

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

GIOVANE BOOSE AZEVEDO

**Estudo de caso para utilização da Azure
Digital Twins para a indústria de petróleo e
gás**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. João Cesar Netto

Porto Alegre
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Prof^a. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretora do Instituto de Informática: Prof^a. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: Prof. André Inácio Reis

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, meu profundo agradecimento ao meu orientador, João Cesar Netto, pela orientação, paciência e apoio ao longo deste processo. Sua expertise e insights foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste projeto.

A minha família, pela compreensão, pelo suporte e pelo incentivo nos momentos de desafio, sem os quais nada disso seria possível.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero obrigado.

RESUMO

A indústria de petróleo e gás nos últimos anos vem buscando implementações de novas tecnologias, visando aumento de produtividade, eficiência e segurança. Digital Twin (DT) é tido como uma das principais tendências tecnológicas estratégicas recentes, essencial para otimizar operações, aumentar a eficiência e a segurança, reduzir custos e mitigar riscos nesse setor complexo. Porém, para aprimorar sua aplicabilidade prática, a necessidade de um método unificado de modelagem de Gêmeo Digital é extremamente necessária. Nesse contexto a adoção de DT vem sendo feita pelas empresas, entretanto a gestão de dados apresenta múltiplos desafios. Para isso as ontologias foram identificadas como uma possível solução para representar o vocabulário e descrever os conceitos-chaves da indústria. Assim, neste artigo é proposto uma solução para tradução semiautomatizada para implementação de uma ontologia contendo elementos de um poço satélite na plataforma Azure Digital Twins. Sendo utilizada a ontologia O3PO para este estudo de caso, que possui o propósito de fornecer vocabulário formal e uniforme descrevendo as entidades associadas a uma planta de produção de petróleo offshore. Identificamos limitações de compatibilidade entre a descrição ontológica e a linguagem DTDL, modificando o código OWL2DTDLE utilizado para tradução quando necessário. Geramos modelos DTDL de todos os elementos, foram extraídos todos os indivíduos e seus relacionamentos descritos na ontologia. Então foi gerado o ambiente completo dentro utilizando o Azure Digital Twins, provando a funcionalidade da metodologia. Por fim, essa solução é extensível para outras áreas e abre mais oportunidades de desenvolvimento.

Palavras-chave: Gêmeos Digitais. Azure Digital Twins. Ontologia.

Case study for using Azure Digital Twins for the oil and gas industry

ABSTRACT

The oil and gas industry in recent years has been seeking the implementation of new technologies, aiming to increase productivity, efficiency, and safety. Digital Twin (DT) is considered one of the main recent strategic technological trends, essential for optimizing operations, increasing efficiency and safety, reducing costs, and mitigating risks in this complex sector. However, to enhance its practical applicability, the need for a unified method of Digital Twin modeling is extremely necessary. In this context, the adoption of DT has been made by companies, however, data management presents multiple challenges. Therefore, ontologies have been identified as a possible solution to represent the vocabulary and describe the key concepts of the industry. Thus, this article proposes a solution for semi-automated translation for the implementation of an ontology containing elements of an oil well on the Azure Digital Twins platform. The O3PO ontology is used for this case study, which aims to provide a formal and uniform vocabulary describing the entities associated with an offshore oil production plant. We identify compatibility limitations between the ontological description and the DTDL language, modifying the OWL2DTDL code used for translation when necessary. DTDL models of all elements were generated, all individuals and their relationships described in the ontology were extracted. Then the complete environment was generated using Azure Digital Twins, proving the functionality of the methodology. Finally, this solution is extensible to other areas and opens up more development opportunities.

Keywords: Digital Twins, Azure Digital Twins, Ontology.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| API | Application Programming Interface |
| CLI | Command Line Interface |
| DT | Digital Twin |
| DTDL | Digital Twin Definition Language |
| IA | Inteligência Artificial |
| ISO | International Organization for Standardization |
| JSON-LD | Javascript Object Notation for Linking Data |
| OWL | Web Ontology Language |
| RDF | Resource Description Framework |
| URI | Uniform Resource Identifier |
| XLSX | Excel Spreadsheet XML File |
| XML | Extensible Markup Language |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 2.1 | Modelo em 3 dimensões de Digital Twin | 14 |
| Figura 2.2 | Modelo em 5 dimensões de Digital Twin | 14 |
| Figura 3.1 | Visão geral de alto nível da arquitetura do projeto | 19 |
| Figura 5.1 | Exemplo de criação do Model ID | 25 |
| Figura 5.2 | Exemplo da ontologia e modelo DTDL gerado..... | 27 |
| Figura 6.1 | Exemplo de NamedIndividual presente na O3PO | 29 |
| Figura 6.2 | Exemplo de limitação de referencia entre gêmeos | 30 |
| Figura 6.3 | Relacionamentos entre indivíduos | 31 |
| Figura 7.1 | Fluxograma geral das etapas de criação do ambiente [fonte: Autor] | 32 |
| Figura 7.2 | Grafo completo dos gêmeos digitais [fonte: Autor]..... | 33 |
| Figura 7.3 | Consulta de exemplo ao modelo [fonte: Autor] | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 2.1 | Definições de Digital Twin | 12 |
| Tabela 5.1 | Mapeamento de conceitos compatíveis | 24 |
| Tabela 6.1 | Mapeamento dos elementos de NamedIndividual | 28 |
| Tabela 6.2 | Exemplo de tabela para criação de gêmeos digitais | 29 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 TRABALHOS RELACIONADOS E ESTADO DA ARTE | 12 |
| 2.1 Conceito Digital Twin | 12 |
| 2.2 Azure Digital Twins | 15 |
| 2.3 Ontologia..... | 16 |
| 3 PROPOSTA | 17 |
| 3.1 Motivação..... | 17 |
| 3.2 Ontologia O3PO | 18 |
| 3.3 Visão geral da arquitetura..... | 18 |
| 4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS | 20 |
| 4.1 .NET Framework | 20 |
| 4.2 Protégé | 20 |
| 4.3 OWL2DTDLD | 21 |
| 4.4 Azure Digital Twins Explorer | 21 |
| 4.5 Azure CLI | 22 |
| 5 MODELAGEM DTDL | 23 |
| 5.1 Mapeamento de Conceitos | 23 |
| 5.1.1 NamedIndividuals | 23 |
| 5.2 Avaliação das Limitações..... | 24 |
| 5.2.1 Limitações de caracteres | 24 |
| 5.2.2 Limite de herança..... | 25 |
| 5.2.3 ISO 639-1 | 26 |
| 5.2.4 Múltiplos construtores | 26 |
| 5.3 Análise dos Modelos DTDL Gerados | 27 |
| 6 MODELAGEM DOS INDIVÍDUOS | 28 |
| 6.1 Identificar indivíduos..... | 28 |
| 6.1.1 Digital Twin | 28 |
| 6.1.2 Relationship | 29 |
| 7 IMPLEMENTAÇÃO NOS MODELOS DTDL NO AZURE | 32 |
| 7.1 Repositórios | 33 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 35 |
| REFERÊNCIAS | 37 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo e gás desempenha um papel fundamental no cenário econômico global, atuando não somente como a principal fonte energética de diversos setores, mas também como uma fonte chave de insumos para a indústria química. No entanto, esta indústria enfrenta desafios significativos, tais como a complexidade operacional decorrente da gestão de múltiplos subsistemas por diferentes equipes e a exigência de manutenções complexas e demoradas. A necessidade de ser uma indústria altamente regulamentada, a buscar por eficiência e mitigar riscos, junto com a lacuna de habilidades emergente devido à aposentadoria de funcionários experientes, têm feito com que as empresas do ramo busquem por soluções inovadoras e disruptivas. Este contexto fez com que indústria do petróleo venha adotando soluções avançadas, como o Digital Twin (DT) (WANASINGHE, 2020).

Com os rápidos avanços da indústria 4.0, o conceito de Digital Twin emerge como uma promissora solução para a indústria operar e gerenciar seus ativos e processos físicos. DT pode ser resumidamente definido como a representação virtual de um processo ou ativo físico, permitindo a realizar simulações, modelagem de cenários, monitoramentos, bem como análises preditivas e diagnósticos precisos, oferecendo percepções valiosas para aprimorar processos. Esta tecnologia está rapidamente ganhando destaque em diversas áreas, proporcionando melhorias notáveis em eficiência, produtividade e tomada de decisões (LIM, 2020).

Este trabalho tem como objetivo especificar e implementar uma aplicação prática do conceito de Digital Twin utilizando a plataforma Azure Digital Twins da Microsoft focando no método para gerar modelos de gêmeos digitais a partir de uma ontologia existente, limitado a um estudo de caso da indústria de petróleo e gás. O objetivo é fornecer uma análise detalhada dos procedimentos necessários para, com base em uma ontologia instanciada, modelar e construir um ambiente DT que englobe todos os gêmeos digitais e seus inter-relacionamentos dentro do ambiente Azure, destacando as limitações mapeadas e decisões de projeto tomadas durante o processo de desenvolvimento.

O restante do documento está organizado como segue. No Capítulo 2 trazemos uma revisão abrangente dos conceitos de Digital Twin e sua evolução ao longo do tempo, apresenta a plataforma Azure Digital Twins e os conceitos de ontologia. No Capítulo 3 apresentamos a motivação de realizar esse trabalho, a ontologia que será utilizada, seguindo com a visão geral da arquitetura da solução. O Capítulo 4 lista as tecnologias

utilizadas durante o desenvolvimento, enfatizando as características que as tornaram elegíveis para serem usadas em nossa solução. O Capítulo 5 descreve o desenvolvimento da modelagem dos modelos, trazendo os conceitos compatíveis, as limitações identificadas e uma análise dos modelos gerados. No Capítulo 6 descrito como foi realizado a modelagem dos indivíduos presentes na ontologia. No Capítulo 7 é descrito os passos para criação da solução no Azure Digital Twins Explorer, apresentando consultas para demonstrar o funcionamento. Por fim, o Capítulo 8 encerra o documento com considerações finais e perspectivas para pesquisas futuras na área.

2 TRABALHOS RELACIONADOS E ESTADO DA ARTE

Este capítulo aborda os principais temas deste trabalho sob um ponto de vista teórico, fornecendo uma visão geral sobre Gêmeos Digitais, Microsoft Azure, Azure Digital Twins e ontologia.

2.1 Conceito Digital Twin

Digital Twin (DT) foi proposto pela primeira vez por Grieves em 2003 durante sua apresentação sobre gerenciamento de ciclo de vida de produto. Mesmo que inicialmente o conceito fosse muito vago, já estavam presentes aspectos de produto físico, digital e suas interconexões (LIM, 2020).

As primeiras implementações de DT foram desenvolvidas como um modo de simulações de baixo custo para a NASA (E, 2012), porém desde então expandiu muito seu escopo de utilização devido aos avanços tecnológicos.

Tabela 2.1: Definições de Digital Twin

| Autor | Definição de Digital Twin |
|-------------------------------|--|
| (Grieves 2014) | <i>"Representação virtual de o que foi produzido"</i> |
| (R. Stark et al. 2017) | <i>"Representação digital de um ativo único que compreende suas propriedades, condição e comportamento por meio de modelos, informações e dados"</i> |
| (Söderberg et al. 2017) | <i>"Utilizando uma cópia digital do sistema físico para realizar otimização em tempo real"</i> |
| (El Saddik 2018) | <i>"Réplicas digitais de entidades vivas e não vivas que permitem a transmissão de dados de forma contínua entre os mundos físico e virtual"</i> |
| (Zhuang et al. 2018) | <i>"Modelo virtual e dinâmico no mundo virtual que é totalmente consistente com sua entidade física correspondente no mundo real e pode simular as características, comportamento, vida e desempenho de sua contraparte física em tempo hábil"</i> |
| (Qi and Tao 2018) | <i>"Modelos virtuais de objetos físicos são criados de forma digital para simular seus comportamentos em ambientes do mundo real"</i> |
| (Y. Xu et al. 2019) | <i>"Simula, registra e melhora o processo de produção desde a concepção até a descontinuação, incluindo o conteúdo do espaço virtual, espaço físico e a interação entre eles"</i> |
| (Kannan and Arunachalam 2019) | <i>"Representação digital do ativo físico que pode comunicar, coordenar e cooperar com o processo de fabricação para uma maior produtividade e eficiência por meio do compartilhamento de conhecimento"</i> |

Fonte: Traduzido de (LIM, 2020)

TAO F.; CHENG (2018) relata que a definição geral mais reconhecida foi dada por Glaesegen and Stargel em 2012, na qual diz que DT é uma simulação probabilística integrada multifísica e multiescalar de um produto complexo e usa os melhores modelos físicos e sensores disponíveis para espelhar a vida de seu gêmeo correspondente. Enquanto consiste em três partes: produto físico, produto virtual e conexões de dados entre os produtos.

Para PARROTT A.; WARSHAW (2017) Digital Twins podem ser compreendidos, fundamentalmente, como um perfil digital em evolução do comportamento histórico e atual de um objeto ou processo físico, que ajuda a otimizar desempenho no negócio.

Em linhas gerais, o objeto deste estudo, proporciona soluções digitais que atende a promessa de maior qualidade, segurança e eficácia das suas aplicações, sendo realizadas por meio de recursos tecnológicos e inteligentes, que estão interconectadas, dando embasamento ao gêmeo digital, em tempo real, otimizando o desempenho. Possibilitando responder perguntas em tempo real que não poderiam ser respondidas a alguns anos atrás.

No entanto, a integração eficiente dos três pressupostos que são primordiais, produto físico, virtual e suas conexões, apenas se torna possível com o advento da evolução tecnológica, flexibilidade, agilidade e baixo custo, que contribuíram para a informação e a convergência entre os mundos físico e virtual.

Conforme já foi mencionado anteriormente nesse estudo, o Digital Twin conta com três elementos, que são os produtos físicos ou espaço real; os produtos virtuais e as conexões entre os dados e as informações que interligam os dois espaços e cada um deles serão devidamente explanados a partir de então, condicionando as relações entre si e as caracterizações do Digital Twin.

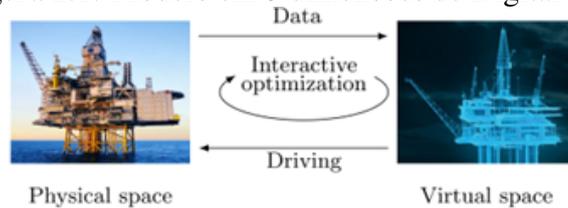
O espaço físico condiz com um ambiente complexo, dinâmico e diversificado, onde acontecem a interação entre as pessoas, máquinas e materiais, apresentando diferentes características do desempenho e comportamento, podendo ainda variar ao longo dos tempos, devido ao desgaste e envelhecimento. É importante preparar o espaço físico para a integração com o gêmeo digital, utilizando os dispositivos inteligentes para tornar possível a coleta de dados de campo para o uso na sua contraparte virtual (MARTUCCI, 2020).

Já o espaço virtual é aquele que são realizadas as operações de replicação do funcionamento do espaço real. Representando os produtos físicos com modelagem 3D e em grafos de conhecimento. Essa caracterização consiste em três aspectos, os elementos, comportamentos e as regras.

Sendo os elementos as características físicas e geométricas dos produtos, os comportamentos sendo o comportamento do produto e suas interações com o usuário. Enquanto as regras, geralmente envolvem a evolução, otimização e a modelagem prevista que são estabelecidos de acordo com a operação do produto físico. O objetivo de todos eles é simplificar e possibilitar a simulação dos sistemas mais complexos em tempo real e com melhor custo-benefício (MARTUCCI, 2020).

Por fim, o elemento de integração entre os espaços real e virtual que é a camada de comunicação, possibilitando o mapeamento bidirecional entre si. Em um sentido sendo gerado dados para a simulação do espaço virtual, em outro sentido gerando informações para operação do espaço real em tempo real. Conforme mensurado na Figura 2.1.

Figura 2.1: Modelo em 3 dimensões de Digital Twin

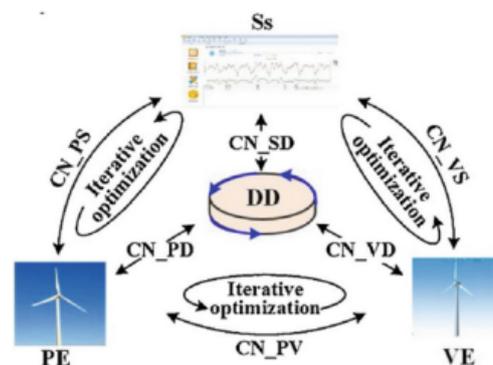


Fonte: (WANASINGHE, 2020)

Com base no modelo tridimensional para o DT, (TAO F.; CHENG, 2018) propuseram que um DT completo deve incluir cinco dimensões: parte física, parte virtual, conexões, dados e serviços. O modelo é mostrado na Figura 2.2, onde PE representa a entidade física; VE representa a entidade virtual; SS representa os serviços para ambas PE e VE; DD representa os dados do DT; e CN significa a conexão das diferentes partes.

As cinco dimensões são igualmente importantes para os DTs. A parte física e virtual são as mesmas descritas anteriormente. Os dados estão no centro dos DTs, pois são uma pré-condição para a criação de novo conhecimento. A camada de serviços contém microserviços que devem adicionar valor ao ciclo de vida do produto. Finalmente, a parte de conexão une a parte física, parte virtual, dados e serviços.

Figura 2.2: Modelo em 5 dimensões de Digital Twin



Fonte: (TAO F.; CHENG, 2018)

O êxito do gêmeo digital na indústria de manufatura resultou na criação do consórcio de gêmeos digitais (*Digital Twin Consortium*, DTC) como uma autoridade no campo dos gêmeos digitais. Este consórcio une a indústria, o governo e a academia com o propósito de impulsionar a uniformidade na tecnologia de gêmeos digitais, promovendo, assim,

o avanço dessa tecnologia em diversos setores.

Nesse contexto, o consórcio de gêmeos digitais representa um ecossistema global de usuários que acelera o mercado de gêmeos digitais, evidenciando a importância dessa tecnologia e compartilhando casos de uso para maximizar os benefícios dos gêmeos digitais (DTC, 2023).

2.2 Azure Digital Twins

O Microsoft Azure é um nome abrangente para a plataforma de nuvem computacional oferecida pela Microsoft, que fornece uma variedade de serviços de computação em nuvem, incluindo hospedagem de máquinas virtuais, armazenamento de dados, serviços de banco de dados, análise de dados, aprendizado de máquina, Internet das Coisas (IoT) e muito mais. Ele permite que indivíduos e empresas hospedem, gerenciem e escalonem aplicativos e serviços sem a necessidade de infraestrutura física local.

A segurança é uma consideração crítica no contexto da computação em nuvem. A plataforma Azure oferece uma série de recursos e práticas para garantir a segurança dos dados e dos serviços hospedados nela. Dentre os aspectos de segurança se incluem, criptografia de dados, controle de acesso, firewalls e Políticas de Rede, monitoramento e detecção de ameaças. (MICROSOFT, Acessado em: 07 de Agosto. 2023)

O recurso Azure Digital Twins é uma solução do tipo PaaS (Plataforma como Serviço) que capacita a criação de gêmeos digitais que representam ambientes completos com base em modelos. Esta plataforma viabiliza o desenvolvimento de soluções com modelagem escalonável e segura, conectadas a dispositivos de IoT e sistemas existentes, utilizando um sistema de eventos robusto para criar lógica de negócios dinâmica e processamento de dados.

É possível definir um vocabulário personalizado e criar grafos de conhecimento utilizando os termos definidos pelo projeto, permitindo a criação modelos específicos definidos pelo usuário. Esses modelos são definidos usando a linguagem DTDL (Digital Twins Definition Language), baseada em JSON-LD (JSON for Linked Data). Esses modelos assemelham-se às classes em uma linguagem de programação orientada a objetos, determinando uma estrutura de dados para um conceito específico do espaço físico, abrangendo elementos como propriedade, telemetria e relacionamentos que descrevem o funcionamento da entidade física. Posteriormente se utiliza esses modelos para criar gêmeos digitais que representam uma entidade específica, que podem ser conectados uns

ao outros por meio de relações. Assim formando um grafo de conhecimento, que é a representação de todo o ambiente (MICROSOFT, Acessado em: 07 de Agosto. 2023).

2.3 Ontologia

Ontologias são fundamentais para a Indústria 4.0, atuando como estrutura formal para a representação do conhecimento e proporcionando definições claras de conceitos e relações. Este domínio abrange tanto serviços de negócios quanto serviços de produção, focando em automatização e virtualização. Além disso, a padronização ontológica é crucial para a eficácia da Indústria 4.0, especialmente no que se refere a agentes robóticos e sua interação eficiente com humanos e sistemas distribuídos. O esforço de padronização é baseado em ontologias estabelecidas, como a IEEE 1872-2015, e expande conceitos específicos da Indústria 4.0 para abranger tanto aspectos de hardware quanto de software em ambientes de manufatura inteligente (KUMAR et al., 2019).

As ontologias são fundamentais para a interoperabilidade e troca eficaz de informações em sistemas de automação industrial. Elas fornecem padrões de dados com sintaxe e semântica formal para definir e trocar conhecimentos de maneira interpretável por máquinas, garantindo a interoperabilidade dos dados. Isso é especialmente útil para modelagem de domínios, classificação semântica, busca semântica e geração de novas percepções.

O uso de tecnologias semânticas em sistemas de automação está crescendo, com aplicações em processos industriais, automação de fábricas, edifícios inteligentes e redes globais de sensores. Estas tecnologias são essenciais para superar problemas comuns de modelagem, troca de modelos e interoperabilidade ao longo do ciclo de vida dos sistemas. (INTEROPERABILITY, 2017).

3 PROPOSTA

A seguir será descrito o processo de desenvolvimento do projeto e as etapas envolvidas. A Seção 3.1 começa com uma breve motivação. A Seção 3.2 apresenta a ontologia do caso de uso utilizado no trabalho. A Seção 3.3 fornecerá uma visão geral da estrutura para a tradução da ontologia instanciada, trazendo uma breve descrição dos processos envolvidos.

3.1 Motivação

O Conceito de DT não é uma novidade, mas tem ganhado notoriedade nos últimos anos, sobretudo devido aos avanços de tecnologias como IoT, SCADA, análise de grandes volumes de dados, IA, aprendizado de máquina e avanços das tecnologias de sensores. O grupo Gartner, empresa líder em pesquisa e consultoria, vem identificando DT como uma das principais 10 tendências tecnológicas estratégicas recentes. Este conceito já foi implementado com sucesso em diversas indústrias como, automotiva, saúde, manufatura, aviação e exploração terrestre.

A indústria do petróleo e gás está aproveitando as tecnologias digitais para transformar seu modelo de negócios e operações, visando aumentar a produtividade, eficiência e segurança em suas operações, enquanto busca reduzir os custos operacionais e de capital, bem como os riscos para a saúde, o meio ambiente e a variabilidade nos ciclos de vida de seus projetos. Nesse contexto, a adoção de tecnologias emergentes, como o Digital Twin, está sendo considerada. No entanto, a adoção do DT pela indústria ainda está em seus estágios iniciais, com implementações frequentemente limitadas e isoladas, em vez de abranger todo o processo da indústria, o que restringe os benefícios da implementação de DT (WANASINGHE, 2020).

O objetivo deste trabalho consiste em estudar, avaliar e implementar uma maneira semiautomatizada para implementação de uma ontologia contendo elementos de um poço satélite na plataforma Azure Digital Twins. Será utilizada a ontologia O3PO como entrada para desenvolvimento da tradução.

3.2 Ontologia O3PO

O propósito do O3PO é fornecer um vocabulário formal e uniforme que descreva as entidades associadas a uma planta de produção de petróleo offshore e contém escopo espacial e temporal. Espacialmente, a ontologia abrange o trajeto do petróleo desde a interação com o reservatório até a interface com a plataforma, abstraindo detalhes sobre o reservatório ou equipamentos mais avançados na plataforma. Temporalmente, é voltada para o monitoramento da produção e se concentra apenas em poços concluídos, excluindo equipamentos usados durante a exploração ou após o abandono dos poços, assim como os diferentes estados ou tipos de poços nessas fases.

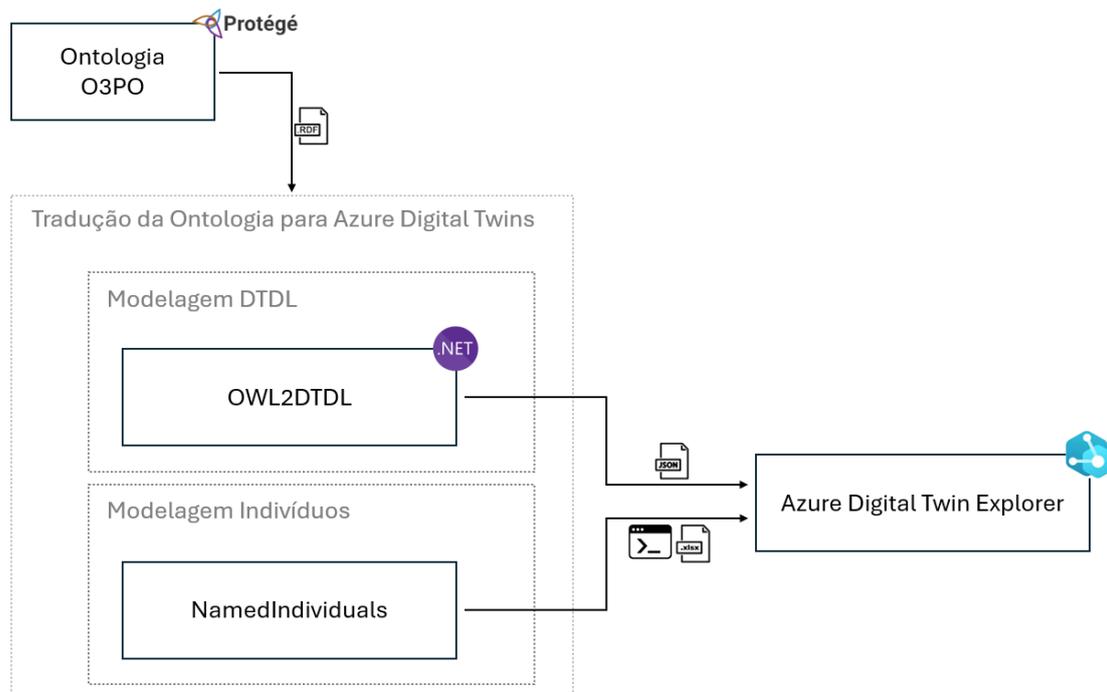
A ontologia foca em aspectos específicos como continuidades físicas, suas propriedades, composição funcional e conexão hidráulica, não abrangendo questões como os materiais dos equipamentos, propriedades econômicas ou de mercado, divisões organizacionais dos equipamentos, processos, artefatos de informação, procedimentos de medição ou outros detalhes similares (SANTOS et al., 2024).

3.3 Visão geral da arquitetura

A Figura 3.1 apresenta uma visão geral da arquitetura para a tradução de uma ontologia instanciada em modelos DTDL para o Azure Digital Twins, a qual será descrita em detalhes posteriormente. O processo inicia com a ontologia O3PO, que, além de possuir a definição completa dos processos de um poço satélite, também contém a instanciação de todos os elementos pertencentes a dois poços, a serem utilizados ao longo deste trabalho.

Essa ontologia é então convertida com base no código OWL2DTDL, que utiliza a tecnologia .NET para gerar modelos DTDL. Paralelamente, os indivíduos presentes na ontologia são modelados. Ambos os fluxos produzem os arquivos necessários para a criação do modelo, dos gêmeos digitais e de seus relacionamentos no Azure Digital Twins Explorer, a interface gráfica para interação com gêmeos digitais no Azure.

Figura 3.1: Visão geral de alto nível da arquitetura do projeto



Fonte: Autor

4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Neste capítulo serão apresentadas as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento proposta trazida por este trabalho. O objetivo deste detalhamento é trazer as características das tecnologias utilizadas, bem como as motivações para suas escolhas.

4.1 .NET Framework

O .NET Framework é uma plataforma da Microsoft que facilita o desenvolvimento e a execução de aplicações e serviços web no ambiente Windows. Foi projetado para ser um ambiente de programação orientado a objetos, permitindo a execução de código tanto localmente quanto distribuído pela web ou de forma remota. Seu foco está em minimizar conflitos de implantação e de versões, promover a segurança na execução do código, mesmo aquele proveniente de fontes desconhecidas ou semi-confiáveis, e resolver problemas de desempenho comuns em ambientes interpretados ou com script. Além disso, busca oferecer uma experiência de desenvolvimento consistente entre diferentes tipos de aplicativos, sejam eles para Windows ou baseados na web, e assegurar a compatibilidade com padrões do setor para facilitar a integração do código .NET com outras tecnologias (MICROSOFT, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024c).

Neste trabalho foi utilizado o .NET 6, que representa a culminação do plano de unificação do .NET, iniciado com o .NET 5, integrando SDKs, bibliotecas base e runtime para aplicativos móveis, desktop, IoT e na nuvem. Esta versão destaca-se pela simplificação do desenvolvimento, com o C# 10 introduzindo recursos de linguagem que diminuem a quantidade de código necessário. A produtividade é outra ênfase, com o .NET 6 e o Visual Studio 2022 proporcionando recarregamento frequente, novas ferramentas git, edição de código inteligente, robustas ferramentas de diagnóstico e teste, e melhor colaboração em equipe. Como uma versão de Suporte de Longo Prazo (LTS), o .NET 6 receberá suporte até novembro de 2024 (MICROSOFT, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024b).

4.2 Protégé

Protégé, desenvolvido pelo Centro de Informática Biomédica de Stanford, é uma plataforma gratuita e de código aberto projetada para a construção de aplicações baseadas

em conhecimento com ontologias. Esta plataforma se destaca pelo seu conjunto rico de estruturas e ações de modelagem de conhecimento, que apoiam a criação, visualização e manipulação de ontologias em diversos formatos de representação. A flexibilidade e a personalização oferecidas pelo Protégé decorrem de sua arquitetura de plug-ins e uma Interface de Programação de Aplicações (API) baseada em Java, o que permite a extensão de suas capacidades para a construção de ferramentas e aplicações baseadas em conhecimento. Essa abordagem é suportada por uma forte comunidade de usuários acadêmicos, governamentais e corporativos para gestão de conhecimento e desenvolvimento de ontologias. A plataforma suporta totalmente a última Linguagem de Ontologia Web OWL 2 e as especificações RDF do Consórcio World Wide Web, garantindo que permaneça alinhada com padrões globais. A ferramenta foi utilizada para facilitar a visualização da ontologia e para realizar modificações quando necessárias na estrutura original. (PROTÉGÉ, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024)

4.3 OWL2DTD

O Conversor de OWL2DTD é uma base de código de exemplo que converte uma ontologia ou rede de ontologias OWL em um conjunto de declarações de interfaces DTD para utilização no Azure Digital Twins. Compatível com DTD v2, já possui uma gama de relações mapeadas que serão apresentadas nos próximos capítulos. Este conversor é uma solução em andamento, então será necessário ser adaptado para a realidade deste trabalho. Este código utiliza a biblioteca VDS.RDF e VDS.RDF.Ontology para leitura e criação de um grafo com todos os construtores da ontologia fornecida. Com isso não será necessário criar a leitura da ontologia porém possui algumas limitações de construtores OWL não mapeados (MICROSOFT, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024a).

4.4 Azure Digital Twins Explorer

O Azure Digital Twins Explorer é uma ferramenta de desenvolvimento projetada para visualizar e interagir com os dados em sua instância do Azure Digital Twins. Esta ferramenta é especialmente útil para explorar e modificar grafos de conhecimento digitais e suas relações no contexto do ambiente modelado. O Azure Digital Twins Explorer apresenta uma interface visual que permite aos usuários explorarem a estrutura de seus

modelos e conjuntos de gêmeos digitais, além de fazer alterações específicas em gêmeos individuais e suas relações.

A ferramenta é organizada em painéis, cada um com diferentes capacidades para explorar e gerenciar modelos, gêmeos e relações. Inclui funcionalidades como o Query Explorer para executar consultas ao grafo de conhecimento, visualizar modelos e suas interconexões e editar propriedades dos gêmeos e relações. Além disso, oferece visualização de dados historizados em forma de gráficos e tabelas, permitindo uma análise detalhada das propriedades ao longo do tempo. (MICROSOFT, Acessado em: 12 de jul. 2023)

4.5 Azure CLI

O Azure Command Line Interface (CLI) é uma ferramenta de linha de comando fornecida pela Microsoft para gerenciar recursos do Azure. Ela permite aos usuários executarem uma ampla gama de tarefas relacionadas ao Azure, desde a criação e gerenciamento de recursos até a automação de fluxos de trabalho, através de comandos simples em uma interface de linha de comando. O Azure CLI é projetado para ser fácil de usar, oferecendo suporte completo para todas as características do Azure e é disponível em múltiplas plataformas, incluindo Windows, MacOS e Linux. É uma ferramenta para desenvolvedores e administradores de sistemas que trabalham com serviços Azure. (MICROSOFT, Acessado em: 07 de Agosto. 2023)

No escopo deste trabalho será utilizado para criação dos gêmeos digitais no Azure Digital Twins Explorer, utilizando os modelos gerados pela conversão da ontologia. Também será utilizado para criação dos relacionamentos entre os gêmeos digitais criados.

5 MODELAGEM DTDL

Esse capítulo descreve a metodologia para criação dos modelos DTDL. A primeira seção descreve os conceitos que serão traduzidos da ontologia para os modelos DTDL; na segunda seção trazemos as limitações encontradas e a solução encontrada para cada uma. Finalmente na terceira seção serão apresentados e analisados os modelos gerados.

5.1 Mapeamento de Conceitos

Para a tradução da ontologia, o OWL fornecido foi mapeado, envolvendo 73 construtores distintos no processo total. Desses, 28 são do padrão OWL/RDF, e os demais são construtores especificados pela solução O3PO. Isso deu início à pesquisa por possíveis soluções opensource para a leitura do arquivo OWL.

Inicialmente, a solução `RdfToDtdlConverter` foi avaliada e testada. A escolha inicial por este código deveu-se à quantidade de documentação disponível no site da Microsoft e no GitHub. Contudo, como se trata de bibliotecas em fase de desenvolvimento e construção, seria necessário implementar alguns conceitos básicos de OWL ainda não desenvolvidos com este código (MICROSOFT, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024a).

Após uma nova pesquisa, iniciou-se a validação do código `OWL2DTDl`, para verificar se ele seria suficiente para a leitura inicial da ontologia. Embora haja menos documentação online em comparação com o `RdfToDtdlConverter`, ele se mostra mais completo em relação à leitura e tradução de construtores OWL para DTDL. Na Tabela 5.1, são apresentados todos os conceitos compatíveis com a solução e seus correspondentes no modelo DTDL.

5.1.1 NamedIndividuals

No arquivo OWL, o elemento `owl:NamedIndividual` é utilizado para declarar um indivíduo nomeado, que é uma instância específica de uma ou mais classes de ontologia. Esses indivíduos são os objetos concretos no domínio de aplicação da ontologia, cada um identificado de maneira única. Este elemento define explicitamente um indivíduo dentro do espaço de nomes OWL e permite a atribuição de propriedades e relações que conectam esse indivíduo a outros conceitos dentro da ontologia. Cada um desses indivíduos deve

Tabela 5.1: Mapeamento de conceitos compatíveis

| Conceito OWL | OWL Construct | Conceito DTDL | DTDL Construct |
|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Classes | owl:Class | Interface | @type:Interface |
| | rdf:about | | @id |
| | rdfs:label | | displayName |
| | rdfs:comment | | description |
| Subclasses | owl:Class | Interface | @type:Interface |
| | rdf:about | | @id |
| | rdfs:label | | displayName |
| | rdfs:comment | | description |
| | rdfs:subClassOf | | extends |
| Datatype Properties | owl:DatatypeProperty | Interface Properties | @type:Property |
| | rdfs:label | | displayName |
| | rdfs:range | | schema |
| Object Properties | owl:ObjectProperty | Relationship | @type:Relationship |
| | rdfs:range | | target (omitted if no rdfs:range) |
| | rdfs:comment | | description |
| | rdfs:label | | displayName |
| Object Properties | rdfs:subClassOf + | Relationship | @type:Relationship |
| | owl:Restriction | | |
| | owl:onProperty | | name, description |
| | owl:allValuesFrom | | target |

Fonte: Autor

ser mapeado como um gêmeo digital, sendo instanciado a partir dos modelos DTDL e possuindo relações com outros gêmeos, o que cria assim o ecossistema completo dos poços descritos no RDF utilizado. Posteriormente, neste trabalho, será detalhado como foi feita a modelagem desses indivíduos.

5.2 Avaliação das Limitações

Nesta sessão será descrito as limitações encontradas para transcrever a ontologia em modelos DTDL, bem como qual solução foi desenvolvida para mitigar alguns problemas. Serão apresentados também casos de incompatibilidade de funções da ontologia que não são suportadas pelo Azure Digital Twins.

5.2.1 Limitações de caracteres

A linguagem DTDL não permite Id com o caractere ‘:’, com isso na ontologia não pode haver este caractere em nenhuma URI. No mapeamento de conceitos, a URI se transforma no id do modelo DTDL e ‘:’ é utilizado para definir segmentos do nome completo do modelo, como demonstrado na Figura 5.1.

Figura 5.1: Exemplo de criação do Model ID

OWL Class:
`<owl:Class rdf:about="https://www.inf.ufrgs.br/bdi/ontologies/geocoreontology#UFRGS:GeoCoreOntology_geological_object">`



DTDL Model ID: `dtmi:digitaltwins:TCC:{ontologyName}:{interfaceName};2`

Fonte: Autor

Na ontologia utilizada para esse trabalho a ocorrência desse erro era somente um caso repetido em vários pontos distintos. Então a solução escolhida para correção foi alterar o OWL original. Modificando todas as ocorrências da string “UFRGS:” para “UFRGS_”

Outra limitação de caractere mapeada é não permitir nenhum caractere especial ou acento nos construtores de `id` e `displayName`. Para solucionar esse problema poderíamos tratar o arquivo de entrada, como feito com o erro descrito anteriormente neste capítulo, ou tratar os dados inválidos durante a execução.

A opção escolhida para corrigir esse problema foi remover ocorrências de caractere especiais e acentos em toda criação destes campos nos arquivos DTDL. Foi alterado o código base adicionando uma função para remover acentos e modificar caracteres especiais quando presentes nos campos de `ID` e `displayName` no modelo resultante da tradução.

5.2.2 Limite de herança

A seção `extends` em DTDL é um nome de interface ou uma matriz de nomes de interface (permitindo que a interface de extensão herde de vários modelos pai). Um único pai pode servir como o modelo de base para várias interfaces de extensão. No DTDL v2, cada `extends` um pode ter no máximo duas interfaces listadas para ele e o limite de profundidade total para a hierarquia de uma `extends` é 10.

Entretanto, caso isso ocorra e a classe fosse relevante para a solução, a ontologia não é compatível com o código OWL2DTD, sendo necessário mitigar o problema. Uma opção é acoplar qualquer classe com herança maior que 10 em uma só, porém assim gerando algumas superclasses e possivelmente informações duplicadas. Essa alternativa pode ser implementada alterando o código OWL2DTD para considerar essa lógica, ou alterar manualmente a ontologia original.

Havia uma ocorrência de profundidade de herança total maior que 10 na ontologia utilizada (EL++ ontology module). Entretanto essa classe específica não era relevante

para o desenvolvimento deste trabalho, então foi removida para poder dar sequência no projeto.

5.2.3 ISO 639-1

ISO 639 é uma norma técnica padrão da "Organização Internacional para Padronização", que instituiu códigos que representam cada língua (idiomas) do planeta. A ISO 639-1, é composta por códigos de duas letras, criada para codificar apenas as línguas principais do mundo, para quais foram criadas terminologias especializadas.

O Azure Digital Twins aceita somente modelos descritos unicamente em ISO 639-1, ou seja, todas as descrições de idioma presentes nos modelos devem estar representada por somente duas letras, não podendo haver nenhuma referência a outro padrão. Foram analisadas duas opções para resolver esta limitação, alterar o código base para substituir as ocorrências do padrão não compatível para o correto em tempo de modelagem, ou alterar o arquivo da ontologia original para substituir o padrão utilizado. Dentre estas foi escolhido alterar manualmente todas as ocorrências no arquivo OWL de 'en-us' para 'en' e 'pt-br' para 'pt' devido a limite de tempo para desenvolvimento do trabalho.

5.2.4 Múltiplos construtores

O construtor "rdfs:label" de uma classe ou propriedade OWL fará referência ao "displayName" de um modelo DTDL, como visto na Tabela 5.1. Este campo pode possuir mais que uma ocorrência quando a classe ou propriedade é descrita em mais que um idioma (por exemplo a classe BFO_0000142 da O3PO). Caso haja mais que um "label" para uma entidade, somente a primeira ocorrência será considerada no modelo DTDL, independente do idioma. O mesmo se aplica para o construtor "rdfs:comment", que será traduzido como "description".

Isso implica que nos modelos DTDL gerados, será utilizado como nome de exibição somente a primeira ocorrência de 'label' na classe, ignorando as outras ocorrências. O mesmo acontecerá com o campo descrição do modelo gerado, utilizará somente a primeira ocorrência de 'comment' de uma classe da ontologia. Como pode ser visto na Figura 5.2.

5.3 Análise dos Modelos DTDL Gerados

Com as alterações descritas na Sessão anterior realizadas no código do tradutor ou no arquivo da ontologia, foram gerados os modelos DTDL de toda a solução. Essa ação resultou na criação de 315 modelos, cada um correspondendo a uma classe existente na ontologia, que serão posteriormente importados no Azure Digital Twins e servirão como base para a criação de todos os gêmeos digitais.

Na Figura 5.2 temos um exemplo visual de como um elemento da ontologia se traduz para um modelo DTDL. Devemos levar em consideração que a classe não é original da O3PO pois foram realizadas alterações para compatibilidade com a tradução, descritos na Sessão 5.2.

Figura 5.2: Exemplo da ontologia e modelo DTDL gerado

Classe na ontologia

```
<!-- https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#tubing_downhole_temperature -->
<owl:Class rdf:about="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#tubing_downhole_temperature">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#temperature"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="https://purl.industrialontologies.org/ontology/core/Core/qualityOf"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#tubing"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label xml:lang="pt">temperatura de fundo do tubing</rdfs:label>
  <rdfs:label xml:lang="en">tubing downhole temperature</rdfs:label>
</owl:Class>
```

Modelo DTDL criado

```
{
  "@id": "dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:tubing_downhole_temperature;2",
  "@type": "Interface",
  "contents": [
    {
      "@type": "Relationship",
      "minMultiplicity": 0,
      "name": "qualityOf",
      "target": "dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:tubing;2"
    }
  ],
  "displayName": {
    "pt": "temperatura de fundo do tubing"
  },
  "extends": "dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:temperature;2",
  "@context": "dtmi:dtdl:context;2"
}
```

Fonte: Autor

6 MODELAGEM DOS INDIVÍDUOS

Neste capítulo, será descrito o processo de modelagem dos indivíduos presentes na ontologia, detalhando as etapas manuais de extração e a geração de comandos para automatizar a criação dos gêmeos digitais e suas inter-relações. A primeira seção introduz os conceitos e elementos a serem mapeados; a segunda seção aborda o método de mapeamento dos gêmeos digitais; e a terceira seção explica o procedimento para estabelecer os relacionamentos entre os indivíduos.

6.1 Identificar indivíduos

Conforme dito na Sessão 5.1.1, é necessário identificar e mapear todos os indivíduos nomeados presente na ontologia. Para isso foi dividido o processo em duas etapas, identificar os gêmeos digitais e criar os relacionamentos entre eles. A seguir será descrito o processo para cada uma dessas etapas.

Inicialmente para identificar todos os indivíduos foi extraído do RDF da O3PO. Para isso criei um XML somente com os elementos `owl:NamedIndividual`, ficando mais simples o manuseio dos dados.

Para a tradução destes indivíduos será considerada o mapeamento apresentado na Tabela 6.1. Que será melhor detalhada a seguir

Tabela 6.1: Mapeamento dos elementos de NamedIndividual

| Conceito OWL | OWL Construct | Conceito Azure DT | Azure DT Construct |
|--|---|-------------------|---------------------------------|
| Named Individual | <code>owl:NamedIndividual</code> | Digital Twin | <code>\$dtId</code> |
| | <code>rdf:type</code> | | <code>\$model</code> |
| | <code>o3po-vip:component_of</code> | Relationship | <code>\$relationshipName</code> |
| | <code>obo:BFO_0000050 (part of)</code> | | <code>\$relationshipName</code> |
| | <code>obo:RO:0000052 (characteristic of)</code> | | <code>\$relationshipName</code> |
| <code>obo:RO:0000080 (quality of)</code> | <code>\$relationshipName</code> | | |

Fonte: Autor

6.1.1 Digital Twin

Para criação dos gêmeos digitais na Azure Digital Twins Explorer foi utilizada a funcionalidade de importação de grafo. Em que é importada uma planilha contendo o *Id* do modelo (`ModelId`) que deve ser utilizado para o gêmeo digital e um *Id* único que o identificará na ferramenta.

Conforme visto Tabela 6.1, a chave *rdf:type* será utilizada como *ModelId* do gêmeo digital e deve ser único. Entretanto, na descrição de *NamedIndividual* na ontologia, é especificado toda a cadeia hierárquica de um indivíduo, fazendo a associação dele com todas as classes presentes na herança. Para criação do digital twin devemos identificar e utilizar somente o último elemento da cadeia. Por exemplo na Figura 6.1 podemos ver que o indivíduo *Temperatura_Cabeca_do_Poco* possui toda sua cadeia de heranças especificada, porém somente a última ("*wellhead_temperature*") é relevante para criação do gêmeo digital.

Assim sendo extraídos da ontologia todos os indivíduos e mapeados a um dos modelos criados anteriormente. Na Tabela 6.2 são mostrados alguns dos gêmeos extraídos que serão importados e criados no Azure.

Figura 6.1: Exemplo de *NamedIndividual* presente na O3PO

```
<!-- Temperatura_Cabeca_do_Poco -->
<owl:NamedIndividual rdf:about="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#RJS-741_prop_Temperatura - Cabeca do POCO">
  <rdf:type rdf:resource="http://purl.obolibrary.org/obo/BFO_0000001"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://purl.obolibrary.org/obo/BFO_0000002"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://purl.obolibrary.org/obo/BFO_0000019"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://purl.obolibrary.org/obo/BFO_0000020"/>
  <rdf:type rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#temperature"/>
  <rdf:type rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#wellhead_temperature"/>
  <obo:RO_0000052 rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#RJS-741_part_Cabeca do POCO"/>
  <obo:RO_0000080 rdf:resource="https://www.petwin.org/o3po-resources/o3po-vip#RJS-741_part_Cabeca do POCO"/>
</owl:NamedIndividual>
```

Fonte: Autor

Tabela 6.2: Exemplo de tabela para criação de gêmeos digitais

| ModelID | ID (must be unique) |
|---|---------------------------------|
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:Production_Well;2 | MRO_3 |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:SubseaTree;2 | ANM |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:flowline;2 | Flowline |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:header;2 | Header_de_Producao |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:Pipeline;2 | Pipeline_Jusante_Choke_Producao |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:choke;2 | Valvula_Choke_de_Producao |
| dtmi:digitaltwins:TCC:o3povip:master_valve;2 | Valvula_Master_M1 |

Fonte: Autor

6.1.2 Relationship

A partir da identificação dos indivíduos, extraí todos relacionamentos, gerando uma tabela com todas 2800 relações entre todos *NamedIndividuals*. Inicialmente foi analisada a opção de incluir essas relações na planilha gerada na Sessão 6.1.1, entretanto a ontologia possuía mais que um relacionamento para cada gêmeo digital, e não tive tempo para corrigir a inclusão de todos relacionamentos em uma única planilha. Por este mo-

tivo, optei seguir por gerar um script CLI para criação de todos os relacionamentos de cada gêmeo digital.

Analisando esses dados foi identificado que algumas *ObjectProperties* presentes nos indivíduos, não eram referenciados nas classes OWL usadas para modelagem no Capítulo 5. Devido a isso foi necessário voltar na modelagem e adicionar os relacionamentos no JSON de *Entity*, modelo que todos outros possuem herança. Caso isso ocorra na ontologia, não será diretamente mapeado no processo de modelagem DTDL e deverá ser adicionado manualmente no modelo, ou alterado o tipo do indivíduo. Por exemplo, na Figura 6.2, o indivíduo "Pressão_-_Cabeça_do_Poço" que é do tipo "pressão", porém o relacionamento com a classe 'cabeça do poço' está descrito em "pressão na cabeça do poço", sendo assim da maneira instanciada na ontologia, a referência para o relacionamento entre "pressão_-_cabeça_do_poço" não está especificada nos modelos criados.

Figura 6.2: Exemplo de limitação de referencia entre gêmeos



Fonte: Autor

Para facilitar a visualização do grafo de conhecimento e levando em consideração que as relações foram adicionadas manualmente no modelo gerado, serão consideradas a intuito deste trabalho somente os quatro relacionamentos descritos na Tabela 6.1. Sendo assim ignorados os conceitos de relação inversa e conceitos O3PO não descritos nas classes.

A maneira de criar os relacionamentos no Azure Digital Twins Explorer utilizada foi gerar um script utilizando a ferramenta CLI. A plataforma possibilita criação dos relacionamentos incluindo-os no arquivo XLSX (*Excel Spreadsheet file*) gerado na Sessão 6.1.1, porém via script foi possível mais agilidade na validação dos dados. Então, com os relacionamentos descritos no modelo, foi criado um comando de criação para cada um deles como visto na Figura 6.3.

Figura 6.3: Relacionamentos entre indivíduos

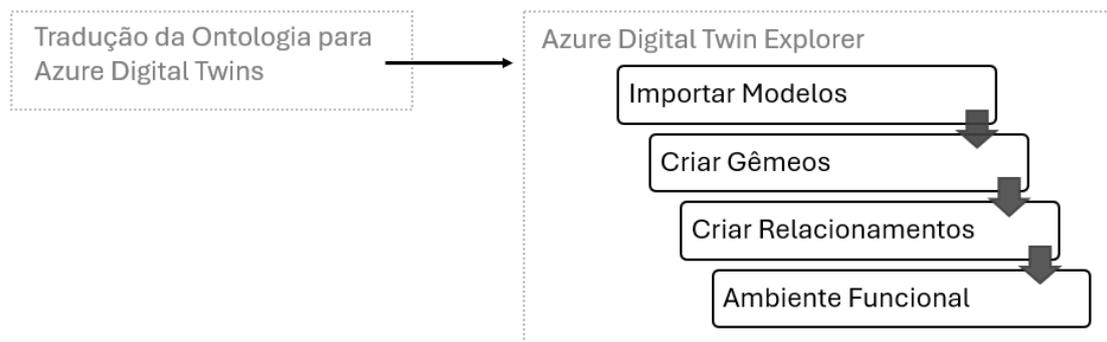
```
az login
az dt twin relationship create -n $DTInstance --relationship-id 776 --relationship part_of --twin-id 'Cabeca_do_Poco' --target 'MRO_3'
az dt twin relationship create -n $DTInstance --relationship-id 777 --relationship immediatelyFeedsFluidto --twin-id 'Cabeca_do_Poco' --target 'Valvula_Master_M1'
az dt twin relationship create -n $DTInstance --relationship-id 884 --relationship immediatelyFeedsFluidto --twin-id 'Valvula_DHSV_1' --target 'Cabeca_do_Poco'
```

Fonte: Autor

7 IMPLEMENTAÇÃO NOS MODELOS DTDL NO AZURE

Este capítulo detalha os procedimentos para a importação dos arquivos previamente gerados na plataforma Azure Digital Twins Explorer, incluindo uma descrição das etapas envolvidas e a apresentação dos resultados visuais oferecidos pela ferramenta, complementando com consultas para evidenciar o seu funcionamento.

Figura 7.1: Fluxograma geral das etapas de criação do ambiente [fonte: Autor]



Inicialmente é necessário criar os modelos no ambiente, importando os arquivos JSON que foram gerados separadamente, processo descrito no Capítulo 5. Para isso foi utilizado a funcionalidade de *"Upload a directory of Models"*, em que a ferramenta valida todos os modelos DTDL conforme a versão 2 da linguagem e cria-os. Neste momento se houve algum erro na implementação dos modelos, a ferramenta irá retornar o erro encontrado. Algumas das limitações descritas anteriormente foram encontradas nessa fase.

Com os modelos criados, foi feita a importação da tabela de indivíduos descrita na Sessão 6.1.1. Esse passo faz a instanciação de todos gêmeos digitais utilizando a estrutura criada no passo anterior. Para isso é utilizado o comando de *"Import Graph"* em que a ferramenta cria um gêmeo para cada uma das linhas descritas no arquivo. Esse passo cria todos os indivíduos, representados pelos vértices no grafo da Figura 7.2.

Posteriormente é necessário criar os relacionamentos entre os gêmeos, executando o comando CLI criado e descrito na Sessão 6.1.2. Neste momento são criadas todas as ligações entre os gêmeos, representadas pelas arestas no grafo da Figura 7.2.

Sendo o centro do Azure Digital Twins o grafo de conhecimento dos gêmeos, construído a partir de gêmeos digitais e relações. Esse grafo pode ser consultado para obter informações sobre os dados dos gêmeos digitais e as relações que ele contém. Essas consultas são escritas em uma linguagem de consulta semelhante a SQL, denominada

Figura 7.3: Consulta de exemplo ao modelo [fonte: Autor]

The screenshot displays a digital twin query interface. At the top, a query bar contains the SQL query: `SELECT * FROM DIGITALTWINS T WHERE STARTSWITH(T.$dtId, 'Temperatura') and T.has_value > 80`. To the right of the query bar are options for 'Overlay results' and a 'Run Query' button. Below the query bar, the interface is split into two main sections: 'TWIN GRAPH' and 'MODEL GRAPH'. The 'TWIN GRAPH' section shows a graph with three nodes: 'Temperatur...' (red), 'Cabeca do...' (pink), and 'Coluna Inf...' (purple). The 'MODEL GRAPH' section shows a similar graph with three nodes: 'Temperatur...' (brown), 'Coluna Inf...' (purple), and 'Coluna de...' (purple). The 'PROPRIEDADES GÊMEAS' section on the right displays the properties of the selected node: `$dtId: Temperatura_Cabeca_do_Poco`, `# has_value: 99`, `customTags: Digite a nova chave (não definida)`, `externalIds: Digite a nova chave (não definida)`, `name: (não definida)`, `$etag: W/"9fdcc36f-6bd7-4f0c-970f-d09f66aa9232"`, and `$metadata:`.

- <https://github.com/giovaneboose/TCC>

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de dados na indústria petrolífera apresenta múltiplos desafios. O amplo uso de softwares proprietários e de serviços especializados por várias empresas diferentes, todas participando da exploração petrolífera, contribui para a complexidade, dificultando a administração eficiente dos dados dos campos petrolíferos ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Em resposta a este cenário e às exigências de digitalização e interconectividade da Indústria 4.0, tem-se dedicado um esforço significativo ao desenvolvimento de padrões industriais que facilitem a interoperabilidade dos dados. Para esse fim, as ontologias foram identificadas como uma possível solução para a representação do vocabulário que descreve os conceitos-chave relacionados a esta quarta revolução industrial. (SANTOS et al., 2024)

Embora esteja se expandindo rapidamente, o conceito de Gêmeo Digital permanece em constante evolução. Há várias questões críticas a serem resolvidas para aprimorar sua aplicabilidade prática. Por exemplo, a necessidade de um método unificado de modelagem de Gêmeo Digital é extremamente necessário (TAO F.; CHENG, 2018). Neste contexto, este artigo trouxe uma alternativa de abordagem para modelagem de ontologias para gêmeos digitais, focando na solução de DT fornecida pela Azure.

Seguindo esses princípios, a metodologia apresentada neste artigo para a geração de modelos de Gêmeo Digital centrada no uso de ontologias para modelar complexidades da indústria petrolífera, demonstrou-se eficaz. Foi possível modelar rapidamente todos os principais conceitos descritos na ontologia O3PO, demonstrando a viabilidade de sua implementação de DT em cenários complexos de plantas de produção de petróleo, inclusive sendo viável de expansão dessas práticas para outras áreas.

A metodologia descrita neste artigo para mapeamento dos indivíduos trouxe bons resultados para evidenciar a funcionalidade completa do ambiente, porém tem bastante a melhorar. Mesmo que o mapeamento descrito seja simples de ser feito, ainda é uma solução complexa e pouco escalonável para a indústria. Entretanto, com os resultados obtidos foi possível criar o ambiente completo no Azure Digital Twins e validar sua funcionalidade, trazendo poucas limitações de compatibilidade com a ontologia O3PO.

Olhando para o futuro, é evidente que o projeto abre novos caminhos para a ampliação da funcionalidade e a melhoria contínua dos Gêmeos Digitais no setor. As limitações identificadas durante a modelagem e a implementação dos DTs, como questões de escalabilidade e a necessidade de um método de mapeamento mais simplificado, apre-

sentam oportunidades claras para avanços. Além disso, a atualização das propriedades dos gêmeos digitais com dados frequentes, reais ou não, podem enriquecer ainda mais o ambiente Azure Digital Twins criado, aumentando sua precisão e utilidade prática.

REFERÊNCIAS

DTC. Digital twin consortium. In: . [S.l.]: <https://www.digitaltwinconsortium.org> (Acessado em agosto de 2023), 2023.

E, S. D. G. The digital twin paradigm for future nasa and us air force vehicles. In: . [S.l.]: 53rd AIAA/ASME/ASCE/ AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA 1818, 2012.

INTEROPERABILITY. Guest editorial semantic technologies in automation systems. In: . [S.l.: s.n.], 2017. v. 13, n. 6, p. 3334–3337.

KUMAR, V. R. S. et al. Ontologies for industry 4.0. In: . [S.l.: s.n.], 2019. v. 34, p. e17.

LIM, K. Y. H. A state-of-the-art survey of digital twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives. In: . [S.l.]: Journal of Intelligent Manufacturing, 31(6), 1313-1337, 2020.

MARTUCCI, R. R. Architecture for digital twin implementation focusing on industry 4.0. In: . vol. 18, no. 5. [S.l.]: IEEE Latin America Transactions, 2020.

MICROSOFT. Converter ontologias padrão do setor em dtld para os gêmeos digitais do azure. In: . [S.l.]: Artigo Online. 2024. Disponível em: < <https://learn.microsoft.com/pt-br/azure/digital-twins/concepts-ontologies-convert>>, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024.

MICROSOFT. Novidades no .net 6. In: . [S.l.]: Artigo Online. 2024. Disponível em: < <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/core/whats-new/dotnet-6>>, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024.

MICROSOFT. Visão geral do .net framework. In: . [S.l.]: Artigo Online. 2024. Disponível em: < <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/framework/get-started/overview>>, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024.

MICROSOFT. What is azure? In: . [S.l.]: Artigo Online. 2023. Disponível em: < <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-azure/>>, Acessado em: 07 de Agosto. 2023.

MICROSOFT. O que são os gêmeos digitais do azure? In: . [S.l.]: Artigo Online. 2023. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/azure/digital-twins/overview>>, Acessado em: 12 de jul. 2023.

PARROTT A.; WARSHAW, L. Industry 4.0 and the digital twin. In: . [S.l.]: Deloitte University Press. [S.l.: s.n.], 2017.

PROTÉGÉ. Site principal protégé. In: . [S.l.]: Artigo Online. 2024. Disponível em: < <https://protege.stanford.edu/software.php>>, Acessado em: 06 de Janeiro. 2024.

SANTOS, N. O. et al. O3po: A domain ontology for offshore petroleum production plants. **Expert Systems with Applications**, v. 238, p. 122104, 2024. ISSN 0957-4174. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417423026064>>.

TAO F.; CHENG, J. Q. Q. Z. M. Z. H. S. F. Digital twin in industry: State-of-the-art. In: . [S.l.]: Int J Adv Manuf Technol 94, 3563– 3576, 2018.

WANASINGHE, T. e. a. Digital twin for the oil and gas industry. overview, research trends, opportunities, and challenges. In: . [S.l.]: Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.2998723, 2020.