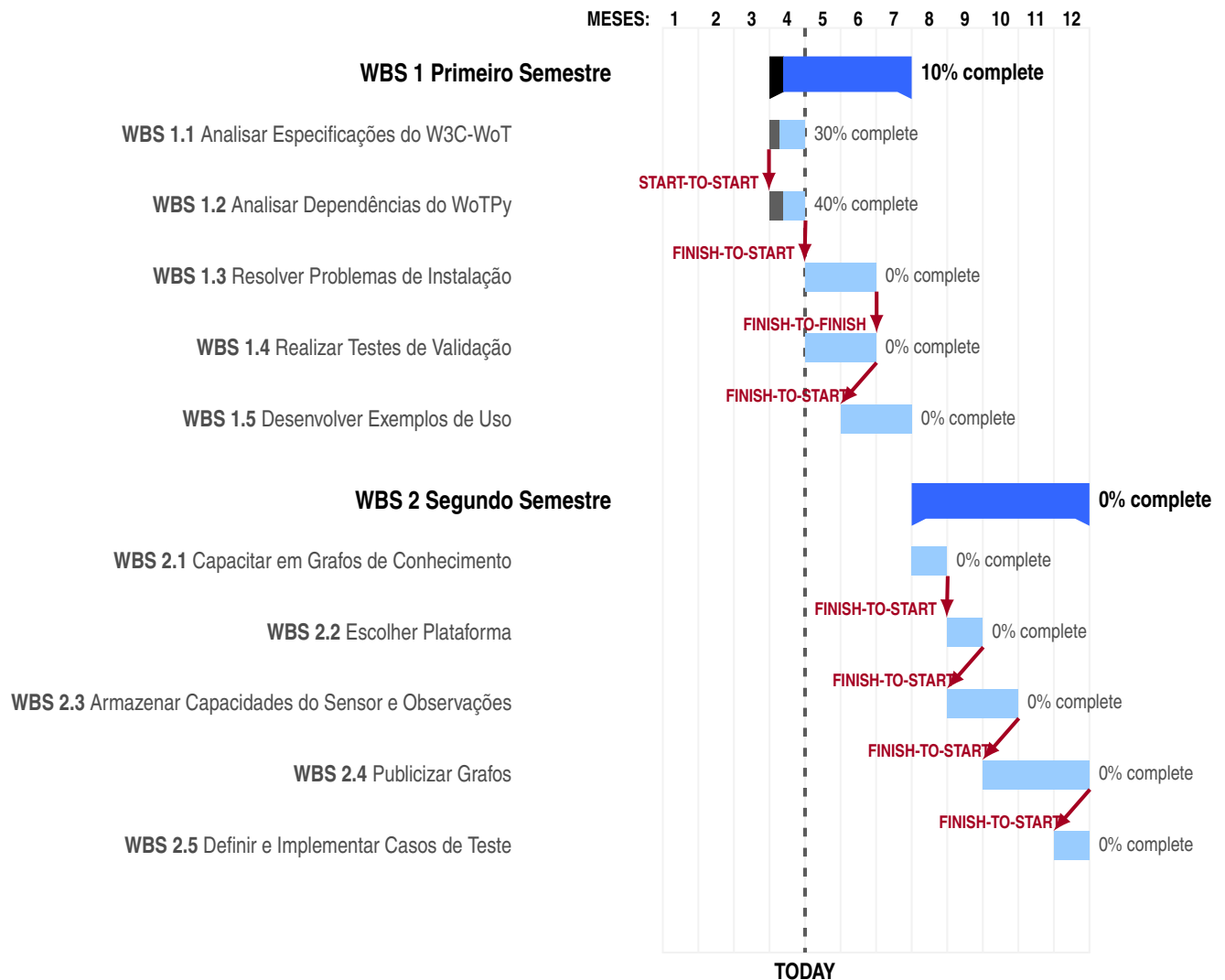
## 8 RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados decorrentes do trabalho a ser desenvolvido abrangem várias áreas relacionadas à implementação e melhoria do WoTPy como um gateway experimental baseado no W3C-WoT. Estes resultados estão alinhados aos objetivos específicos do trabalho e visam impactar positivamente a interoperabilidade e integração de dispositivos IoT de diferentes fabricantes. A seguir, são apresentados os principais resultados esperados:

1. Compreensão detalhada das especificações do W3C-WoT, possibilitando a implementação correta e eficiente do WoTPy de acordo com os padrões e diretrizes estabelecidos pelo W3C;
2. Seleção e domínio das bibliotecas e ferramentas adequadas para o desenvolvimento do WoTPy, garantindo o suporte aos protocolos de comunicação necessários e a facilidade de integração com outros projetos IoT;
3. Resolução dos problemas de instalação do WoTPy, tornando-o facilmente implantável e configurável em diferentes ambientes e sistemas operacionais, o que facilita a adoção do projeto por desenvolvedores e usuários finais;
4. Desenvolvimento de exemplos de uso e documentação detalhada para auxiliar outros desenvolvedores e usuários na implementação do WoTPy em seus próprios projetos IoT, promovendo a disseminação e adoção do projeto pela comunidade;
5. Validação das contribuições realizadas por meio do conjunto de testes do WoTPy.

Com a obtenção desses resultados, espera-se que o WoTPy se torne um gateway funcional e eficaz, capaz de facilitar a comunicação e integração entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes. Além disso, espera-se que o trabalho contribua para a popularização do WoTPy e do conceito de Web das Coisas, melhorando a interoperabilidade e a eficiência dos sistemas IoT em geral.

## 9 CRONOGRAMA



No início do primeiro semestre, uma análise detalhada das especificações do W3C-WoT será realizada (7.1), seguida pela seleção e estudo das bibliotecas e ferramentas relevantes para o projeto (7.2). Em paralelo, serão identificados e resolvidos problemas de instalação do WoTPy (7.3). Com as melhorias implementadas, serão realizados testes e validações para garantir a qualidade e a funcionalidade das contribuições feitas (7.4).

No final do primeiro semestre, serão desenvolvidos exemplos de uso e documentação detalhada do projeto (7.5), auxiliando desenvolvedores e usuários na implementação do WoTPy em seus próprios projetos IoT. O exemplo prático incluirá ajustes na comunicação do dispositivo Protetor Solar (ou similar).

Para o segundo semestre, o que se espera inclui a capacitação em ferramentas de grafos de conhecimento, a escolha de uma plataforma de armazenamento para esses grafos, o armazenamento das capacidades do sensor em SSN e das observações em SOSA, a publicização desses grafos por meio de um endpoint SPARQL e a definição e implementação de casos de teste para a integração.

# REFERÊNCIAS

- ARIGA, G. T.; MARUYAMA, L. *Protetor Solar*. 2022. Disponível em: <<https://github.com/T16K/ACH2157>>. Acesso em: 30 de março de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 11.
- BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. *Scientific American*, v. 284, n. 5, p. 34–43, maio 2001. Disponível em: <<http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21>>. Citado na página 9.
- BONOMI, F. et al. Fog computing and its role in the internet of things. In: *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2012. (MCC '12), p. 13–16. ISBN 9781450315197. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>>. Citado na página 6.
- BOSCARIOLI, C.; ARAÚJO, R. de; MACIEL, R. S. (Ed.). *I GranDSI-BR: Grandes Desafios da Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil para o período de 2016 a 2026*. SBC, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/sbc.2884.0>>. Citado na página 6.
- García Mangas, A.; Suárez Alonso, F. J. Wotpy: A framework for web of things applications. *Computer Communications*, v. 147, p. 235–251, 2019. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366419304633>>. Citado 4 vezes nas páginas 2, 6, 7 e 9.
- GROUP, W. W. of T. C. *Main Page*. 2015. Disponível em: <[https://www.w3.org/community/wot/wiki/Main\\_Page#What\\_is\\_the\\_Web\\_of\\_Things.3F](https://www.w3.org/community/wot/wiki/Main_Page#What_is_the_Web_of_Things.3F)>. Acesso em: 29 de março de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 5.
- GROUP, W. W. of T. I. *Terminology*. 2015. Disponível em: <<https://www.w3.org/WoT/IG/wiki/Terminology>>. Acesso em: 29 de março de 2023. Citado na página 5.
- GYRARD, A. et al. Semantic web meets internet of things and web of things: [2nd edition]. In: *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*. Republic and Canton of Geneva, CHE: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017. (WWW '17 Companion), p. 917–920. ISBN 9781450349147. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3041021.3051100>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.
- JANOWICZ, K. et al. Sosa: A lightweight ontology for sensors, observations, samples, and actuators. *Journal of Web Semantics*, v. 56, p. 1–10, 2019. ISSN 1570-8268. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570826818300295>>. Citado na página 7.
- JANOWICZ, K. et al. *Semantic Sensor Network Ontology*. [S.l.], 2017. <https://www.w3.org/TR/2017/REC-vocab-ssn-20171019/>. Citado na página 7.
- JARA, A. J. et al. Semantic web of things: an analysis of the application semantics for the iot moving towards the iot convergence. *Int. J. Web Grid Serv.*, v. 10, p. 244–272, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.
- KIS, Z. et al. *Web of Things (WoT) Scripting API*. 2020. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/wot-scripting-api>>. Acesso em: 06 de abril de 2023. Citado na página 10.
- KOSTER, M.; KORKAN, E. *Web of Things (WoT) Binding Templates*. 2020. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/wot-binding-templates>>. Acesso em: 06 de abril de 2023. Citado na página 10.
- LAGALLY, M. et al. *Web of Things (WoT) Architecture 1.1*. 2023. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/wot-architecture>>. Acesso em: 06 de abril de 2023. Citado 3 vezes nas páginas 2, 8 e 10.

MANYIKA, J. et al. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. *McKinsey Global Institute*, p. 3, 2015. Disponível em: <[https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking\\_the\\_potential\\_of\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_Executive\\_summary.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.pdf)>. Citado na página 5.

MATSUKURA, R. et al. *Web of Things (WoT) Architecture 1.1*. [S.l.], 2023. <https://www.w3.org/TR/2023/CR-wot-architecture11-20230119/>. Citado na página 6.

MCCOOL, M.; KORKAN, E.; KÄBISCH, S. *Web of Things (WoT) Thing Description 1.1*. [S.l.], 2023. <https://www.w3.org/TR/2023/CR-wot-thing-description11-20230119/>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 10.

SATYANARAYANAN, M. The emergence of edge computing. *Computer*, v. 50, n. 1, p. 30–39, 2017. Citado na página 6.

SCIOSCIA, F.; RUTA, M. Building a semantic web of things: Issues and perspectives in information compression. In: *2009 IEEE International Conference on Semantic Computing*. IEEE, 2009. p. 589–594. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icsc.2009.75>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.

STIRBU, V. Towards a restful plug and play experience in the web of things. In: *2008 IEEE International Conference on Semantic Computing*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 512–517. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.

TZAVARAS, A. et al. Openapi thing descriptions for the web of things. In: *2021 IEEE 33rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1384–1391. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.

W3C. *About Page*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3.org/Consortium/>>. Acesso em: 30 de março de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 6.

W3C. *Facts Page*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3.org/Consortium/facts>>. Acesso em: 30 de março de 2023. Citado na página 6.

W3C. *Mission Page*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3.org/Consortium/mission>>. Acesso em: 30 de março de 2023. Citado na página 6.

W3C. *W3C WoT Tools Page*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3.org/WoT/developers/#devtools>>. Acesso em: 30 de março de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.