Gestão:

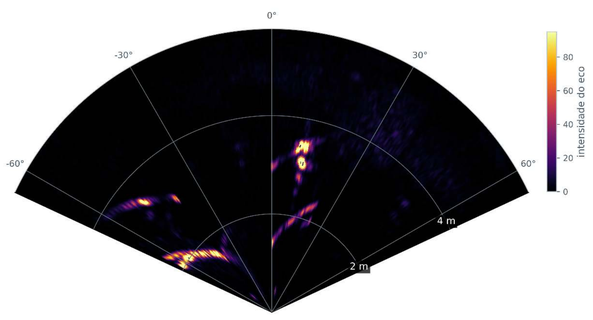
Reunião de Acompanhamento
e Avaliação - RAA 2026

Gêmeo Digital para Reconstrução 3D com Sonar: Superando a Escassez de Dados Na Inspeção Subaquática

Reichow, L. H. K.[1]; Oliveira, G. C.[2]; Drews-Jr, P. L. J.[3];
[1]Bolsista do PRH 22/FURG, curso de Engenharia da Computação, Rio Grande – RS. E-mail: reichowhenrique@gmail.com;
[2]Doutorando na University of Miami, Coral Gables, FL – EUA. E-mail: guilherme@furg.br;
[3]Docente da FURG, Rio Grande – RS. E-mail: paulodrews@furg.br

INTRODUÇÃO

A inspeção de estruturas submersas faz parte da segurança e manutenção de ativos offshore. Nela, a turbidez inviabiliza o uso de câmaras óticas, tornando o sonar a principal alternativa. Contudo, o sensor omite o ângulo de elevação. Redes neurais podem estimar essa dimensão, mas exigem dados de referência (*Ground Truth*) com o seu valor correto. Como os sensores não medem isto no mar, a escassez de dados rotulados é a barreira principal.



OBJETIVOS

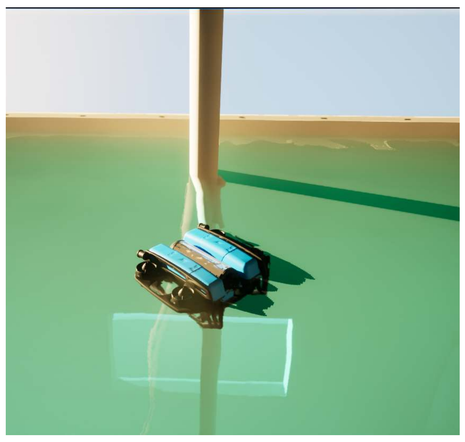
Viabilizar a percepção 3D a partir de sonares, fornecendo a consciência espacial necessária para a navegação autônoma e a inspeção de ativos offshore.

- Criar um gêmeo digital identico ao cenário real.
- Suprir a inexistência de *Ground Truth* de elevação usando o gêmeo digital.
- Automatizar a criação de referências para treino, sem rotulagem manual.
- Reconstruir modelos 3D métricos e confiáveis para guiar veículos subaquáticos.

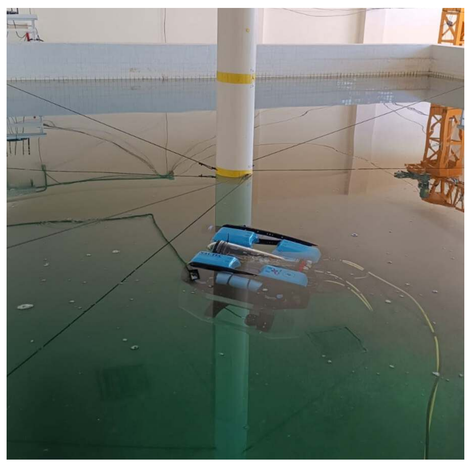
METODOLOGIA

O método une os dados capturados no mar com o simulador, funcionando em quatro etapas principais:

- O Gêmeo Digital (BiguaSim): Desenvolvido na Unreal Engine 5 e operando com ROS 2, o simulador recria o ambiente subaquático e a física dos sensores. Uma cópia virtual do robô repete a trajetória exata da missão real e informa a elevação correta de cada alvo (*Ground Truth*). Isso gera os dados de treino sem nenhuma rotulagem manual.
- Alinhamento: As imagens reais do sonar e as imagens geradas pelo simulador são encaixadas na mesma grade (227 faixas de 2,54 cm), formando os pares perfeitos para o treinamento.
- Treinamento: A rede ElevateNet-R (baseada na U-Net) recebe esses pares. Ela aprende a olhar para a imagem acústica real e prever a elevação de cada pixel, usando o simulador como "gabarito".
- Reconstrução 3D: Com a elevação calculada pela rede, cada pixel da imagem ganha sua altura e vira um ponto 3D. Ao juntar as leituras ao longo da missão, montamos a nuvem de pontos completa da estrutura inspecionada.

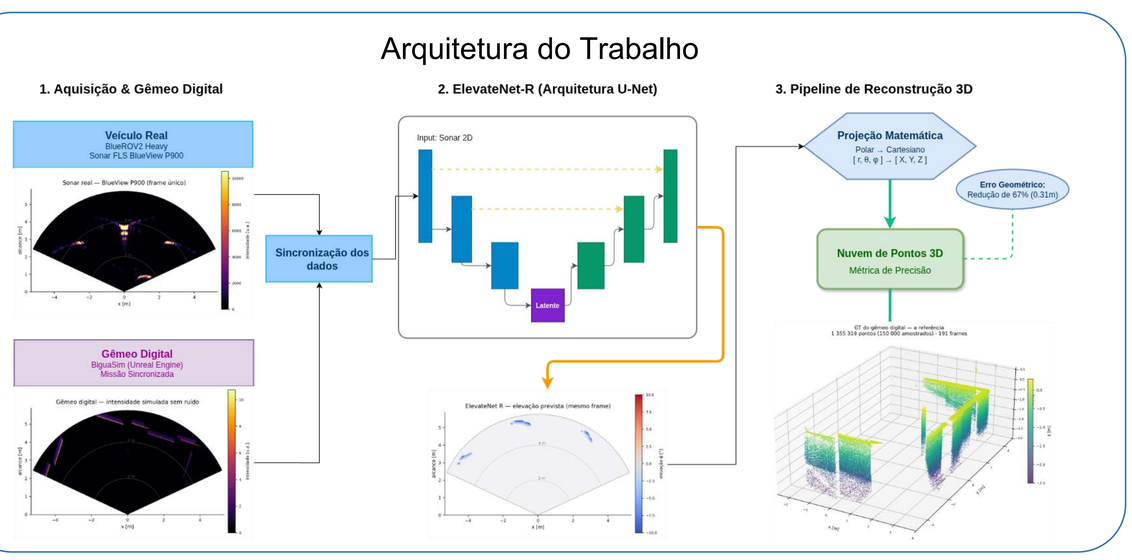


ROV no BiguaSim



ROV Real na FURG

Arquitetura do Trabalho



RESULTADOS OBTIDOS

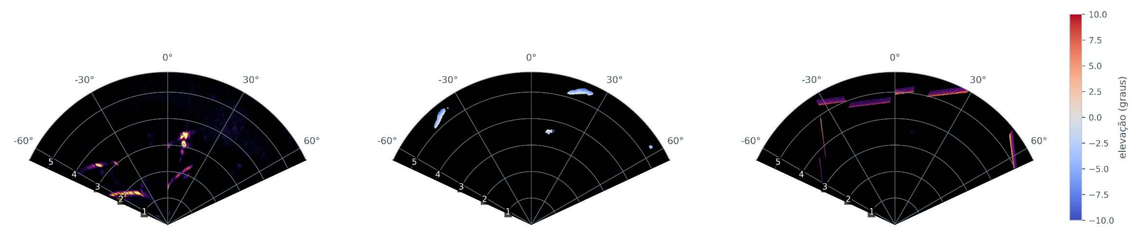
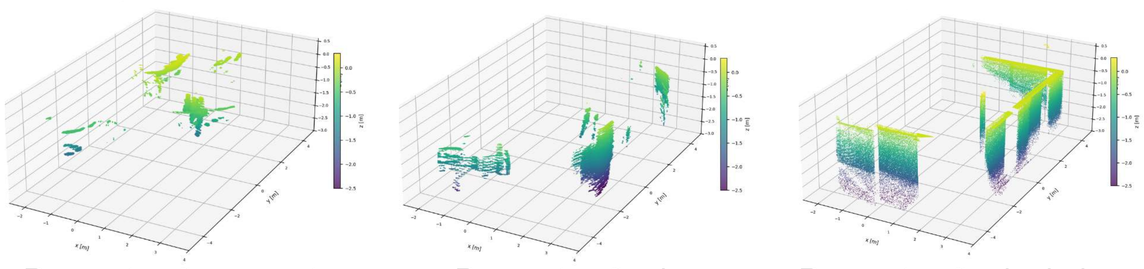


Imagem Sonar real | Imagem Sonar do método proposto | Imagem GT simulado

A metodologia foi validada numa missão de inspeção utilizando 401 imagens pareadas de sonar (210 para treino e 191 para teste), resultando numa nuvem de pontos final densa com cerca de 88.530 pontos.

- Precisão Estrutural: A reconstrução tridimensional ficou 3,1 vezes mais fiel à forma real da cena. O erro médio geral caiu de 0,97 m para apenas 0,31 m.
- Inspeção de Ativos (Dutos): Na área específica do duto inspecionado, o erro geométrico foi reduzido para cerca de 0,05 m. Metade de todos os pontos mapeados projetou-se a menos de 6 cm da posição correta, contrastando com o erro de 1,22 m do método convencional sem pareamento.
- Melhoria Acústica: A deteção de ecos revelou-se 28 vezes superior (evoluindo de 0,023 para 0,653). O erro de estimativa do ângulo de elevação foi estabilizado em 3,7°.
- O Valor do Gémeo Digital: Demonstrou-se que treinar a rede apenas com os dados do simulador não resolve o problema (resultando num erro de 0,968 m, equivalente a não usar a rede). O salto de desempenho só ocorre graças à arquitetura de pareamento exato entre a imagem acústica real e o *Ground Truth* gerado no BiguaSim.



Reconstrução somente com dado real | Reconstrução do método proposto | Reconstrução do dado *Ground Truth*

APLICAÇÃO NO SETOR DE ENERGIA

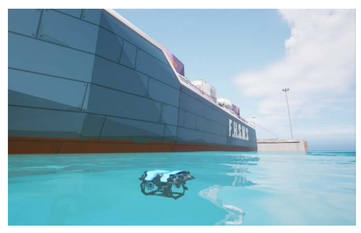
A reconstrução 3D a partir de sonares revoluciona a inspeção subaquática em águas turvas, onde câmeras falham. O método melhora drasticamente a percepção espacial dos robôs, entregando avanços cruciais para o setor offshore:

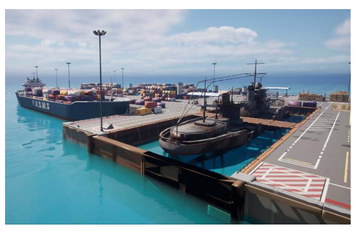
- Inspeção de Estruturas: Permite avaliar o estado de dutos, cascos de navios e bases de plataformas com modelos tridimensionais confiáveis.
- Base para Autonomia: A percepção 3D métrica é o passo fundamental para o desenvolvimento da navegação autônoma de ROVs em ambientes complexos.
- Reaproveitamento de Dados: Transforma missões acústicas históricas (sem rótulos) em dados úteis para treinar IA, reduzindo os altos custos operacionais no mar.

MATERIAL COMPLEMENTAR

Video de experimento

Video do trabalho





Outras missões BiguaSim

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes usaram uma cena e uma missão, e a rede ainda cobre parte dos pontos. Os próximos passos são coletar mais objetos e posições e levar o gêmeo para tempo real.

REFERÊNCIAS

Referências, links complementares e contato no QR-Code ao lado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, PRH-ANP, gerido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, Brasil. Processo nº 2025/03736-5, Programa PRH-ANP 22/FURG.

NAUTEC
Grupo de Automação e Robótica Inteligente